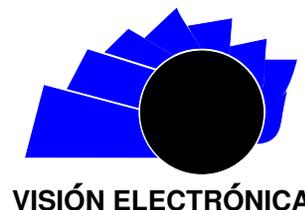




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN INVESTIGADORA

Robot Lego para simular el desplazamiento tipo motocicleta

Lego robot to simulate the movement type motorcycle

Sebastián C. Gómez C.¹, Sebastián Gómez C.², Willson Infante M.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: Marzo de 2015

Recibido: Marzo de 2015

Aceptado: Marzo de 2015

Palabras clave:

Acelerómetro

Giroscopio

Inclinación

Localización

Sensores

RESUMEN

El grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma “ROMA” de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia), presenta en este documento los avances de la investigación del desarrollo de un robot móvil de dos ruedas (con una arquitectura tipo motocicleta) simulando su desplazamiento, de manera que el control de equilibrio se realiza estableciendo la posición a través de la dirección asistida por un manubrio. Para ello, se usan las herramientas del kit LEGO® MindStorms NXT 2.0 y el entorno de programación Labview®, no solo para el control sino también para visualizar el comportamiento de las diferentes variables. Con el estudio del robot se presentan los principales factores que influyen en el manejo de una motocicleta, como son: equilibrio, dirección y velocidad; y, gracias a los datos entregados por los sensores, se exhibe un análisis para poder tener datos lo más exactos posibles de las variaciones que intervienen a la hora de maniobrar un vehículo de dos ruedas.



ABSTRACT

The research group in Mobile Robotics Autonomous ROMA”from technological faculty of the District University Francisco José de Caldas (Colombia) presents in this article the development of a mobile robot with two wheels - with architecture motorcycle-type -, simulating displacement and setting the position by steering by a handle, to control balance. For It, was developed a robt using the tools of LEGO® NXT 2.0 and the kit MindStorms and Labview® programming environment, not only for control but also to visualize the behavior of the different variables. With the study, it presents the main factors influencing the handling of a motorcycle: balance, direction and speed; and, thanks to the data delivered by the sensors, present an analysis was performed in order to have exact data of the variations occurring when maneuvering a two-wheeled vehicle.

Keywords:

Accelerometer

Gyroscope

Tilt

Location

Sensors.

¹Tecnólogo en electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Correo electrónico: cgomez@correo.udistrital.edu.co

²Tecnólogo en electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Correo electrónico: segomez@correo.udistrital.edu.co

³Ingeniero en control, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia). Correo electrónico: winfantem@udistrital.edu.co

1. Introducción

La robótica autónoma móvil es la encargada de desarrollar robots capaces de tomar sus propias decisiones basados en la comprensión del entorno en que se encuentran. Poseen su propia alimentación y son capaces de moverse sin depender de fuentes de alimentación externas. Así, se dice que “Autónomo” es la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar para alcanzar unos objetivos propuestos sin la intervención o una mínima intervención de supervisión humana [1].

Existen diferentes configuraciones de robots respecto a su desplazamiento. Para el caso que nos ocupa, la presente investigación se centra en diseños de robots de dos ruedas sin punto de apoyo. En este tipo de diseños se aplica el principio de péndulo invertido para mantener su estabilidad. Por ello, se asume que en un robot con configuración tipo motocicleta el equilibrio es uno de los principales problemas, ya que la dirección de las ruedas respecto al movimiento es lineal, pero en relación con el equilibrio no lo es. Es decir, se tiene que hacer una corrección en la dirección para contrarrestar este fenómeno.

Con respecto a lo expuesto, el principal objetivo aplicado de la investigación es el desarrollo de un robot móvil de este tipo, así como la implementación de técnicas y mejoras para poder controlar el equilibrio durante su desplazamiento. De allí que, por medio del análisis de las variables que intervienen en el movimiento, se busque establecer una base de conocimientos para mejorar la seguridad de las personas que conducen vehículos de dos ruedas en la vida real. Adicionalmente, con el trabajo realizado se busca dar más autonomía a este tipo de robots y así usarlos en terrenos de difícil acceso para robots de cuatro ruedas.

El artículo se estructura de la siguiente manera: primero, se establece un sucinto estado de arte de robots de este tipo usando LEGO®; luego, se describe un básico marco de referencia acerca de la física del centro de gravedad, del péndulo invertido y las variables pertinentes a monitorear; acto seguido, se establece la metodología que orienta el diseño e implementación del robot; posteriormente se determinan las variables: centro de gravedad y equilibrio, se describe la programación y configuración para determinar tiempo de respuesta del ladrillo NXT 2.0, así como la selección del tipo de comunicación; posteriormente, se realiza una descripción detallada del diseño y la programación en LabView® de las rutinas del prototipo; luego se describen las pruebas y se exhiben sus resultados; y finalmente se dan las conclusiones de la investigación.

