ANÁLISIS DE RESPUESTA DE UN ROBOT BASADO EN VEHÍCULOS BRAITENBERG ANTE UN ESTÍMULO VARIABLE

RESPONSE ANALYSIS OF A BRAITENBERG VEHICLE-BASED ROBOT TO A VARIABLE STIMULUS

Murcia Juan Camilo * Infante Moreno Wilson**

RESUMEN: la finalidad de este artículo es exponer los datos y análisis que se obtuvieron tras una serie de pruebas realizadas a un prototipo con características de los vehículos de Valentino Braitenberg construido con LEGO y expuesto a un estímulo variable (luz) dentro de un entorno delimitado, detallando lo que sería la estructura del robot, el ambiente de pruebas, el algoritmo de control y la explicación de los comportamientos o patrones observados en cada una de las pruebas**.**

Lo anterior con la intención de observar cómo comportamientos básicos de acción y reacción pueden evolucionar a comportamientos de diferente grado de respuesta con tan solo dar variación al estímulo que los provocaba inicialmente.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento básico, Estimulo, Evolución robótica, Irritabilidad, Vehículos de Braitenberg

ABSTRACT: The purpose of this article is to present the data and analysis obtained after a series of tests performed on a prototype with characteristics of Valentino Braitenberg's vehicles built with LEGO and exposed to a variable stimulus (light) within a delimited environment, detailing what would be the structure of the robot, the test environment, the control algorithm and the explanation of the behaviors or patterns observed in each of the tests.

The above with the intention of observing how basic behaviors of action and reaction can evolve to behaviors of different degree of response just by varying the stimulus that initially provoked them.

KEY WORDS: Basic behavior, Stimulus, Robotic evolution, Irritability, Braitenberg vehicles

1.Introduccion:

El Concepto de Irritabilidad: Los seres vivos tienen la capacidad de responder a una variedad de estímulos tanto del medio exterior como del medio interno. Esta capacidad de respuesta se denomina irritabilidad, porque es diferente a otro tipo de respuestas que se observan en la naturaleza. Por ejemplo, existen muchas respuestas también en la materia inerte, como la respuesta de un metal frente a un ácido o la respuesta de un resorte al ser tensionado. Pero las respuestas de los seres vivos, a diferencia de los ejemplos anteriores, son de tipo adaptativas, es decir, tienen un valor desde el punto de vista de la sobrevivencia o de la

integridad del organismo, mientras que las respuestas como las del metal o el resorte que acabamos de describir, no se relacionan con ningún valor o principio superior, son siempre iguales porque simplemente ocurren siguiendo leyes de tipo físico-químico. El metal frente a un ácido se corroe, y el resorte frente a la tensión se estira, pero detrás de eso no hay ningún propósito, la respuesta se agota en sí misma, termina ahí. [1]

El estudio del comportamiento autónomo robótico ha sido tema de investigación constante en las diferentes áreas de la ingeniería, pues este desarrolla cierto nivel de independencia al realizar algunas acciones, así, se puede relacionar esta característica robótica con la inteligencia artificial de un prototipo. [2] La definición de autonomía robótica ha sido desarrollada por muchas personas, entre ellas, Valentino Braitenberg, pues en los primeros modelos de sus vehículos se obtenía respuesta a los términos de acción y reacción de un prototipo robótico [3].

Dicho modelamiento de autonomía propuesto por Braitenberg hace referencia a cualquier modelo simple de conexión entre sensor y actuador con la capacidad de demostrar una emoción principalmente [4], por ejemplo, si un vehículo se siente atraído a una luz se refleja el sentimiento de atracción, esto conlleva a obtener ciertos modelos que en este caso, por medio de cambios de intensidad lumínica desarrollan determinados comportamientos, con la característica en respuesta incremental, pues, a medida que el dispositivo encuentre cambios de intensidad lumínica, la respuesta se verá afectada, es decir, si hay más intensidad habrá más velocidad en los actuadores, y, por el contrario, al encontrar menos intensidad, también disminuirá la velocidad de dichos actuadores.

Lo que se busca con el desarrollo de este proyecto es analizar los comportamientos que adopta un robot basado en el modelo de los vehículos de Braitenberg, según los estímulos de una magnitud (LUZ) variable presente en el ambiente. Para la implementación se diseñó una

plataforma diferencial por medio de lego mindstorms NXT y se programó por el software libre NXT 2.1 Programming [5] para realizar pruebas en un entorno que varía gracias a tres fuentes de luz dentro de un espacio delimitado por un cuadrado de 117 cm^2

2. Desarrollo del proyecto

2.1 Vehículo

En el desarrollo de estas pruebas era necesario construir un vehículo en la plataforma LEGO Mindstorms que cumpliera con características de los vehículos de Braitenberg. Para lograr esto, el prototipo final consta de una estructura con características similares a la de una plataforma diferencial con dos sensores de luz dirigidos hacia arriba encargados de medir la intensidad del estímulo (luz) y dos más dirigidos hacia el suelo con el objetivo de mantener el desarrollo de las pruebas dentro de un área delimitada en el suelo.

Los elementos del lado derecho (2 sensores, 1 actuador) se encuentran a una distancia de 12 cm de los elementos del lado izquierdo (misma cantidad de elementos), espacio que es ocupado por el bloque de programación NXT el cual es alimentado por una batería de 7.4 V a 2200 mA con una pantalla y botones que permiten la selección de los programas cargados al equipo por medio de cable USB, siendo esta parte del prototipo en la cual estarán conectados los periféricos. Obsérvese figura 1.

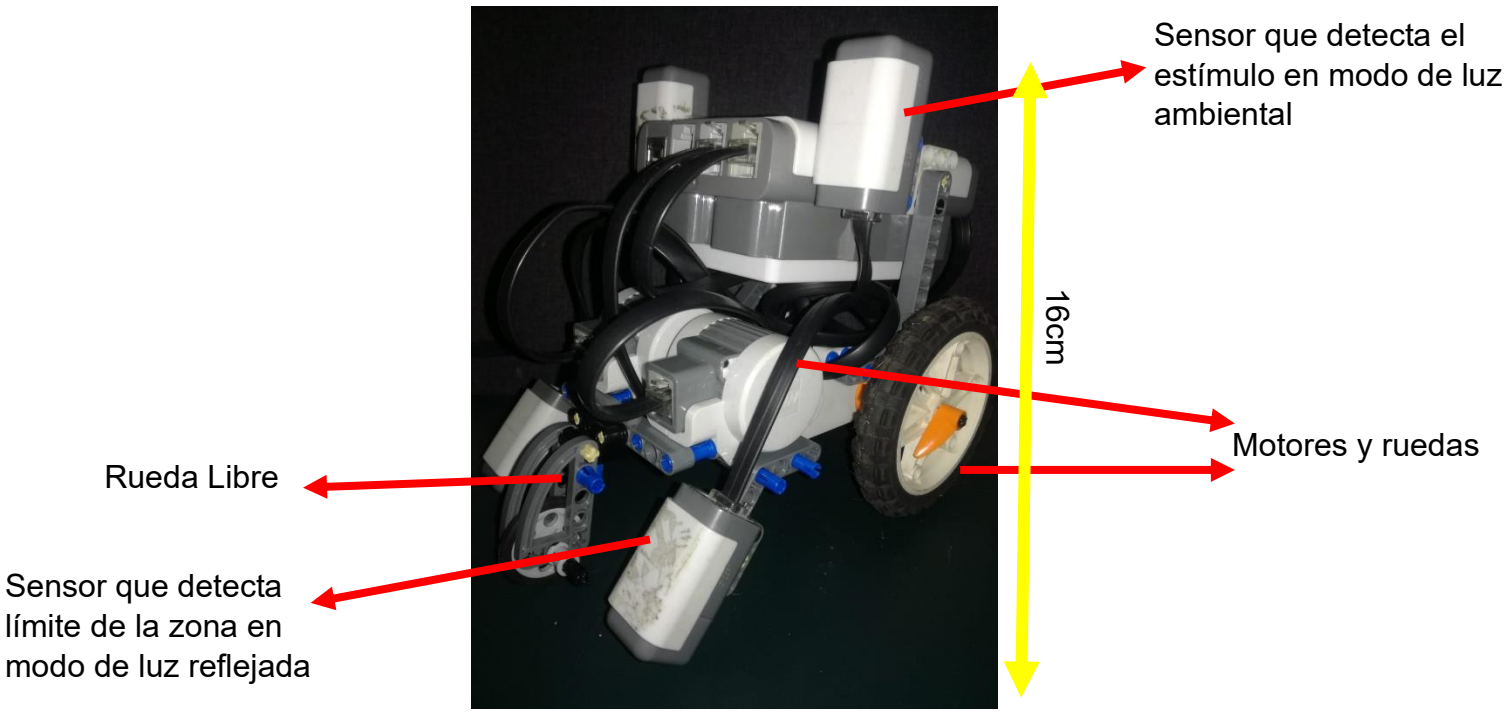


Figura 1. Prototipo final del vehículo

2.2 Entorno

El entorno en el que se desarrollan las pruebas está demarcado por una barrera cuadrada de 1 cm de grosor hecha en cinta aislante negra, con dimensiones de 117 cm^2 y apoyada sobre una superficie cuadriculada lisa elaborada en baldosa con combinación de colores claros y a nivel con la horizontal, rodeado con tres trípodes cada uno con la capacidad de modificar su posición a conveniencia (ver figura 2) y con la potencia lumínica suficiente para iluminar el espacio de la prueba

