|  |  |
| --- | --- |
|  | **niversidad**  **eyuanarlos** |

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**GRADO EN INGENIERIA INFORMATICA**

**Curso Académico 2017/2018**

**Trabajo Fin de Grado**

## **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA SIMULACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON DIRECCIONAMIENTO DIFERENCIAL**

### **Autor:** David Vacas Miguel

### **Director/Tutor:** Alberto Herrán González

Índice

[Índice 2](#_Toc514081262)

[Agradecimientos 3](#_Toc514081263)

[Resumen 4](#_Toc514081264)

[Capítulo 1 Introducción 5](#_Toc514081265)

[1. Motivación 5](#_Toc514081266)

[2. Objetivos 7](#_Toc514081267)

[3. Estado del arte 9](#_Toc514081269)

[4. Estructura de la memoria 9](#_Toc514081270)

[Capítulo 2 Robótica móvil 11](#_Toc514081271)

[1. Robótica móvil 11](#_Toc514081272)

[Vehículos con ruedas 11](#_Toc514081273)

[3. Modelo físico direccionamiento diferencial 14](#_Toc514081274)

[4. Navegación autónoma 18](#_Toc514081275)

[Capítulo 3 Entorno tecnológico 20](#_Toc514081276)

[1. OpenGL 20](#_Toc514081277)

[2. Etapa Geométrica 22](#_Toc514081278)

[Qt 28](#_Toc514081279)

[3. 28](#_Toc514081281)

[Metodología ágil 29](#_Toc514081308)

[4. 29](#_Toc514081309)

[Capítulo 4 Descripción de la aplicación 31](#_Toc514081310)

[Zona izquierda: Viewport 31](#_Toc514081311)

[1. 31](#_Toc514081312)

[Zona derecha: Campos de entrada de datos 31](#_Toc514081313)

[2. 31](#_Toc514081314)

[Casos de uso 35](#_Toc514081315)

[3. 35](#_Toc514081316)

[Conclusiones 39](#_Toc514081317)

[Bibliografía 40](#_Toc514081318)

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a la universidad por el conocimiento recibido y en especial a mi tutor, Alberto Herrán, por su ayuda y apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Resumen

En este TFG se ha desarrollado una aplicación con la que poder visualizar el funcionamiento de un robot móvil con direccionamiento diferencial cuando trata de seguir un recorrido marcado por una línea negra sobre un fondo blanco.

Para ello, se ha comenzado estudiando la mecánica de tal sistema a través de las ecuaciones que relacionan el giro de los motores con la posición y orientación del mismo. A continuación se ha analizado el entorno tecnológico que ha sido utilizado, habiéndose elegido Qt y OpenGL para la interacción y simulación. Posteriormente se ha realizado la implementación de la simulación y la interacción con el usuario final. Finalmente, se han implementado opciones para la mejora de la aplicación.

Capítulo 1 Introducción

1. Motivación

Este trabajo nace motivado por un intento de mejorar una de las herramientas que se utilizaban en la antigua asignatura “Robótica” de la titulación “Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas” impartida en el antiguo Centro de Estudios Superiores Felipe Segundo, que actualmente constituye el Campus de Aranjuez de la Universidad Rey Juan Carlos.

En esta asignatura los alumnos, en grupos, debían realizar robots de distintos tipos: sigue líneas, velocistas, etc. Al final del curso el profesor realizaba un circuito y se usaban los robots que se habían construido para ver cuál era el más rápido, creando así una competición de robots entre los alumnos. El tiempo en el que el robot realizaba el circuito venía dado por las medidas que los alumnos utilizasen a la hora de construir el mismo, por ejemplo, un robot con una separación de sensores mayor realiza menos giros pero de mayor amplitud sin embargo un robot con una separación menor realiza más giros pero de menor magnitud y esto junto con los demás parámetros influye en la velocidad para realizar el circuito.

El objetivo de este proyecto es desarrollar una aplicación que permita simular y visualizar la dinámica de este robot móvil con direccionamiento diferencial. La aplicación servirá de banco de pruebas con el que analizar el comportamiento del robot sigue líneas antes de su construcción real.

Como se ha mencionado antes, actualmente se dispone de un desarrollo previo en MATLAB-Simulink, en la figura 1 se puede observar el esquema de dicho desarrollo, el que se puede ver los diferentes componentes que se utilizan en la aplicación. La figura 2 muestra el programa en MATLAB-Simulink en ejecución.



**Figura 1.** Modelo del desarrollo hecho en MATLAB-Simulink.



**Figura 2.** Vista de la simulación desarrollada en MATLAB-Simulink.

Sin embargo este tiene varios inconvenientes:

a) Se debe tener instalado dicho software para su uso.

b) No se permite cambiar los parámetros del robot de una forma sencilla, estos parámetros se debían escribir en un vector cuya estructura debes conocer, como se puede ver en la figura 3.

c) No ofrece todas las funcionalidades requeridas.



**Figura 3.** Vector en el cual se deben poner los parámetros del robot.

Por ello, se ha desarrollado dicho software creando una aplicación (integrando las tecnologías C++, Qt y OpenGL) cuyo único requisito para su uso es el de tener instaladas en el sistema las librerías necesarias.

El destinatario de la aplicación son alumnos de una asignatura en la que se pretende que jueguen con el simulador antes de la construcción del robot real.

1. Objetivos

Una vez vistas las carencias de la aplicación que se tenía anteriormente, los objetivos que servirían para subsanarlas, además de otros objetivos adicionales serían los siguientes:

* **Eliminar la necesidad de tener software instalado:** con esta aplicación no sera necesario disponer de ningún software adicional instalado, más allá de las librerías necesarias para la aplicación, por lo que será más fácil su descarga y utilización inicial.

Por lo tanto, los requisitos que debe tener la aplicación son:

* Facilidad de cambiar los parámetros del robot.
* Visualización de la simulación del robot de forma correcta.
* Integración de la interfaz y de la simulación en la aplicación.
* Interfaz user-friendly, fácil de utilizar para todos.
* Diseño simple de la simulación para poder visualizar mejor los movimientos de tu robot.