2. Estado del Arte

La mayoría de los trabajos en la búsqueda de la autonomía de robots apoyada en configuración tipo motocicleta se basa en estudios y desarrollos de la bicicleta y su comportamiento dinámico; se presume que el equilibrio de la bicicleta se da por la acción de quien la pilotea. Si siente que el vehículo se va a caer, dirige la bicicleta en la dirección de caída y así recorre una trayectoria curva de un radio como para generar suficiente fuerza centrífuga, a fin de corregir la caída. Hasta hace pocos años no se comprendían las causas que hacían que las bicicletas fueran estables; así como tampoco que se pudiera mejorar esa estabilidad. Schwab & Meijaard en [2] han hecho una revisión bibliográfica exhaustiva sobre dinámica de bicicletas, incluyendo los recientes estudios relacionados con el tema. De otro lado, en los trabajos de Jones David [3], se realizan una serie de modificaciones mecánicas a la bicicleta como, por ejemplo, el cambio de geometría delantera del tenedor —ya sea con horquillas invertidas dando una proyección frontal negativa o con proyección frontal ampliada—, para mantener o mejorar la estabilidad. Actualmente, empresas como Google con su programa self-driving car, está inmersa en el desarrollo de vehículos autónomos (entre ellos el de motocicletas autónomas), pues desde el 2007 trabaja con el ingeniero Anthony Levandowski, uno de los creadores de la motocicleta autónoma Ghost rider (figura 1) que compitió en DARPA Grand Challenge en el año 2005 [4].

Figura 1: Motocicleta autónoma de Anthony Levandowski [4]



De otra parte, en el grupo de investigación ROMA se han desarrollado robots móviles de dos ruedas. Entre

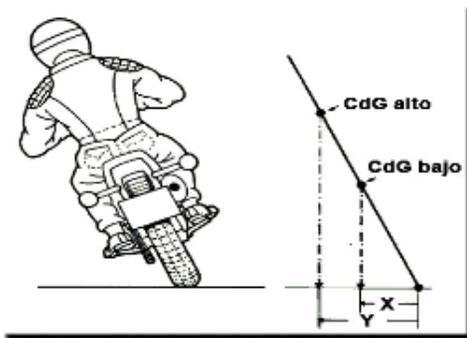
estos, se destaca el trabajo denominado: “Prototipo para estimar posición, inclinación y velocidad de un robot móvil de dos ruedas en LEGO NXT 2.0” [5], cuyo objetivo fue conservar el robot en una línea recta manteniendo su inclinación; la diferencia con el trabajo aquí expuesto es que ese robot no poseía dirección por manubrio, ya que no necesitaba dar giros. Desde esta perspectiva, la inclinación es la diferencia angular que se encuentra con respecto de la horizontal dada por la superficie sobre la cual se maneja; y la velocidad está determinada teniendo en cuenta los datos suministrados por el encoder, que se encuentra en los servomotores, ya que en el momento que arroja un cambio en la diferencia de inclinación se aumenta la velocidad para lograr continuar con el recorrido.

3. Marco de referencia

3.1. Centro de Gravedad (CdG)

El CdG es un punto imaginario donde se concentra todo el peso del vehículo de dos ruedas, a fin de ser considerado dinámico. Es un dato que, si bien se suele dar en la horizontal, orienta para situar las partes más pesadas lo más próximo posible a él, de forma que casi se materialice el peso principal de la motocicleta alrededor de este punto. Está claro que hay elementos, como las ruedas, que no se pueden acercar al CdG, pero sí otros componentes del motor, por ejemplo, que es el elemento más pesado del conjunto del vehículo de dos ruedas. De esta forma se generan menos inercias independientes a cambios de movimiento ordenados por el piloto, con lo cual la motocicleta se hace mucho más ágil y rápida (figura 2) [6].

Figura 2: Centro de gravedad para una motocicleta [6]



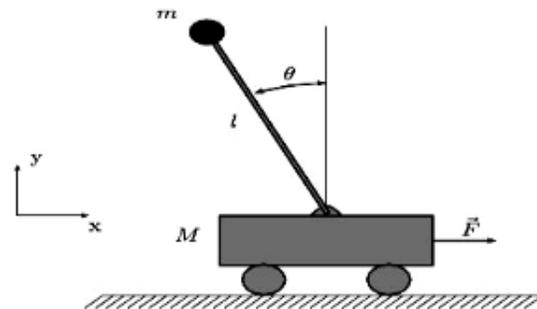
Podemos entonces afirmar que entre más bajo sea el centro de gravedad más óptimo será el diseño del robot tipo bicicleta; al igual que entre más corta sea la distancia entre los dos ejes de apoyo más fácil va a ser la

corrección de los errores para mantener el equilibrio del mismo, teniendo en cuenta que si el centro de gravedad permanece justo por encima del apoyo el sistema se mantiene estable; este precisamente es el objetivo del robot prototipo [7].