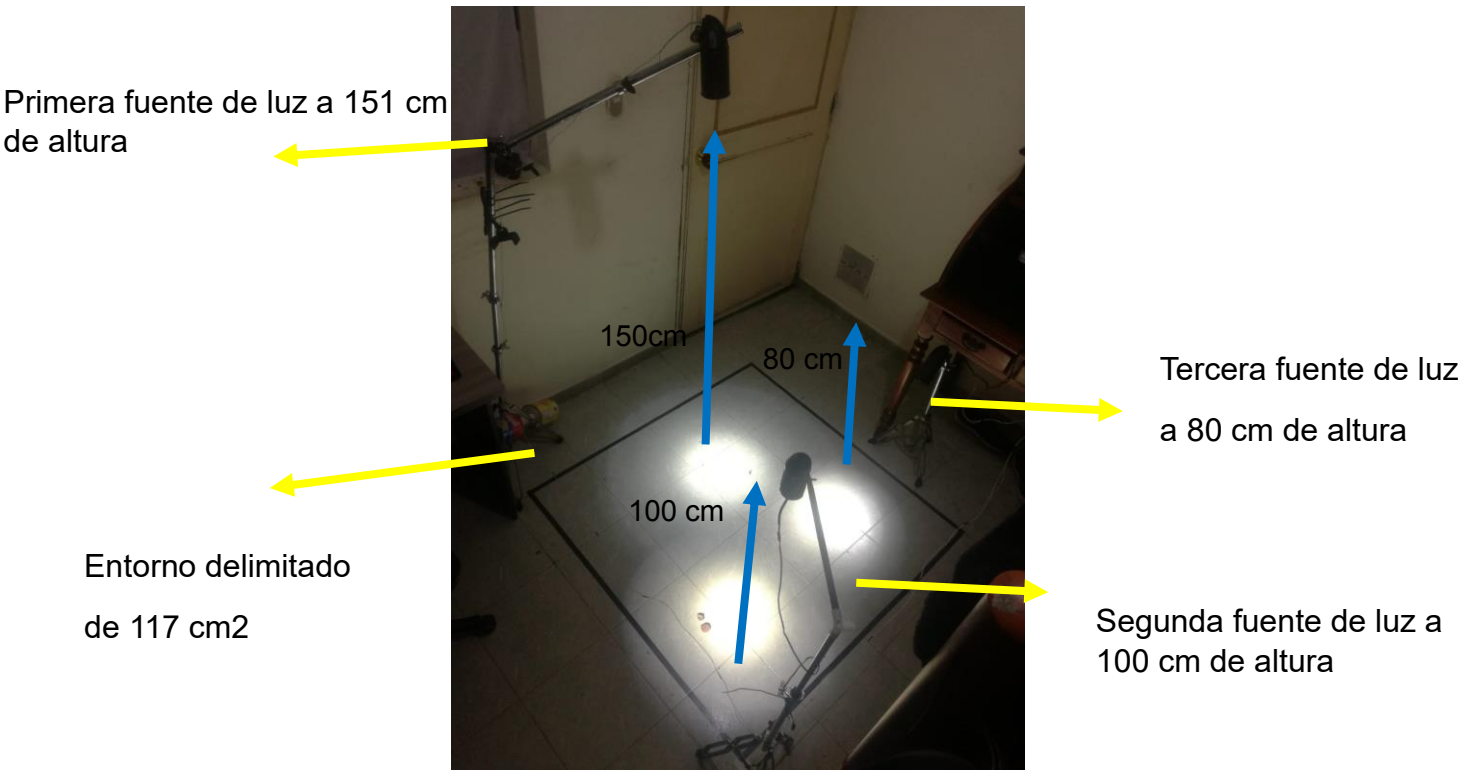
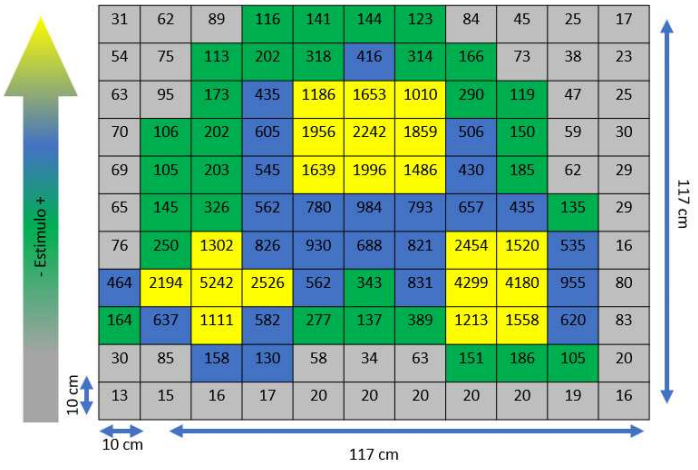


Figura 2. Entorno completo

En la figura 4 se puede observar un mapeo de la zona de pruebas con los diferentes niveles de estímulo que se detectan en segmentos más pequeños, dando como resultado que en las zonas donde interactúan dos o tres fuentes de luz los valores sean mayores comparados con zonas en donde solo incide una de las fuentes.



31	62	89	116	141	144	123	84	45	25	17
54	75	113	202	318	416	314	166	73	38	23
63	95	173	435	1186	1653	1010	290	119	47	25
70	106	202	605	1956	2242	1859	506	150	59	30
69	105	203	545	1639	1996	1486	430	185	62	29
65	145	326	562	780	984	793	657	435	135	29
76	250	1302	826	930	688	821	2454	1520	535	16
464	2194	5242	2526	562	343	831	4299	4180	955	80
164	637	1111	582	277	137	389	1213	1558	620	83
30	85	158	130	58	34	63	151	186	105	20
13	15	16	17	20	20	20	20	20	19	16

Figura 3. Mapeo de la zona de pruebas

Este mapeo (Figura 4) dará una mejor idea en la sección de pruebas sobre la reacción de los actuadores ante el estímulo, así, para cuando la respuesta a los actuadores sea directa aumentará la velocidad a medida que aumente el número en la cuadricula o el rango de color y para respuestas inversas en los actuadores veremos que la velocidad disminuirá a medida que aumente el número en la cuadricula.

2.2.1 Fuentes de luz

Las fuentes de luz que se van a describir a continuación emiten luz blanca led o fría.

Las tres fuentes de luz consisten en luces tipo exploradoras de motocicleta con una potencia de 10W y una intensidad lumínica de 3000 lúmenes alimentadas con una fuente de 12V a 3ª (ver figura 4).



Figura 4. fuentes de luz

Para medir la intensidad lumínica de cada fuente de la misma manera se utilizó el sensor BH1750 (ver figura 5). Teniendo en cuenta que este da una medida en lux aplicamos la definición que nos dice que:

$$1\ lux = 1 lumen/m^2 \qquad (1)$$

Por ende, al ubicar el sensor a un metro de distancia de la fuente de luz obtendremos una medida en lux que será equivalente a los lúmenes/ m^2.



Figura 5. Sensor BH1750

Se opta por utilizar este sensor en primera medida por su bajo costo en comparación con un luxómetro profesional y segundo, porque al utilizar las aplicaciones disponibles para Android se evidencia como en diferentes dispositivos (figura 6) la misma aplicación arroja resultados muy diferentes.

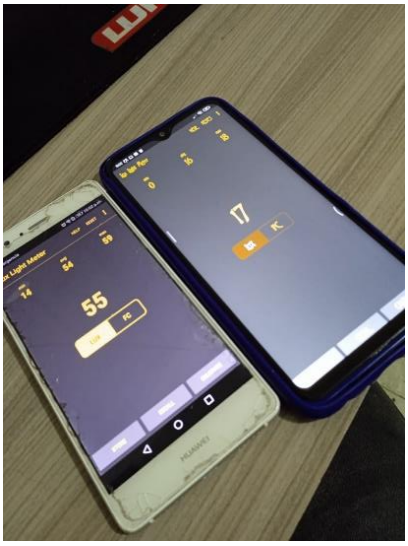


Figura 6. prueba de app en diferentes dispositivos

Incluso en teléfonos exactamente iguales también se ven estas grandes diferencias en la medición cómo podemos ver en la figura 7 en la que se realizó la prueba en luz natural y en dos teléfonos de la marca Xiaomi modelos redmi 9C esto debido a que la gran mayoría de estas apps utilizan como instrumento de medida el sensor de luz que traen por defecto todos los teléfonos inteligentes actuales.