1. Estado del arte

En cuanto a las herramientas que se pueden encontrar en el mercado para simular un robot de este tipo se pueden encontrar de dos tipos:

* Aplicaciones creadas por una persona las cuales muestran cómo realizarlas o dejan la aplicación en un repositorio público (pocas de estas realizan esto último). Estas aplicaciones suelen tener dos problemas: la dificultad para su descarga y utilización, que no están preparadas para su uso puesto que están en las IDE correspondientes y la interfaz no es fácil de usar, en caso de que haya interfaz y no se tenga que cambiar los parámetros por código.
* Aplicaciones creadas por empresas. En este caso muchas de estas aplicaciones tienen una carencia en la UI, no se puede cambiar de manera sencilla los parámetros del robot. Lo bueno que tenía la herramienta encontrada es que no solo servía para un tipo de robot, sino que incluía en la aplicación varios tipos de robots. Ejemplos de este tipo son: Hemero, una herramienta en Matlab-simulink para la enseñanza de la robotica. El problema que posee esta herramienta es la falta de parte grafica; RoboWorks, se trata de una aplicación de modelado, simulación y animación de sistemas físicos, sin embargo, se utiliza solo para robots manipuladores. RoboDK, sucede lo mismo que con la anterior, se trata de una aplicación para simular robots, sin embargo está basada en robots manipuladores.

1. Estructura de la memoria

A continuación de describe brevemente la estructura del resto del documento:

En el Capítulo 2, ***Robótica móvil***, se comienza explicando qué es un vehículo con ruedas y diferentes configuraciones del mismo. A continuación, se entra en detalle en el funcionamiento del direccionamiento diferencial. Finalmente, se le aplica una navegación autónoma a un vehículo con ruedas con direccionamiento diferencial.

En el Capítulo 3, ***Entorno tecnológico***, se informa mediante una descripción las diferentes tecnologías usadas: Qt, OpenGL y GLM. Además, se realiza una explicación sobre su utilización en el proyecto. Además de estas también se explican otras tecnologías menos importantes para el proyecto.

En el Capítulo 4, ***Descripción de la aplicación***, se expone la aplicación al completo, comenzando por detalles sobre la simulación, pasando por la explicación de la interfaz y finalizando con casos de uso de la aplicación.

Finalmente, en el Capítulo 5, ***Conclusiones***, se presentan tanto las conclusiones del trabajo como su posible ampliación y mejora.

Capítulo 2 Robótica móvil

1. Robótica móvil

Los robots móviles son robots capaces de moverse a través de cualquier entorno físico. Estos normalmente son controlados por software y usan sensores y otros equipos para identificar la zona de su alrededor. Estos robots combinan los progresos entre la inteligencia artificial y los robots físicos, lo que les permite moverse a través del entorno.

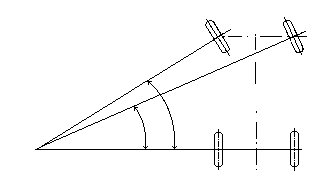
Los robots móviles se pueden diferenciar en dos tipos autónomos y no autónomos. Los robots móviles autónomos pueden explorar el entorno sin ninguna directriz externa a él, sin embargo, los robots móviles no autónomos necesitan algún tipo de sistema de guía para moverse.

Vehículos con ruedas

son un tipo de robot móvil los cuales proporcionan

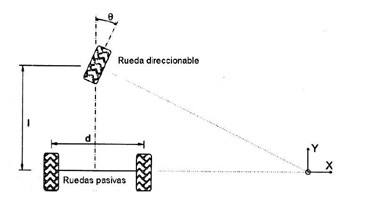
Los vehículos con ruedas emplean distintos tipos de locomoción que les da unas características y propiedades diferentes entre ellos en cuanto a eficiencia energética, dimensiones, maniobrabilidad y carga útil. A continuación, se pasa a mencionar algunas de estas configuraciones:

* **Ackerman:** Es el habitual de los vehículos de cuatro ruedas. Las ruedas delanteras son las que se ocupan del giro, sin embargo, la rueda interior gira un poco más que la exterior lo que hace que se elimine el deslizamiento. El centro de rotación del vehículo se haya en el corte de las prolongaciones de las ruedas delanteras y las ruedas traseras como se muestra en la figura 5.



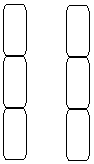
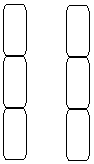
**Figura 5.** Configuración ackerman y centro de rotación.

* **Triciclo:** Se compone por tres ruedas, una delantera central y dos traseras. La rueda delantera actúa tanto para tracción como para direccionamiento, las ruedas traseras son pasivas. Tiene una mayor maniobrabilidad que la configuración anterior, sin embargo, posee una menor estabilidad sobre terrenos difíciles. El centro de gravedad tiende a perderse cuando se desplaza por una pendiente, perdiendo tracción. El cetro de rotación se puede calcular igual que en la configuración anterior, es decir, prolongando el eje de la rueda delantera y las traseras y este se encuentra en el punto de corte.



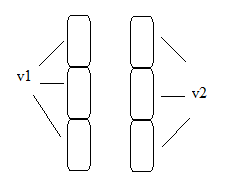
**Figura 6.** Configuración de triciclo y centro de rotación.

* **Skid Steer:** Varias ruedas a cada lado del vehículo que actúan de forma simultánea. La dirección del vehículo se haya de combinar las velocidades de las ruedas izquierdas con las de la derecha.



v1 < v2

v1 > v2



**Figura 7.** Configuración Skid Steer y movimiento según velocidades.

* **Pistas de deslizamiento:** Funcionalmente análogo a la configuración Skid Steer. Tanto la impulsión como el direccionamiento se realiza mediante pistas de desplazamiento, estas pistas actúan de forma similar a como lo harían ruedas de gran diámetro. Esta configuración es útil en terrenos irregulares.



**Figura 8.** Pistas de desplazamiento.

* **Síncronas:** Se trata de una configuración en la que todas las ruedas actúan de forma simultánea y, por lo tanto, giran de forma síncrona.
* **Direccionamiento diferencial:** Esta configuración es la que utiliza el robot sigue líneas. En este sistema las ruedas se sitúan de forma paralela y no realizan giros. El direccionamiento diferencial viene dado por la diferencia de velocidades de las ruedas laterales. La tracción se consigue con esas mismas ruedas. Adicionalmente, existen una o más ruedas para el soporte. En la figura 9 se muestra una imagen de dicho esquema.