3.2. Péndulo Invertido

Un péndulo invertido funciona teniendo en cuenta un punto fijo (punto donde las ruedas contactan con el pavimento para el caso del robot) que está por debajo de la masa. Puede mantenerse en equilibrio únicamente si el centro de gravedad permanece justo por encima de la línea que une ambas ruedas; como se mencionó en el apartado anterior, para que el sistema en conjunto se mantenga en equilibrio el centro de gravedad debe permanecer por encima del centro de apoyo. Pero cualquier desviación, por pequeña que sea, hará que el peso la tire al suelo. Es decir, por sí solo el péndulo invertido tiende a alejarse de la posición de equilibrio, es un sistema que tiende a ser inestable [8]. Podemos observar, por medio de las figuras 2 y 3, la relación que existe entre la inclinación que realiza un motociclista y el movimiento que realiza un péndulo invertido.

Figura 3: Péndulo invertido [8]



3.3. Monitorización de variables

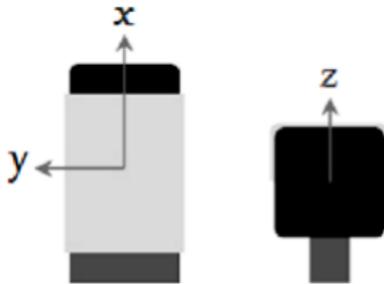
3.3.1. Sensor de aceleración

El sensor de aceleración de lego NXT, contiene un acelerómetro que mide la aceleración en tres ejes, X, Y y Z, figura 4. La aceleración se mide en el intervalo de 2g a -2g con una escala de, aproximadamente, 200 divisiones por unidad de gravedad.

El sensor de aceleración, así como los demás sensores que se usan, se conecta a un puerto de entrada del bloque programable del lego NXT denominado “ladrillo”, el cual es la parte central del Lego Mindstorms, allí se encuentra toda la parte lógica y electrónica que permite

la mayoría de las acciones del robot: se guarda el firmware básico para el control de los distintos dispositivos que se pueden conectar al bloque, usa un Microcontrolador ARM7 32-bit, cuatro puertos de entrada y tres puertos de salida [9]. La comunicación entre ladrillo y el sensor de aceleración se realiza por medio del protocolo de comunicaciones I2C digital. La medición de la aceleración para cada eje se actualiza, aproximadamente, 100 veces por segundo.

Figura 4: Ejes del sensor de aceleración NXT, vista superior y vista frontal, respectivamente [10]

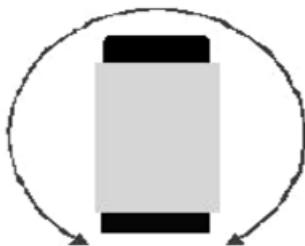


El sensor de aceleración también se puede utilizar para medir la inclinación en los tres ejes, lo cual es posible porque la gravedad se percibe como la aceleración. Cuando el sensor se encuentra sobre el robot y este se halla en su punto inicial de arranque, el eje X e Y será cercano a cero debido a que son horizontales; mientras que el eje Z estará cercano a 200, que representa un uno lógico [10].

3.3.2. Sensor de giro

El sensor de giro NXT (figura 5), contiene un giroscópico. Este detecta la rotación y devuelve un valor que representa el número de grados por segundo de rotación. El sensor de giro puede medir hasta $\pm 360^\circ$ por segundo de la rotación.

Figura 5: Nxt Gyro Sensor [11]



3.3.3. Sensor encoder

En la figura 6 se puede observar la estructura interna del encoder que presenta el servomotor a implementar en el robot. Por medio de un conteo dado por el sensor se llegó a la conclusión de que cada 1560 grados visualizados corresponden a un metro de distancia recorrida; con esta proporción se determinó el desplazamiento total del robot.

Figura 6: Encoder Servomotor NXT [12]



4. Metodología de desarrollo

Por lo expuesto en el marco de referencia, para el desarrollo del robot se buscó obtener el mejor centro de gravedad y la mayor estabilidad posible desde el punto de vista físico, proporcionando así un insumo para la programación. De otro lado, se tiene en cuenta el tiempo de respuesta del ladrillo del kit NXT 2.0, y a partir de esto se considera la comunicación bluetooth.

4.1. Diseño del robot

Inicialmente, para hacer manejable la problemática del modelado en las diferentes configuraciones cinemáticas, se establecen algunas suposiciones de diseño y de operación básica [13]. La primera va dirigida a considerar que las partes dinámicas del RMR son insignificantes, que no contiene partes flexibles; de esta manera pueden aplicarse mecanismos de cuerpo rígido para el modelado cinemático. La segunda se orienta a delimitar que la rueda tenga un eslabón de dirección, con la finalidad de reducir la complejidad del modelado. La tercera se orienta en asumir que todos los ejes de dirección son perpendiculares a la superficie, de esta manera se reducen los movimientos a un solo plano.

