

Universidad de Alcalá

Escuela Politécnica Superior

**Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática
Industrial**

Trabajo Fin de Grado

Recreación de entornos reales de conducción en entornos de
simulación (CARLA)

ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Autor: Cristian García Martínez

Tutor: Iván García Daza

Cotutor: Rubén Izquierdo Gonzalo

2022

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial

Trabajo Fin de Grado

**Recreación de entornos reales de conducción en entornos de
simulación (CARLA)**

Autor: Cristian García Martínez

Tutor: Iván García Daza

Cotutor: Rubén Izquierdo Gonzalo

Tribunal:

Presidente: Ignacio Parra Alonso

Vocal 1º: Javier de Pedro Carracedo

Vocal 2º: Iván García Daza

Fecha de depósito: 25 de abril de 2022

Agradecimientos

Gracias a mi padre, a mi madre y a mi hermana por el continuo apoyo, aguantar buenos y malos momentos en todo este largo camino que por fin llega a su final.

A Iván mi tutor, por toda la ayuda proporcionada y todos los conocimientos y enseñanzas que me he ha transmitido a lo largo de todo este proyecto.

Y a todos mis compañeros de carrera, especialmente a Kike y Berto por todas esas noches insufribles de largo estudio.

Resumen

El empleo de sistemas para la conducción autónoma es una prioridad hoy en día para todos los fabricantes de automóviles, pero previamente a la implantación de dichos sistemas en los modelos de producción hay que llevar a cabo pruebas de las diferentes técnicas que se emplean a día de hoy. Para la realización dichas pruebas hay que realizarlas en un entorno seguro y tratar de reducir los costes al máximo.

Este documento contará con dos partes claramente diferenciadas, la primera donde se hablará del sistema de coordenadas UTM[1], cómo afecta este sistema a la generación de ficheros con extensión .xodr entendibles por CARLA y su correcto funcionamiento, y la segunda parte a través del software Roadrunner[2], se realizará un entorno del campus científico de la Universidad de Alcalá, de tal forma que se pueda utilizar en CARLA y probar nuevos sistemas que desarrolle el grupo de investigación INVETT. [3].

Palabras clave: CARLA, Roadrunner, UTM, INVETT [3].

Abstract

The use of autonomous driving systems is nowadays a priority for all car manufacturers, but prior to the implementation of such systems in production models, it is necessary to carry out tests of the different techniques that are used today. These tests have to be carried out in a safe environment and the costs have to be reduced as much as possible.

This document will have two clearly differentiated parts, the first one where the UTM[1] coordinate system will be discussed, how this system affects the generation of files with extension .xodr understandable by CARLA and its correct operation, and the second part through the Roadrunner[2] software, an environment of the scientific campus of the University of Alcalá will be made, so that it can be used in CARLA and test new systems developed by the INVETT[3] research group.

Keywords: CARLA, Roadrunner, UTM, INVETT [3].

Índice general

Resumen	vii
Abstract	ix
Índice general	xi
Índice de figuras	xiii
1 Introducción	1
2 Estado del arte	3
2.1 Introducción	3
2.2 Estado del Arte	3
3 OpenStreetMap	7
3.1 Introducción a OpenStreetMap	7
3.2 Funcionamiento de OpenStreetMap	8
3.3 Java OpenStreetMap	9
4 Recreación de entornos con Roadrunner	11
4.1 Introducción a Roadrunner	11
4.2 Importación del entorno base	13
4.3 Desarrollo del entorno	14
4.4 Introducción a OpenDrive	19
4.5 Uso de OpenDrive en Roadrunner	19
4.6 Finalización y exportación del entorno	22

5	Coordenadas geográficas y proyectadas	25
5.1	Las coordenadas geográficas	25
5.2	El Datum	26
5.3	UTM: Universal Transverse Mercator	27
5.4	La importancia de las coordenadas en CARLA	30
5.5	La importancia de las coordenadas en Roadrunner	31
6	Recreación del circuito de pruebas de INVETT	33
6.1	Introducción	33
6.2	Primera fase: Obtención del mapa en OpenStreetMap e importación a Roadrunner y colocación de puntos clave	34
6.3	Segunda fase: Colocación de las carreteras	35
6.4	Tercera fase: Colocación de aparcamientos y adecuación de aceras y medianas	36
6.5	Cuarta fase: Vegetación	42
6.6	Quinta fase: Situación de farolas, señales y edificios	46
7	Conclusiones y líneas futuras	51
7.1	Conclusiones	51
7.2	Líneas futuras	53
8	Presupuesto	55
	Bibliografía	57

Índice de figuras

2.1	Vista del simulador DRIVE Sim	4
2.2	Vista del simulador Unity 3D	5
3.1	Vista principal de la página de OpenStreetMap	8
3.2	Selección de la zona a exportar	8
3.3	Vista del mapa OSM en Roadrunner	9
3.4	Vista del mapa OSM en Java OpenStreetMap	9
3.5	Vista satelital del mapa OSM	10
4.1	Entorno de trabajo de Roadrunner	12
4.2	Mapa sobre el que se va a trabajar	13
4.3	Vista en Google Maps de partes del entorno	14
4.4	Situación real de los pasos de peatones	15
4.5	Comparativa del paso de peatones de la Av. Punto Com	15
4.6	Tipo de líneas de carril según la zona	16
4.7	Tipo de líneas de carril según la zona	16
4.8	Comparativa calle Punto Mobi real y recreada	16
4.9	Comparativa calle Punto Mobi real y recreada	17
4.10	Edificios por defecto en la librería de Roadrunner	17
4.11	Edificio Telefónica situado en el emplazamiento a recrear	18
4.12	Creación de una red de carreteras en OpenDrive	19
4.13	Cruce de la avenida Punto Com con la calle Punto Mobi	20
4.14	Vista de la herramienta Maneuver tool	20
4.15	Ventana de configuración de OpenDrive export preview tool	21
4.16	Resultado de la creación de la red de carreteras	21
4.17	Primer paso en Unreal Engine	22

4.18 Segundo paso en Unreal Engine	23
5.1 Vista de la división de los meridianos	25
5.2 Vista de la división de los paralelos	26
5.3 Vista del geoide y elipsoide	27
5.4 Representación de la proyección de Mercator	28
5.5 Representación UTM	28
5.6 Zonas UTM	29
5.7 Script de conversión de OSM a Opendrive	30
5.8 Ventana para realizar proyección UTM en Roadrunner	31
6.1 Circuito de pruebas de INVETT	33
6.2 Comparativa calle 18 recreada y real	35
6.3 Comparativa glorieta avenidas Punto Com y Punto Es recreada y real . . .	36
6.4 Comparativa glorieta sede de la Biblioteca Nacional recreada y real	36
6.5 Aparcamiento de las instalaciones deportivas	37
6.6 Aparcamiento de la avenida Punto Es	37
6.7 Aparcamiento de la avenida Punto Com	38
6.8 Aparcamientos en zonas de empresas	38
6.9 Recreación de la zona de aparcamiento de las instalaciones deportivas . . .	39
6.10 Recreación de la zona de aparcamiento de la avenida Punto Es	39
6.11 Recreación de la zona de aparcamiento de la avenida Punto Com	40
6.12 Recreación de la zona de aparcamiento de empresas	40
6.13 Mediana situada en la avenida Punto Es	41
6.14 Recreación de la mediana en avenida Punto Es	41
6.15 Vegetación en la avenida Punto Es	42
6.16 Vegetación recreada en la avenida Punto Es	43
6.17 Vegetación en la glorieta entre avenida Punto Es y Punto Com	43
6.18 Vegetación recreada en la glorieta entre avenida Punto Es y Punto Com . .	44
6.19 Vegetación en las calles Punto Net y Punto Mobi	44
6.20 Vegetación recreada en las calles Punto Net y Punto Mobi	45
6.21 Vista en CARLA de la escena	45
6.22 Señales ubicadas en la escena	46
6.23 Farola real y recreada	47

6.24 Edificios reales vistos desde la calle 18	48
6.25 Edificios recreados vistos desde la calle 18	48
6.26 Edificio Telefónica real	49
6.27 Edificio Telefónica recreado	49
6.28 Vista edificios desde la calle Punto Net	50
6.29 Vista edificios recreados desde la calle Punto Net	50

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, los sistemas de conducción autónoma han dejado de ser el futuro para ser el presente. Con la tecnología que cuentan todos los sistemas de transporte en materia de seguridad y con el objetivo de una tasa de mortalidad nula en la carretera, los sistemas de conducción autónoma son la clave para conseguir dicho objetivo.

Todas las empresas dedicadas a la automoción, están invirtiendo grandes sumas de dinero para conseguir una conducción autónoma de nivel 5, el máximo al que se puede optar, donde no es necesario ningún tipo de acción humana para controlar el vehículo. Dicho nivel aun queda muy lejos en la actualidad, ya que se sigue asentando el nivel 2 de conducción autónoma, el cual permite realizar adelantamientos y cambios de carril de manera autónoma pero siempre con las dos manos sobre el volante y el conductor pendiente en todo momento del entorno que le rodea. Actualmente se están comenzando a dar los primeros pasos en el nivel 3 de conducción autónoma, el cual dota de total protagonismo a los sistemas de conducción autónoma del vehículo, salvo en casos de nula visibilidad como niebla o nieve, donde el conductor debe tomar el control del vehículo. [4]

La mejor forma de probar todos estos avances es en un entorno seguro, y que mejor entorno que un simulador, donde no se pueden causar daños a terceros ni afectar a las plataformas de desarrollo de dichos sistemas, algunos de las cuales cuestan millones de euros, y en eso se va a centrar este proyecto, en garantizar la seguridad tanto de investigadores como de todos los sistemas donde se llevan a cabo las pruebas.

Actualmente el grupo de investigación INVETT [3], cuenta con el simulador CARLA para el desarrollo de nuevos controladores para la conducción autónoma, pero dichas pruebas se realizan en entornos genéricos o proporcionados por el propio simulador. Con este proyecto se plantea la posibilidad de recrear entornos reales donde probar todos los nuevos desarrollos y poder optimizar al máximo futuros controladores.

En primer lugar, se tratará la toma de datos desde OpenStreetMap, de tal manera que se puedan obtener mapas de cualquier lugar de una manera sencilla, gratuita y en cons-

tante actualización, ya que además dicho mapa es la base para muchas grandes compañías como se detallará en profundidad mas adelante.

En este proyecto, en una primera toma de contacto se va a recrear un entorno real comprendido por las calles Punto Mobi, Arroba y la avenida Punto Com situados en el campus científico tecnológico de la Universidad de Alcalá, alrededor del edificio de Telefónica, donde se pueden situar tanto vehículos estacionados o en movimiento así como peatones para recrear una situación cotidiana de tráfico al que los sistemas de conducción autónoma se tienen que enfrentar para garantizar el correcto funcionamiento.

Se recreará este entorno debido a su sencillez así como para comprobar la relación con el simulador CARLA, ya que ante cualquier error, este pueda ser subsanado con la mayor rapidez, y ante el correcto funcionamiento, se puede dar paso a la recreación de otros entornos más complejos, además de comprender el funcionamiento de Roadrunner [2].

Otro de los puntos a tratar en este proyecto es el sistema de coordenadas UTM, [1] un sistema de coordenadas consistente en la división del globo terráqueo en 60 zonas cada una de ellas correspondiente a 6 grados de longitud, es decir, la transformación de coordenadas en valores de longitud y latitud en valores de ejes cartesianos, el cual es el responsable de que los entornos creados por Roadrunner [2] sean entendidos a la perfección por CARLA, ya que en caso de que los valores de coordenadas sean elevados, entran en conflicto con el simulador.

Una vez se hayan visto las tres partes fundamentales para la realización de este proyecto, se procederá a la realización del circuito de pruebas del grupo INVETT [3] a lo largo del campus científico-tecnológico de la Universidad de Alcalá así como del parque tecnológico Tecnoalcalá aplicando todas las técnicas vistas con anterioridad.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1 Introducción

En esta sección, se va a hablar de diferentes proyectos que se llevan a cabo en la actualidad, de tal forma que implementan simulaciones con entornos reales, tratando de comparar este proyecto con otros que se están llevando a cabo a gran escala, siendo desarrollados por grandes compañías.

2.2 Estado del Arte

En la actualidad, al tener la conducción autónoma como una de las máximas prioridades junto a la electrificación de los principales fabricantes de automoción, se utilizan distintas plataformas para la realización de pruebas para comprobar los sistemas desarrollados.

En primer lugar, se tiene el simulador NVIDIA DRIVE Sim [5], el cual consiste en una plataforma de simulación integral diseñada desde cero para ejecutar simulaciones de alta precisión a gran escala que utiliza la tecnología de NVIDIA Omniverse [6], consistente en una plataforma abierta creada para colaborar entre diseñadores, creadores, investigadores e ingenieros en un espacio virtual compartido para ampliar la funcionalidad, donde se puede ver en la figura 2.1 como se ve su ejecución. Con DRIVE Sim [5] se ofrece la posibilidad de validar los sistemas integrados a través de configuraciones software-in-the-loop o hardware-in-the-loop, así como la utilización de las últimas tecnologías de Nvidia como el RTX, es decir, el trazado de rayos ofreciendo imágenes ultra realistas, además de la generación de datos basados en la física para cámaras, radares o LIDAR utilizados para entrenar a la IA. También es importante remarcar, que DRIVE Sim [5], utiliza entornos realizados con Roadrunner, uno de los pilares de este trabajo de fin de grado.



Figura 2.1: Vista del simulador DRIVE Sim

Por otro lado, se tiene que uno de los fabricantes con más renombre dentro de la industria como BMW, que engloba a las marcas BMW, Mini y Rolls Royce, emplea Unity 3D[7] para la simulación de sus vehículos en el ámbito de la conducción autónoma, de tal forma que el noventa y cinco por ciento de toda la distancia recorrida durante las pruebas, se ha llevado a cabo en entornos y vehículos simulados, donde se puede ver en la figura 2.2 como se ve dicho simulador. Esta asociación de BMW con Unity está realizada de tal forma que se simplifique el desarrollo de escenarios para que las funciones sean cada vez más completas, pudiendo parametrizar en los escenarios todo tipo de señales, vehículos, carreteras y demás, brindando la posibilidad de extraer las escenas de tráfico registradas en las pruebas reales para ser convertidas en escenarios de simulación, de tal forma que se permite la realización de pruebas a pequeña escala de hasta un kilómetro de distancia llegando a realizar pruebas a gran escala realizando viajes de gran kilometraje utilizando entornos más complejos con vehículos en movimiento, condiciones climatológicas variables, peatones e incluso la implementación de ciclo día/noche.



Figura 2.2: Vista del simulador Unity 3D

Capítulo 3

OpenStreetMap

3.1 Introducción a OpenStreetMap

En primer lugar vamos a definir en qué consiste OpenStreetMap [8] y cuál es su cometido. OpenStreetMap [8] es un proyecto de código abierto de mapeo, donde cualquier persona puede realizar cualquier aportación que crea conveniente para mejorar el mapa y ser la competencia directa de Google Maps.

A día de hoy OpenStreetMap [8] tiene usos tanto profesionales como particulares, de tal forma que se puede encontrar en un simple sistema de GPS para realizar rutas en bicicleta o senderismo, o grandes empresas que lo utilizan para si mismas como Amazon, que lo utiliza para optimizar sus rutas de reparto, Apple que utiliza la geolocalización de las fotos tomadas con sus dispositivos en mapas basados en OpenStreetMap entre otras muchas.

Cada día recibe casi 5 millones de modificaciones en los mapas, por lo que ante cualquier tipo de modificación en vías como creación de nuevos desvíos en autovías, nuevos caminos en montañas o simplemente una calle nueva se ven reflejados casi al instante gracias a la numerosa comunidad con la que cuenta.