3. Modelo físico direccionamiento diferencial

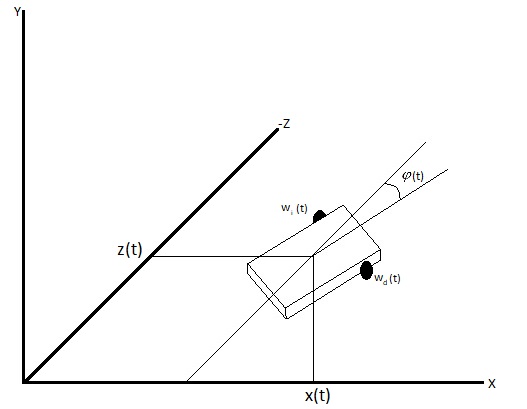
Para poder realizar la simulación del robot y pintarlo se debe conocer primeramente el estado del sistema. El sistema de un robot viene dado por su posición y orientación. Puesto que el robot se va a mover se necesita saber el estado en los diferentes instantes, por lo tanto, se debe definir un modelo de cambios de estado, es decir, una ecuación que a partir del estado actual (t) y unas entradas se pase al estado en el siguiente instante (t+1). En la ecuación X se puede observar la ecuación que define el sistema, siendo el estado y las entradas. Asimismo, en esta misma ecuación se muestra la ecuación del estado de un robot móvil, definida por su posición *x(t) z(t)* y su orientación *(t)* en ese instante:

 (X)

Sin embargo, la ecuación anterior es genérica para robots móviles, para obtener la ecuación de cambio de estado para un robot con direccionamiento diferencial se debe definir las entradas como las velocidades de cada rueda como se explica en el punto anterior. Por lo tanto, la ecuación de las entradas resultante para un robot con direccionamiento diferencial, siendo la velocidad de la rueda izquierda y la velocidad de la rueda derecha, es la siguiente:

 (X)

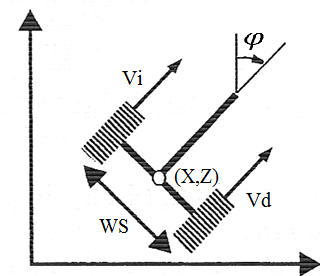
En la figura X se pueden observar los diferentes datos de entrada y del sistema puestos sobre un robot con direccionamiento diferencial.



**Figura X**. Sistema 3D de un robot con direccionamiento diferencial.

Una vez obtenido esto vamos a realizar el cálculo de las ecuaciones específicas.

Nótese que para especificar la configuración hay que indicar los valores de las tres variables (x, z, ), siendo las variables de control las velocidades de las ruedas laterales.



**Figura 9.** Locomoción mediante guiado diferencial.

Sean y las velocidades de giro de las ruedas izquierda y derecha, respectivamente. Si el radio de la rueda es WR, las velocidades lineales correspondientes son y . Es este caso, la velocidad lineal y velocidad angular correspondientes en el modelo vienen dadas por:

(5)

Sustituyendo estas expresiones en las obtenidas a partir de la Figura 4, se obtienen las velocidades de las coordenadas del robot en el sistema {G} a partir de la velocidad de giro de cada rueda:

(6)

Finalmente, utilizando el modelo discreto, se obtiene:

(7)

4. Navegación autónoma

El robot sigue líneas que se ha implementado realiza su movimiento de manera autónoma, se coloca el robot sobre un fondo blanco con una línea negra que representa el circuito, como se muestra en la figura 10, y este deberá recorrer el circuito sin salirse del mismo. Esto se puede realizar gracias a dos sensores que son implantados en la parte posterior del robot los cuales son responsables de la detección de la línea del circuito. En función de lo que estos sensores recojan (están sobre el circuito o no) el robot realizara cambios en la velocidad de sus ruedas resultando en un movimiento recto, rotatorio hacia la izquierda o rotatorio hacia la derecha.

**Figura 10.** Colocación del robot en un circuito negro sobre fondo blanco.

Los sensores que se implementan en este tipo de robots son sensores CNY70, los cuales se muestran en la Figura 11.



**Figura 11.** Sensor CNY70.

Estos son sensores ópticos reflexivos de corto alcance basados en un diodo de emisión de luz infrarroja y un receptor formado por un fototransistor que ambos apuntan en la misma dirección, esta estructura de forma simplificada se puede observar en la figura 12. Cuando el sensor se haya sobre una línea negra la luz es absorbida y el fototransistor envía una señal (ya sea alta o baja dependiendo del montaje del sensor), sin embargo, cuando se haya sobre fondo blanco la luz es reflejada y por lo tanto el fototransistor envía la señal contraria a la enviada al estar sobre negro.



**Figura 12.** Estructura simplificada del sensor CNY70.

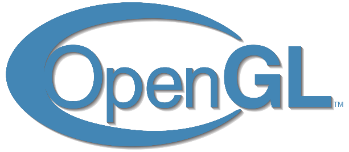
La simulación de estos sensores se basa en el conocimiento de la posición de los sensores en todo momento y de los puntos que conforman el circuito, pudiendo así comprobar si cualquiera de los dos sensores está situado sobre el circuito.

Capítulo 3 Entorno tecnológico

Para el desarrollo del trabajo se han utilizado diferentes tecnologías:



Qt para la interacción con el usuario.



OpenGL para implementar el cauce gráfico.



Glm para el cálculo de matrices.

F:\TFG\Git\TFG-RobotSiguelineas\Memoria\Imagenes\FreeglutIcon.png

Freeglut para crear modelos 3D.

1. OpenGL

El cauce grafico es el conjunto de transformaciones y procesados de la imagen que se realiza a los elementos que definen la escena hasta llegar a la imagen resultante final. Actualmente la generación de estas imágenes sigue una serie de pasos ya definidos.

El cauce grafico se divide en varios pasos o etapas que se conectan entre ellas, es decir la salida de la primera será la entrada de la segunda, y así sucesivamente. En la figura X podemos observar las diferentes etapas y como se conectan como hemos citado anteriormente.



**Figura X.** Etapas del cauce gráfico.

Las tres etapas principales del cauce grafico son: transformación/geométrica, rasterizado y sombreado.