Por otra parte, se toman tres suposiciones de operación, al igual que en las de diseño: la primera es descartar toda irregularidad de la superficie donde se mueve el Robot Móvil (RMR). La segunda es considerar que la fricción de traslación en el punto

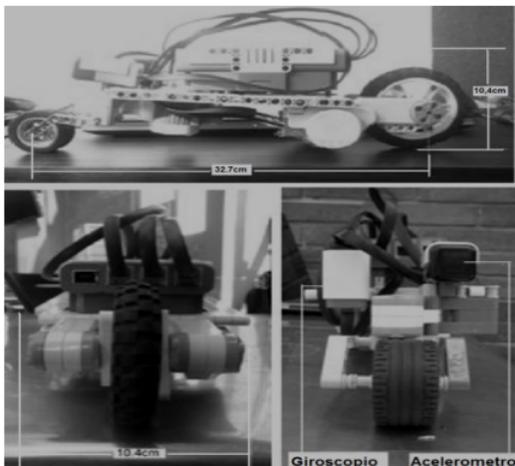
de contacto de la rueda con la superficie donde se mueve es lo suficientemente grande como para que no exista un deslizamiento de traslación del móvil. Y, como complemento a lo anterior, una tercera suposición de operación donde se establece que la fricción rotacional en el punto de contacto de la rueda con la superficie donde se mueve, es lo suficientemente pequeña para que exista un desplazamiento rotatorio.

De acuerdo con lo anterior, los sensores utilizados fueron ubicados de manera que tuvieran una intromisión mínima con el centro de masa del robot; por lo que el giroscopio fue ubicado de manera vertical con respecto al suelo, ya que este sensor hace la medición horizontalmente a su posición. El acelerómetro fue ubicado de forma horizontal, frente al espacio de inclinación dado por el robot, como se observa en la figura 7.

El robot cuenta entonces con tres servomotores, dos en la parte trasera del robot acoplados a una rueda para dar el arranque y proporcionar una velocidad constante al robot, el otro se implementó en el mando del manubrio (dirección), las dimensiones del robot son:

Alto de 10.1cm; ancho: 10.4cm; largo (medición entre ejes): 32.7cm; separación entre los sensores: 2,5 cm; altura de posición del acelerómetro: 8,1 cm; altura de posición del giroscopio: 7,5 cm.

Figura 7: Diseño final del robot



Fuente: elaboración propia

4.2. Programación en LabView®

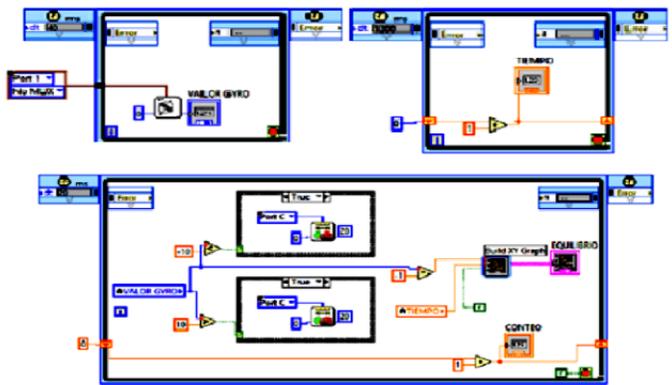
4.2.1. Control del manubrio

Sección 1. Este segmento de la programación está dividido en tres partes: (A), es donde se inicializa el

giroscopio y se le asigna un puerto de entrada para ser operado por la unidad central “ladrillo” o procesador del NXT; (B), aquí se muestra el aumento de una variable de tiempo que será usada en la gráfica de equilibrio, por lo que es independiente de A y B; y por último, (C): en esta se realiza el control del motor de dirección evaluando el valor de entrada, respecto a este se determina si el movimiento debe ser hacia la derecha o la izquierda y se realiza la gráfica de equilibrio. Figura 8.

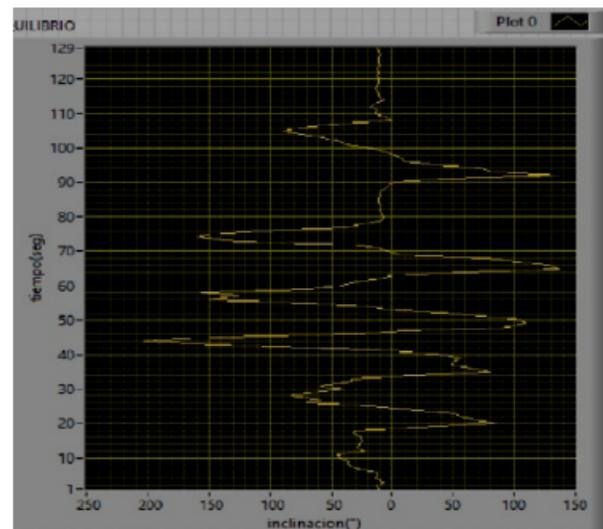
En la figura 9, pueden observarse los valores dados por el sensor de giro, eje Z del robot, contra el tiempo.