Por otro lado, cabe destacar que OpenStreetMap [8] va a ser la base de este proyecto mediante el cual se va a extraer todos los mapas para trabajar, ya que es fácil e intuitivo de manejar, ya que podemos exportar cualquier zona sobre la que nos interese trabajar en poco tiempo en formato OSM.

3.2 Funcionamiento de OpenStreetMap

El funcionamiento de OpenStreetMap [8] es relativamente sencillo. El primer paso a realizar es acceder a su página web como se muestra en la figura 3.1.

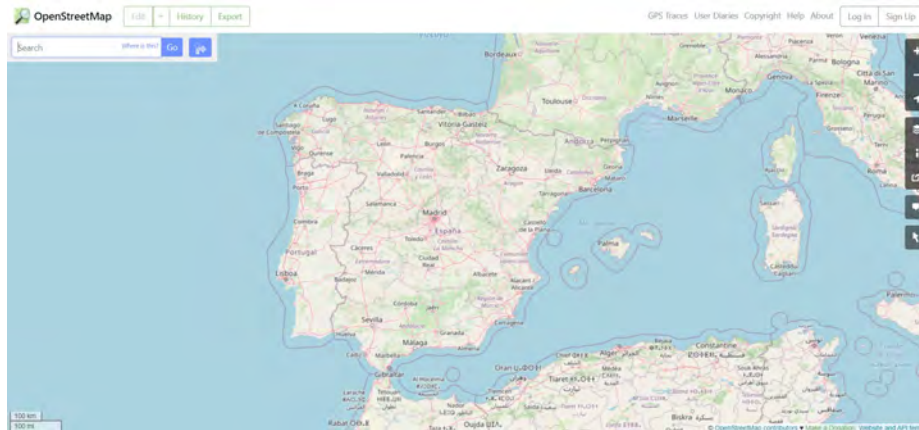


Figura 3.1: Vista principal de la página de OpenStreetMap

Posteriormente, ampliaremos la zona deseada que queremos exportar como muestra la figura 3.2 seleccionando previamente la opción *Export* pudiendo seleccionar manualmente o delimitando la zona deseada mediante coordenadas, en nuestro caso realizaremos la selección manualmente.

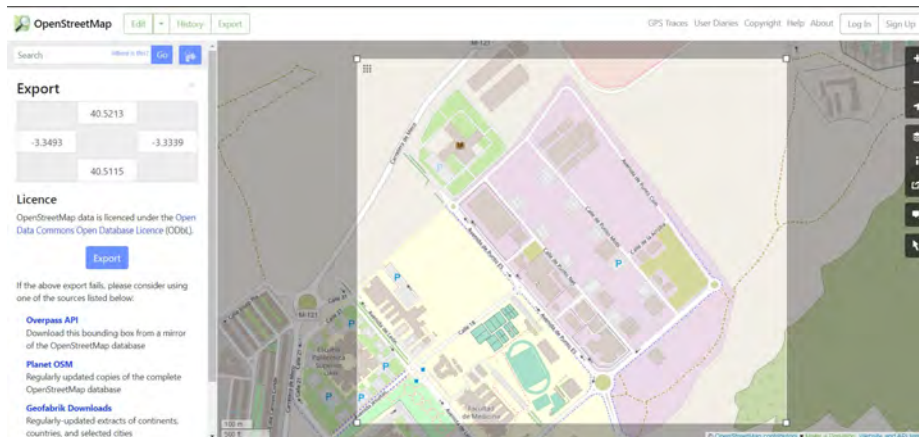


Figura 3.2: Selección de la zona a exportar

Una vez tengamos seleccionada la zona deseada simplemente le diremos que queremos exportarlo en formato OSM a través del botón *Export* de la parte izquierda de la pantalla y lo guardaremos en la ubicación que creamos más oportuna.

Tras realizar la exportación, podemos importarlo en Roadrunner [2] de tal forma que el mapa en formato OSM se ve como muestra la figura 3.3, donde se verá mucho más detallado todo este proceso más adelante en otro apartado del proyecto.

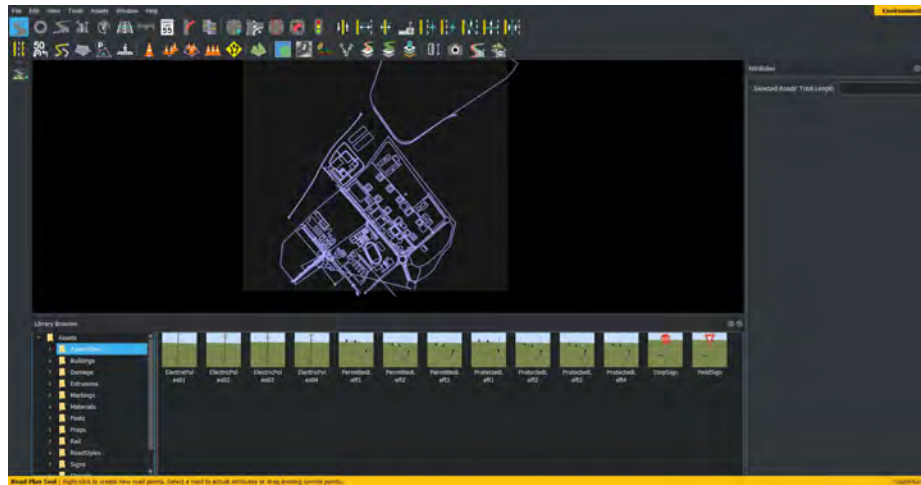


Figura 3.3: Vista del mapa OSM en Roadrunner

3.3 Java OpenStreetMap

Java OpenStreetMap es el editor más extendido de OpenStreetMap el cual está basado en Java y puede ser utilizado en cualquier sistema operativo, además de tener la ventaja de que se puede trabajar offline.

Para utilizar este editor, se accederá a su página web y se descargará el archivo ejecutable correspondiente al sistema operativo que estemos utilizando, en este caso, Windows realizando su instalación posteriormente. Tras instalarlo, abriremos el editor y abriremos cualquier mapa en formato OSM que tengamos almacenado. De tal forma que la zona anteriormente exportada en los pasos anteriores se ve de acuerdo a la figura 3.4.

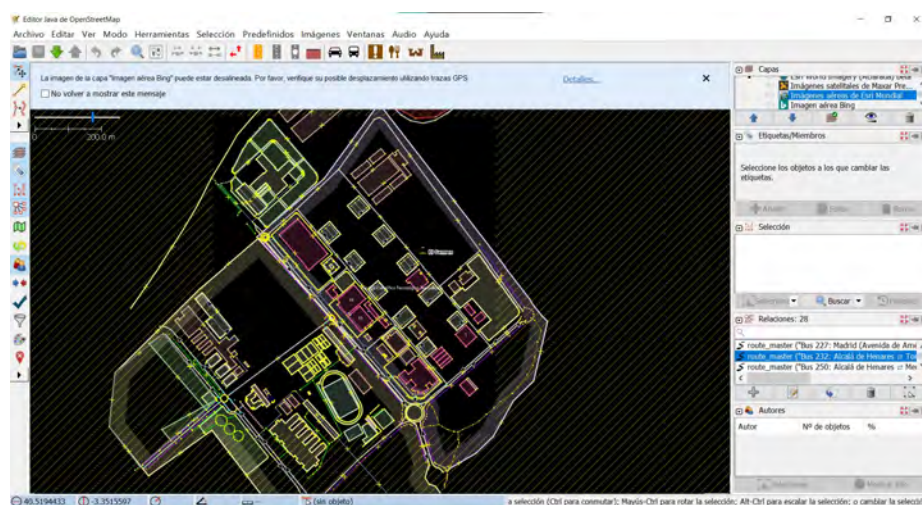


Figura 3.4: Vista del mapa OSM en Java OpenStreetMap

Una de la principales y más importantes ventajas que nos ofrece este editor para la realización de este proyecto, es la posibilidad de proyectar una vista satelital sobre el mapa OSM como se puede ver en la figura 3.5.

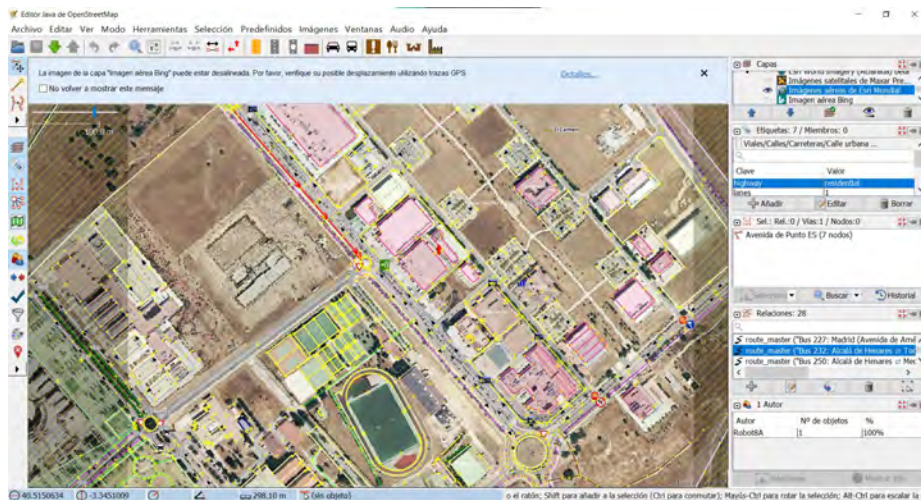


Figura 3.5: Vista satelital del mapa OSM

Dichas vistas satelitales las podemos encontrar en la pestaña *Imágenes* en el propio editor, teniendo imágenes tanto de Bing, ESRI o MapBox, de tal forma que según vayamos avanzando en el proyecto, a la hora de recrear el entorno en Roadrunner y tengamos que extraer coordenadas para situar distintos elementos del entorno, podremos fijarnos en cualquier objeto tales como árboles, señales, pasos para peatones y obtener las coordenadas en Java OpenStreetMap, y replicar dichas coordenadas en Roadrunner [2] para recrear el entorno de la manera más fiel posible y sobretodo que al importar el entorno en CARLA, el vehículo se mueva adecuadamente por el entorno, es decir, que vaya por el centro de la calzada y sin subirse a bordillos o aproximarse a vehículos teóricamente estacionados de tal manera que puedan recibir daños.

Cabe destacar, que en ocasiones los mapas en formato OSM contienen multitud de líneas donde en ciertos puntos llegan a acumularse varias, lo que lleva a confusión y por tanto a error, ya que se pueden estar mezclando líneas de calzada con líneas de bordes de algún edificio por ejemplo. Esto a la hora de recrear un mapa supone errores fatales ya que las calzadas no van por el sitio adecuado y la ubicación del resto de elementos sería errónea, pero gracias a las imágenes satelitales del editor, estos posibles fallos pueden ser subsanados ya que pueden verse superpuestas a dichas imágenes, las líneas del mapa en formato OSM pudiendo identificar fácilmente a qué corresponde cada una.

Capítulo 4

Recreación de entornos con Roadrunner

4.1 Introducción a Roadrunner

Roadrunner[2] es una herramienta desarrollada por Mathworks, la cual permite crear entornos de conducción insertando las carreteras, señales, vegetación, edificios, etc.

En una primera vista se iba a trabajar con archivos formato JSON y GEOJSON de tal forma que a partir de un fichero de coordenadas JSON, realizar la importación a Roadrunner [2] y posteriormente exportarlo en GEOJSON, de tal manera que fuese entendible por CARLA, pero a raíz de una reciente actualización donde se permite la importación de mapas en formato OpenDrive así como la posibilidad de trabajar con OpenStreetMap, lo cual simplifica el proceso, ya que cualquier fallo en alguna coordenada del archivo raíz en formato JSON, podría causar errores y habría que volver a realizar el archivo, pero usando mapas en formato OSM donde la exportación se realiza en cuestión de segundos, se optó por realizar el proceso de una manera mas rápida y sencilla.

Roadrunner permite la importación en múltiples formatos para trabajar, en nuestro caso podremos trabajar con archivos en formato OpenStreetMap y OpenDrive, por los motivos comentados con anterioridad. En el caso de los archivos en formato OpenDrive, tienen la principal característica de que las calzadas se sitúan solas, pero al exportarlo a CARLA, se producen múltiples errores debido a que las calzadas se superponen así como las líneas de las marcas viales, así que este formato ha quedado descartado para trabajar con él en Roadrunner [2].

Por otro lado tenemos el formato OSM, como ya se ha comentado en el apartado anterior del proyecto, el cual es el que se va a utilizar para la realización de todo el proyecto, ya que aunque no es tan directo como el formato OpenDrive y hay que introducir las calzadas manualmente, esto llevará un tiempo mayor de desarrollo del proyecto, pero a su vez se ganará en exactitud, que es lo que se busca en este proyecto.

En la figura 4.1 se puede ver como es el entorno de trabajo de Roadrunner. En la parte inferior tenemos la carpeta de *assets*, donde se incluirán los mapas que se van a desarrollar además de todas las librerías de elementos que se pueden incluir tales como los vehículos, vegetación, diferentes tipos de calzadas, marcas viales, etc. En la parte central está la pantalla de trabajo, que es donde se visualizará todo el proceso de la creación de los diferentes entornos. Por último, en la parte superior está la barra de herramientas la cual permite modelar y adaptar a la realidad el entorno simulado, brindando la posibilidad de ajustar tanto el arco de las curvas, controlar y regular los posibles semáforos que se incluyan, rebajar las aceras de los pasos de peatones, ajustar anchos de calzada y muchas más posibilidades.

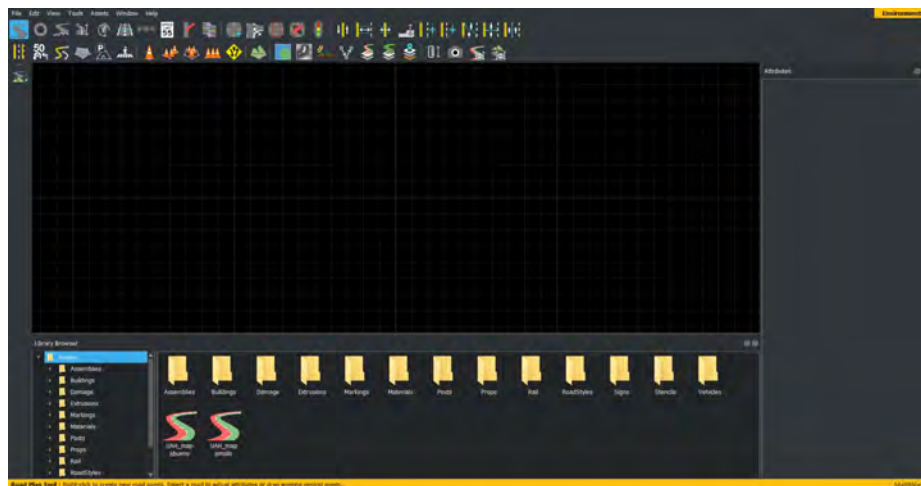


Figura 4.1: Entorno de trabajo de Roadrunner

En los siguientes puntos de este capítulo se tratará con mas detalle todo el proceso de recreación de un entorno, viendo paso a paso todo el proceso de importación de mapas y las posibilidades ofrecidas, la inclusión de todo el paisaje del entorno a realizar así como la exportación para trabajar en CARLA.

4.2 Importación del entorno base

En este primer paso para comenzar a trabajar en Roadrunner, debemos importar el mapa en formato OSM obtenido anteriormente, pero en este punto nos centraremos en el área comprendida alrededor del edificio Telefónica del campus científico-tecnológico de la Universidad de Alcalá comprendido entre las calles Punto Mobi, Arroba y la avenida Punto Com como muestra la figura 4.2, con tal de familiarizarnos con el entorno de trabajo y comprender correctamente cómo trabajar con todas las herramientas que nos brinda Roadrunner [2], cabe remarcar que este apartado se realiza de manera preliminar para entender el funcionamiento del software, ya que posteriormente se realizará un entorno mucho más amplio y de manera más precisa.