1. Etapa Geométrica

En esta etapa se transforma las coordenadas de los vértices de los objetos de su sistema local a su proyección en 2D. Esto se realiza mediante cálculos de matrices en los que una vez se han realizado todos los cálculos se consiguen las coordenadas en la proyección. Si se quiere utilizar en 3D, las matrices que se utilizan para los cálculos son matrices 4x4. Para obtener las coordenadas donde se encuentra cada punto del objeto dentro de la escena es necesario calcular la matriz model-view-projection (MVP), como su nombre indica, esta matriz viene dada por la multiplicación de tres matrices distintas las cuales realizan cálculos para la obtención de diferentes funcionalidades, es decir, la ecuación que se implementa en esta etapa es



Donde es el vector de posición resultante del objeto en cuestión y  el vector de coordenadas en el instante anterior.

Para la creación de los modelos 3D se utiliza la librería freeglut. Estos modelos son los que contienen las coordenadas, es decir, cada vértice de los modelos es un vector de coordenadas .

En lo referido a la matriz MVP, OpenGL no ofrece todo el control que se desea, por ello se ha utilizado la librería GLM para realizar los cálculos pertinentes sobre esta matriz. Se ha optado por la utilización de GLM como librería para el cálculo de la matriz MVP puesto que es la librería recomendada por OpenGL y por lo tanto es la más apta para este funcionamiento. A continuación, se pasa a explicar las diferentes matrices por separado y las funciones utilizadas de la librería GLM en cada una de ellas.

* ***(P) Projection***: Esta matriz define como se realiza la proyección, poniendo en esta matriz si la proyección será en perspectiva u ortográfica. Además, permite realizar el clipping (desactivar la renderización) de los vértices que no son visibles.

La diferencia principal entre estos dos tipos de vistas (proyección y ortográfica) se basa en que la vista en perspectiva mantiene las dimensiones reales de los objetos si nos acercamos o nos alejamos de ellos, por lo que la vista en perspectiva se acerca más a la vista de una persona. En la figura X y X podemos observar como dos cámaras, una de cada tipo de vista, generan el plano de proyección a partir de los puntos de los objetos del espacio.



**Figura X.** Vista en perspectiva. **Figura X.** Vista ortográfica.

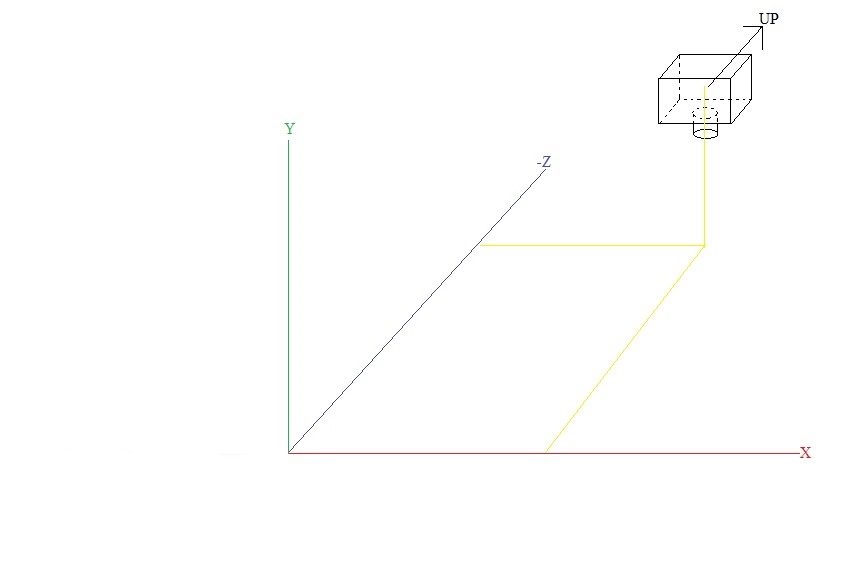
Esto se debe a que en una vista ortográfica los puntos de los objetos se proyectan de forma perpendicular al plano de proyección, mientras que en la vista en perspectiva los puntos se dirigen al punto central de la cámara o centro de proyección.

Las funciones de GLM que se utilizan en el calculo de esta matriz son *perspective(fov, aspectRatio, near, far)* para el calculo de la matriz en perspectiva y *ortho(left,right,bottom,top,near,far)* para el calculo de la matriz en ortográfica.

* ***(V) View:*** Esta matriz hace las funciones de cámara, necesitando para poder usar esta matriz la posición, el punto hacia el que mira y la orientación de la cámara. Además, esta matriz no solo sitúa la cámara, sino que también realiza los cálculos para simular los movimientos que la cámara realizaría. Puesto que no se puede mover la cámara, lo que se realiza es mover el mundo en concordancia con esto, es decir se aplica al mundo la inversa del movimiento que la cámara realizaría, consiguiendo así el efecto de que la cámara se está moviendo. Por consiguiente, la posición de la cámara también es ilusoria puesto que la cámara siempre está en un punto fijo, pero como en el caso de querer mover la cámara, al decir que la posición de la cámara está en la posición X se está diciendo que el resto de los objetos que no son la cámara deben reposicionarse para que al usuario le parezca que la cámara ha tenido un movimiento hacia otro punto del espacio.

Las función de GLM que se utiliza para esta matriz es *lookAt(eye,center,up)* cuyos parámetros indican *eye* la posición de la cámara, *center* el punto hacia donde mira y *up* la orientación.

Al iniciarse esta aplicación se dibuja el circuito y se hace un cálculo para posicionar automáticamente la cámara sobre el mismo. Sabiendo que la cámara se sitúa mirando hacia y=0 y la parte de arriba de la cámara está situada hacia –z, como se muestra en la figura X, se buscan los puntos del circuito más externos, es decir, el punto situado más a la izquierda (x menor), más a la derecha (x mayor), más arriba (z mayor) y más abajo (z menor).



**Figura X.** Posición y orientación de la cámara.

Una vez encontrados se crea un vector de 3 posiciones en el cual guardaremos la posición donde más adelante situaremos la cámara. En este vector se guarda en la primera posición (x) el punto intermedio entre el punto situado más a la izquierda y el punto situado más a la derecha, a la hora de guardar la posición 3 (z) se realiza exactamente lo mismo, pero con la parte superior e inferior, es decir se calcula y se guarda el punto medio entre el punto más superior y el punto más inferior. Para poder saber la altura a la que se debe situar la cámara para que pueda ver todo el circuito, primero se comprueba cual contiene una mayor distancia si el eje x (es decir el punto más a la derecha menos el punto más a la izquierda) o el eje z (es decir el punto más arriba menos el punto más abajo). Una vez obtenida la mayor distancia se calcula mediante trigonometría la altura necesaria, como se puede ver en la figura X.