Figura 8: Programación para movimiento del manubrio



Fuente: elaboración propia

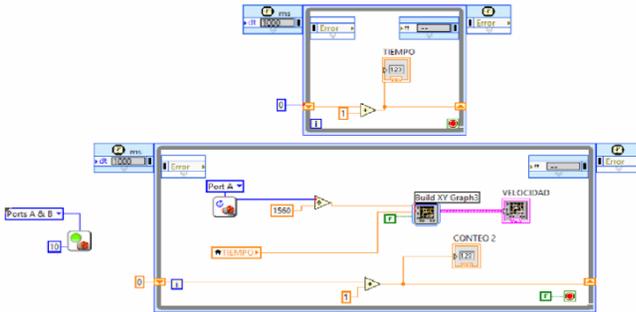
Figura 9: Gráfica del equilibrio del robot



Fuente: elaboración propia

Sección 2. La programación realizada para la variable de velocidad en el robot se puede ver en la figura 10.

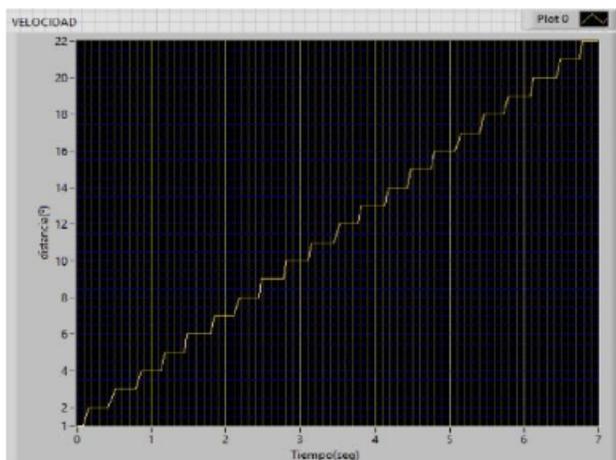
Figura 10: Programación para la velocidad del robot



Fuente: elaboración propia

En esta sección se hace la inicialización de los servomotores de propulsión a la misma velocidad, usando el encoder del motor se toma el desplazamiento en metros, ya que el encoder da la medida en grados. Por lo tanto, haciendo la parametrización del servomotor se concluye que, aproximadamente, 1560 grados equivalen a un metro de distancia recorrida; y tomando la variable de tiempo, se visualiza la velocidad de robot. Como resultado se obtuvo el comportamiento de la figura 11.

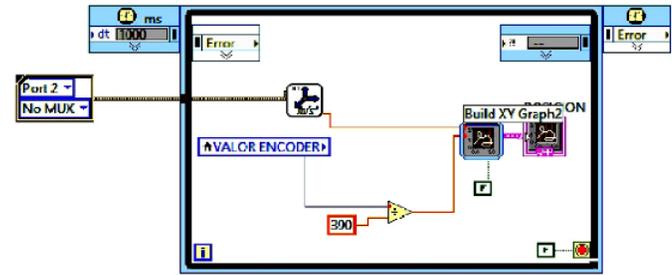
Figura 11: Gráfica de la velocidad del robot



Fuente: elaboración propia

Sección 3. La programación para la variable de posición se puede ver en la figura 12.

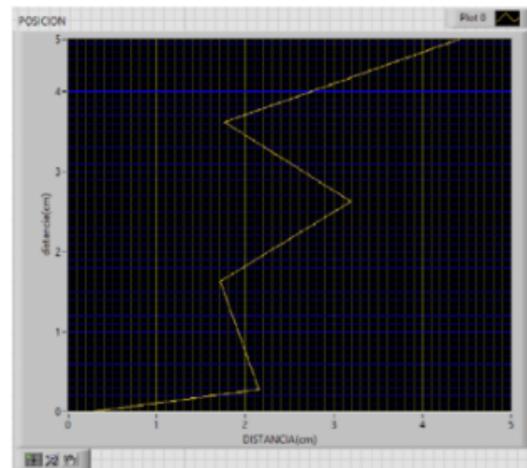
Figura 12: Programación gráfica posición



Fuente: elaboración propia

En esta sección, se determina la posición del robot, utilizando el valor en Y del acelerómetro y utilizando el valor del encoder, ya no a un metro de distancia sino a 25 cm para una mejor definición en la gráfica, figura 13.

Figura 13: Grafica de posición dependiendo la distancia



Fuente: elaboración propia

5. Pruebas y resultados

5.1. Caracterización del acelerómetro

Como se muestra en la tabla 1, la referencia para el acelerómetro toma la aceleración en los tres ejes. Debido al enfoque de este robot se hizo la caracterización para el eje Y. Se tomaron tres muestras por toma y se calculó un promedio. En consecuencia, se obtuvieron los datos sobre los cuales se puede crear la caracterización del acelerómetro para establecer la parametrización del mismo y así generar la toma de los datos para realizar las gráficas.