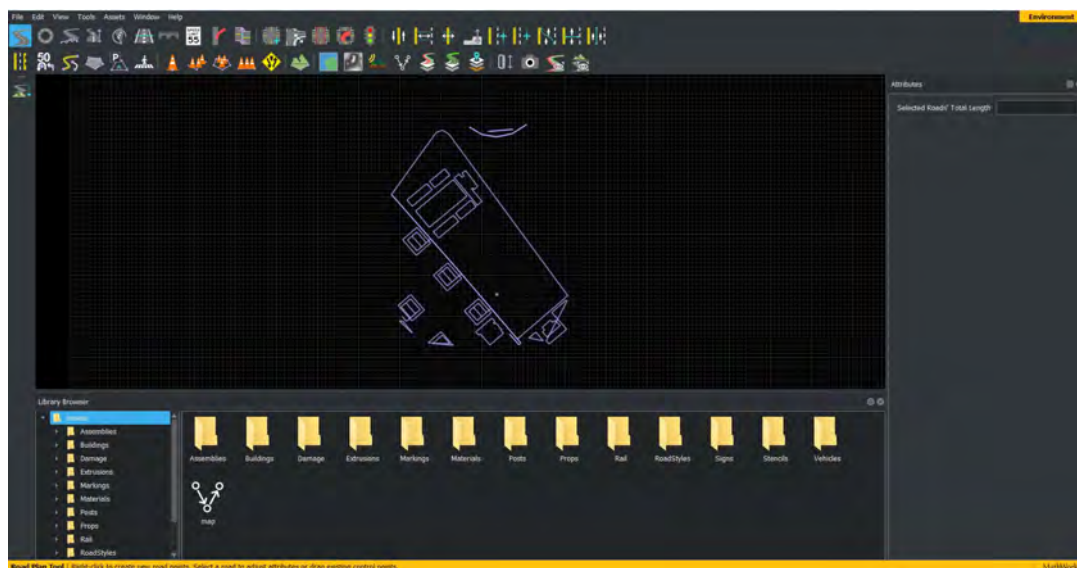


Figura 4.2: Mapa sobre el que se va a trabajar

Para importar el mapa obtenido anteriormente lo que se debe realizar es añadirlo a la carpeta de *assets* en el entorno de Roadrunner [2], la cual contiene todos los elementos necesarios para recrear entornos tales como vegetación, distintos tipos de calzadas, marcas viales, etc y posteriormente arrastrarlo al entorno de trabajo.

4.3 Desarrollo del entorno

El siguiente paso a realizar, una vez tenemos importado el mapa, es completarlo con las diferentes opciones que nos brinda Roadrunner [2]. La manera de realizarlo será reproduciendo el entorno a través de Google Maps y utilizando las coordenadas que vayamos extrayendo del editor Java OpenStreetMap.

En un primer paso lo que haremos será extraer varios puntos de coordenadas mediante conos, tomando siempre como referencia el extremo tanto izquierdo como derecho de la calzada, así como el centro de la misma, para tener una referencia aproximada de por donde colocar la calzada, aunque el propio mapa OSM nos da la referencia del centro de calzada. Por otro lado también marcaremos algunos puntos clave como la ubicación de pasos de peatones y puntos críticos de las curvas de tal manera que se pueda obtener un esqueleto de la zona a representar.

El siguiente paso a realizar será añadir la calzada para los vehículos así como la acera para los viandantes, respetando el ancho en la medida de lo posible como se ve en la figura 4.3a, correspondiente a la avenida Punto Com y en la figura 4.3b, correspondiente a la calle Arroba, donde se aprecia que las medidas son totalmente distintas, sobretodo en la parte de la calzada.



Figura 4.3: Vista en Google Maps de partes del entorno

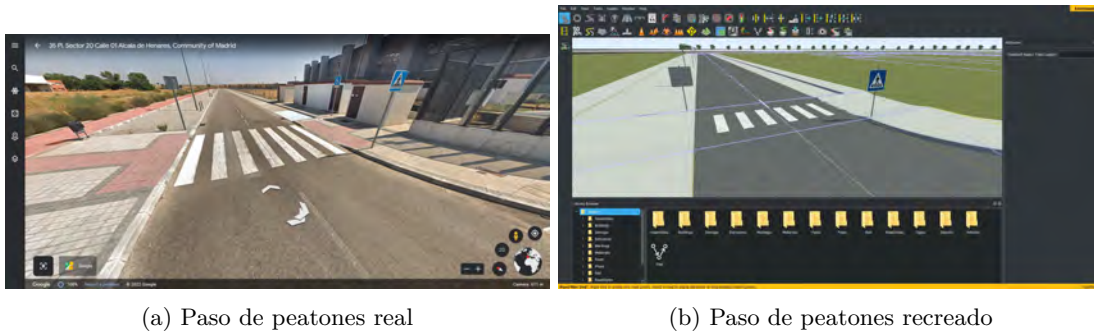
Para recrear las calzadas, seleccionaremos un estilo de calzada simple y le daremos la anchura deseada, de tal manera que iremos colocando todas las calzadas alrededor del edificio Telefónica, ajustando el centro de la calzada a la línea que va marcando el mapa OSM. Una vez hayamos colocado todas las calzadas, añadiremos el bordillo en los dos sentidos y la acera posteriormente, respetando siempre en la medida de lo posible, la anchura, ya que en las imágenes satélite al acercarse demasiado la imagen se pierde resolución y por tanto cuesta distinguir lo que se está midiendo por lo que nunca será exacto en su totalidad.

Tras colocar la calzada, bordillos y acera, se procederá a completar el entorno en primer lugar añadiendo los pasos de peatones, indicados en la figura 4.4, realizando el rebaje de la acera para cada paso, así como su señal S-13 indicando la proximidad de un cruce de peatones.



Figura 4.4: Situación real de los pasos de peatones

En la figura 4.5a se ve cómo es el paso real de la avenida Punto Com con la calle Punto Mobi y en la figura 4.5b se aprecia el detalle del resultado una vez se ha recreado en Roadrunner [2]. Se puede apreciar que el resultado es bastante aproximado, teniendo en cuenta la reducción de la altura de la acera, las señales S-13 indicando el paso así como la marca vial.



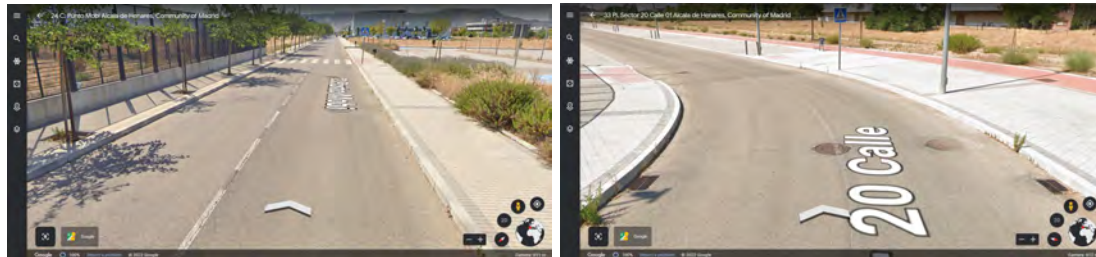
(a) Paso de peatones real

(b) Paso de peatones recreado

Figura 4.5: Comparativa del paso de peatones de la Av. Punto Com

Una vez se ha visto la recreación de uno de ellos, con el resto se hará exactamente lo mismo para poder avanzar con el siguiente paso que será la colocación de las marcas viales de separación de carril con línea continua o discontinua.

En la figura 4.6a nos situamos en la calle Punto Mobi para observar las líneas de separación de carriles. En este caso, las marcas corresponden a líneas discontinuas, mientras que por el contrario si nos situamos en la avenida Punto Com, en la zona de curva, tenemos una línea continua como se ve en la figura 4.6b

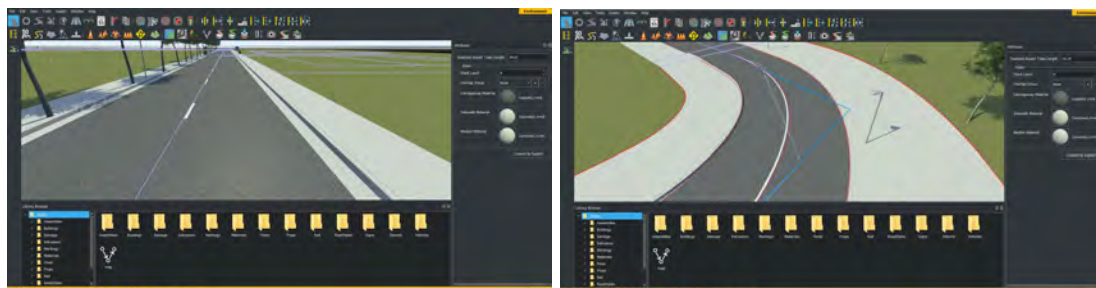


(a) Calle Punto Mobi

(b) Avenida Punto Com

Figura 4.6: Tipo de líneas de carril según la zona

En las figuras 4.8b y 4.9b vemos el resultado final de ambas calzadas con las marcas viales ya trazadas, de tal manera que se intenta respetar en todo momento la realidad.

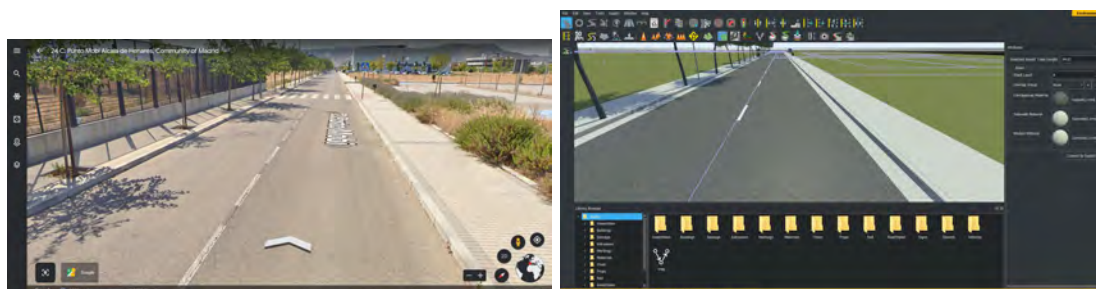


(a) Calle Punto Mobi recreada

(b) Avenida Punto Com recreada

Figura 4.7: Tipo de líneas de carril según la zona

Y en las figuras 4.8a y 4.8b podemos ver la comparativa de la calle Punto Mobi vista desde Google Maps y en Roadrunner [2].



(a) Calle Punto Mobi real

(b) Calle Punto Mobi recreada

Figura 4.8: Comparativa calle Punto Mobi real y recreada

Para la avenida Punto Com en las figuras 4.9a y 4.9b apreciamos la misma comparación, a nivel real y a vista recreada.

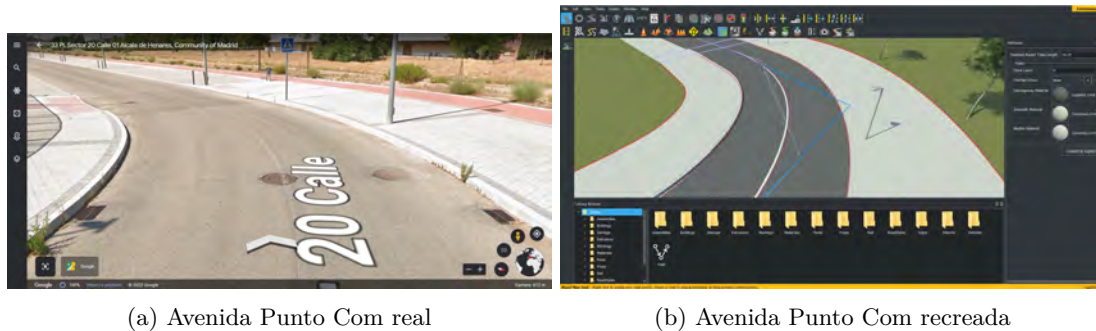


Figura 4.9: Comparativa calle Punto Mobi real y recreada

Acabada toda la parte de señalización con marcas viales, únicamente quedará añadir mobiliario urbano como farolas y papeleras, así como alguna vegetación del entorno como los árboles. También se añadirá algún vehículo pero estos pueden ser añadidos posteriormente en CARLA por lo que no son tan importantes en este paso.

Cabe destacar algunos problemas a la hora de realizar el entorno tales como la inclusión de edificios, ausencia de marcas viales, escasez de vegetación y vehículos a incluir.

Como ejemplos a destacar de estos problemas se tiene en primer lugar que los edificios incluidos en la librería de *assets* de Roadrunner[2] son muy genéricos y se ha optado por no incluir el edificio Telefónica u otros de las cercanías. En la figura 4.10 vemos algunos de los edificios que se incluyen pero en la figura 4.11 el edificio que se quiere representar no tiene semejanza alguna con los presentados en el software.

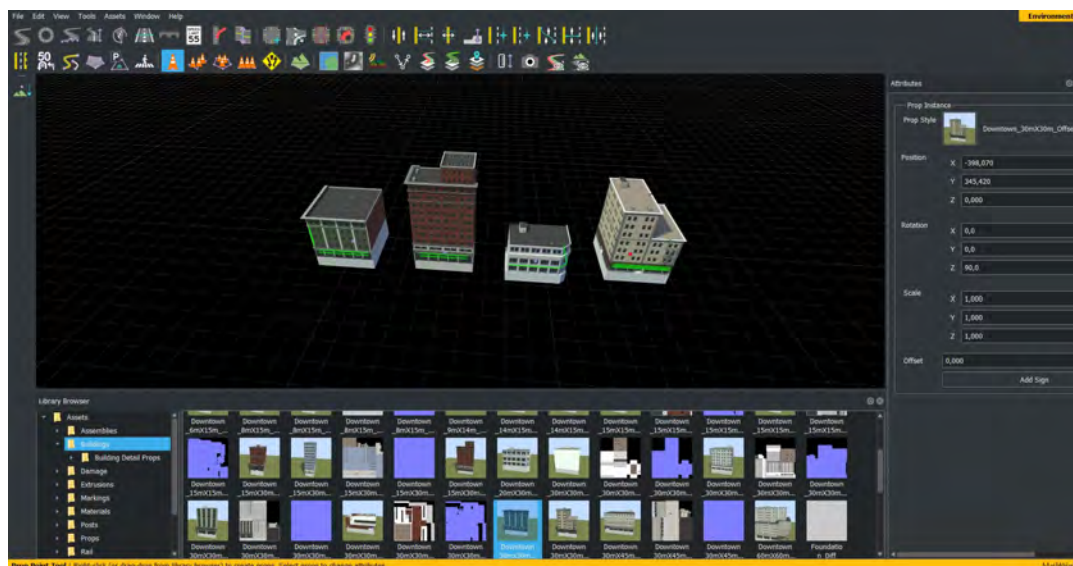


Figura 4.10: Edificios por defecto en la librería de Roadrunner



Figura 4.11: Edificio Telefónica situado en el emplazamiento a recrear

Respecto a la señalización encontramos ausencias notables como la señal S-17a correspondiente al estacionamiento para personas con minusvalía, debido principalmente a que la señalización que se incluye es para territorio germano, asiático y británico, por lo que para territorio nacional, a pesar de que se comparte un gran porcentaje con Alemania, no estaría del todo completo.

Se espera que a medida que se vaya actualizando el software, se vaya completando con señalización, edificios, vegetación, vehículos, etc, de tal forma que se pueda llegar a un nivel de representación totalmente fiel a la realidad.