**Figura X.** Trigonometría utilizada para el cálculo de la altura de la cámara.

Con esto la cámara se situará automáticamente en el centro de cualquier circuito que se introduzca y a una distancia a la cual se pueda ver el circuito completamente.

Una vez tenemos la posición de la cámara, dependiendo de que opción haya elegido el usuario se hacen los cálculos para la proyección en perspectiva u ortográfica, esto implica que se cambia también la posición de la cámara obtenida anteriormente. En caso de que se opte por una visualización en ortográfica la cámara se situara justo encima del circuito, sin embargo, en caso de que se opte por una visualización en perspectiva se colocara la cámara a 45º respecto a la posición inicial (justo encima del circuito) para que sea posible observar los modelos 3D y la perspectiva de la imagen. Como añadido, se ha implementado la funcionalidad de zoom en ambas proyecciones el cual se puede utilizar con la rueda del ratón.

* ***(M) Model:*** Esta matriz realiza una transformación de la posición en el modelo a la posición global. Normalmente es una combinación de tres posibles movimientos: trasladar, escalar y rotar. Cada uno de estos movimientos vienen dados por matrices, las cuales se multiplican unas sobre otras, comenzando por la matriz identidad, dando así una única matriz que será la matriz model. En esta aplicación se utiliza la matriz de translación y la de rotación en Y. Las funciones de GLM son *translate(m,v)*, donde *m* es la matriz anterior y *v* es el vector de tres posiciones (x,y,z) que indica cuanto y hacia donde se mueve; y la función *rotate(m,angle,axis)* donde *m* es la matriz anterior, *angle* es el ángulo que se rota y *axis* es un vector de tres posiciones que indica en que eje rota.

Las matrices específicas que se utilizan en este proyecto se pueden observar en las figuras X y X. En la figura X se puede observar la matriz de translación en X y Z que es donde se puede mover el robot.



**Figura X.** Matriz de translación en X y Z.

En la figura X se puede ver la matriz de rotación en Y donde  representa el ángulo que rota el robot.



**Figura X.** Matriz de rotación en Y con un ángulo .

En ambas matrices simplemente se debe sustituir las variables X,Y y  con los valores correspondientes y se obtienen las matrices que se utilizan en la matriz model.

1. Qt

OpenGL no puede crear ventanas y no tiene una forma sencilla de interactuar con el usuario por lo que es necesario cubrir estas necesidades con otro software. Algunos de los diferentes softwares que pueden hacer esto son sdl y qt. Se ha optado por Qt puesto que tiene una interacción con el usuario más sencilla y es fácil incluir en un proyecto OpenGL.

Qt es un framework de desarrollo de aplicaciones multiplataforma para ordenador, embebido y móvil que en gran parte se suele utilizar para programas que utilicen interfaz gráfica.

Internamente se utiliza C++ con alguna extensión para funciones como Signals y Slots, por lo tanto, se utiliza orientación a objetos. Puesto que se utiliza C++, en los proyectos se encontrarán archivos de 4 tipos:

* .pro: Solo habrá un archivo .pro en el proyecto. Este archivo contiene toda la información necesaria para realizar la build de la aplicación.
* .h: Estos archivos incluyen la declaración de variables y las cabeceras de las funciones de la clase correspondiente, tanto pública como privada.
* .cpp: Son los archivos en los cuales se sitúa el código fuente de la clase.
* .ui: Este archivo es el correspondiente a la interfaz gráfica.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se puede escribir en C++ utilizando el módulo Widget, además de esto, Qt tiene una herramienta gráfica llamada Qt Designer que es un generador de código basado en Widgets. En la figura X se puede observar Qt Designer con widgets colocados en una aplicación.



**Figura X.** Qt Designer.

La integración de estas herramientas (OpenGL y Qt) se realiza de forma muy sencilla puesto que Qt tiene la API de OpenGL y por lo tanto solo hace falta decirle al IDE que estés utilizando que vas a utilizar esas librerías incluyendo lo siguiente “#include <QOpenGLWidget>”. Además, en caso de que se esté utilizando como IDE Qt Creator se debe ir al fichero .ui y en el widget en el que se muestra la simulación, promoverle a la clase que tenga el código de la simulación. En caso de utilizar librerías externas se debe incluir en el fichero .pro la palabra reservada LIBS seguido del path donde se encuentre la librería: LIBS += pathDeMiLibreria y en la clase en la que se utiliza realizar el include correspondiente.

Las funciones básicas y de mayor importancia que nos proporciona OpenGL con Qt son las siguientes:

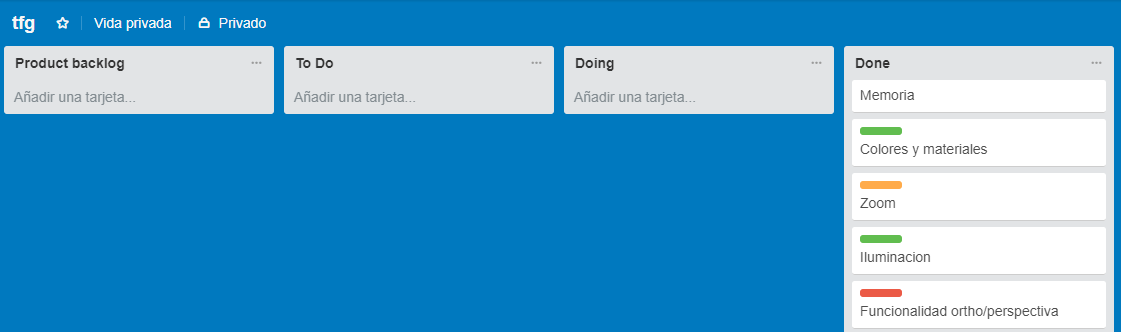
* **initializeGL():** Esta función se ejecuta una sola vez y antes que las otras dos funciones. Por lo tanto, se utiliza para inicializar y configurar todo lo necesario para la utilización de OpenGL u otros.
* **paintGL():** Esta función es la que renderiza la escena de OpenGL y se llama siempre que el widget necesite ser actualizado. Además, este método será en el cual se modificará la posición de la cámara y la posición del robot, es decir, las matrices view y model. Gracias a los cambios en esta última matriz se realiza la animación de movimiento del robot.
* **resizeGL(int w, int h):** En este método se debe configurar el viewport (los parámetros de entrada w y h son el ancho y el alto respectivamente de la zona donde se podrá visualizar el código desarrollado en OpenGL), el tipo de vista (perspectiva u ortográfica), etc. Es llamado por primera vez cuando el widget se crea (siempre después de initializeGL) y siempre que el widget sea reescalado. Este método es el responsable de crear la matriz projection.