Figura 7. prueba app en dispositivos iguales

solo una muy pequeña parte de estas aplicaciones utiliza la propia cámara como sensor arrojando datos más exactos como podemos ver en la figura 8 en donde el dato del teléfono es muy similar al dato leído por el sensor BH1750 a tan solo 2 cm de diferencia entre sí y considerando que los fabricantes de teléfonos buscan dar lo mejor de estos dispositivos es acertado decir que el sensor BH1750 es confiable a la hora de realizar este tipo de mediciones.

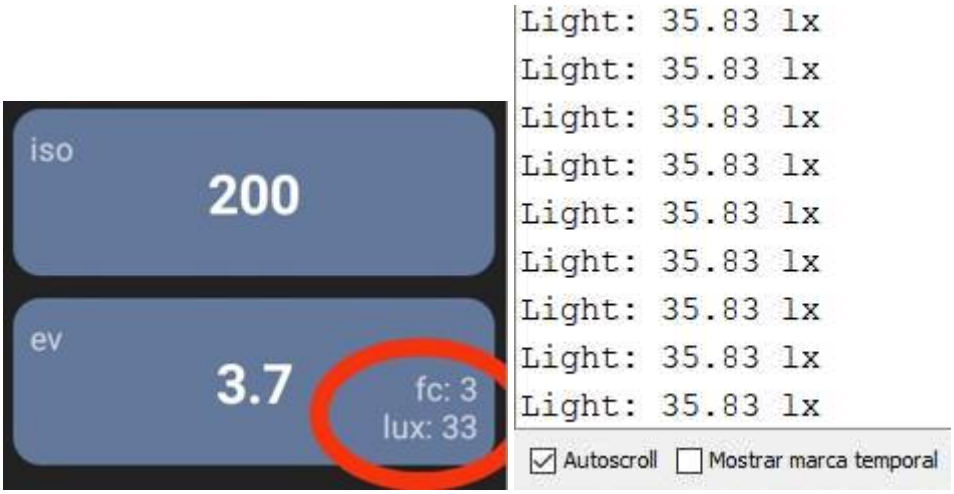


Figura 8. Medicion de telefono y sensor BH1750

2.2.2 Zonas de baja luminosidad

Estas constan de dos zonas de forma desorganizada en las que la incidencia de luz por parte de las fuentes es muy baja y su rango de luminosidad varía entre los 13 y 90 lúmenes. Dichas zonas son representadas en la figura 9

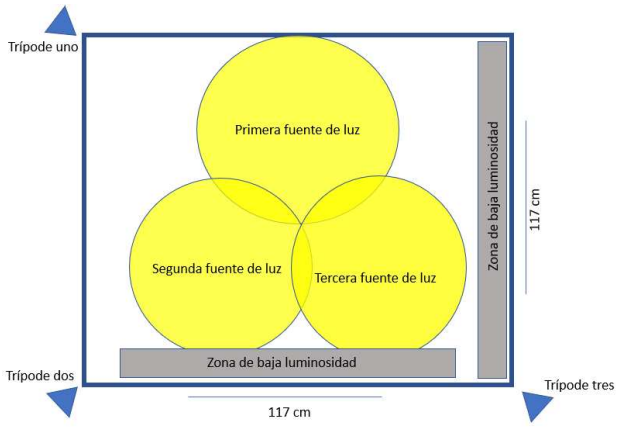


Figura 9. Disposición del entorno base

2.2.3 Primera fuente de luz

Esta primera fuente de luz fue dividida en tres zonas reconocibles a simple vista como se ve en la figura 10 y a una altura de 151 cm del suelo.

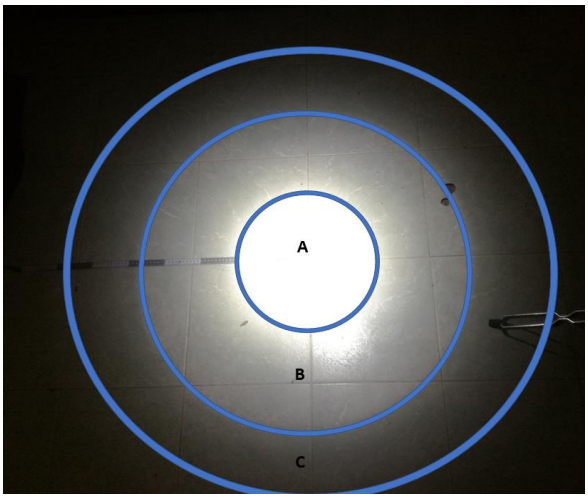


Figura 10. Niveles de intensidad de la primera fuente de luz

2.2.3.1 Zona A

La zona A o zona interna es la que tiene una mayor intensidad de luminosidad definida por un círculo con un área de 1134 cm² y un rango de 2870 – 754,17 lux. Como se puede observar en la figura 11

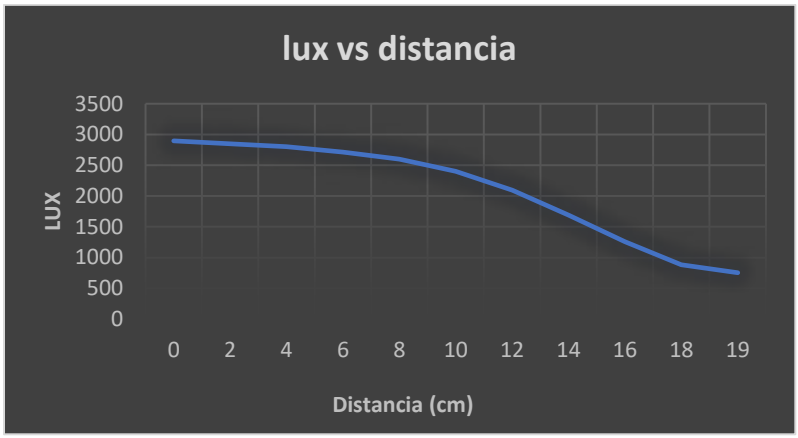


Figura 11. Gráfica de los valores obtenidos

2.2.3.2 Zona B

La zona B o zona media está definida por una corona circular de aproximadamente 5227 cm² con intensidades que van desde los 642,5 – 50,83 lux. Obsérvese figura 12.

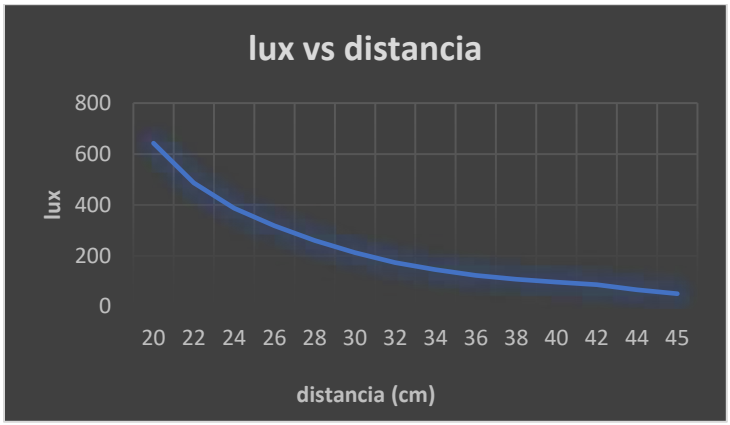


Figura 12. Gráfica de las mediciones

2.2.3.3 Zona C

La zona C o zona externa presenta los valores más bajos de luminosidad que van desde los 45 – 7,5 lux variando en una corona circular de aproximadamente 9475 cm². Obsérvese figura 13.

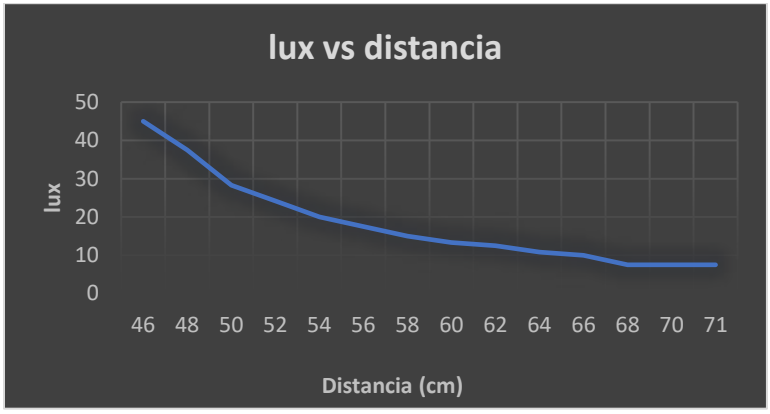


Figura 13. Gráfica de las mediciones

En el análisis de las gráficas y las tablas de las tres zonas podemos ver como las formas de la zona A y B son descendentes y sin ningún tipo de escalón, es solo a partir del centímetro 15 de la zona C donde comenzamos a ver pequeños escalones que se repiten cada cierta cantidad de centímetros dando a entender que esta fuente de luz también tiene zonas que no son visibles a simple vista en donde el valor de luminosidad es el mismo.