A pesar de todas las ausencias anteriormente comentadas, para realizar un entorno de una manera básica, es decir, incluyendo calzadas y marcas viales de separación de carriles es más que suficiente, pero si se quiere alcanzar un nivel de semejanza elevado, en la actualidad no es posible.

4.4 Introducción a OpenDrive

En primer lugar tras la finalización de la recreación del entorno previo paso a la exportación, es la creación de la red de carreteras en formato OpenDrive.

Gracias al formato OpenDrive[9] se puede describir una red de carreteras con lenguaje de marcado extensible (*XML*) de tal manera que se describe la geometría de carreteras, carriles y objetos. Dichas redes de carreteras pueden ser sintéticas o basadas en datos reales.

El principal objetivo que se quiere conseguir con la creación de dicho formato OpenDrive [9] cuya extensión es *XODR* es describir la red de carreteras de tal forma que se pueda incorporar a las simulaciones, en nuestro caso incorporarlo a CARLA, para validar las características de los sistemas avanzados de conducción autónoma (ADAS). También gracias a este tipo de formato y siendo intercambiable entre diferentes simuladores, se crea un entorno estandarizado de tal forma que se reduce el coste al crear archivos para su desarrollo.

Como muestra la figura 4.12 extraída de la página de OpenDrive[9] , los segmentos de carreteras individuales se conectan con un cruce indicando la posible maniobra a realizar por el vehículo en el cruce, creando un código *XML* que contiene la maniobra creada para ser entendida por los simuladores.



Figura 4.12: Creación de una red de carreteras en OpenDrive

4.5 Uso de OpenDrive en Roadrunner

Para ver el uso práctico de lo explicado anteriormente, se creará el archivo OpenDrive en Roadrunner, una vez se tenga el entorno finalizado, es decir, que tenga todas las carreteras deseadas implementadas así como señales, marcas viales y los cruces. Se comenzará con la herramienta *Maneuver tool* la cual permite en los cruces la marcación de las maniobras posibles. En el entorno seleccionaremos el cruce que une la avenida Punto Com con la calle Punto Mobi como muestra la figura 4.13.

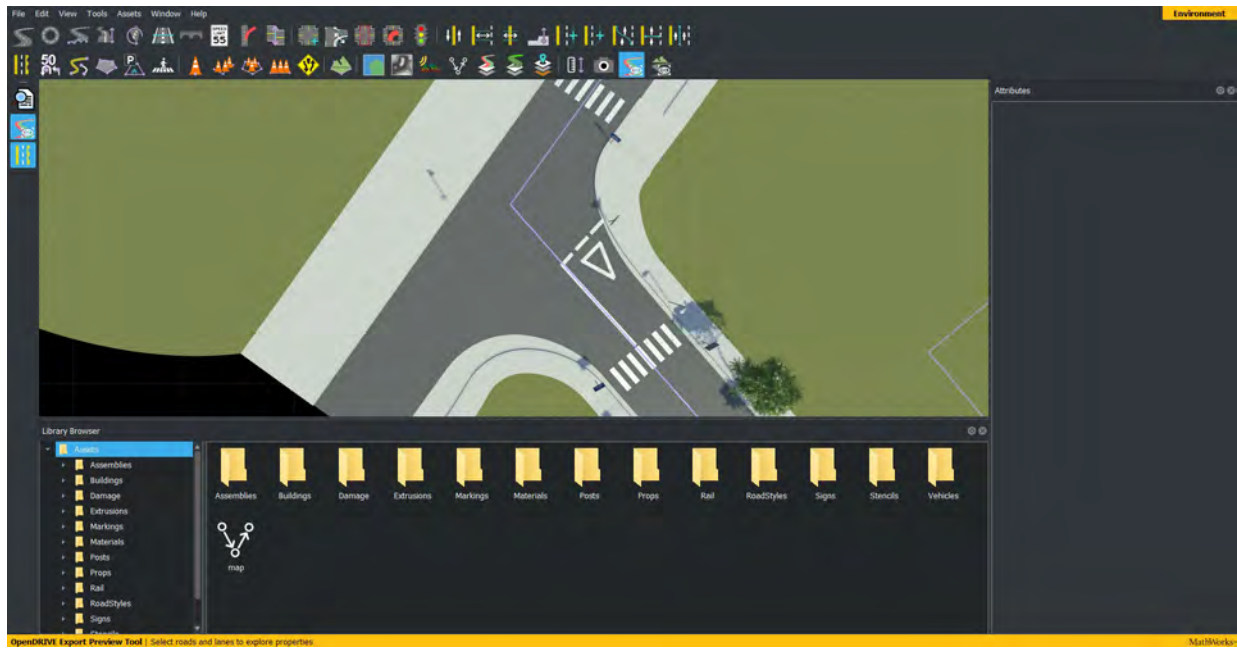


Figura 4.13: Cruce de la avenida Punto Com con la calle Punto Mobi

En la figura 4.14 se puede ver el funcionamiento de la herramienta *Maneuver tool*, de tal forma que se pueden indicar libremente las maniobras a realizar en cualquier intersección, en este caso, indicando que se puede cambiar de dirección o continuar recto según la calle de donde se proceda. Se definirá toda la maniobra en todos los cruces del entorno siguiendo la misma filosofía, de tal forma que cuando estén todas las maniobras indicadas, se pueda proceder a la creación del archivo OpenDrive.

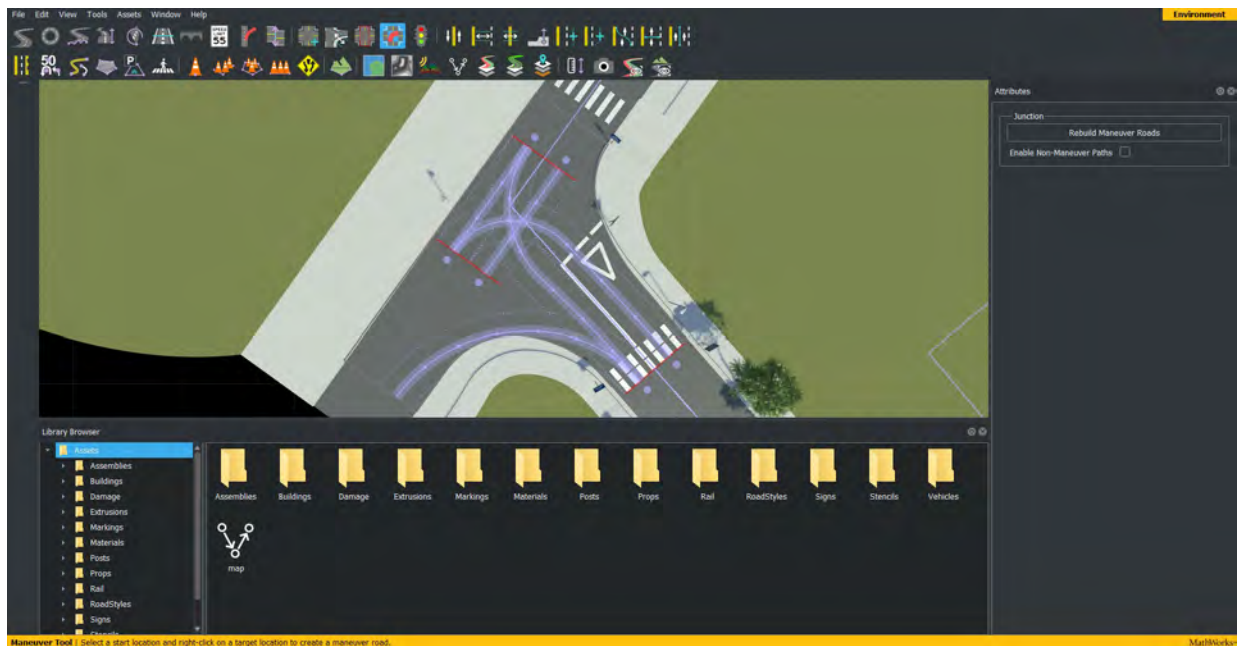


Figura 4.14: Vista de la herramienta Maneuver tool

Una vez se tienen todas las maniobras definidas, se pasará a la utilización de la herramienta *OpenDrive export preview tool* para la creación del archivo OpenDrive en formato *XODR*. Una vez se selecciona dicha herramienta, saldrá una ventana emergente como muestra la figura 4.15 donde se definirá el lado de conducción, en este caso al estar realizando un entorno en España, se seleccionará el lado derecho así como las opciones para exportar las marcas viales, las señales, los objetos y el punto de origen de coordenadas de la escena.

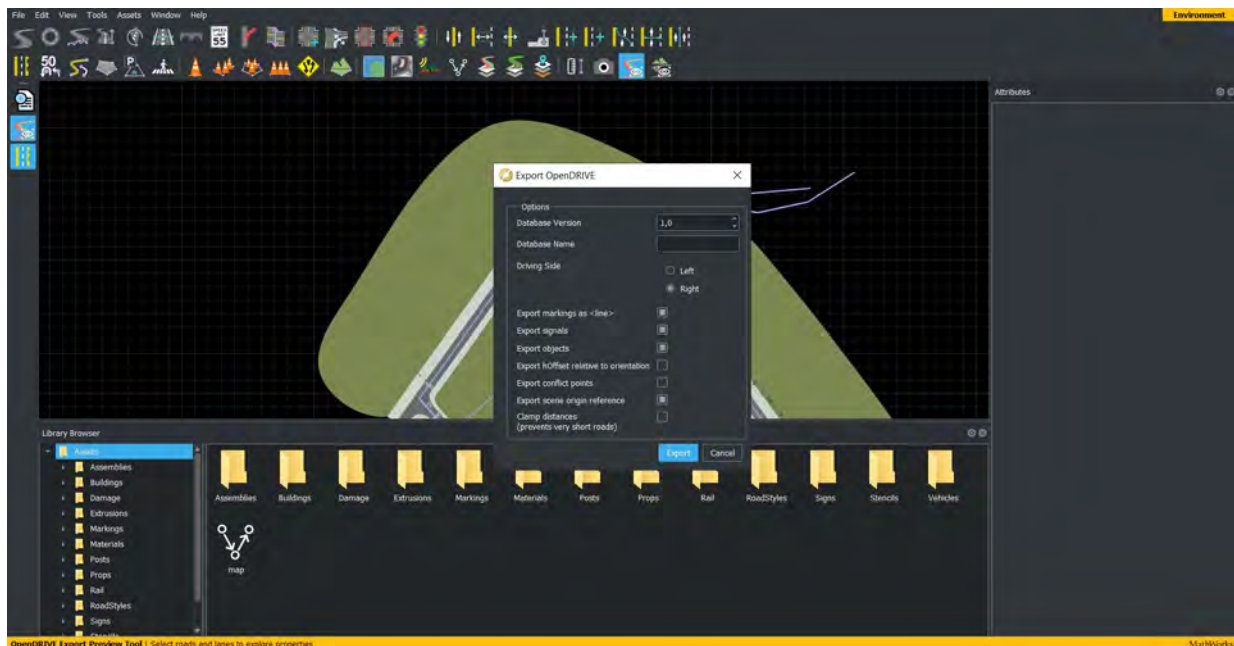
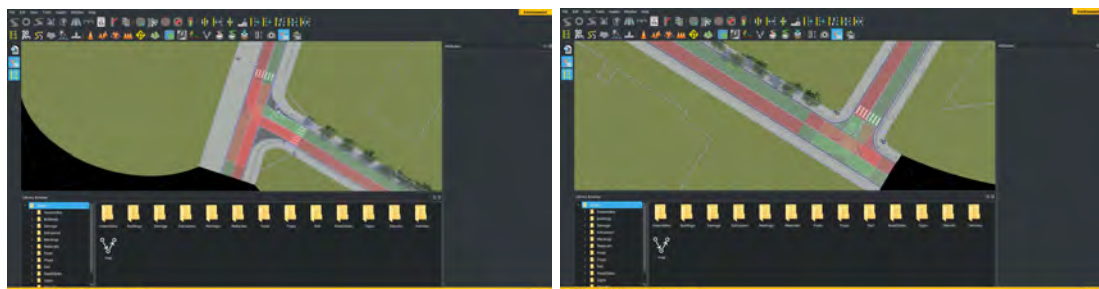


Figura 4.15: Ventana de configuración de OpenDrive export preview tool

Finalmente, como se puede ver en las figura 4.16a en el cruce de la avenida Punto Com con la calle Punto Mobi como quedaría definida la red de carreteras así como en la figura 4.16b donde se puede ver el cruce de la calle Punto Mobi con la calle Arroba.



(a) Cruce de la avenida Punto Com con la calle Punto Mobi

(b) Cruce de la calle Punto Mobi con la calle Arroba

Figura 4.16: Resultado de la creación de la red de carreteras

4.6 Finalización y exportación del entorno

Una vez se ha terminado de recrear el entorno, el siguiente paso es realizar la exportación al simulador o visor que se desea, en nuestro caso, CARLA, se deben realizar los siguientes pasos.

Roadrunner[2] tiene una perfecta integración CARLA, de tal forma que brinda la posibilidad de realizar la exportación directamente a través de tres ficheros, un Filmbox con formato *fbx*, otro con formato *XML* que contiene varios metadatos y por último un archivo formato *XODR* OpenDrive que constituye la base del entorno.

Por otra parte, para la importación de los ficheros creados a CARLA, para realizarlo en conjunto se debe hacer a través de Unreal Engine [10] a través de los siguientes pasos:

En primer lugar a la hora de importar una escena se debe fijar la opción de *Hierarchy Type* en *Create one Blueprint asset* y en caso necesario marcar la opción *Invert Normal Maps* como se muestra en la figura 4.17.

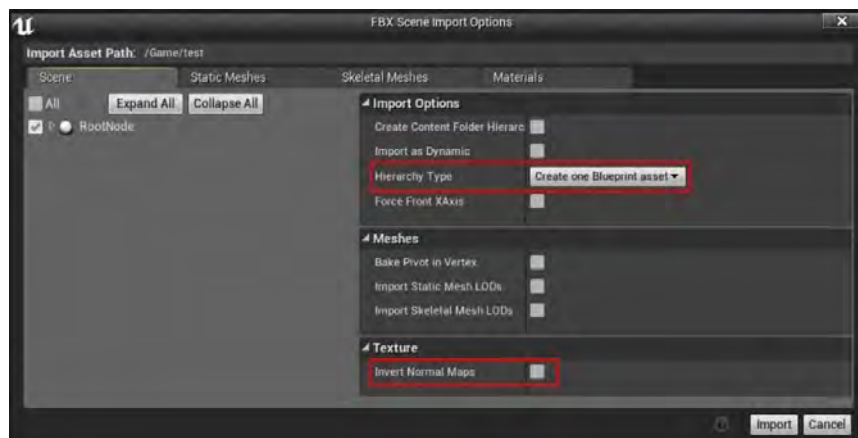


Figura 4.17: Primer paso en Unreal Engine

Para el segundo paso, en la pestaña de *Static Meshes* en la opción *Normal Import Method* se fija en *Import Normals* y en caso de ser un entorno recreado a gran escala opcionalmente se puede desmarcar la casilla de *Remove Degenerates* como se muestra en la figura 4.18.