Tabla 1: Caracterización del sensor acelerómetro

CARACTERIZACIÓN DEL ACELERÓMETRO				
Grados	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Promedio
10	9,89	10,045	9,47	9,802
20	9,45	9,604	9,555	9,536
30	8,673	8,918	8,82	8,804
40	7,644	7,84	7,791	7,758
50	6,419	6,566	6,517	6,501
60	5,047	5,145	5,194	5,129
70	3,528	3,626	3,479	3,544
80	1,769	2,009	1,862	1,88
90	0,196	0,245	0,098	0,18
100	-1,519	-1,47	-1,274	-1,421
110	-3,324	-3,136	-2,891	-3,117
120	-4,665	-4,606	-4,557	-4,609
130	-6,027	-5,978	-5,929	-5,978
140	-7,203	-7,154	-7,154	-7,17
150	-8,232	-8,183	-8,085	-8,167
160	-8,918	-8,918	-8,82	-8,885
170	-9,31	-9,408	-9,31	-9,343

Fuente: elaboración propia

5.2. Caracterización del giroscopio

Para la caracterización de este sensor, se evidenció que toma una medida inicial respecto a su posición y si tal posición cambia vuelve a los valores iniciales, lo que hace que su funcionamiento sea más complejo respecto a los otros sensores. Para determinar los valores de funcionamiento en el robot se le dio una posición definitiva. En esta posición, el sensor arrojó un valor de 22, pero se realiza una corrección llevando el valor constante a cero; teniendo este valor se asegura que se encuentra lo más centrado posible respecto al eje Z .

Tabla 2: Caracterización de giroscopio sobre el robot

CARACTERIZACIÓN DE GIROSCOPIO SOBRE EL ROBOT			
Rotación hacia la derecha		Rotación hacia la izquierda	
Toma	Dato	Toma	Dato
1	-167	1	180
2	-137	2	128
3	-135	3	127
4	-112	4	123
5	-105	5	100
6	-100	6	90
Total	-756	Total	748
Promedio	-126	Promedio	124,7

Fuente: elaboración propia

Desde este momento se determinaron los valores máximos del sensor, dejando caer el robot para cada lado (izquierdo y derecho) cada 10 grados y promediando, tabla 2.

La tabla 2, muestra las mediciones para determinar la constante de proporcionalidad para cada costado y usarla como la máxima inclinación posible que puede tener el robot.

5.3. Diseño del prototipo robótico para programación definitiva

Con el propósito de realizar la caracterización y definición del robot más adecuado para llevar a cabo la programación y visualización de los datos, las pruebas se hacen bajo los mismos parámetros teniendo en cuenta cuatro posibles ubicaciones de los sensores. En la primera parte se muestran los parámetros entre los cuales va a trabajar el sensor; luego se toman los datos en condiciones de arranque y se verifican los resultados obtenidos.

5.3.1. Posición vertical del sensor acelerómetro

Se colocó el acelerómetro en la posición vertical con respecto a la superficie, como se muestra en la figura 14. La variación en cada eje desde el punto de equilibrio hasta el instante en que la moto se encuentra tocando el piso lateralmente son los siguientes:

- Variación de parámetros para el eje x
Hacia la derecha: 7,42
Hacia la izquierda: 7,595
- Variación de parámetros para el eje y
Hacia la derecha: 4,65
Hacia la izquierda: -3,871
- Variación de parámetros para el eje z
Hacia la derecha: -1,666
Hacia la izquierda: -1,372

La tabla 3 muestra los resultados para cada eje. Al analizar estos datos, se encontró que, debido a la ubicación del sensor y su caracterización, los límites de inclinación no son simétricos debido a la ubicación lateral del sensor sobre el prototipo; la inclinación máxima que se reflejaba hacia el lado izquierdo es menor que hacia el lado derecho con una diferencia de 1.2.

Figura 14: Posición vertical del sensor acelerómetro en el robot



Fuente: elaboración propia

Tabla 3: Datos para acelerómetro en diferentes velocidades

No. TOMA	X	Y	Z	% POTENCIA DEL MOTOR (VELOCIDAD)
1	22,05	12,25	98,98	50
2	20,09	2,94	99,96	70
3	19,11	0,49	99,96	50
4	18,62	10,78	99,96	60
5	1,225	1,29	10,193	60
6	1,078	0,637	10,241	60
7	1,76	0,588	10,192	60
8	1,127	0,392	10,241	60
9	1,127	1,127	10,192	60

Fuente: elaboración propia

5.3.2. Sensor en posición horizontal

Se colocó el acelerómetro en la posición vertical con respecto a la superficie, como se muestra en la figura 15. La variación en cada eje desde el punto de equilibrio hasta el instante en que la moto se encuentra tocando el suelo lateralmente son los siguientes:

Figura 15: Figura del sensor posición horizontal



Fuente: elaboración propia

- Variación de parámetros para el eje x
Hacia la derecha: 1,723
Hacia la izquierda: 1,078
- Variación de parámetros para el eje y
Hacia la derecha: -3,92
Hacia la izquierda: 4,851
- Variación de parámetros para el eje z
Hacia la derecha: 9,114
Hacia la izquierda: 9,065

Como se refleja en la información, los parámetros son mucho más simétricos con respecto a lo visto en la sección 5.3.1.