2.2.4 Segunda y tercera fuente de luz

Estas fuentes de luz también tienen zonas reconocibles a simple vista (ver figura 14 y 16), se encuentran ubicadas a una altura de 100 cm para la segunda fuente y 80 cm para la tercera, generando zonas circulares con áreas de 6647 cm^2 y 4536 cm^2 respectivamente diferenciándose de la primera fuente en que no encontramos zonas no visibles.

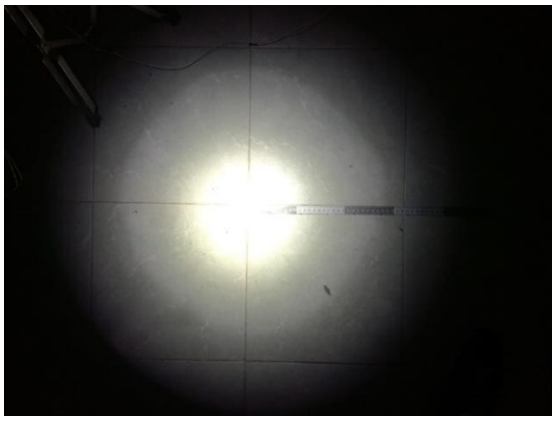


Figura 14. Circunferencia formada por la segunda fuente de luz

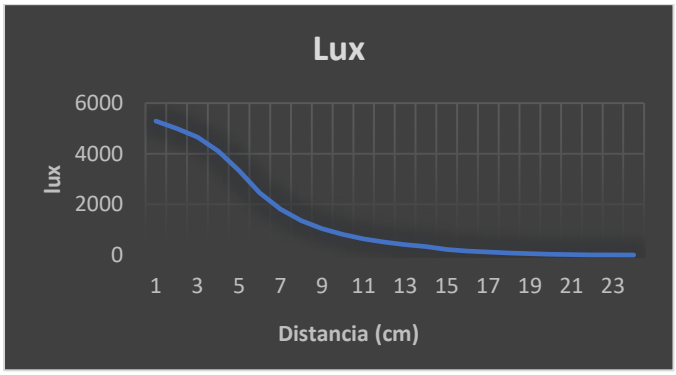


Figura 15. Gráfica de las mediciones

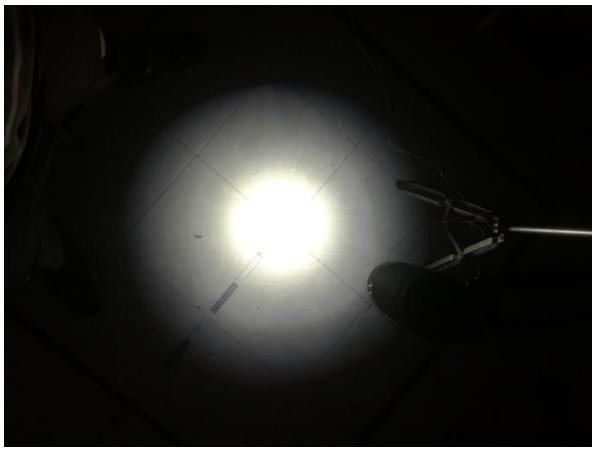


Figura 16. Circunferencia formada por la tercera fuente de luz

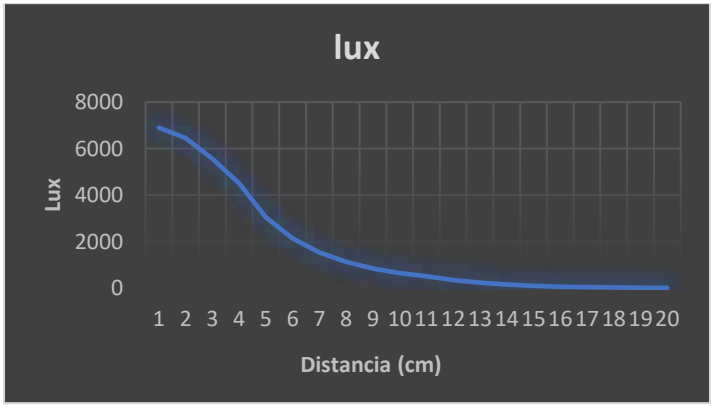


Figura 17. Gráfica de las mediciones

Como podemos observar en las gráficas (ver figuras 15 y 17) no existen zonas no visibles por lo que mientras el vehículo se encuentre en estas dos zonas tendrá variaciones positivas o negativas a lo largo de toda la circunferencia.

2.3 Algoritmo de control

Se elaboraron 6 algoritmos de control considerando los modelos de conexión que se emplearán en las pruebas y que tendrán como objetivo permitir al vehículo cumplir con la tarea de desplazarse por el entorno y responder ante el estímulo presente en toda el área de pruebas, incluso variando la posición o el número de fuentes que se utilicen.

El diagrama que observamos en la figura 18 muestra los aspectos generales por los que deberá pasar el vehículo en el desarrollo de cada una de las pruebas según los modelos de conexión:

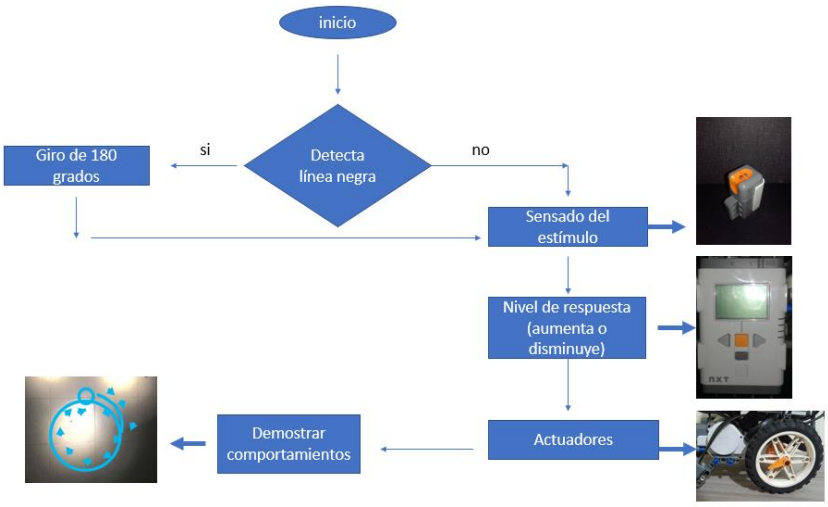


Figura 18. diagrama base del comportamiento del robot

Inicio: Las pruebas inician con un nivel de respuesta acorde al modelo de conexión

Detecta línea negra: esta decisión determina si el vehículo se encuentra dentro o fuero de la zona. Se encuentra dentro de todas pruebas y al realizarse la acción retoma el desarrollo de la actividad inicial.

Censado del estímulo: únicamente para las pruebas 1 y 2 se asocia al sensor A. Para las demás serán los sensores A y B que leerán el estímulo a medida que el vehículo recorre el entorno.

Nivel de respuesta: es aquí donde el valor de los sensores, que siempre estará entre 0 y 100%, es adecuado a lo requerido por el modelo de conexión y a la velocidad que se consideró necesaria para el desarrollo de todas las pruebas.

Actuadores: los actuadores se encontrarán siempre en el mismo sentido de giro (sin considerar los movimientos para volver al entorno) y solo tendrán dos tipos de variaciones, las de velocidad recibidas desde el bloque anterior y las generadas de forma aleatoria por la diferencia entre actuadores.

Demostrar comportamientos: En un primer inicio no es conocida la forma en la que realmente actuará el vehículo en cada una de las pruebas y se vuelve tarea del observador (en este caso el desarrollador del proyecto) dar forma y entendimiento a lo que se verá.

A nivel físico el vehículo cumple con tener los elementos necesarios para realizar combinaciones entre sensores y actuadores como lo indican los modelos de Braitenberg, pero la forma en que realizaremos dichas combinaciones no se apega apropiadamente al modelo original de los vehículos, puesto que este nos dice que las conexiones serán físicas y directas entre los elementos, sin la intervención de dispositivos adicionales. Dicho esto, y considerando la plataforma en la que se elaboró el prototipo, las combinaciones y conexiones se realizaran mediante programaciones simples en las que se denote únicamente las variaciones sobre un motor con respecto a la medida del sensor en cuestión, además de unos pequeños ajustes en los máximos y mínimos de velocidad, iguales para ambos motores; esto considerando las limitaciones del espacio en el que se realizaron las pruebas y mantener el prototipo en velocidades que permitan identificar patrones de comportamiento.