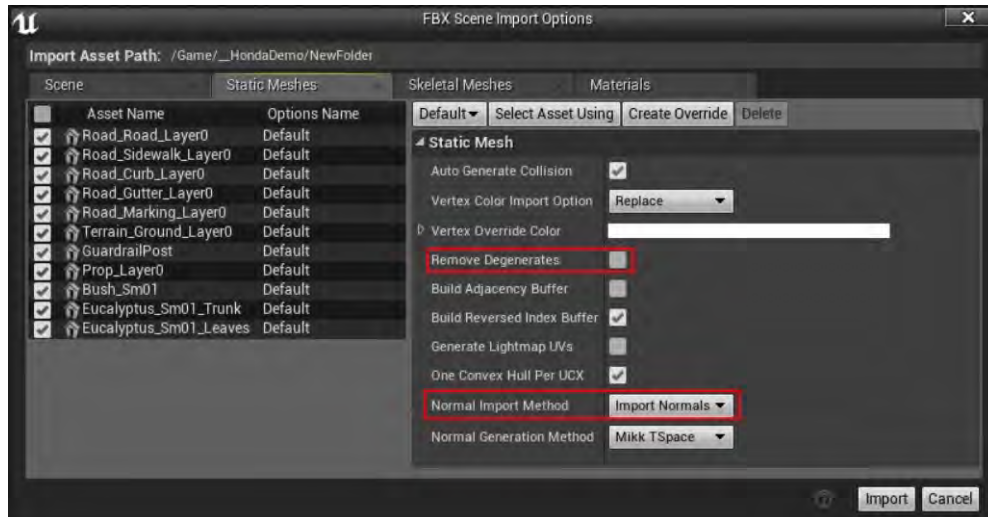


Figura 4.18: Segundo paso en Unreal Engine

Finalmente, se pulsa en *Import* y a *Play* en el editor, y cargando los archivos de Python correspondientes al vehículo que queremos importar ya se tendría todo preparado para probar el entorno.

Todo este proceso es válido siempre que se haga a partir de la aplicación de Unreal Engine [10], otra forma de realizarlo es lanzándolo a través de la consola de comandos, en el caso de Linux realizando un *make import* del mapa y lanzando CARLA posteriormente.

Capítulo 5

Coordenadas geográficas y proyectadas

5.1 Las coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas son una forma de definir un punto sobre la superficie terrestre en formato grados, minutos y segundos, de tal forma que se consigue la creación de un sistema de referencia de tres dimensiones. Para poder definir un punto es necesario definir los elementos necesarios para situar un punto con el formato anteriormente mencionado, es decir, los meridianos, paralelos así como la definición de longitud y latitud.

Comenzando con los meridianos, los cuales son líneas que contienen al eje de rotación de la tierra, tomando como referencia el meridiano 0 o meridiano de Greenwich, cuyo nombre toma de la ciudad inglesa por la que pasa, dividiendo el globo terráqueo en dos zonas, las situadas al oeste y las situadas al este como se puede ver en la figura [5.1](#)



Figura 5.1: Vista de la división de los meridianos

En siguiente lugar, se encuentran los paralelos, definidos como las líneas de intersección de los planos perpendiculares al eje de rotación de la tierra, siendo el mayor paralelo el Ecuador, el cual divide el globo terráqueo en dos hemisferios, el hemisferio norte y el hemisferio sur como muestra la figura 5.2



Figura 5.2: Vista de la división de los paralelos

Una vez se tiene una red definida de meridianos y paralelos la situación de un punto se define a través de la longitud y la latitud, referenciados a la red creada, pudiendo definir longitud como la distancia al meridiano 0 y la latitud como la distancia al Ecuador.

5.2 El Datum

El Datum[11] va relacionado directamente con los sistemas de coordenadas geográficos, de tal forma que se consiga representar la Tierra salvando sus irregularidades, ya que como se sabe el globo terráqueo no es una esfera perfecta, sino que está achatada por los polos, por lo que las coordenadas geográficas no tienen por qué ser universales ya que según la zona se tiene asociado un Datum.

El Datum va relacionado con un geoide y con una elipsoide los cuales se definirán a continuación para entender la relación.

El geoide une todos los puntos de la superficie teórica de la Tierra con el mismo valor de gravedad, por lo que no es uniforme sino que tiene irregularidades presentadas por la diferente composición mineral, por tanto, para cada punto del geoide hay una distancia diferente desde el centro de la Tierra.

El elipsoide es la figura que representa a la Tierra, ya que su forma no es completamente esférica y se asemeja a una elipse, pudiendo ver en la figura 5.3 su representación.

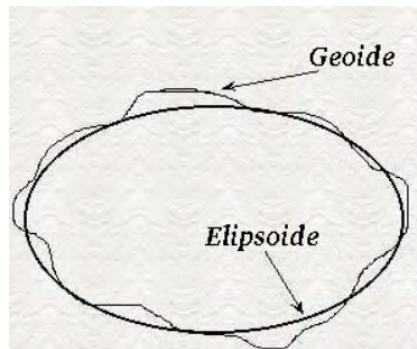


Figura 5.3: Vista del geoide y elipsoide

Por tanto el Datum, es el punto tangente entre el geoide y el elipsoide.

Existen diversidad de elipsoides y de datums, empleando en cada zona uno diferente, de tal forma que siempre se consiga una aproximación mucho mayor entre elipsoide y geoide, pero en este proyecto se va a ver con mayor detalle el WGS84, ya que es considerado el Datum universal, debido a que es el utilizado por los sistemas GPS.

Para el empleo de un sistema GPS, es necesario tener un posicionamiento común en cualquier parte del mundo, por lo que cualquier sistema de geoposicionamiento utiliza el Datum WGS84, creado de tal manera para tener un sistema mundial.

El Datum WGS84, utiliza como origen el centro de masas de la Tierra y basándose en un sistema de coordenadas X,Y,Z se tiene el eje Z como el paralelo al polo medio, el eje X como la intersección entre el meridiano 0 y el Ecuador y el eje Y como la perpendicular a los ejes Z y X.

5.3 UTM: Universal Transverse Mercator

En primer lugar se definirá las coordenadas de tipo UTM[1], en inglés *Universal Transverse Mercator*, basado en la proyección ideada por Gerhard Mercator[12], la cual lleva su nombre, es decir, la proyección cartográfica de Mercator[13].

Para entender mejor las coordenadas UTM, hay que entender su procedencia y en que se basa. La proyección de Mercator [13] consiste transformar el sistema de meridianos y paralelos en un sistema de coordenadas cartesiano.

Dicho sistema, está basado en una proyección cilíndrica manteniendo paralelos el eje del cilindro con el eje terrestre permitiendo representar toda la superficie consiguiendo una deformación muy escasa únicamente en la región del ecuador.

En la figura 5.4 se aprecia con más claridad lo que sería la proyección de Mercator, introduciendo el globo terráqueo en un cilindro y teniendo paralelos tanto el eje de la Tierra como el del cilindro.

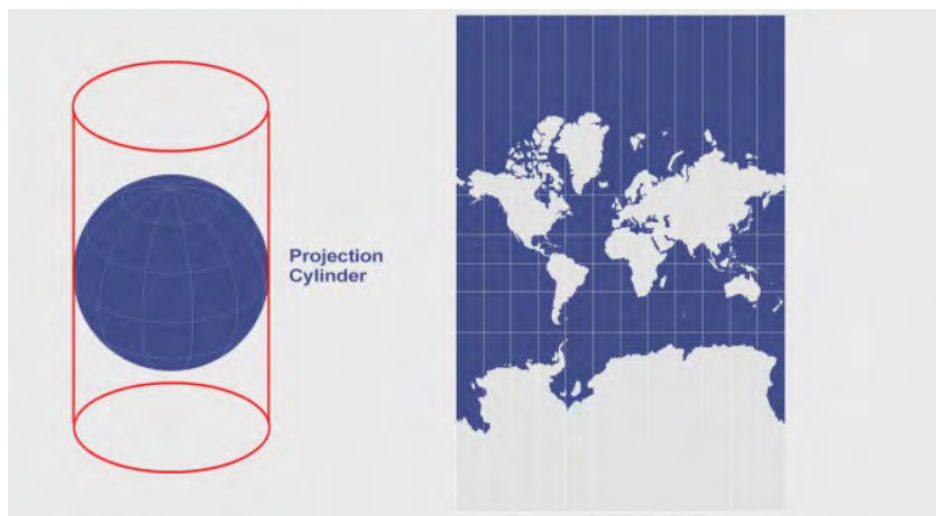


Figura 5.4: Representación de la proyección de Mercator

Las coordenadas UTM [14], se basan en el mismo concepto, pero con la diferencia de que el eje de la Tierra es perpendicular al eje del cilindro como se muestra en la figura 5.5.

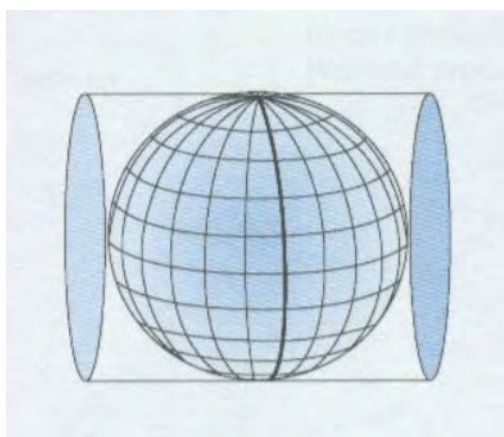


Figura 5.5: Representación UTM

El funcionamiento de este sistema es bastante sencillo ya que consiste en dividir la Tierra en 60 zonas separadas cada una por 6° de longitud y numerados en orden ascendente a medida que nos vamos desplazando hacia el este, como se puede comprobar en la figura 5.6, donde la península está situada en las zonas 29, 30 y 31, mientras que las islas Canarias se encuentran en las zonas 27 y 28.

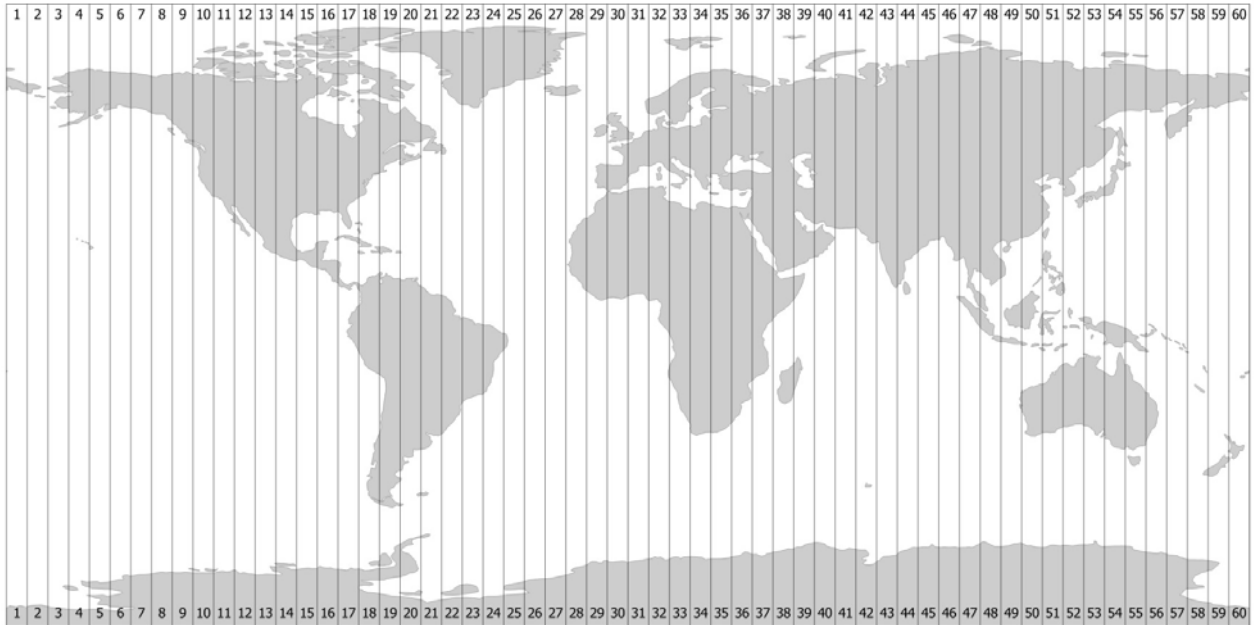


Figura 5.6: Zonas UTM

Es importante destacar que mientras que un sistema de coordenadas común donde las distancias son medidas en grados, minutos y segundos en las diferentes longitudes y latitudes, el sistema UTM[1], al estar basado en un sistema cartesiano, las distancias son medidas en metros.

Dicho sistema se utiliza por las siguientes ventajas frente a otros sistemas proyectados:

- Los paralelos y meridianos son representados como líneas rectas formando los husos que se comentaron con anterioridad.
- Las distancias se miden con facilidad ya que entre dos puntos es una línea recta, en contra de medir directamente en el globo terráqueo, la distancia entre dos puntos es la curva dada por la superficie terrestre
- No tiene una excesiva deformación en distancias pequeñas

5.4 La importancia de las coordenadas en CARLA

A la hora de importar mapas en CARLA en formato OpenDrive, es importante que los valores de coordenadas con proyección UTM [1], no tengan valores elevados, ya que por tanto no serán entendidos correctamente y el mapa podría dar errores a la hora de trabajar con él.

Previo a trabajar con Roadrunner [2], para convertir cualquier tipo de archivo OSM a formato OpenDrive era necesario el uso del script que se muestra en la figura 5.7. En dicho script podemos ver como a las coordenadas x e y se les añade un offset para tratar de que las coordenadas en el archivo OpenDrive sean de valores entendibles perfectamente por CARLA, realizando también una proyeccion UTM [1] en la zona 30, la cual corresponde a la zona en la que se está trabajando.

```
import carla

# Read the .osm data
f = open("../maps/UAH.osm", 'r')
osm_data = f.read()
f.close()

# Define the desired settings. In this case, default values.
settings = carla.Osm2OdrSettings()
# Set OSM road types to export to OpenDRIVE
settings.set_osm_way_types(["motorway", "motorway_link", "trunk", "trunk_link", "primary", "primary_link", "secondary", "secondary_link", "tertiary", "tertiary_link", "unclassified", "residential"])

settings.default_lane_width = 4

settings.use_offsets = True
settings.offset_x = -470950.50
settings.offset_y = -4485470.28
settings.center_map = False
settings.generate_traffic_lights = False
settings.all_junctions_with_traffic_lights = False
settings.proj_string = '+proj=utm +zone=30 +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs'

# Convert to .xodr
xodr_data = carla.Osm2Odr.convert(osm_data, settings)

# save opendrive file
f = open("../maps/UAH.xodr", 'w')
f.write(xodr_data)
f.close()
```

Figura 5.7: Script de conversión de OSM a Opendrive

Actualmente con el uso de Roadrunner, ya no es necesario el uso de un script, ya que con el mismo software, se permite realizar la proyección UTM [1], respecto a un punto correspondiente al mapa y la posterior exportación a formato OpenDrive.

Para realizar este proceso, debemos importar el mapa en formato OSM a Roadrunner y en la ventana *attributes*, en el caso de que no tenga ninguna proyección realizada como muestra la figura 5.8, introduciremos las coordenadas en latitud y longitud donde queremos realizar la proyección usando el sistema UTM [1], de tal manera que al realizar una exportación en formato OpenDrive, obtendremos un mapa totalmente entendible por CARLA.

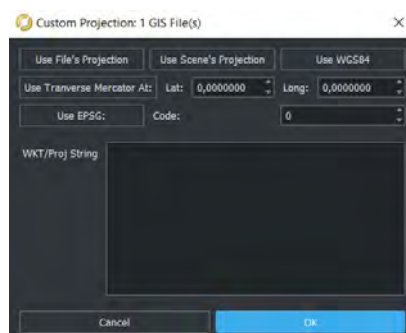


Figura 5.8: Ventana para realizar proyección UTM en Roadrunner

5.5 La importancia de las coordenadas en Roadrunner

Si en la sección anterior se hablaba de la importancia de las coordenadas a la hora de trabajar en la exportación de mapas para CARLA, en esta sección toca hablar de la importancia que tiene la correcta selección de coordenadas, pero en este caso en Roadrunner.