En cuanto a las funciones relacionadas con la GUI se trata de las funciones típicas que podrías encontrarte en otros software que incluyen interacción con el usuario, por ejemplo la función que se ejecuta al pulsar un botón es on\_nombredetuboton\_clicked(). Además cada tipo de widget tiene métodos específicos, por ejemplo un campo de texto tiene el método value() que devuelve el texto introducido en ese campo, otro ejemplo se trata del widget checkbox el cual tiene el método isChecked() que devuelve si el checkbox esta con un tick.

1. Metodología ágil

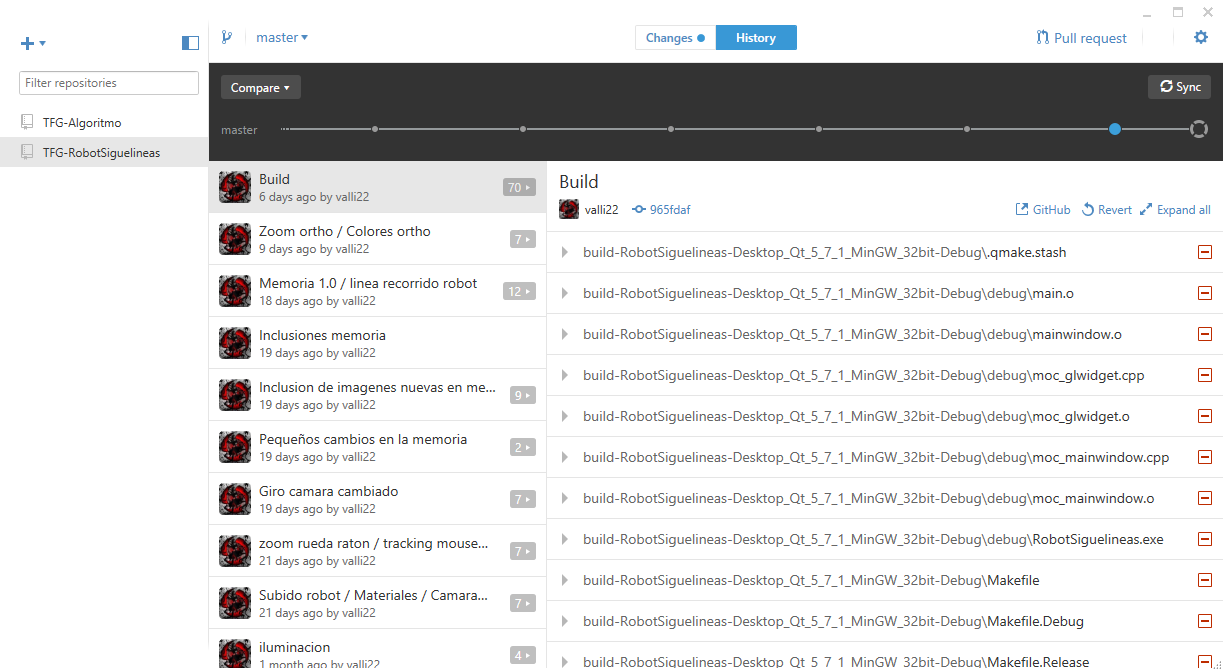
Durante el desarrollo de la aplicación se utilizado herramientas utilizadas habitualmente en proyectos en los que se aplica metodología ágil. Estas herramientas han sido:

* **Trello** como tablero de tareas, este se divide en las columnas habituales (Product backlog, To Do, Doing, Done). A su vez cada tarea tiene asignada una dificultad representada mediante colores. Las tareas no tienen asignadas personas puesto que hay una sola persona encargada de este tablero. A pesar de no ser relevante para la organización de un equipo y la división de tareas, puesto que solo se trata de una persona, ha resultado muy útil para no perder la visión de proyecto. Todo esto se puede ver en la figura 16.



**Figura 16:** Trello del proyecto Simulacion de un robot siguelineas.

* **Git** como repositorio y control de versiones (utilizado concretamente Github). Sobre este repositorio se ha ido subiendo los diferentes incrementos de funcionalidad de la aplicación de forma periódica y que gracias a él se ha podido realizar un control de versiones. Se puede observar el repositorio desde la aplicación de Windows en la figura 17.



**Figura 17:** Repositorio en Github desde la aplicación

de escritorio de Windows.

Capítulo 4 Descripción de la aplicación



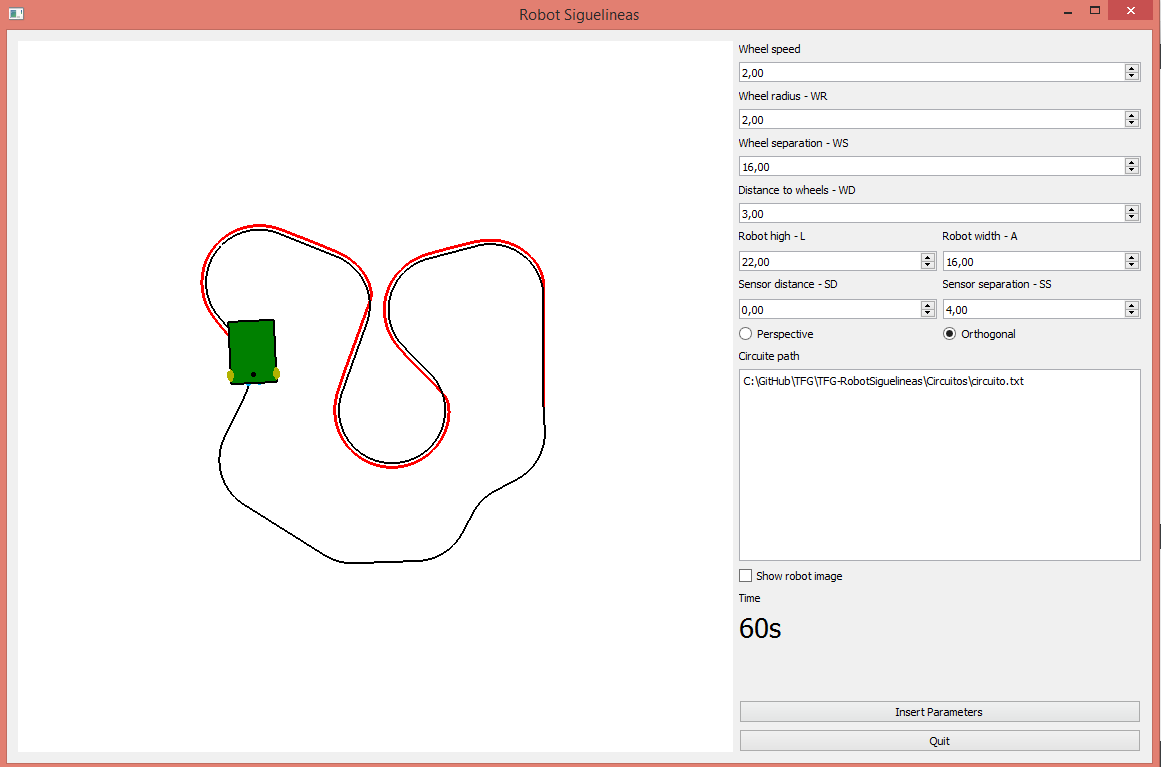
**Figura X.** Vista completa de la aplicación.