Limitación de velocidad

Como se mencionó anteriormente, se emplea una serie de bloques en los que indicaremos niveles máximos y mínimos de velocidad para facilitar la interacción del vehículo con el entorno y la visualización de los comportamientos que serían expresados y divididos de la siguiente manera.

Respuesta directa en actuadores

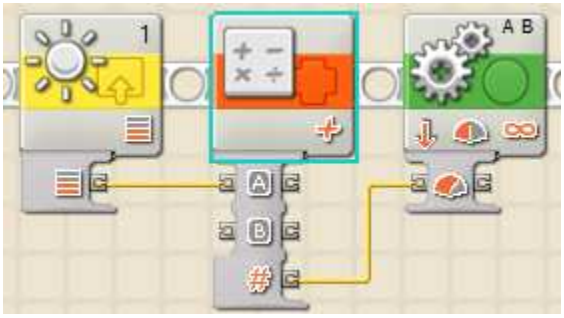


Figura 19. Ajuste de velocidad en pruebas 1,3 y 4

El propósito del bloque de suma de la figura 19 es sencillamente dar un valor de potencia inicial al vehículo en zonas donde los valores medidos por los sensores son menores al 15% de luminosidad, pues es a partir de este en donde el vehículo es capaz de moverse.

No se limita la velocidad máxima porque para el momento en el que el vehículo alcanza su máxima velocidad ya estará próximo a zonas de baja luminosidad reduciendo su velocidad y permitiendo la detección de la línea negra delimitadora.

Respuesta inversa en actuadores

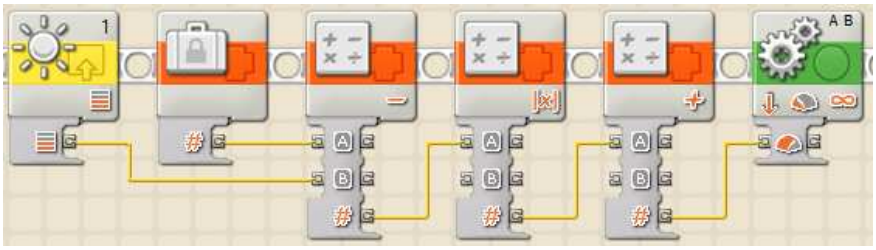


Figura 20. Ajuste de velocidad en pruebas 2,5 y 6

En el caso de las respuestas inversas es un poco más compleja la conexión pues podemos observar en la figura 20 como primer elemento un bloque de variable en el que se almacena la velocidad máxima a la que podrá llegar el prototipo, bloque que no se utiliza en las respuestas directas porque aquí el vehículo llegaría a velocidades muy altas en los bordes dando como resultado que el mismo salga de la zona delimitada. Al incluir este dato

reducimos las veces en las que esto sucede y no afectamos la apreciación de los comportamientos.

Seguimos con un bloque en el que se resta el valor leído por el sensor al valor de la variable, seguido de un valor absoluto para evitar los valores negativos puesto que los actuadores solo responden a valores positivos y finalmente, un bloque de suma que compensa la velocidad para las zonas más oscuras del entorno.

Retorno a zona de pruebas

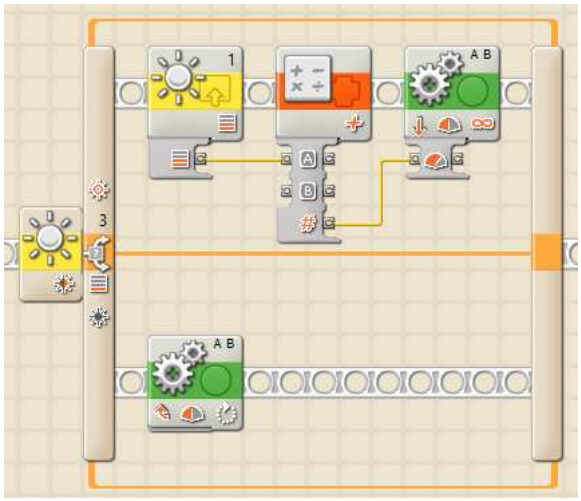


Figura 21. condicional de giro 180

Esta sección del código está compuesta sencillamente de un bloque condicional (figura 21) controlado por el estado de los sensores de luz 3 y 4 que están en dirección al suelo en el modo de luz reflejada y que al momento de detectar la línea negra provoca un giro de 180 grados de alta velocidad para después continuar con la ejecución del programa

Finalmente, después de pasar por estas secciones (ajuste de velocidad y retorno a zona de pruebas) el dato final es transferido a los actuadores que terminarán demostrando actitudes o comportamientos que serán reconocibles.

Adicional a los segmentos de código mencionados (censado del estímulo y control de velocidad) se incorpora una sección de código encargada de los sensores dirigidos hacia el suelo que deberán mantener al vehículo dentro de la zona indicada pero los movimientos que provoquen para cumplir su tarea no serán considerados en el análisis de comportamiento. Todos los programas implementados en estas pruebas fueron elaborados y cargados al prototipo por medio de la aplicación LEGO MINDSTOMRS NXT en su versión 2.0.

2.4 Sensores y actuadores

La relación que existe entre los sensores y los actuadores viene dada por el tipo de dato que entrega el sensor y el tipo de dato que recibe el actuador que para ambos se encuentra en un rango de 0 a 100 utilizando los sensores en modo de luz ambiental y los actuadores (motores) en rotación permanente mientras exista un nivel de estímulo que genere la respuesta, denotando como excepción el momento en el que se detecte la franja perimetral en cuyo caso el actuador estará en modo de grados y rotara 180° y continuará en el modo anterior.

A pesar de que la relación directa entre la luminosidad y el cambio de potencia son uno a uno, se requirió de ajustes en el valor que es entregado ya que los actuadores no generarán movimiento hasta después de recibir un dato mayor a 15 y el dato de 100 o cercano generará cambios de comportamiento muy agresivos que para el tamaño del entorno dificultan el análisis además de lecturas poco útiles para el caso de los sensores A y B.

3. Pruebas del prototipo

Las pruebas que se describirán a continuación responden a algunas de las posibles combinaciones que existen entre lo que llamaremos sensor A y B y Actuadores 1 y 2 además de las configuraciones descritas por Braitenberg para los vehículos I, II, III y un breve acercamiento al número IV, con los que se planean recopilar datos que permitan determinar cuáles de estas mezclas pueden describir comportamientos reconocibles para un observador externo o comprobar los ya descritos por Braitenberg en su libro (Vehicles, Experiments in Synthetic Psychology) [4] .

La tarea a cumplir por el vehículo en cada una de las pruebas será de tipo no finita, es decir, la prueba culminará en el momento en que el desarrollador detenga la operación del vehículo y consistirá únicamente en recorrer su entorno, reaccionar en medida de lo que indique el algoritmo a cada uno lo niveles de estímulo que detecte durante el recorrido y evitar salir tanto como sea posible del entorno de pruebas.

3.1 Prueba 1

sensor A --> misma acción para ambos actuadores, al aumentar el estímulo aumenta la respuesta y viceversa

número de veces que se realizó la prueba: 10

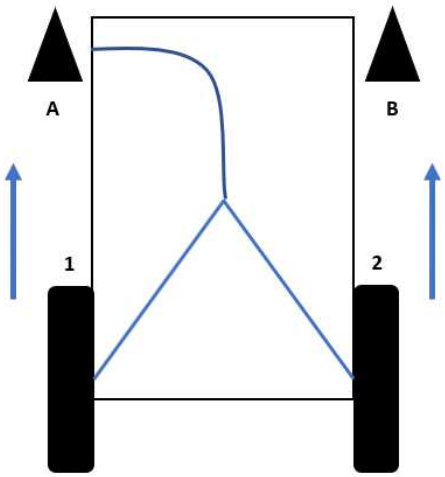


Figura 22. modelo de la conexión para la prueba 1

Aquí podemos observar como en las múltiples veces que se desarrolló la prueba, la reacción del vehículo consistió en aumentar su respuesta a medida que aumentaba el estímulo medido por el sensor (A) intentando describir una trayectoria recta que era afectada por las diferencias físicas entre ambos actuadores, obteniendo lo que podría entenderse como un comportamiento de agresividad permanente y alerta en donde el nivel de respuesta aumentará a medida que el vehículo se acerque al estímulo y se reducirá mientras más se aleje del mismo pero siempre alerta a los demás focos de luz. Descripción de los comportamientos en la figura 23.