Para el correcto desarrollo de cualquier entorno de conducción, se hablaba en capítulos anteriores de la importancia de conocer qué es cada línea en los mapas OSM y para la representación de las calzadas, es altamente importante seleccionar las coordenadas adecuadamente, ya que siempre hay que tener en cuenta donde están los extremos de las calzadas, los centros de las rotondas, los puntos donde acaban las medianas, etc.

A lo largo de la realización del proyecto, se han ido probando y descartando diferentes sistemas y servicios de mapas, los cuales se irán clasificando a continuación.

En primer lugar, se comenzó utilizando Google Maps para la obtención de los puntos de coordenadas, pero tras la realización de una primera vista preliminar, al importar en CARLA el mapa realizado, se vió que el vehículo no realizaba la trazada correctamente. Tras investigar la precisión con la que Google Maps ofrece sus datos, se llegó a la conclusión de que las imágenes satelitales tenían una desviación aproximada de dos metros en el mejor de los casos, llegando a incluso cinco metros en el peor de los casos, por lo que finalmente se descartó este sistema, siendo únicamente utilizado para obtener imágenes a pie de calle así como medidas de distancias, las cuales si que son más precisas.

En segunda opción está el servicio de mapas de Microsoft, Bing Mapas, ya que proporciona imágenes satelitales a OpenStreetMap, por lo que ofrece una mayor precisión. El principal problema de este servicio de mapas, es que al aumentar las imágenes del satélite, a menos distancia del suelo se pierde mucha resolución, por lo que no se termina de diferenciar a qué corresponde cada punto.

La tercera opción fue utilizar un GPS diferencial con precisión centimétrica, de tal manera que realizando un recorrido por el circuito de pruebas se fueron tomando diferentes puntos en formato grados, minutos y segundos, que tras realizar la conversión a latitud y longitud, se han podido tomar referencias con mucha más exactitud.

Finalmente el último sistema utilizado es el editor Java OpenStreetMap, de tal forma que al superponer las imágenes satelitales que ofrece este sistema ya comentado con anterioridad con las líneas del mapa OSM, se pueden obtener datos de coordenadas con una mayor precisión, así que por tanto dicho sistema sumado a los datos obtenidos con el GPS diferencial, han servido para tomar los datos de la manera más precisa posible, y así poder situar las calzadas de una manera lo más exacta posible, consiguiendo el resultado esperado en CARLA, con el vehículo realizando la trayectoria que realiza en la realidad.

Capítulo 6

Recreación del circuito de pruebas de INVETT

6.1 Introducción

En este último capítulo del desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, se van a aplicar todas las técnicas vistas anteriormente en conjunto para recrear el circuito que utilizar el grupo de investigación INVETT [3] para realizar pruebas, así como los alrededores como muestra la figura 6.1 donde el circuito que se realiza está marcado en rojo.



Figura 6.1: Circuito de pruebas de INVETT

El circuito parte en la Calle 18 junto a la facultad de Enfermería partiendo dirección a la avenida Punto Es, girando a la derecha en la glorieta continuando la calzada junto a las instalaciones deportivas de la Universidad de Alcalá. Al llegar a la siguiente rotonda se continuará a la izquierda siguiendo la avenida Punto Com hasta el cruce con la calle Punto Mobi. Siguiendo esta calle todo recto hasta el edificio Telefónica, llegamos al cruce con la avenida Punto Com donde se girará a la izquierda para llegar a la glorieta donde se volverá a la avenida Punto Es. Continuando esta calzada hasta la glorieta de las instalaciones deportivas se girará a la derecha para volver a la calle 18 de nuevo y volver al inicio.

Para esta última fase vamos a realizar los pasos que ya se conocen con anterioridad, tales como la obtención del mapa desde OpenStreetMap donde ya se detalló ese paso con anterioridad, la posterior importación a Roadrunner[2] y la importancia de la exactitud de las coordenadas para la situación de calzadas para que en simulación el vehículo siga el camino adecuado.

En este paso, tras realizar más comprobaciones e investigaciones, se determinó que los datos proporcionados por OpenStreetMap en formato *OSM*, al visualizarlo en Roadrunner[2] las líneas determinan el centro de la calzada, por tanto, a partir de este dato, el cual es fundamental para la correcta situación de las carreteras, así como las herramientas vistas anteriormente como Java OpenStreetMap [15] y los puntos de coordenadas obtenidos con el GPS diferencial, podemos dibujar un mapa lo más acorde a la realidad.

Por otro lado, para la recreación de este último paso, se va a proceder por fases, de tal manera que para asegurar que el trabajo realizado es correcto, a la finalización de cada fase se probará en CARLA [16] y una vez validado se pasará a la siguiente fase.

Las fases a realizar son las siguientes:

1. Obtención del mapa en OpenStreetMap e importación a Roadrunner
2. Situación de puntos obtenidos con GPS diferencial y otros puntos clave
3. Colocación de carreteras
4. Colocación de aparcamientos
5. Situar vegetación
6. Situar varias señales y farolas
7. Emplazamiento de edificios

Comenzaremos a simular a partir de la colocación de carreteras y a partir de ahí continuar con todo el proceso de recreación mencionado hasta llegar a la última fase.

6.2 Primera fase: Obtención del mapa en OpenStreetMap e importación a Roadrunner y colocación de puntos clave

Durante esta primera fase, se va a realizar la obtención del mapa desde OpenStreetMap[8] y la posterior importación a Roadrunner[2]. Para dichos pasos no se va a entrar en detalle ya que se ha explicado con anterioridad como realizar el proceso.

Una vez se tenga importado el mapa en Roadrunner[2], vamos a marcar a través de conos puntos clave para tener referencias a la hora de situar las carreteras. Dichos puntos van a ser centros de glorietas, situación de pasos para peatones y para las calzadas se marcará el centro de la vía así como el límite a lado izquierdo y al lado derecho. Teniendo

en cuenta que las líneas que vienen trazadas en un mapa en formato *OSM* marcan el centro de las calzadas las marcas que se sitúen para las calzadas serán meramente orientativas ya que su función fundamental será marcar el ancho de la vía.

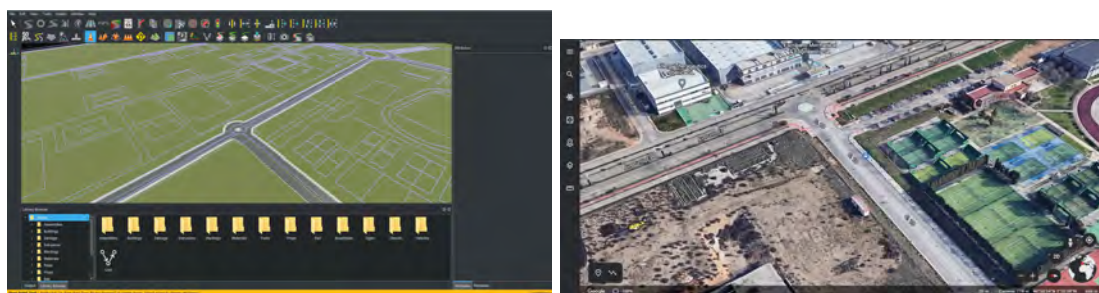
6.3 Segunda fase: Colocación de las carreteras

Tras terminar la primera fase, se comienza con la situación de las calzadas sin prestar demasiada atención a las aceras, medianas o bordillos, ya que prima la correcta ubicación de las vías para que el vehículo siga la trazada sin salirse.

En esta parte del desarrollo, se basará también en el principio de ensayo-error, ya que tras la finalización al colocar las calzadas, no siempre el vehículo seguía la trayectoria adecuada, de tal manera que hay que desplazar alguna vía, retocar algún cruce, mover glorietas o modificar anchos de carretera, hasta que se consiga el resultado deseado.

Lo primero que se hará será colocar las rectas dejando las glorietas en un segundo plano, mientras que los cruces se realizan de forma automática. Para los cruces habrá que modificar el ángulo tras realizar una primera simulación, ya que hay ciertos tramos donde el vehículo tiende a subirse a los bordillos. Una vez se han colocado todas las calzadas, se pasará a situar las glorietas con la herramienta que proporciona Roadrunner[2] para la creación de vías circulares. Por lo general las rotondas no originan demasiados problemas, ya que la unión con las rectas situadas anteriormente se realiza de forma automática, pero hay alguna excepción donde no se realizan bien las uniones de tramos, de tal manera que hay que realizarlo de forma manual, dando más longitud a la carretera hasta completar las conexiones.

En la figura 6.2a y en la figura 6.2b podemos ver la comparativa de la calle 18 recreado en Roadrunner[2] y visto en la realidad desde Google Maps. Se puede ver, como empieza a tomar forma esta última fase del proyecto, viendo simplemente las calzadas colocadas.



(a) Calle 18 recreada

(b) Calle 18 real

Figura 6.2: Comparativa calle 18 recreada y real

A continuación, podemos ver en las figuras 6.3a y 6.3b la glorieta que une las avenidas Punto Com y Punto Es.

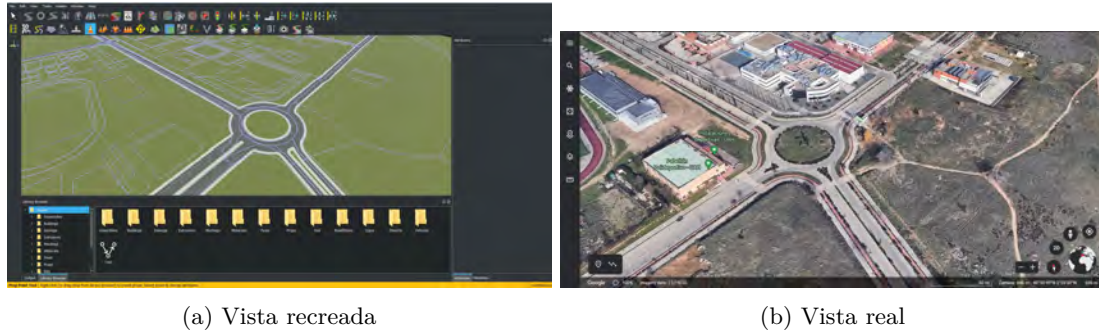


Figura 6.3: Comparativa glorieta avenidas Punto Com y Punto Es recreada y real

Y por último, una comparativa de la glorieta junto a la Sede de la Biblioteca Nacional, como se puede ver en las figuras 6.4a y 6.4b.

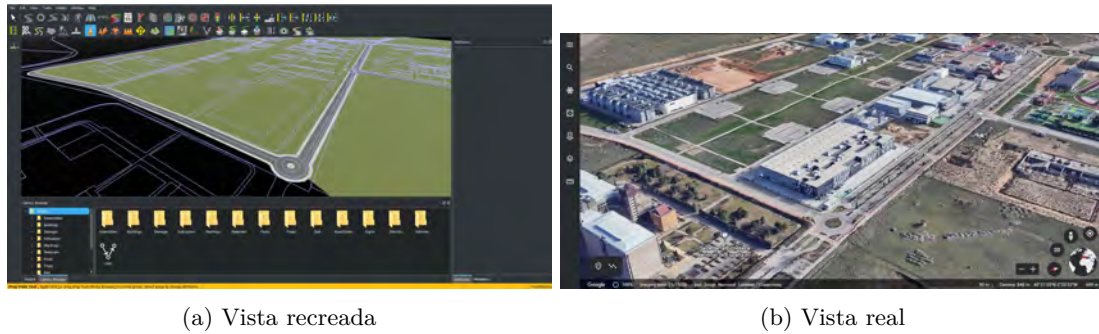


Figura 6.4: Comparativa glorieta sede de la Biblioteca Nacional recreada y real

Una vez finalizado este paso, pasamos a simulación en CARLA[16] para verificar su correcto funcionamiento y ver que el coche no realiza movimientos extraños, y pasamos a la siguiente fase con la colocación de los aparcamientos y la adecuación de aceras, bordillos y medianas.

6.4 Tercera fase: Colocación de aparcamientos y adecuación de aceras y medianas

Esta tercera fase, la vamos a dividir en dos pasos, en primer lugar colocaremos los aparcamientos junto a la carretera así como las zonas de aparcamiento de las instalaciones deportivas y de las diferentes empresas que rodean el circuito y como segundo paso, se corregirán las aceras y bordillos que quedaron pendientes del paso anterior, para dotarlos de la anchura adecuada así como la situación de las medianas.

Respecto a los aparcamientos tenemos 4 tipos de zonas que se pueden identificar, en primer lugar, el aparcamiento correspondiente a las instalaciones deportivas como se puede ver en la figura 6.5, cuyo desarrollo se realizará simplemente colocando una calle y

marcando las líneas de aparcamiento. En esta parte del desarrollo será muy importante la utilización de la herramienta de creación de aparcamientos de Roadrunner[2] de tal manera, que servirá para marcar las líneas de los aparcamientos.

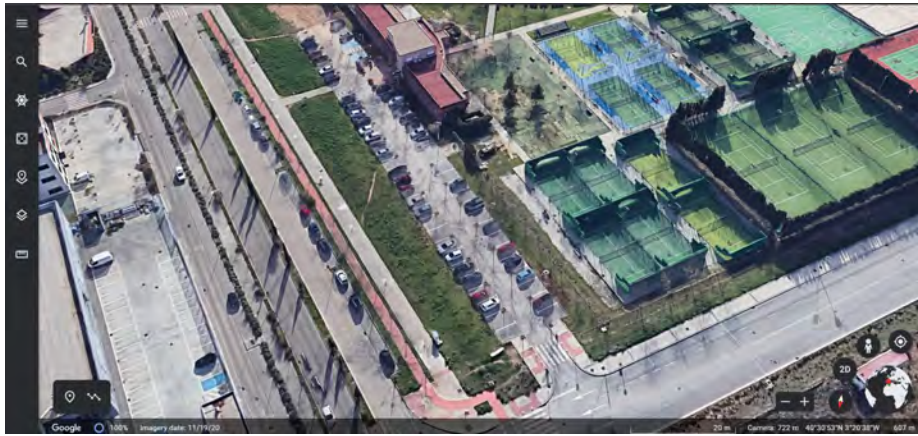


Figura 6.5: Aparcamiento de las instalaciones deportivas

El siguiente tipo de aparcamiento es el que está directamente en la carretera que es el que se encuentra en la avenida Punto Es como se muestra en la figura 6.6, que se realizará con un corte en la acera dejando un saliente para la colocación de luminarias.



Figura 6.6: Aparcamiento de la avenida Punto Es

El siguiente tipo de aparcamiento es el que encontramos en la avenida Punto Com, cuyo pavimento está compuesto por adoquines similares al material de la acera, por lo que durante el desarrollo de estas zonas en Roadrunner[2], se procederá de la misma manera para dotar de más realismo a la escena como muestra la figura 6.7



Figura 6.7: Aparcamiento de la avenida Punto Com

Por último, encontramos los aparcamientos correspondientes a las empresas alrededor de Tecnoalcalá, los cuales son zonas específicas de aparcamiento, fuera de las calzadas como muestra la figura 6.8, de tal manera que debemos conectarlos con las carreteras principales de la escena.



Figura 6.8: Aparcamientos en zonas de empresas

Una vez tenemos identificados los distintos tipos de aparcamientos, pasamos al desarrollo de cada uno de ellos.

Para el desarrollo de la zona de aparcamiento de las instalaciones deportivas, simplemente bastará con situar una calzada conectada con la calle 18 y marcando las líneas que delimitan las zonas de aparcamiento, como muestra el resultado obtenido en la figura 6.9



Figura 6.9: Recreación de la zona de aparcamiento de las instalaciones deportivas

Pasamos a recrear los aparcamiento de la avenida Punto Es que están en la misma calzada. Para ello, realizaremos cortes en la acera correspondientes a las zonas de pasos de peatones, así como los salientes donde se sitúan las luminarias como muestra la figura 6.10, desplazando los cortes realizados según corresponda una distancia aproximada de un metro y setenta centímetros de tal manera que se asemeje al ancho de un turismo estándar.