Como se puede observar en la figura X, la aplicación se puede dividir en dos zonas: izquierda y derecha. En la zona de la izquierda se muestra la simulación del robot en 3D, mientras que en la zona de la derecha se sitúan los controles de usuario.

1. Zona izquierda: Viewport

En la parte izquierda de la aplicación se puede observar una pantalla en blanco, el viewport, sobre esta se muestra la simulación del robot una vez ingresados los datos de este.

En esta zona se puede observar la simulación de la aplicación, en función de lo escogido en la zona derecha, tanto en perspectiva, ver figura X, como en ortográfica, ver figura X.

**Figura X.** Vista en perspectiva. **Figura X.** Vista en ortográfica.

En el bucle de la aplicación se realizan los cálculos de la posición y el dibujado del robot. Dependiendo de los parámetros introducidos en la parte derecha de la aplicación el robot dibujado será acorde a las mismas. Los cálculos necesarios son, el cálculo de la posición del robot, el cálculo de las coordenadas de los sensores y el algoritmo que determina si los sensores del robot están tocando alguna parte del circuito.

Además, se muestra en todo momento el recorrido que el robot ha llevado durante esa ejecución, con lo que se da un mejor feedback al usuario.

Esta zona también se aprovecha para mostrar todos los parámetros geométricos del robot sobre una imagen de este como se muestra en la figura X. Esta imagen se puede activar y desactivar en todo momento desde la zona derecha de la aplicación. Se explica con mayor detenimiento en el siguiente apartado.

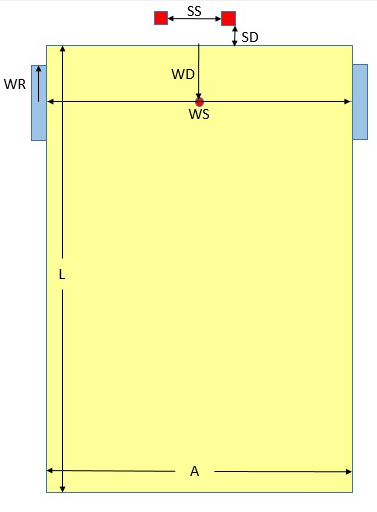


**Figura X.** Aplicación con imagen de datos geométricos activa.

1. Zona derecha: Campos de entrada de datos

La zona derecha de la aplicación se centra en la recogida de datos del usuario.

Para un mejor entendimiento de los widgets de interacción con el usuario, se ha añadido abreviaturas a cada uno de ellos y la posibilidad de superponer una imagen con las referencias visuales sobre el robot, mas tarde se explica en mas detalle. En la figura X, se muestra esta imagen y una tabla de abreviaturas que explican el significado de cada una de ellas.

****

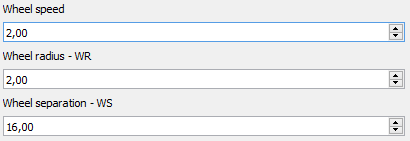
|  |  |
| --- | --- |
| **WR** | Radio de las ruedas |
| **WS** | Separación entre las ruedas |
| **WD** | Distancia desde el borde del robot a las ruedas |
| **L** | Largo del robot |
| **A** | Ancho del robot |
| **SD** | Distancia desde el borde del robot a los sensores |
| **SS** | Separación entre los sensores |

**Figura X.** Imagen de referencia sobre datos geométricos del robot y tabla de abreviaturas.

Para comenzar se decidió que la parte donde se realiza la simulación ocupara cerca del 75% de la aplicación puesto que es la parte más importante, el lugar donde más tiempo se estará observando y donde más detalles hay que fijarse, la comentada en el punto anterior.

Una vez entrada en la parte de interacción con el usuario se decidió que estuviera a la derecha por similitud a la mayor parte de aplicaciones encontradas y por lo tanto que le resultara más natural al usuario el acceso a esta. Además, todas las labels estarán en inglés puesto que este es el idioma más hablado y por tanto dota a la aplicación de una mayor usabilidad.

A continuación, se decidió por incluir los inputs en grupos de conceptos similares, como el grupo de las ruedas, el de los sensores y el del tamaño del robot. En el caso de las ruedas se decidió por utilizar tres inputs con sus respectivos labels en diferentes niveles, como se observa en la figura 20, puesto que la unión de los 3 parámetros de las ruedas en un mismo nivel no resultaba fácil de visualizar.



**Figura 20.** Paquete de ruedas en tres niveles.

Después de las ruedas viene un parámetro que comparten las ruedas y el robot, que es la distancia a la que se sitúan las ruedas desde el extremo superior del robot. Por lo tanto, este parámetro debía estar situado entre los parámetros de las ruedas y los del robot.

Al contrario que para las ruedas, para el tamaño del robot y los parámetros de los sensores, se agruparon en 2 en un mismo nivel puesto que así se asimila a simple vista que esos parámetros están relacionados, como se ve en la figura 21.

uiRobot

**Figura 21.** Paquete de dimensiones del robot en un nivel

Hasta aquí están los parámetros de entrada necesarios para la simulación del robot (a excepción del circuito). Por tanto, ahora deberían entrar las opciones de la aplicación que no son directamente relevantes para la simulación de la aplicación, en primer lugar, puedes encontrar dos radio buttons que deciden si el usuario desea la vista perspectiva u ortográfica, como se puede observar en la figura X.



**Figura X.** Radio buttons para elegir tipo de proyección.

Esta opción está colocada aquí puesto que a pesar de que todavía queda introducir el circuito, si se pusiera detrás del input para el circuito esta opción sería poco visible y podría ignorarse, mientras que viniendo de opciones de tamaño reducido se ve claramente. En la figura X se puede observar cómo se visualiza con vista en perspectiva, la vista ortográfica se puede observar en la figura X.

El último input se trata de un cuadro de texto editable en el que se debe introducir el path del circuito que se desea utilizar, ver figura X.



**Figura X.** Campo de texto donde se debe introducir el path del circuito.

A continuación, se sitúa un checkbox que activa y desactiva la imagen de referencia que tiene las indicaciones y las medidas del robot para que el usuario sepa exactamente qué es lo que está modificando en todo momento. Se puede observar la imagen que se da como referencia al usuario en la figura X.

Después, hay una zona en la que se muestran los segundos pasados desde que empezó la simulación como se muestra en la figura 24, con un tamaño de letra que hace que sobresalga sobre el resto de la interfaz haciendo así que una vez la simulación este comenzada se vea claramente la simulación y los segundos, pudiendo ignorar el resto de la interfaz.

uiTiempo

**Figura 24.** Tiempo de simulación.

Por último, hay dos botones, el primero cuyo texto pone “Insert Parameters”, el cual cuando pulses se introducirán todos los parámetros a la aplicación y se iniciara la simulación. Y un último botón que contiene el texto “Quit” que sirve para cerrar la aplicación. Estos dos últimos botones se pueden observar en la figura X.



**Figura X.** Botones de inicio de simulación y cerrar aplicación.

1. Casos de uso

A continuación se muestran diferentes resultados de diferentes robots sobre un mismo circuito:



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetros | Speed | WR | WS | WD | L | A | SD | SS |
| Valor | 2 | 2 | 16 | 3 | 22 | 16 | 0 | 4 |

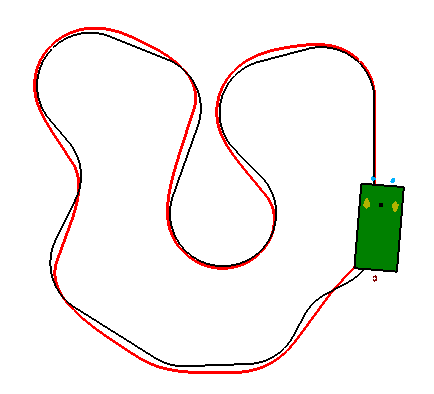
Tiempo: 90s.



Este robot es un robot con parámetros geométricos medios lo que hace que se realice el circuito en un tiempo normal.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetros | Speed | WR | WS | WD | L | A | SD | SS |
| Valor | 2 | 1.75 | 10 | 7 | 30 | 15 | 2 | 7 |

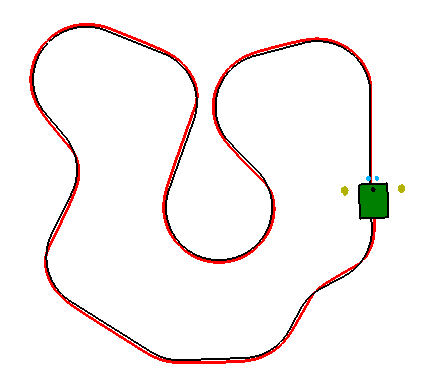
Tiempo: 92s.



Este robot tiene un menor radio de ruedas, una mayor distancia entre sensores y ruedas y una mayor distancia entre sensores, ademas tiene las ruedas mas juntas, todo esto hace que se realicen menos giros pero de mayor magnitud.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetros | Speed | WR | WS | WD | L | A | SD | SS |
| Valor | 2 | 1.5 | 20 | 2 | 12 | 10 | 2 | 3 |

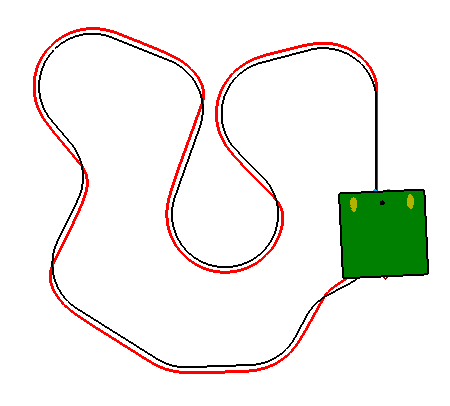
Tiempo: 125s.



Este robot tiene una separación entre ruedas muy grande pero una separación entre sensores reducida. Esto hace que se detecten muy rápido las colisiones, sin embargo, realiza giros de mayor amplitud, lo que hace que en un circuito como este con una gran cantidad de giros sea más lento.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetros | Speed | WR | WS | WD | L | A | SD | SS |
| Valor | 2 | 2.5 | 20 | 4 | 30 | 30 | 0 | 5 |

Tiempo: 76s.



Este robot posee la misma distancia entre sensores y ruedas que el anterior, misma distancia entre ruedas sin embargo los sensores entre si tienen mas distancia y tiene un mayor radio de rueda lo que hace que en este circuito sea más rápido.

Conclusiones

Gracias a este proyecto he obtenido bastante conocimiento sobre C++, además de sobre una tecnología relativamente reciente como es Qt. Para poder realizarlo además ha sido necesario indagar en el funcionamiento más profundo de OpenGL, dotándome así de un mayor conocimiento sobre cómo funciona a bajo nivel.

De los objetivos principales propuestos a la hora de realizar la aplicación, han sido todos logrados.

Una de las posibles mejoras a realizar sobre este proyecto podría ser el de incluir una forma de realizar carreras varios robots a la vez, o realizar estas carreras de manera online, una persona realizando de host y el resto poniendo sus robots y viendo la carrera. Además se podría mejorar la forma y figuras del robot y el circuito.

Otra posible mejora sería el de desarrollar un algoritmo que dado un circuito encontrara los mejores parámetros posibles del robot para realizar el robot en el menor tiempo posible.

Bibliografía