Según los datos de la tabla 4, se evidencia que la variación sobre el eje Z es mínima, comparándola con los demás ejes, con esto se determinó usar este eje para la validación del equilibrio y como punto de partida para la programación del manubrio.

Tabla 4: Datos para el acelerómetro en diferentes velocidades segunda posición

No. TOMA	X	Y	Z	% POTENCIA DEL MOTOR (VELOCIDAD)
1	8,67	0,441	-1,019	50
2	8,673	0,608	-1,19	70
3	8,722	0,392	-1,421	50
4	8,722	0,392	-1,41	60
5	8,673	0,441	-1,372	60
6	8,722	0,294	-1,372	60
7	8,722	0,196	-1,372	60
8	8,722	0,637	-1,372	60
9	8,722	0,882	-1,921	60

Fuente: elaboración propia

5.3.3. Acelerómetro en posición horizontal con el giroscopio

Se acondicionó el sensor acelerómetro en posición horizontal, como se realizó anteriormente, pero se le agregó el sensor giroscopio, lo cual se puede observar en la figura 16, para determinar el comportamiento de equilibrio, ya que los dos sensores varían la distribución de las cargas en el robot.

- Variación de parámetros para el eje x
Hacia la derecha: 1,523
Hacia la izquierda: 1,156
- Variación de parámetros para el eje y
Hacia la derecha: -3,63
Hacia la izquierda: 4,567
- Variación de parámetros para el eje z
Hacia la derecha: 9,24
Hacia la izquierda: 9,165

Los parámetros son muy simétricos, al igual que en la toma anterior con el sensor en posición horizontal. Esto quiere decir que bajo estos parámetros es estable el desarrollo.

Figura 16: Acelerómetro posición horizontal con el giroscopio



Fuente: elaboración propia

5.3.4. Velocidad

Para obtener los datos para la velocidad se realizaron varias pruebas con el encoder del motor, teniendo en cuenta que la velocidad del vehículo de dos ruedas es constante; los datos se presentan en la tabla 5. Todas las tomas se efectuaron en una distancia lineal de dos metros sobre una superficie plana, horizontal y lisa.

Tabla 5: Tabla sobre datos de velocidad

VELOCIDAD		
Toma	Tiempo (s)	Grados
1	5,6	3120
2	6,2	3129
3	6,5	3128
4	6,6	3125
5	6,1	3120
Total	31	15622
Promedio	6,2	3124,4

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta todos los datos arrojados en las evidencias mostradas en el desarrollo de este artículo, el robot tipo bicicleta tiene una funcionalidad del +/-29,88% con respecto a la funcionalidad final esperada, esto se evidenció en las diferentes pruebas realizadas bajo los mismos parámetros de medición y condiciones iniciales.

Por tanto, se concluye que la herramienta LEGO es amigable para el desarrollo del robot tipo bicicleta;

pero se encontró deficiencias en cuanto al procesamiento y funcionamiento en tiempo real del controlador “ladrillo” NXT. Adicionalmente, el kit no cuenta con una herramienta que se pueda usar para simular la inclinación posible del conductor; así se tendrían datos del comportamiento en conjunto del robot al considerar los diferentes subsistemas que componen el robot móvil.

5.3.5. Diagrama de fuerzas

Para tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre el eje vertical (equilibrio) del prototipo robótico, siempre que se genere un cambio de dirección se genera una fuerza lateral o centrípeta, proporcionada por la fricción generada entre la rueda y el suelo y teniendo en cuenta que la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento inicial o el desplazamiento. Con esto se quiere decir que generando un desplazamiento lateral se generará una fuerza centrípeta en sentido contrario, haciendo que la sumatoria de fuerzas sobre el eje sea cero y de esta manera mantener el equilibrio.

Figura 17: Diagrama de Fuerzas eje vertical o de equilibrio



Fuente: elaboración propia

En la figura 17, se puede ver que cuando el vehículo está inclinado, el equilibrio se alcanza cuando la fuerza centrífuga iguala la fuerza de gravedad. Así también se observa que la fuerza centrífuga tiende a levantar la motocicleta de su inclinación para que realice una línea recta.

6. Conclusiones

Se realizó la construcción del robot tipo bicicleta, contando con una parametrización para mantener su equilibrio en movimiento. La cual se basó fundamentalmente en el funcionamiento del giroscopio, y respecto al sentido del giro del sensor se hace la corrección de dirección del manubrio.

Se efectuó la caracterización del giroscopio encontrándose algunas falencias, ya que este sensor tiene dos limitantes: la primera es que la forma en que el sensor funciona solo toma datos ubicado de forma horizontal ya que de forma vertical en el robot tipo bicicleta no cumple con las características para su caracterización, lo que hace que solo pueda ser utilizado horizontalmente. La segunda es que el sensor hace la primera medición y si vuelve a quedar estable desde una segunda posición, su valor de medida vuelve a los valores iniciales, con lo cual tendría otro punto de referencia a la hora de hacer una corrección el manubrio del robot.

Se generó la caracterización del acelerómetro necesario para obtener el funcionamiento del robot. Esta caracterización es suficiente, ya que al tener la medición de los tres ejes de coordenadas X , Y y Z , se facilita el estudio y no hay problemas en la toma consecutiva de datos.

Se desarrolló un entorno grafico en Labview® para la visualización del comportamiento de las variables, permitiendo que la comprensión de los datos y el comportamiento del robot se formalicen fácilmente.

Se evidenció un retardo en el tiempo de respuesta del “ladrillo” NXT, por la gran cantidad de datos que se tiene que transmitir en ambas direcciones, lo cual dificultó el buen desarrollo del movimiento de manubrio para la dirección del robot y así mantener el equilibrio.

Como trabajos futuros se podría: Implementar un módulo Wifi que optimice el tiempo de ejecución del programa, haciendo al robot capaz de aumentar su velocidad de funcionamiento pues siempre hay un retardo de más o menos un segundo en la respuesta de la dirección del manubrio, la comunicación bluetooth utilizada por el “ladrillo” y el computador. Además, teniendo un controlador de mayor procesamiento se puede optimizar el tiempo de reacción del robot móvil.

De otra parte, para mejorar la estabilidad del robot se puede aplicar el sistema de equilibrio externo, ya que el dispositivo simularía el contrapeso realizado por un piloto.

Referencias

- [1] Robot Motion Planning, “Introduction to Mobile Robotics”, enero, 2014. [En Línea]. Disponible en: <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/teaching/ss11/robotics/slides/18-robot-motionplanning.pdf>
- [2] A.L. Schwab & J.P.Meijaard, “A review on bicycle dynamics and rider control, Vehicle System Dynamics”, International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility vol. 51, no.7, pp. 1059-1090, 2013.
- [3] D.E.H. Jones, “The Stability of the bicycle”. America Institute of Physics–physicstoday. Enero, 2014. [En Línea]. Disponible en: http://www.phys.lsu.edu/faculty/gonzalez/Teaching/Phys7221/vol59no9p51_56.pdf
- [4] M. Harris and E. Chipperfield, “Very easy rider: Google plans robotic motorbike”, febrero, 2014. [En Línea]. Disponible en: http://www.thesundaytimes.co.uk/sto/ingear/Tech_Games/article1443725.ece
- [5] G. D. Tique M. and C. Guevara V., “Prototipo para estimar posición, inclinación y velocidad de un robot móvil de dos ruedas en LEGO NXT 2.0.”. Grupo de investigación ROMA, Facultad Tecnológica Universidad Distrital, Bogotá D.C., Colombia, 2012.
- [6] J. González T. “Capítulo II El equilibrio”, febrero, 2014. [En Línea]. Disponible en: <http://www.drinfierno.es/pilota/e/equilibrio.htm>
- [7] Circula seguro, “Conducción de motocicletas, la Física (3)”, febrero, 2014. [En Línea]. Disponible en: <http://www.circulaseguro.com/conduccion-de-motocicletas-la-fisica-3/>
- [8] “Péndulo”, Mundo funcional y variacional, febrero, 2014. [En Línea]. Disponible en: <http://lupita27.wordpress.com/mundo-funcional-y-variacional/pendulo/>
- [9] K. Ramírez, “Características del Kit de Lego Mindstorms NXT 2.0”, S.f. Mayo, 2013 [En Línea]. Disponible en: http://www.kramirez.net/Robotica/Material/Presentaciones/LEGOMindstorms_NXT20.pdf
- [10] “NXT Acceleration / Tilt Sensor”, febrero, 2014. [En Línea]. Disponible en: <http://www.hitechnic.com/cgibin/commerce.cgi?preadd=action&key=NAC1040>
- [11] “NXT Gyro Sensor”, febrero, 2014. [En Línea]. Disponible en: <http://www.hitechnic.com/cgibin/commerce.cgi?preadd=action&key=NGY1044>
- [12] I. María, L. Pinto, G. Rodrigo, and B. Bohórquez, “Determinación de los Parámetros para el Servomotor NXT LEGO Mindstoms ® con Técnicas de Identificación de Sistemas”, 2007.
- [13] P.F. Muir and C.P. Neuman , “Kinematic modeling of wheeled mobile robots, Robotics Institute Technical Report No. CMU-RI-TR-86-12” Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1986.