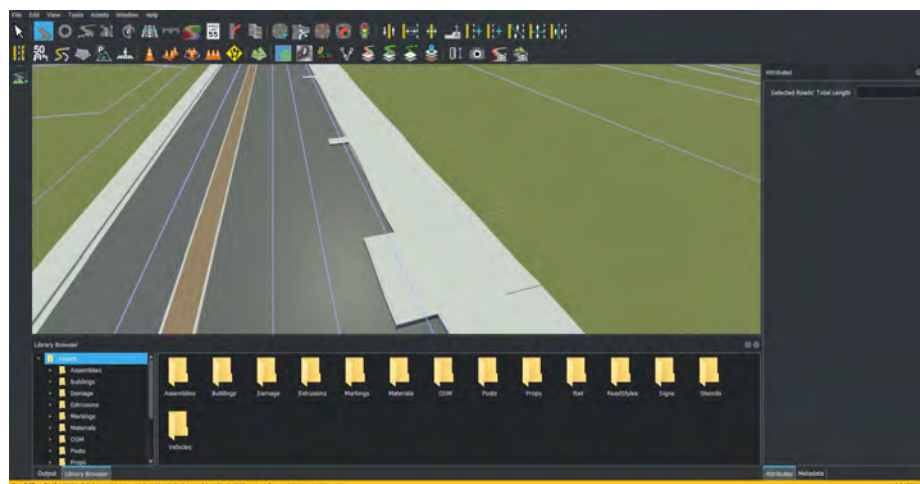


Figura 6.10: Recreación de la zona de aparcamiento de la avenida Punto Es

A continuación, recrearemos los aparcamientos de la avenida Punto Com. Dichos aparcamientos están pavimentados de tal forma que se asemejan a una extensión de la acera. Para realizar este proceso, se extenderá la acera de tal forma que quede a la misma altura que la calzada, creando posteriormente el bordillo que delimite la zona peatonal quedando el resultado mostrado en la figura 6.11

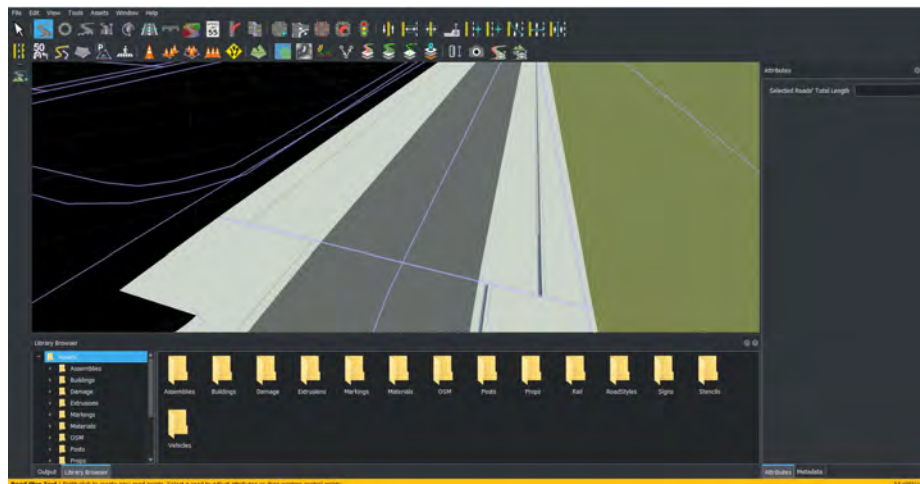


Figura 6.11: Recreación de la zona de aparcamiento de la avenida Punto Com

Por último, se tienen los aparcamientos correspondientes a las empresas. Para la recreación de estos aparcamientos, se colocarán calzadas formando un rectángulo y dejando un hueco para la posterior colocación de vegetación. Una vez se ha formado el rectángulo, lo conectaremos con la calle a la que da salida y se situarán las marcas viales que delimitan cada aparcamiento como muestra la figura 6.12

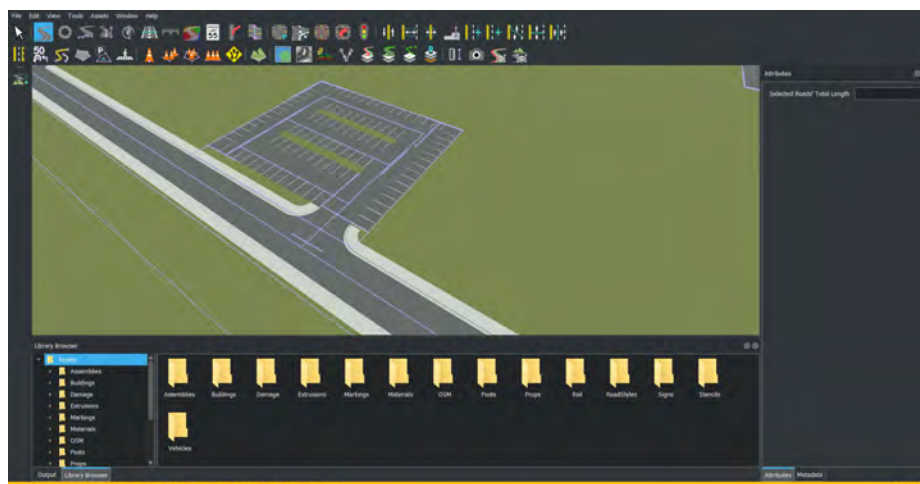


Figura 6.12: Recreación de la zona de aparcamiento de empresas

Con las zonas de aparcamiento ya situadas en el mapa, lo siguiente será colocar las medianas de la avenida Punto Es como muestra la figura 6.13.

Para su situación con la calzada ya colocada, se usará la herramienta *Lane Add Tool* y marcando la opción *Raised median* de tal manera que se añada una mediana pero con



Figura 6.13: Mediana situada en la avenida Punto Es

bordillo acorde con la realidad. Automáticamente se sitúa la mediana, y se modifica la anchura así como colocar tierra como material que compone el interior de la mediana. Además en las zonas donde hay pasos de peatones, se colocará pavimento en lugar de tierra para que coincida con la realidad. El resultado obtenido se puede ver en la figura 6.14



Figura 6.14: Recreación de la mediana en avenida Punto Es

El último paso a realizar en esta fase, es el ajuste de las aceras de tal manera que queden con el ancho lo más acorde a la realidad, así como ajustar las uniones de los aparcamientos de las zonas de empresa para que las curvas no queden con ángulos rectos, así como el ajuste de bordillos en rotondas que en la simulación realizada tras finalizar la fase anterior, se detectó que en momentos puntuales en las rotondas el vehículo iba por fuera de la calzada, por lo que se ajustará el ángulo de entrada a las rotondas y el de salida para que los bordillos no queden tan pronunciados.

Finalmente, para validar el resultado obtenido en esta fase, se procederá a simular en CARLA [16] y tras conseguir el visto bueno y ver que no hay fallos y que el circuito se ejecuta de manera correcta, se pasará a la siguiente fase, donde se colocará la vegetación.

6.5 Cuarta fase: Vegetación

Para esta cuarta parte, se va a colocar la vegetación presente en la zona del campus de la manera más fiel posible, ya que la librería de árboles y plantas presente en Roadrunner[2] no es demasiado extensa por el momento.

Como se hizo en la anterior fase, primero se identificará los tipos de árboles y plantas que se tienen en las diferentes zonas así como su colocación aproximada, de tal manera que se pueda colocar en Roadrunner[2] para que quede lo más similar posible.

En esta ocasión se utilizarán las herramientas *Prop point tool* la cual permite colocar objetos de la categoría *Props* donde se encuentra la vegetación, de tal manera que permite situar un único objeto en cada ocasión. También se utilizará la herramienta *Prop curve tool* la cual permite situar una fila de objetos del tipo *Props* permitiendo modificar la distancia entre cada elemento. Con esta herramienta es mucho más facil colocar vegetación en las calles donde se encuentran árboles del mismo tipo situados de manera equidistante.

En primer lugar, se visualizará la avenida Punto Es como muestra la figura 6.15. Se encuentra una disposición lineal en las zonas de las aceras con una separación similar entre árboles y en la mediana hay una disposición más libre así como distinta variedad de arbustos.



Figura 6.15: Vegetación en la avenida Punto Es

Para realizar la recreación como muestra la figura 6.16, se situarán de la librería de vegetación de Roadrunner[2] árboles del tipo ciprés en tamaño pequeño, mediano y grande en la mediana mediante el uso de *Prop point tool* así como diferentes arbustos colocados con la misma herramienta. Para las aceras se situarán árboles de la familia de eucaliptos en tamaño pequeño utilizando la herramienta *Prop curve tool* con una separación de cinco metros en ambos lados.



Figura 6.16: Vegetación recreada en la avenida Punto Es

A continuación, se visualizará la glorieta que une la avenida Punto Es y la avenida Punto Com tal y como muestra la figura 6.17 donde hay una concentración de árboles en su punto central y diferentes tipos de arbustos en todo el interior.



Figura 6.17: Vegetación en la glorieta entre avenida Punto Es y Punto Com

En la recreación, como se puede ver en la figura 6.18, se utilizará únicamente la herramienta *Prop point tool* ya que la vegetación se sitúa de manera repartida. Esto ocurrirá en las diferentes glorietas que componen la escena. La vegetación seleccionada han sido árboles del tipo ciprés en la zona central y los diferentes tipos de arbustos que proporciona la librería de Roadrunner[2].

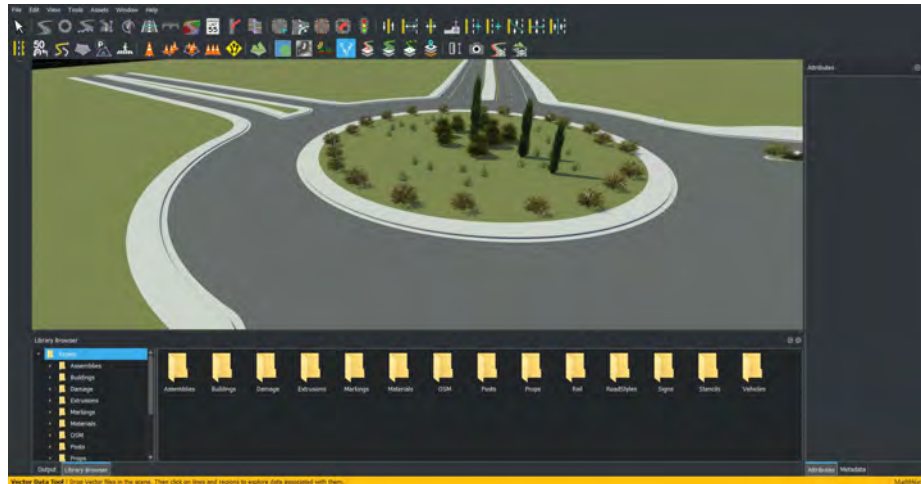


Figura 6.18: Vegetación recreada en la glorieta entre avenida Punto Es y Punto Com

Continuando con el circuito se tienen, las calles Punto Net y Punto Mobi, donde la disposición de la vegetación es la misma con la única diferencia de la ubicación ya que en la calle Punto Net los árboles se encuentran en la acera del lado izquierdo viendo desde la avenida Punto Com y en la calle Punto Mobi se sitúan en la acera derecha, también viendo desde la avenida Punto Com como se muestra en las figuras 6.19a y 6.19b.

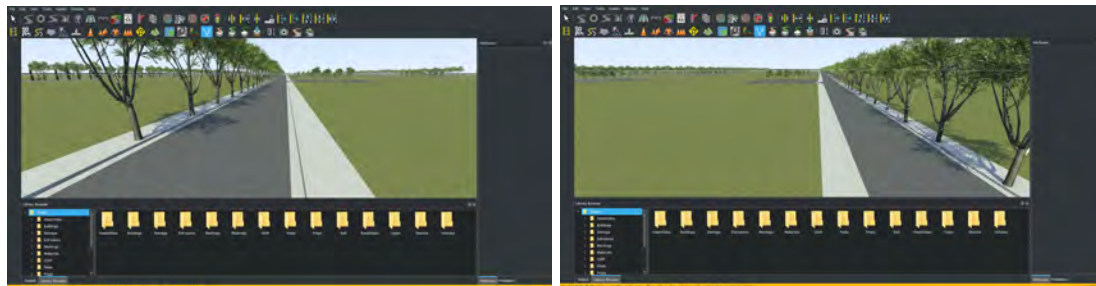


(a) Vegetación en la calle Punto Net

(b) Vegetación en la calle Punto Mobi

Figura 6.19: Vegetación en las calles Punto Net y Punto Mobi

Para la recreación de dichas calles, se procederá con la utilización de la herramienta *Prop curve tool* ya que el arbolado se sitúa de manera lineal y equidistante, escogiendo para esta ocasión árboles del tipo eucalipto, pero a diferencia que en la avenida Punto Es, su altura es algo mayor y con otra distribución en sus copas, fijando una distancia de separación de siete metros pudiendo ver el resultado en las figuras 6.20a y 6.20b.



(a) Vegetación recreada en la calle Punto Net

(b) Vegetación recreada en la calle Punto Mobi

Figura 6.20: Vegetación recreada en las calles Punto Net y Punto Mobi

Por otra parte, en algunos aparcamientos de la zona de empresas se colocará arbolado del tipo eucalipto de diferentes variedades para finalizar esta fase.

Tras la colocación de todo el arbolado, se simulará en CARLA para comprobar que todo se ejecuta de manera correcta y dar paso a la siguiente fase. A la hora de realizar una primera simulación se observó que no aparecía la vegetación en el simulador, debido a un problema con situación de los centros de las calzadas y las intersecciones, de tal manera que no se construía la escena de manera completa. Tras subsanar este error y proceder con otra simulación, la vegetación ya aparece en CARLA como se puede ver en la figura 6.21, pudiendo apreciar como poco a poco la escena se va asemejando a la realidad.



Figura 6.21: Vista en CARLA de la escena

6.6 Quinta fase: Situación de farolas, señales y edificios

En esta sección se unificará la situación tanto de señales de tráfico y alumbrado con la situación de edificios. Con lo que a señales y alumbrado respecta solo se realizará exclusivamente en la avenida Punto Es y la situación de edificios se realizará de manera aproximada en toda la escena.

En esta avenida con lo que a señales respecta, se pueden encontrar señales de situación de pasos de peatones, ceda el paso justo en las incorporaciones a las glorietas y señales de indicación de giro en glorietas en la aproximación a las mismas y señales de indicación de peligro por bicicletas, ya que toda la zona del circuito es una zona habilitada ciclable. En la figura 6.22 se puede ver una zona del circuito perteneciente a la glorieta que une la calle 18 con la avenida Punto Es donde se aprecian en su totalidad las señales anteriormente mencionadas.