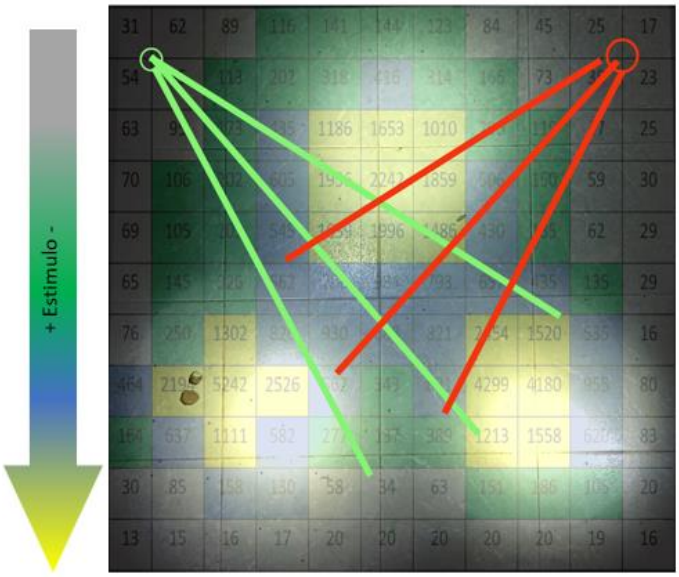


Figura 23. generalización de las trayectorias de la prueba 1

Este modelo de conexión tiene semejanza con el primer vehículo descrito por Braitenberg con la excepción de que aquí se tienen dos motores en lugar de uno, pero ambos dotados de la misma respuesta, por lo que podemos asemejar que los comportamientos serán los mismos incluyendo los cambios de la trayectoria lineal dada por irregularidades en el terreno y los motores.

3.2 Prueba 2

sensor A -> misma acción para ambos actuadores, al aumentar el estímulo disminuye el nivel de respuesta y viceversa.

número de veces que se realizó la prueba: 5

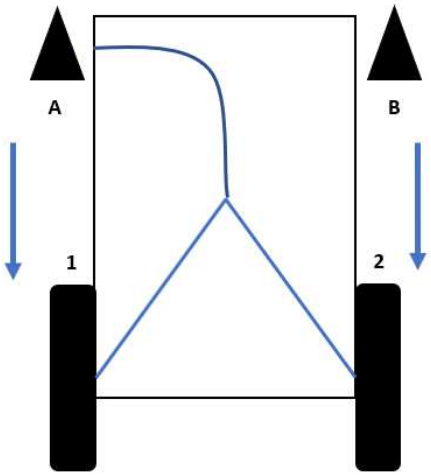


Figura 24. modelo de la conexión para la prueba 2

En esta prueba realizamos el primer acercamiento a los vehículos tipo III en donde diremos que un tipo III será cualquier conexión que tenga la respuesta contraria en los actuadores. Para el caso corresponderá a un menor nivel de respuesta ante un mayor estímulo tomando como punto inicial un nivel alto y reduciéndose a medida que se acerca al estímulo, pero aun conservando características de tipo I [6].

Aquí podemos observar un comportamiento de curiosidad ante los puntos de luz en donde el robot describe una trayectoria en la que reduce su velocidad a medida que se acerca al punto central y acelera al alejarse de él sin prestarle mayor interés y dirigiendo su atención al siguiente punto central en el que repetirá la acción de curiosear y después alejarse. Este comportamiento es observable en el recorrido de color morado que nos presenta la figura 25.

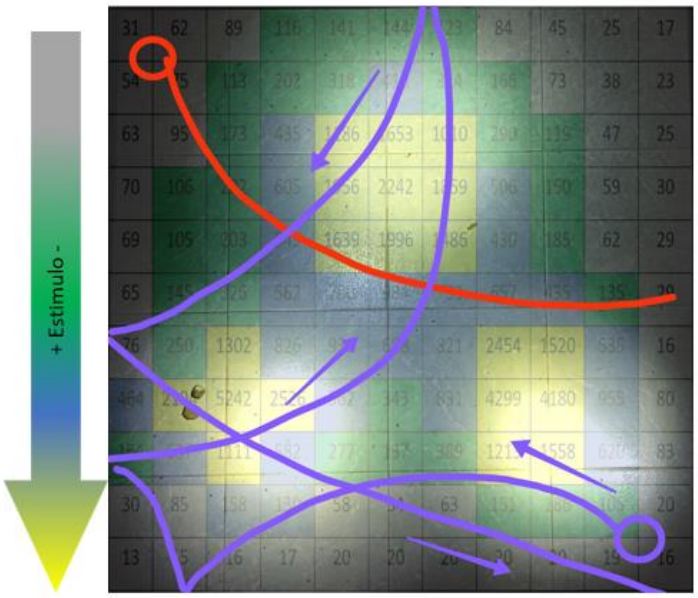


Figura 25. trayectorias más notables en la prueba 2

3.3 Prueba 3

Sensor A -> controla Actuador 1 y aumenta la respuesta al aumentar el estímulo

sensor B-> controla Actuador 2 y aumenta la respuesta al aumentar el estimulo

número de veces que se realizó la prueba: 7

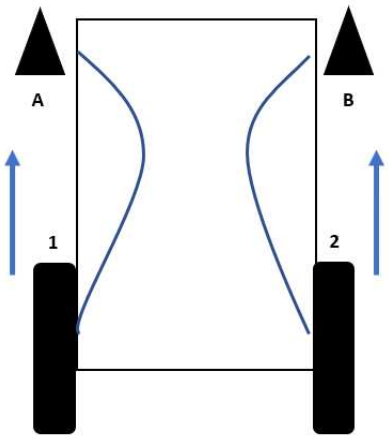


Figura 26. modelo de la conexión para la prueba 3

Para esta conexión entramos a lo que son los vehículos de tipo II con una conexión lateral directa la cual debería describir en el prototipo una acción de alejamiento ante la presencia del estímulo [6].

En esta prueba podemos observar como la posición inicial influye en los patrones de comportamiento que expresa el robot ya que dan la sensación de que son aleatorios, pero observando bien, el patrón que más se repite es aquel en el que el vehículo intenta alejarse del estímulo en la dirección contraria a la que lo percibe, esto es reflejado en las rutas amarillas y azules (ver figura 27). Observamos que en ambas se ven formas de corona alrededor de la tercera fuente de luz donde las puntas de la corona son el momento en el que el vehículo intenta salir de la zona para alejarse de la luz, pero se encuentra con la barrera que lo obliga a volver aumentando el nivel de luz e incitando nuevamente al robot a alejarse de ahí demostrando un comportamiento temeroso y de huida ante los focos de luz.

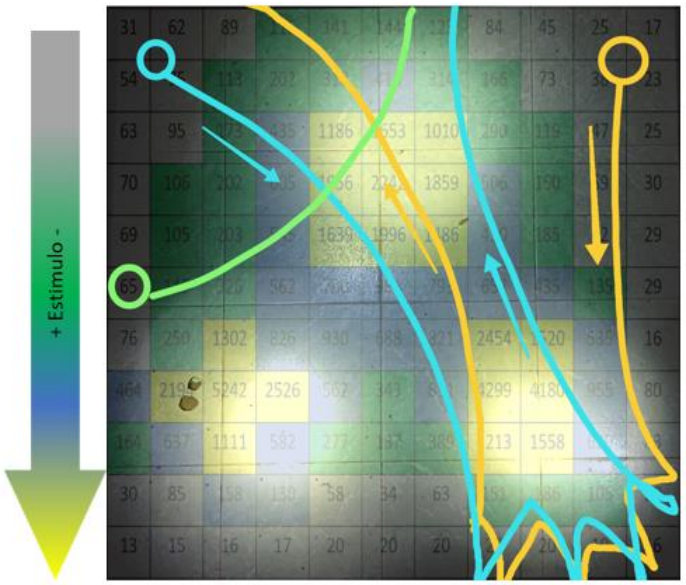


Figura 27. trayectorias más notables en la prueba 3

3.4 Prueba 4

Sensor A -> controla Actuador 2 y aumenta la respuesta al aumentar el estímulo

sensor B-> controla Actuador 1 y aumenta la respuesta al aumentar el estímulo

número de veces que se realizó la prueba: 6

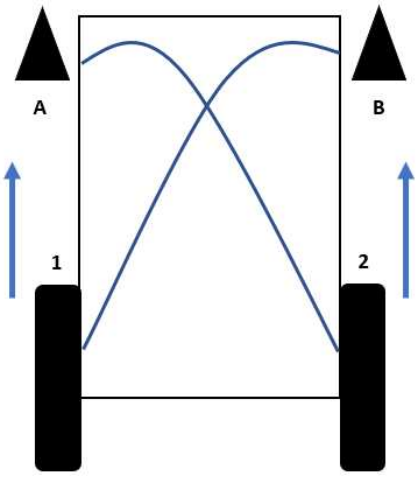


Figura 28. modelo de la conexión para la prueba 4

Continuando con los vehículos de tipo II este describe una conexión contralateral que según Braitenberg debería demostrar un comportamiento de acercamiento agresivo [5-6] pero aquí

podemos observar un comportamiento completamente contrario al visto en la prueba anterior pues el vehículo intentará avanzar hacia el estímulo en dirección del sensor que capte una mayor medida pero no de una forma agresiva sino más bien con un comportamiento cauteloso en el que se acercara rápidamente pero reducirá su velocidad justo antes de llegar al centro del estímulo, como si analizara el nivel de amenaza en lugar de solo atacar. Esto es observable en las rutas de la figura 29 en donde vemos como se describe un círculo alrededor de una fuente de luz y se desplaza hacia a otra para realizar la misma acción.

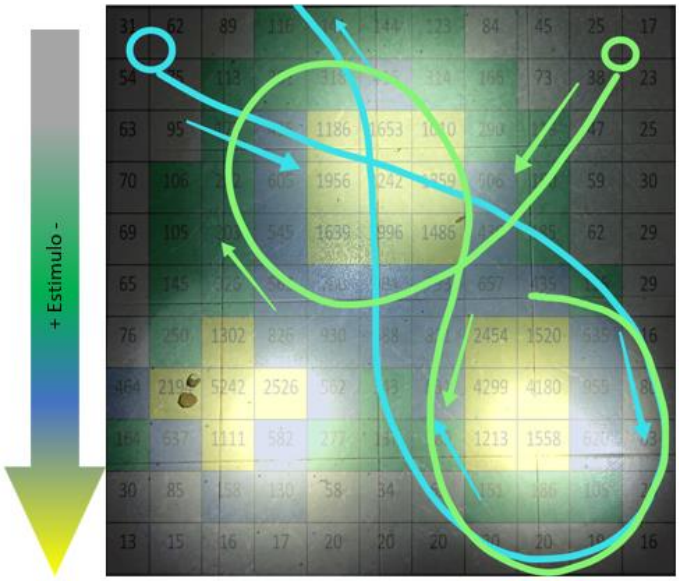


Figura 29. trayectorias más notables de la prueba 4

3.5 Prueba 5

Sensor A -> controla Actuador 2 y disminuye la respuesta al aumentar el estimulo

sensor B-> controla Actuador 1 y disminuye la respuesta al aumentar el estimulo

número de veces que se realizó la prueba: 2

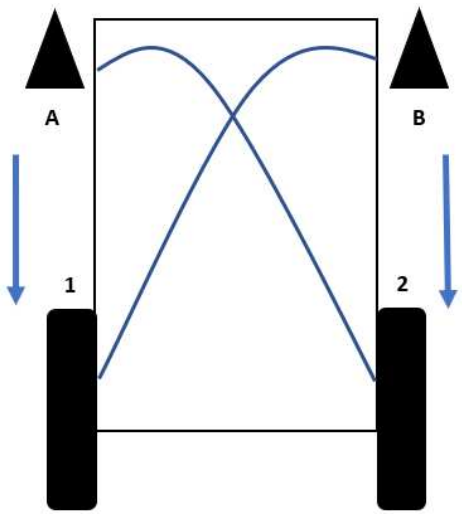


Figura 30. modelo de la conexión para la prueba 5

La prueba número cinco presenta una conexión contralateral del tipo II con una respuesta en los actuadores del tipo III pues involucra una acción contraria al estímulo detectado [6].

Esta configuración provoca que el robot se mueva de una forma confiada como si ya conociera su entorno o sintiéndose seguro dentro de las zonas luminosas mientras recorre lentamente los focos de luz. Al momento de abandonar las zonas luminosas realiza un cambio brusco en su aceleración que demuestra miedo, hasta el momento en el que vuelve a detectar el estímulo, movimiento descrito en la figura 31.

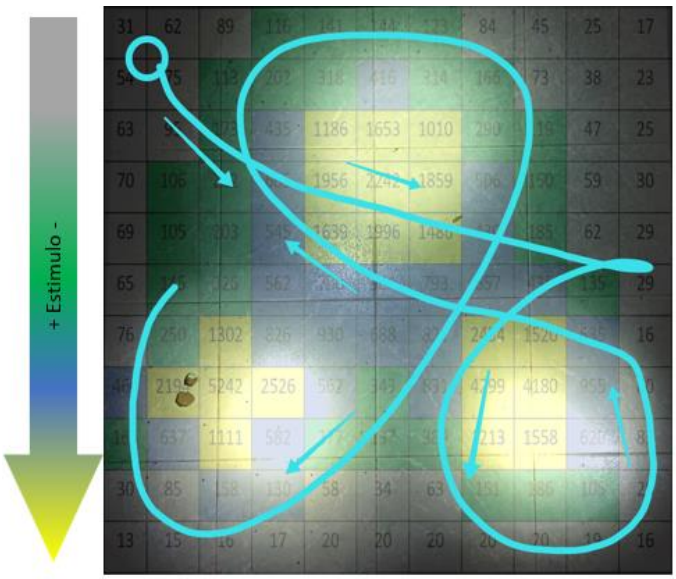


Figura 31. trayectoria mas notable de la prueba 5

3.6 Prueba 6

Sensor A -> controla Actuador 1 y disminuye la respuesta al aumentar el estímulo

sensor B-> controla Actuador 2 y disminuye la respuesta al aumentar el estímulo

número de veces que se realizó la prueba: 3

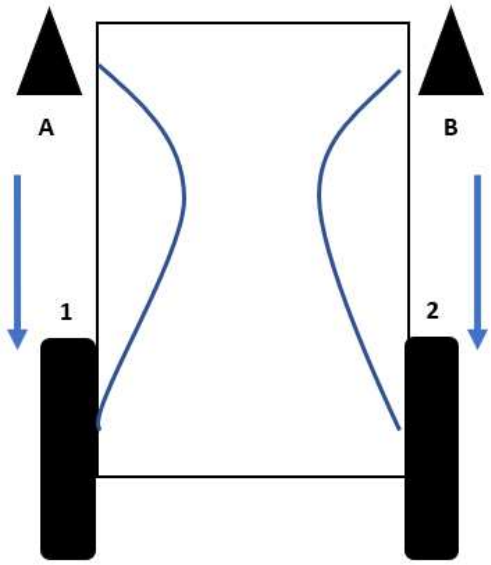


Figura 32. modelo de la conexión para la prueba 6

A pesar de que esta conexión es lateral de tipo II y su respuesta en actuadores de tipo III nos presenta un comportamiento de los vehículos tipo IV

Los tipos IV son vehículos cuyas características se basan en motivaciones y gustos. Como características de conexión pueden tener conexiones laterales directas o contralateral pero su principal diferencia está en la respuesta de los actuadores, en donde solo uno de estos tendrá características de tipo III dando como un posible resultado el movimiento circular ante un solo estímulo.

Lo que observamos en esta prueba es que de las tres posibles fuentes de luz el vehículo decide girar lentamente alrededor de la primera fuente y aun cuando la abandona no replica el comportamiento en las otras fuentes de luz demostrando así preferencia hacia uno solo de los estímulos. Movimiento descrito en la figura 33.

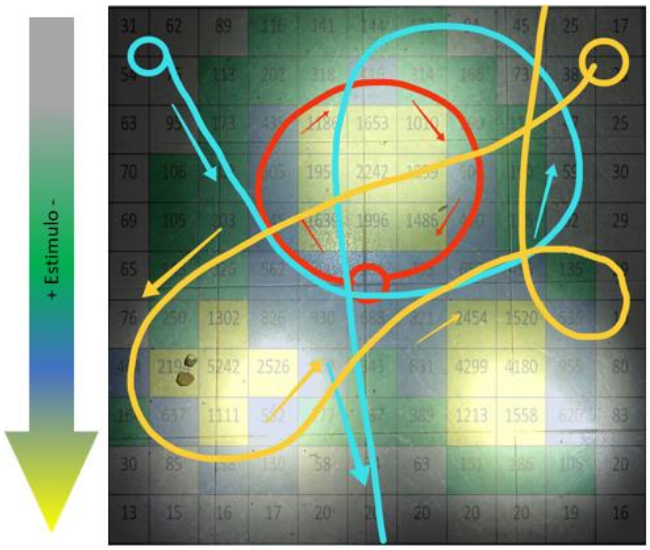


Figura 33. trayectoria más notable de la prueba 6

Al haber realizado todas las pruebas y observar una por una los comportamientos y actitudes demostradas, es posible observar la evolución en la interacción del robot con su entorno pues pasamos de movimientos agresivos e impulsivos característicos de un desconocimiento de lo que lo rodea, a una actitud selectiva en la que el vehículo decide en que parte de su entorno se encontrara más a gusto como para permanecer ahí.

Todas las pruebas mostradas hasta este punto fueron realizadas en el entorno base descrito al principio del documento. Adicionalmente, se realizaron pruebas en donde se alternaron las fuentes de luz una a una. Por último, se realizaron las pruebas nuevamente en un entorno donde dos de las fuentes de luz cambiaron de lugar, concretamente la fuente 1 y 3.

Descripción / prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
Fuente de luz 1	Repite patrón de comportamiento, se observan zonas muertas	No hay comportamiento aparente y la fuente actúa como punto muerto debido a la respuesta inversa	se repite el patrón de comportamiento, aunque menos evidente por el aumento de zonas muertas	mismo patrón de comportamiento claramente visible con algunas zonas muertas	comportamiento similar a fuente 1 prueba 2	comportamiento similar a fuente 1 prueba 2, con comportamientos erráticos y sin aparente patrón de comportamiento
Fuente 2	Solo repite el patrón de comportamiento cuando está directamente bajo la fuente	Poca interacción con el estímulo y la fuente se vuelve zona muerta	Repite patrón de comportamiento, en zonas sin iluminación velocidad mínima	Intenta imitar el patrón de comportamiento, pero a falta de fuentes no lo completa	Intenta imitar el patrón de comportamiento, pero a falta de fuentes no lo completa	Imita patrones de huida similares a la prueba base número 3
Fuente 3	Solo repite el patrón de comportamiento cuando está directamente bajo la fuente	Demuestra curiosidad ante la única fuente de luz presente	Repite patrón de comportamiento, en zonas sin iluminación velocidad mínima	Imita el comportamiento dentro del área de la luz, velocidad mínima fuera de la fuente	Imita el comportamiento de selección de la prueba base número 6	No repite patrón, comportamientos erráticos

Cambio de posición fuentes 1 y 3	mismo patrón de comportamiento	no repite patrón, movimientos lentos y mayor cantidad de puntos muertos	repite levemente el patrón con menor intensidad y saliendo constantemente del entorno	repite patrón de comportamiento, se genera zona muerta en posición de la fuente 2	repite levemente patrón de comportamiento, existencia de zonas muertas y reducción en la velocidad	repite patrones de comportamiento, pero no se aferra a una sola fuente de luz

Figura 34. tabla de pruebas

La apreciación de cada una de las pruebas se basa en comparar con la prueba del entorno base y ver si el comportamiento es replicado o si se ve el comportamiento de una prueba diferente. Todos estos datos son observables en la figura 34.

Las zonas muertas hacen referencia a los segmentos del entorno en donde la lectura del sensor es menor al 15% de luminosidad el cual es el estímulo mínimo que deben recibir los actuadores para generar movimiento, se evidencian principalmente en las pruebas de la fuente 1 y se debe a las secciones circulares más lejanas al foco de luz en donde los valores continuos que se observan son menores al 15%, esto es observable en la figura 10.

Pruebas en fuentes independientes

Para el caso de la fuente uno en la mayoría de las pruebas se ven similitudes a las pruebas del entorno base, esto debido a que es la fuente que proporciona mayor área de estímulo y por ende las zonas oscuras son pocas aun así aumenta la cantidad de zonas muertes en la que el vehículo se encuentra detenido.

Para las fuentes 2 y 3 las áreas de estímulo son más pequeñas en comparación a la fuente 1 debido a su cercanía con el suelo, aumentando el tamaño de las zonas en donde no hay incidencia por parte de las fuentes, volviendo la velocidad un factor importante en el desarrollo de las pruebas, ya que, se limita la velocidad del vehículo dependiendo el tipo de respuesta en los actuadores. Para las respuestas directas veremos la velocidad mínima del vehículo facilitando la desviación del mismo antes de llegar al estímulo, mientras que para respuestas inversas se traduce en respuestas erráticas a causa de su valor de velocidad inicial que terminan por sacar al prototipo del entorno.

También son abundantes las zonas muertas y para algunos casos se expresaron comportamientos de pruebas diferentes como los son la prueba 6 en fuente 2 y la prueba 5 en fuente 3.

Pruebas con fuentes intercambiadas

En este escenario se varia la posición entre las fuentes 1 y 3 como se observa en la figura 35.

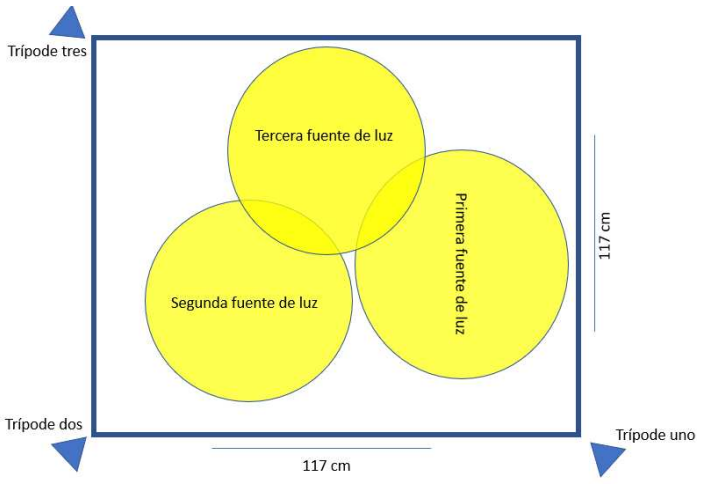


Figura 35. Diagrama del entorno rotado

Al realizar las pruebas en esta disposición se evidenciaron patrones leves en todas las pruebas a excepción de la prueba 2 esto indica que solo cambiando estas fuentes de lugar el entorno se rodea de valores diferentes a los vistos en el mapeo del entorno base.

4.Trabajo y consideraciones a futuro

-Para trabajos futuros en este tipo de análisis sería necesaria la disposición de un espacio fijo en el que los estímulos permanezcan estáticos de comienzo a fin con la intención de no generar cambios en las mediciones ni en los posibles comportamientos que podría expresar el prototipo en cuestión.

-Un siguiente paso en la exploración de estos comportamientos seria la utilización de un prototipo que se mueva en un entorno diferente, tal vez un vehículo aéreo el cual en un ambiente cerrado podría reducir los movimientos aleatorios que si generó el vehículo terrestre otorgando una visión diferente a los comportamientos**.**

-La implementación de los modelos de Braitenberg son más complejos pues este análisis solo llega a rosar las características de los vehículos de tipo IV y enfocándose en un análisis principalmente visual.

5. Conclusiones:

- Se elabora apropiadamente en la plataforma LEGO un vehículo con los sensores y actuadores necesarios para permitir la combinación entre ellos y representar las conexiones expresadas por valentino Braitenberg en sus primeros cuatro vehículos.

- La apreciación de los comportamientos expresados en cada una de las pruebas dependerá también del observador, pues para el caso de las pruebas 4, 5 y 6 el observador podría afirmar que ve reflejadas las mimas conductas y sería completamente valido.

- El entorno elaborado para la realización de estas pruebas ha brindado adecuadamente un estímulo al cual pueda responder el vehículo en cada una de las pruebas y dentro del área delimitada, adicionalmente la interacción entre las fuentes de luz generó puntos independientes como es el centro del área de pruebas.

- El comportamiento que demuestre el vehículo bajo el mismo programa puede cambiar solo con variar la posición inicial de la prueba, ya que, cambiará el nivel de estímulo leído por los sensores y por ende cambiará la respuesta de los actuadores, dando como resultado patrones de comportamiento diferentes a los de una primera prueba.

- Fue posible observar algunos de los comportamientos descritos por valentino en los primeros cuatro vehículos tras desarrollar múltiples veces las mismas pruebas.

- El algoritmo de control implementado en cada una de las pruebas junto a los ajustes de velocidad realizados permitió evidenciar comportamientos acordes a lo que fue el desplazamiento en el entorno, tarea que debía cumplir el vehículo.

- Las pruebas realizadas en el entorno base demostraron ser las más representativas en cuanto a control y comportamientos repetitivo, pues al utilizar las fuentes de forma independiente o variar la posición de algunas, las acciones se vuelven menos repetitivas, más erráticas y menos interpretables dificultando el desplazamiento del vehículo dentro del entorno.

Referencias

- [1] sn, “La irritabilidad, propiedad fundamental de los seres vivos”, sf. [en linea]. Disponible en: http://ftp.e-mineduc.cl/cursoscpeip/CsNat/1-3-basico/I/Unidad1/documentos/LA_IRRITABILIDAD.pdf
- [2] [1] M. I. Eva, “La autonom[6]ía en robótica y el uso de la fuerza”, *ieee.es,* documento de opinión, 2017
- [3] E.M.Ibañez, “La autonomia en robotica y el uso de la fuerza”, 2017.[en linea]. Disponible en: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2017/DIEEEO27-2017_Robotica_UsoFuerza_EvaMartinIbanez.pdf
- [4] V. Braitenberg “Vehicles, Experiments In Synthetic Psychology”, 1984
- [5] R. Widger, “NXT Guía Rápida”,6 de octubre del 2021 , disponible en: https://issuu.com/robotica/docs/nxt_gu_a_r_pida_v

- [6] sn, “Arquitectura de procesos distribuidos”, [en línea]. Disponible en: http://www.robolabo.etsit.upm.es/asignaturas/pp/apuntes/t-braitenberg.pdf

Anexos

- Carpeta de drive con los videos disponibles: https://drive.google.com/drive/folders/1V82NJxsr6GaxD7H7LL8rp18EJ24rG8ce?usp=sharing