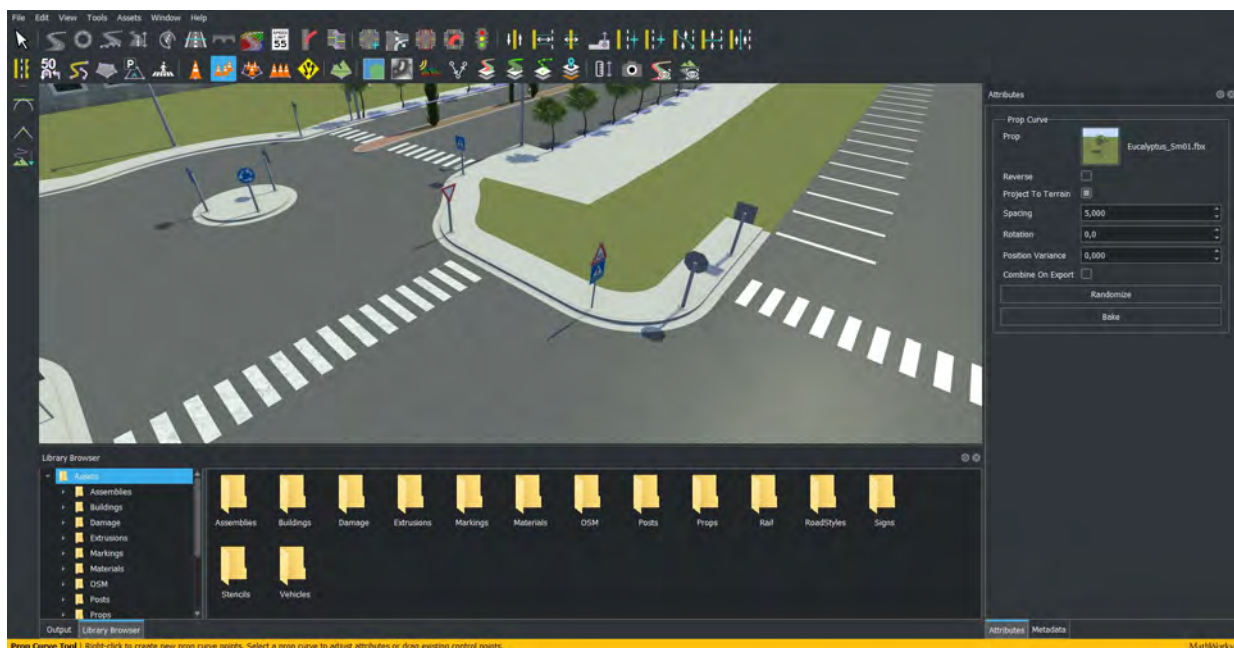


Figura 6.22: Señales ubicadas en la escena

Con lo que a alumbrado respecta, la farola a representar es la mostrada en la figura 6.23a. Para la recreación de dicha farola en la escena, se colocará con la utilización de la herramienta *Prop point tool* situándose en los salientes de acera creados en la fase de aparcamientos en el lado más próximo a las instalaciones deportivas y en la acera contraria se situarán a la misma altura siguiendo una disposición pareada. Para el poste se colocará uno de treinta pies de altura, equivalente a nueve metros de altura con una luminaria de estilo plano como muestra la figura 6.23b.



(a) Farola real

(b) Farola recreada

Figura 6.23: Farola real y recreada

Para la finalización de esta fase tenemos la problemática que se comentó en capítulos anteriores, ya que la variedad de edificios presente en las librerías de Roadrunner[2] es escasa, por lo que viendo la escena, la distribución de edificios es algo repetitiva, por lo que no merece la pena realizar comparativas entre edificios reales y los situados en la escena, ya que no son acordes a la realidad, por lo que se realizará una vista general.

En una primera imagen vista desde la calle 18, podemos ver en la figura 6.24 los edificios de Escribano, Cepsa y las instalaciones deportivas y en la figura 6.25 vemos la vista recreada. La disposición de los edificios es la misma pero no queda demasiado acorde a la realidad, pero dota a la escena de una mejor calidad visual. Por otro lado vemos como tanto las pistas de padel, como el campo de fútbol así como la pista de atletismo de las instalaciones deportivas no están recreadas debido a que Roadrunner no da la posibilidad hasta el momento.



Figura 6.24: Edificios reales vistos desde la calle 18



Figura 6.25: Edificios recreados vistos desde la calle 18

Continuamos viendo desde la glorieta junto a la sede de la Biblioteca Nacional el edificio telefónica en la figura 6.26 así como su recreación en la figura 6.27, seguimos viendo como la recreación no es exacta.



Figura 6.26: Edificio Telefónica real



Figura 6.27: Edificio Telefónica recreado

Capítulo 7

Conclusiones y líneas futuras

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado, se han tratado las principales ideas a la hora de recrear entornos reales para ser utilizados en CARLA y los diferentes pasos a realizar. Además se ha terminado recreando el circuito de pruebas que usa INVETT [3] para realizar sus pruebas aplicando todas las técnicas tratadas.

El principal objetivo en este capítulo es el de valorar si todo este proceso es correcto, es decir, que todo el proceso seguido desde la exportación de un mapa hasta la exportación a CARLA son aceptables y si suponen algún tipo de beneficio de cara a trabajos futuros.

7.1 Conclusiones

A la luz de todo lo expuesto con anterioridad, se han ido extrayendo una serie de ventajas y desventajas en todos y cada uno de los procesos realizados con respecto a lo que se venía realizando anteriormente.

En primer lugar y como principal ventaja, es que la recreación de entornos y la capacidad de poder utilizarlos en CARLA para realizar distintos tipos de simulaciones y lo más importante, poner a prueba nuevos proyectos realizados supone no poner en riesgo ningún sistema o plataforma, ya que un fallo en el circuito de pruebas real puede suponer un desembolso de miles de euros en reparaciones y sustituciones de posibles equipos dañados. De esta manera, en caso de cualquier tipo de fallo, la simulación se parará instantáneamente e incluso cabe la posibilidad de solucionar el fallo en el acto y volver a reanudar la simulación, por lo que también supone un ahorro de tiempo considerable.

Otra de las ventajas que se han visto a la hora de realizar el proceso, es la capacidad de poder exportar mapas en formato OpenStreetMap y a su vez poder visualizarlos con imágenes satelitales en Java OpenStreetMap [15], ya que la capacidad de poder seleccionar una zona del mapa y poder exportarla en cuestión de segundos, y posteriormente, poder identificar todas las líneas trazadas en el mapa OSM en el editor, además de poder tener

siempre un mapa completamente actualizado debido a la gran comunidad que tiene supone otro gran avance a la hora de investigar posibles nuevos circuitos de pruebas.

Comenzamos a ver algunas de las desventajas de la aplicación de este proceso, comenzando por el programa utilizado para la recreación de los entornos, es decir, Roadrunner [2]. Uno de los principales inconvenientes que tiene esta herramienta son las escasas posibilidades que ofrece a día de hoy, como por ejemplo, una característica que podría ser muy útil de cara a futuras actualizaciones es ofrecer la posibilidad de situar una calzada o cualquier tipo de elemento tales como conos de tráfico, vegetación o una simple señal de tráfico en coordenadas de formato latitud y longitud, que es como nos ofrece la información el editor Java OpenStreetMap, ya que actualmente sólo es posible la situación en coordenadas cartesianas. Otro de los inconvenientes es la escasez de posibilidades a la hora de completar un entorno, ya que las opciones que contiene Roadrunner [2] a nivel de edificios, vegetación o mobiliario urbano no son muy amplias y podríamos decir que bastante genéricas, por lo que se espera que ante futuras versiones, se resuelva todo lo comentado anteriormente, ya que es una herramienta que en un futuro podría llegar a ofrecer multitud de posibilidades.

Por otro lado destaca el inconveniente de la toma de datos para recrear los entornos, ya que previamente a la realización del entorno definitivo, se han tenido que diseñar diversidad de entornos y su respectiva prueba, hasta finalmente dar con la mejor manera de tomar datos. Entre estos procesos destaca la poca precisión que ofrece el servicio de mapas Google Maps, ya que se ha visto que en el mejor de los casos las imágenes satelitales tienen hasta 2 metros de desviación lo que supone constantes errores a la hora de trabajar en CARLA. Además, se ha utilizado un GPS diferencial que ofrecía precisión centimétrica pero este sistema es adecuado utilizarlo cuando se trata de un entorno pequeño, ya que si se tratase de una ciudad habría que ir tomando medidas de cada calle, lo que supondría una gran cantidad de tiempo únicamente la toma de coordenadas. Finalmente, se utilizó la herramienta Java OpenStreetMap [15], los propios mapas OSM y usando de apoyo Google Maps para realizar mediciones entre puntos, cuya fiabilidad es superior a la toma de las coordenadas de un punto concreto, ya que con un mapa OSM se indica el centro de la calzada y midiendo en Google Maps los anchos podemos ir dando forma al entorno, y por último usando Java OpenStreetMap, podemos situar elementos de forma más precisa para dotar al entorno de un elevado porcentaje de fiabilidad respecto a la realidad.

Otro problema encontrado en el desarrollo del entorno del circuito de pruebas utilizado por INVETT[3] es a la hora de realizar distintos cruces, ya que a la hora de realizar las simulaciones en CARLA se encontró un problema con las alturas de las calzadas, ya que a la hora de realizar el trazado con el vehículo, en dichos cruces, el coche detectaba un bache invisible a simple vista, pero con un error previo cometido en Roadrunner. La forma de paliar este error es tratar de realizar las rectas de tal forma que no quede segmentada, es decir que tenga un único principio y un único final, sin cortes entre medias, ya que pueden

quedar a distinta altura y dar errores en las físicas del vehículo. Por otro lado, ocurre lo mismo a la hora de realizar cruces entre calles, de tal forma que la mejor manera de realizar dichos cruces, es no invadiendo la carretera, es decir, que si se tiene una carretera principal, la calzada cortante quede lo más limitada posible al borde de calzada para evitar estos bacheados. Tras realizar diferentes simulaciones corrigiendo dichos errores, el vehículo dejó de dar problemas en el recorrido del circuito siempre quedando algunas partes donde se siguen produciendo estos fenómenos, debido a que en ciertos cruces para realizar las conexiones adecuadamente es necesario que la calzada que corta a la carretera principal tenga que cruzarse en exceso provocando distintas alturas. Esto podría corregirse en Roadrunner con algún tipo de herramienta que permita ajustar los cruces de manera manual o definiendo previamente a la colocación de carreteras, las zonas donde puede haber cruces para una correcta y sencilla implementación de estos.

Por tanto como conclusiones finales, a la hora de realizar un entorno de la forma más simple posible para ver el funcionamiento del vehículo por la calzada es una herramienta más que validada, pero si queremos dotar de realismo al entorno, en la actualidad no es posible. Por otra parte, resulta tedioso tener que trabajar con gran diversidad de sistemas para obtener información de coordenadas, ya que para la realización de grandes proyectos, tener errores de precisión podría suponer la pérdida de una cantidad de horas de trabajo bastante crítica.

7.2 Líneas futuras

Respecto a las posibles líneas de futuros proyectos que puedan surgir a partir de todo lo anteriormente expuesto en este Trabajo de Fin de Grado, hay varias posibilidades que serían bastante interesantes de trabajar.

En primer lugar, siempre sujeto a la posible mejora y ampliación de las posibilidades de Roadrunner [2], sería interesante de ver una posible ampliación del actual circuito de pruebas de INVETT [3], e incluso llegando a realizar pruebas en entornos más acordes al día a día con más tráfico y peatones, y por tanto, desarrollando dichos entornos. Esto podría traducirse en una mayor optimización de todos los sistemas actuales e incluso el desarrollo de alguno nuevo que evalúe variables que puedan darse al llevar a cabo pruebas en entornos más concurridos.

También sería una gran opción, valorar el diseño de edificios, señales o cualquier objeto que pudiera situarse en el entorno con herramientas como AutoCad y poder exportarlas en un formato entendible por Roadrunner, con lo que se podría llegar a conseguir una biblioteca propia para INVETT [3] con una gran cantidad de objetos, que actualmente no están incluidos dentro de los ficheros que trae Roadrunner [2].

Otro tema que sería interesante de tratar, podría llegar a ser el desarrollo de una herramienta propia que combine mapas en formato OpenStreetMap e imágenes satelitales, o incluso pudiendo llegar a ser imágenes a pie de calle, pero consiguiendo una precisión centimétrica, del tal manera que el trabajo de preparación para desarrollar los entornos, fuese posible hacerlos de una manera más óptima.

Capítulo 8

Presupuesto

En las tablas 8.1, 8.2, 8.3 y 8.4 están contemplados todos los costes del proyecto.

CONCEPTO	PRECIO	AMORTIZACION	USO	COSTE
Ordenador personal Lenovo Legion Y520	800 €	4 años	8 meses	133.33 €
Procesador Intel Core i7-8700	220 €	4 años	6 meses	27,50 €
Memoria RAM DDR4 3000 MHz 16GB	60 €	4 años	6 meses	7.50 €
Tarjeta gráfica nVidia RTX	2750 €	4 años	6 meses	343.75 €
Monitor LG 24"	120 €	4 años	6 meses	15 €
Monitor Samsung 22"	90 €	6 años	6 meses	7.50 €
Raton y teclado Logitech	12 €	4 años	6 meses	1.50 €
GPS diferencial Trimble	20000 €	8 años	1 mes	208.33 €
TOTAL				744.41 €

Cuadro 8.1: Costes de hardware empleado

CONCEPTO	PRECIO	AMORTIZACION	USO	COSTE
Linux Ubuntu 20.04	Gratuito	N/A	6 meses	0 €
Simulador CARLA	Gratuito	N/A	6 meses	0 €
Editor Overleaf	Gratuito	N/A	6 meses	0 €
Roadrunner 2021	Software UAH	N/A	6 meses	0 €
Visual Studio Code	Gratuito	N/A	1 mes	0 €
			TOTAL	0 €

Cuadro 8.2: Costes de software empleado

CONCEPTO	PRECIO	HORAS	COSTE
Ingeniería	22 €/h	300 h	6000 €
Mecanografía	10 €/h	60 h	600 €
		TOTAL	6600 €

Cuadro 8.3: Costes de mano de obra

CONCEPTO	COSTE
Material hardware	744.41 €
Material software	0 €
Mano de obra	6600 €
TOTAL	7344.41 €

Cuadro 8.4: Costes totales

El montante total para la realización de este Trabajo de Fin de Grado ha sido de un total de setemil trescientos cuarenta y cuatro euros y cuarenta y uno céntimos (7344.41 €).

Bibliografía

- [1] Utm, universal transverse mercator. [Online]. Available: <https://proj.org/operations/projections/utm.html?highlight=utm>
- [2] Roadrunner, diseño de escenas 3d para simular la conduccion autonoma. [Online]. Available: <https://es.mathworks.com/products/roadrunner.html>
- [3] Intelligent vehicles and traffic technologies. [Online]. Available: <https://invett.aut.uah.es/>
- [4] R. Poveda, “Los 5 niveles de conduccion autonoma,” Julio 2021. [Online]. Available: <https://cochesdechina.com/noticias/niveles-conduccion-autonoma-5-cinco>
- [5] Nvidia drive sim, la plataforma de simulacion para conduccion autonoma de nvidia. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/es-es/self-driving-cars/simulation/>
- [6] Nvidia omniverse, la creacion de una nueva era de colaboracion y simulacion. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/es-es/omniverse/>
- [7] Unity y su asociacion bmw en la conduccion autonoma. [Online]. Available: <https://blog.unity.com/manufacturing/visualizing-bmws-self-driving-future>
- [8] Openstreetmap, la mayor plataforma de mapas libre del mundo. [Online]. Available: <https://mappinggis.com/2021/04/openstreetmap-la-plataforma-de-mapas-libre-mas-grande-del-mundo/>
- [9] El estandar opendrive. [Online]. Available: <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>
- [10] Unreal engine, the most powerful real-time 3d creation tool. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/>
- [11] U. Army, *DMA TM 8358.1 Datums, ellipsoids, grids and grid reference systems*, 1990.
- [12] N. Crane, *Mercator, the man who mapped the planet*, 2002.
- [13] F. B. D. Jose Luis Rossignoli, Adolfo Dalda Mouron, *Proyeccion universal transversa mercator*, 1976.

- [14] U. Army, *DMA TM 8358.2 The Universal Grids: Universal Transverse Mercator and Universal Polar StereoGraphic*, 1989.
- [15] Java openstreetmap, el editor offline de openstreetmap. [Online]. Available: <https://josm.openstreetmap.de/>
- [16] Carla, open source simulator for autonomous driving. [Online]. Available: <https://carla.org/>

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá