



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Escuela **politécnica** superior
de Zamora

PROTOTIPO DE ENTRENADOR BASADO EN REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA PARA LA CONDUCCIÓN DE CARRETILLAS AUTOMOTORAS INDUSTRIALES

Trabajo de Fin de Grado

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA EN SISTEMAS
DE INFORMACIÓN

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Escuela Politécnica Superior de Zamora

MEMORIA

Presentado por: Nuria Mateos García

Dirigido por: Manuel Pablo Rubio
Cavero.

Departamento: Construcción y
agronomía.

Cotutor: Roberto José García Martín.

Área: Expresión Gráfica en la Ingeniería.

Fecha de adjudicación: 22/03/2019.

Fecha de presentación: **JULIO DE 2019**

RESUMEN

A través de este trabajo de Fin de Grado pretendo realizar un acercamiento a una moderna e inexplorada tecnología, la realidad virtual, enfocada en un ámbito científico, como es la simulación de conducción y operación de un vehículo de trabajo.

El éxito del proyecto depende de la credibilidad del simulador, y que lo que ocurra en el mundo virtual refleje de forma realista el comportamiento de la carretilla real y de las interacciones que realice el usuario.

Por esta razón, comenzaré el trabajo mostrando una breve historia de cómo aparecieron las carretillas elevadoras y cómo ha sido su evolución a lo largo del tiempo, mostrando como resultado final los distintos tipos, componentes, físicas, funcionamiento y zonas de operación en las que ha desembocado en la actualidad.

Esta información me permitirá recrear todo el entorno virtual de manera más cercana a la realidad, de forma que la interacción conjunta logre la inmersión total del usuario en la aplicación, aportándole experiencias de conducción realista.

Finalmente, concluyo con la muestra de la aplicación software, los pasos realizados para su diseño y construcción, los distintos modos de entrenamiento, los requisitos mínimos y un manual de usuario.

PALABRAS CLAVE: carretilla automotora industrial, Realidad Virtual, simulación, software, credibilidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	2
ÍNDICE DE CONTENIDO	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
1. INTRODUCCIÓN	17
2. OBJETIVOS	18
3. ESTADO DEL ARTE	19
3.1. INDUSTRIA DE LAS CARRETILLAS	19
3.2. INDUSTRIA DE LOS VIDEOJUEGOS	56
3.3. DISEÑO 3D	63
3.4. INTERACCIÓN	69
4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	84
5. DESARROLLO DEL PROBLEMA	87
5.1. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN	87
5.2. REQUISITOS DEL SISTEMA	98
5.3. MODELADO DE LOS ESCENARIOS	100
6. IMPLEMENTACIÓN DEL PROBLEMA	103
6.1. DISEÑO 3D	103
6.1.1. Modelo carretilla elevadora 3D	104
6.1.2. Modelo de palet	116
6.1.3. Modelado del entorno	117
6.2. MOTOR DE JUEGO	131
6.2.1. Importación de modelos	131
6.2.2. Iluminación	132
6.2.3. Interacción	132
6.2.4. Tipos de entrenamiento	153

6.2.5. Menús.....	156
6.3. RESULTADO FINAL.....	159
7. PRUEBAS	160
8. CONCLUSIONES	161
9. BIBLIOGRAFÍA	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Linftparts, I. (2015). Carretilla de mano. [Ilustración]. Recuperado de: http://store.intellaliftparts.com/blog/history-of-the-forklift/	20
Ilustración 2: Tructor de Clark. [Ilustración]. Recuperado de: https://www.clarkmhc.com/Company/History	21
Ilustración 3: Invento de Yale e incorporación del mástil. [Ilustración]. Recuperado de: https://www.clarkmhc.com/Company/History	22
Ilustración 4: Carretilla para la guerra [Ilustración]. Recuperado de: https://www.clarkmhc.com/Company/History	24
Ilustración 5: Carretilla del año 2007. [Ilustración]. Recuperado de: https://www.clarkmhc.com/Company/History	26
Ilustración 6: Estructura de la carretilla elevadora [Ilustración]. Recuperado de: https://www.coruna.gal/descarga/1398302223675/MANUAL-CARRETILLAS-Y-PLATAFORMAS.pdf	28
Ilustración 7: Contrapeso. Recuperado de: http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/	28
Ilustración 8: Neumático sólido. Elaboración propia.	29
Ilustración 9: Llanta neumática. Elaboración propia.	29
Ilustración 10: Carro. Recuperado de: http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/	30
Ilustración 11: Mástil. Recuperado de: http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/	30
Ilustración 12: Horquillas. Elaboración propia.....	31
Ilustración 13: Adjuntos de hoja de deslizamiento. Recuperado de: https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/attachments.html#Attachments	32
Ilustración 14: Abrazaderas de barril. Recuperado de: https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/attachments.html#Attachments	32
Ilustración 15: Horquillas telescópicas. Recuperado de: https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/attachments.html#Attachments	32

Ilustración 16: Pedales. Elaboración propia.	33
Ilustración 17: Placa de identificación. Recuperado de: https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/nameplate.html	33
Ilustración 18: Mecanismos de funcionamiento de la carretilla. Edición propia. Recuperado de: http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/	34
Ilustración 19: Cilindros hidráulicos. Elaboración propia.	35
Ilustración 20: Elevación de la carga mediante cilindros hidráulicos. Elaboración propia.	35
Ilustración 21: Elevación de las horquillas mediante la subida de cadenas de rodillos. Elaboración propia.	36
Ilustración 22: Control direccional mediante palanca. Elaboración propia.	37
Ilustración 23: Movimiento del volante que permite el giro del eje trasero de la carretilla. Elaboración propia.	37
Ilustración 24: Pedales de la carretilla. Elaboración propia.	37
Ilustración 25: Freno de estacionamiento. Elaboración propia.	38
Ilustración 26: Movimiento de subir y bajar horquillas. Elaboración propia.	38
Ilustración 27: Control de la inclinación de las horquillas. Elaboración propia.	38
Ilustración 28: Ajuste de separación de las horquillas. Elaboración propia.	39
Ilustración 29: eje directriz en ruedas traseras. Elaboración propia.	39
Ilustración 30: Arco de giro de la Carretilla 1, con dirección en la rueda trasera. Elaboración propia.	40
Ilustración 31: Arco de giro de la Carretilla 2, con la dirección en la rueda delantera. Elaboración propia.	40
Ilustración 32: Triángulo de estabilidad con el centro de gravedad dentro. Elaboración propia.	40
Ilustración 33: Triángulo de estabilidad con el centro de gravedad fuera (Vuelco). Elaboración propia.	41
Ilustración 34: Carga estable. Elaboración propia.	41
Ilustración 35: Posición incorrecta de la carga. Elaboración propia.	42
Ilustración 36: Posición correcta de la carga. Elaboración propia.	42
Ilustración 37: Horquillas en posición normal. Elaboración propia.	42
Ilustración 38: Inclinación de las horquillas para estabilizar la carga. Elaboración propia.	42

Ilustración 39: Inclinación hacia delante de la carga (para depositar cargas). Elaboración propia.....	43
Ilustración 40: Carretilla de tipo voladizo. Recopilada de: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf	43
Ilustración 41: Carretilla no contrapesada. Recopilado de: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf	44
Ilustración 42: transpaleta. Recopilado de: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf	44
Ilustración 43: • Ley 31/95, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Recuperado de: https://www.boe.es/boe/dias/1995/11/10/pdfs/A32590-32611.pdf	46
Ilustración 44: Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, de Prevención de Riesgos Laborales. Recuperado de: https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/07/18/1215/con	47
Ilustración 45: Guía de Buenas Prácticas (NTP). Recuperado de: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_715.pdf	48
Ilustración 46: Modelo de hoja de revisión periódica de seguridad. (Parte 1). Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d	49
Ilustración 47: Modelo de hoja de revisión periódica de seguridad. (Parte 2). Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d	50
Ilustración 48: Normas básicas para el manejo seguro de una carretilla. Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d	51
Ilustración 49: Mantenimiento de una carretilla. Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d	52
Ilustración 50: Duración de la formación inicial según la Norma Une 58451:2014. Recuperado de: https://www.lacorformacion.com/normativa-vigente-y-formacion-sobre-carretillas-elevadoras	53

Ilustración 51: Duración de la formación de actualización según la Norma Une 58451:2014. Recuperado de: https://www.lacorformacion.com/normativa-vigente-y-formacion-sobre-carretillas-elevadoras	53
Ilustración 52: Gamepad. Recopilado de: https://www.flipkart.com/logitech-gamepad-f310/p/itmddyfyfrzch29cf	57
Ilustración 53: Joystick. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Joystick	57
Ilustración 54: Ratón. Recopilado de: https://www.infotechcomputers.ca/product/new-usb-mouse/	57
Ilustración 55: Teclado. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Joystick	57
Ilustración 56: Pantalla Táctil. Recopilado de: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-552617705-monitor-touch-screen-de-185-nuevo-facturado-con-garantia-_JM?quantity=1	57
Ilustración 57: Sensor de movimiento, Kinect (para Xbox 360). Recopilado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Kinect	57
Ilustración 58: Webcam. Recopilado de: http://ia-latam.com/2018/12/26/webcam-de-microsoft-tendra-reconocimiento-facial/	57
Ilustración 59: Monitor. Visualización del juego en 2D. Recopilado de: https://www.lenovo.com/es/es/accessories-and-monitors/monitors/office/E24-10D17238FE0-23-8-inch-FHD-Monitor/p/61B7JAT6EU	58
Ilustración 60: Gafas de Realidad Virtual. Visualización del juego en 3D. Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display	58
Ilustración 61: Simulación no inmersiva. Recopilado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	59
Ilustración 62: Realidad virtual inmersiva. (1). Recopilado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	60
Ilustración 63: Realidad virtual inmersiva. (2). Recopilado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	60
Ilustración 64: Realidad virtual semiinmersiva. Recopilado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	60
Ilustración 65: Tecnología háptica. Recopilado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology	61
Ilustración 66: Raytracing o algoritmo de trazado de rayos. Recopilado de: https://www.elgrupoinformatico.com/que-ray-tracing-t73504.html	64
Ilustración 67: Interfaz 3DMAX.	67

Ilustración 68: Interfaz Unreal Engine 4.....	68
Ilustración 69: PC apto para VR. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	70
Ilustración 70: Gafas de VR. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	71
Ilustración 71: Dispositivos de entrada de VR. Recopilado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	71
Ilustración 72: Construcción de un casco de VR. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/ . Edición propia.....	72
Ilustración 73: Giroscopio. Recuperado de: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/gyr.html	73
Ilustración 74: Lentes de VR. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	74
Ilustración 75: Pantallas de visualización 3D. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	74
Ilustración 76: Campo de visión VR. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/ . Edición propia.....	75
Ilustración 77: Velocidad de fotogramas. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	76
Ilustración 78: Latencia VR. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/ . Edición propia.....	77
Ilustración 79: Audio en 2D. Recuperado de: https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/ . Edición propia.	78
Ilustración 80: Audio en 360°. Recuperado de: : https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/ .Edición propia.	78
Ilustración 81: Audio 3D con tecnología binaural. Recuperado de: https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/ . Edición propia.....	79
Ilustración 82: Seguimiento de cabeza (3DOF). Recopilado de:	80
Ilustración 83: 3 Grados de Libertad (3DoF). Recopilado de: https://emiliusvgs.com/ques-3dof-6dof/	80
Ilustración 84: Rastreo de movimiento con 6 Grados de Libertad (6DoF). Recopilado de: Recopilado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/ . Edición propia. .	81
Ilustración 85: Estaciones base. Recopilado de: https://espaciorealidadvirtual.com/las-estaciones-base-en-los-arcade-vr/	81

Ilustración 86: Límites controlados por las estaciones base. Recuperado de https://gouforit.com/oculus-rift-vs-htc-vive-que-dispositivo-de-realidad-virtual-es-el-mejor-para-ti/	82
Ilustración 87: Seguimiento ocular. Recuperado de: https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/	83
Ilustración 88: Pedales para VR. Recuperado de: https://www.pccomponentes.com/thrustmaster-t-flight-rudder-pedales	93
Ilustración 89: Leap Motion Controller acoplado a un HMD. Recuperado de: https://www.tworeality.com/leap-motion-controller/	94
Ilustración 90: Leap Motion en modo HMD. Recopilado de: https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/javascript/unity/Unity_Overview.html	94
Ilustración 91: Leap Motion en modo escritorio. Recuperado de: https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/javascript/unity/Unity_Overview.html	94
Ilustración 92: Volante. Recuperado de: https://www.costomovil.es/consolas-y-videojuegos/volantes	95
Ilustración 93: Joystick. Recuperado de: https://www.ldlc.com/es-es/ficha/PB00244928.html	95
Ilustración 94: Gafas HTC Vive. Recuperado de: https://www.vive.com/eu/setup/	96
Ilustración 95: Sistema de periféricos HTC Vive. Recuperado de: http://mundo-virtual.com/gafas-realidad-virtual/htc-vive-steam/	97
Ilustración 96: Menú SteamVr. Recuperado de: https://store.steampowered.com/app/491380/SteamVR_Driver_for_Razer_Hydra/	98
Ilustración 97: Tamaño mínimo entre bases de la zona de juego. Recuperado de: https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva	99
Ilustración 98: Alerta de límites de la zona de juego. Recuperado de: https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva	99
Ilustración 99: TOYOTA forklift 2.5 Ton. Recuperado de: https://www.aboudcar.com/vehicules/toyota_25d19_Forklift_Code_diesel_2019	100
Ilustración 100: Modelo de Carretilla 3D. Elaboración propia. Captura de pantalla de Unreal Engine 4.	100
Ilustración 101: Medidas estándar del palet europeo. Recuperado de: https://www.mecalux.es/manual-almacen/palets/palet-europeo-medidas	101

Ilustración 102: Palet. Recuperado de: https://www.mecalux.es/manual-almacen/palets/palet-europeo-medidas	101
Ilustración 103: Modelo palet 3D. Elaboración propia. Captura de pantalla de Unreal Engine 4.....	101
Ilustración 104: Polígono Industrial. Recuperado de: http://ganasdevivir.es/blog/2016/12/13/salen-a-la-venta-dos-parcelas-en-el-poligono-industrial-el-sosal-de-binefar/	102
Ilustración 105: Interior de una nave Industrial. Recuperado de: https://www.patec.org/naves-industriales.php	102
Ilustración 106: Proceso de creación de un hueso en 3Ds Max. Elaboración propia. ..	105
Ilustración 107: Estructura hueso en 3Ds Max. Elaboración propia.	105
Ilustración 108: Posición del hueso Root (0,0,0) en 3Ds Max. Elaboración propia.....	106
Ilustración 109: Articulación mediante modificador skin in 3Ds Max. Elaboración propia.	107
Ilustración 110: Skin Weight Table (portahorquillas) en 3Ds Max. Elaboración propia.	108
Ilustración 111: Estructura del volante de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	109
Ilustración 112: Estructura del volante y colocación del pivote del volante de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.	109
Ilustración 113: Movimiento del hueso del volante que da lugar al movimiento del cuerpo del volante en 3Ds Max. Elaboración propia.	109
Ilustración 114: Palanca de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia. .	110
Ilustración 115: Estructura de la palanca de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	110
Ilustración 116: Mástil de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia. ...	111
Ilustración 117: Estructura del mástil de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	111
Ilustración 118: Horquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.	112
Ilustración 119: Estructura de las horquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	112
Ilustración 120: Movimiento del hueso de las horquillas en 3Ds Max. Elaboración propia.	112

Ilustración 121: Joystick de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia. .	113
Ilustración 122: Estructura del joystick de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	113
Ilustración 123: Portahorquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	114
Ilustración 124: Estructura del portahorquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.	114
Ilustración 125: Rueda delantera de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.....	115
Ilustración 126: Rueda trasera de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.	115
Ilustración 127: Estructura de cualquier rueda de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.	115
Ilustración 128: Resultado final de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia	116
Ilustración 129: Resultado final del palet en 3Ds Max. Elaboración propia.....	116
Ilustración 130: Calle del entorno en 3Ds Max. Elaboración propia.....	117
Ilustración 131:Acera del entorno en 3Ds Max. Elaboración propia.	118
Ilustración 132: Suelo del entorno en 3Ds Max. Elaboración propia.	118
Ilustración 133: Muro exterior del entorno en 3Ds Max. Mediante Outline. Elaboración propia.....	119
Ilustración 134: Muro exterior con modificador extrude en 3Ds Max. Elaboración propia.	119
Ilustración 135: Pared delantera de la nave en 3Ds Max. Elaboración propia.	120
Ilustración 136: Dimensiones de la pared en 3Ds Max. Elaboración propia.	120
Ilustración 137: Modificador extrude para el grosor de la pared en 3Ds Max. Elaboración propia.....	121
Ilustración 138: Pared lateral derecha, modificador extrude en 3Ds Max. Elaboración propia.....	121
Ilustración 139: Creación de una ventana en 3Ds Max. Elaboración propia.	122
Ilustración 140: Pared con ventanas en 3Ds Max. Elaboración propia.	122
Ilustración 141: Pared lateral izquierda de la nave en 3Ds Max. Elaboración propia. .	123
Ilustración 142: Creación de la puerta trasera mediante una línea y extrusión en 3Ds Max. Elaboración propia.	123

Ilustración 143: Creación del tejado mediante una línea en 3Ds Max. Elaboración propia.	124
Ilustración 144: Variación del parámetro outline para trazar la paralela al tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.	124
Ilustración 145: Traslado del vértice en 3Ds Max. Elaboración propia.	124
Ilustración 146: modificador de extrusión para la realización del tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.	125
Ilustración 147: Creación y movimiento de los vértices para posicionarlos junto a los vértices del tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.	125
Ilustración 148: 2. Creación y movimiento de los vértices para posicionarlos junto a los vértices del tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.	126
Ilustración 149: Creación de puertas de la pared delantera en 3Ds Max. Elaboración propia.	126
Ilustración 150: Creación de puertas de la pared delantera en 3Ds Max. Elaboración propia.	127
Ilustración 151: Creación de la ventana (marco) en 3Ds Max. Elaboración propia.	127
Ilustración 152: Creación de la ventana (cristal) en 3Ds Max. Elaboración propia.	128
Ilustración 153: Copia de nave para la creación del polígono en 3Ds Max. Elaboración propia.	128
Ilustración 154: Creación del despacho en 3Ds Max. Elaboración propia.	129
Ilustración 155: Despacho de la nave principal en 3Ds Max. Elaboración propia.	129
Ilustración 156: Vigas de la nave principal en 3Ds Max. Elaboración propia.	130
Ilustración 157: MyTireConfig de la carretilla en Unreal Engine 4. Elaboración propia.	133
Ilustración 158: Propiedades de la rueda delantera en UE4. Elaboración propia.	134
Ilustración 159: Propiedades de la rueda trasera en UE4. Elaboración propia.	135
Ilustración 160: Malla esquelética de la carretilla en UE4. Elaboración propia.	136
Ilustración 161: Físicas de la carretilla en UE4. Elaboración propia.	136
Ilustración 162: Caja de colisión del Root UE4. Elaboración propia.	137
Ilustración 163: Cajas de colisión del Root UE4. Elaboración propia.	137
Ilustración 164: Colisionador de la rueda en UE4. Elaboración propia.	138
Ilustración 165: Gráfico de animación de la carretilla en UE4. Elaboración propia. ...	138
Ilustración 166: Nodo controlador de ruedas en UE4. Elaboración propia.	139

Ilustración 167: Aplicación de un porcentaje de rotación a las ruedas traseras UE4. Elaboración propia.	139
Ilustración 168: Movimiento del volante en función del valor del ángulo de las ruedas traseras en UE4. Elaboración propia.	139
Ilustración 169: Movimiento de la palanca en UE4. Elaboración propia.	140
Ilustración 170: Movimiento vertical del mástil en UE4. Elaboración propia.	140
Ilustración 171: Movimiento joystick tras el movimiento vertical del mástil en UE4. Elaboración propia.	141
Ilustración 172: Movimiento horizontal del mástil en UE4. Elaboración propia.	141
Ilustración 173: Levantamiento del mástil en UE4. Elaboración propia.	142
Ilustración 174: Fin del plano de animación UE4. Elaboración propia.	142
Ilustración 175: Componentes del peón carretilla UE4. Elaboración propia.	143
Ilustración 176: Función Tercera persona (vista cámara) en UE4. Elaboración propia.	143
Ilustración 177: Configuración de las ruedas en el movimiento de la carretilla en UE4. Elaboración propia.	144
Ilustración 178: Inicialización de variables en el peón carretilla UE4. Elaboración propia.	144
Ilustración 179: Vista general del peón carretilla en UE4. Elaboración propia.	145
Ilustración 180: Entradas del proyecto UE4. Elaboración propia.	146
Ilustración 181: Establecimiento del origen del seguimiento con HMD en UE4. Elaboración propia.	147
Ilustración 182: Restablecer la posición de las gafas en UE4. Elaboración propia.	147
Ilustración 183: Menú de ayuda en UE4. Elaboración propia.	147
Ilustración 184: Programación cámaras UE4. Elaboración propia.	148
Ilustración 185: Movimiento de aceleración de la carretilla en UE4. Elaboración propia.	148
Ilustración 186: Movimiento lateral de la carretilla en UE4. Elaboración propia.	148
Ilustración 187: Freno de mano de la carretilla en UE4. Elaboración propia.	149
Ilustración 188: Control de grados de giro de las ruedas en UE4. Elaboración propia.	149
Ilustración 189: Marcha atrás carretilla UE4. Elaboración propia.	149
Ilustración 190: Sonido marcha atrás UE4. Elaboración propia.	150
Ilustración 191: Subir el mástil verticalmente en UE4. Elaboración propia.	150
Ilustración 192: Bajar el mástil verticalmente en UE4. Elaboración propia.	151

Ilustración 193: Movimiento lateral hacia la derecha del mástil en UE4. Elaboración propia.....	151
Ilustración 194: Movimiento lateral hacia la izquierda del mástil en UE4. Elaboración propia.....	152
Ilustración 195: Levantamiento e inclinación hacia arriba del mástil y horquillas en UE4. Elaboración propia.	152
Ilustración 196: Levantamiento e inclinación hacia atrás del mástil y horquillas en UE4. Elaboración propia.	153
Ilustración 197: Blueprint del nivel Conocimiento básico en UE4. Elaboración propia.	154
Ilustración 198: Opción diseño del widget de conocimiento B en UE4. Elaboración propia.....	154
Ilustración 199: Opción gráfico de eventos del widget de conocimiento B en UE4. Elaboración propia.	155
Ilustración 200: Blueprint del nivel Controles en UE4. Elaboración propia.	156
Ilustración 201: Nivel de menú principal en UE4. Elaboración propia.	157
Ilustración 202: Widget Menú en modo diseñador en UE4. Elaboración propia.	157
Ilustración 203: Widget Menú en modo gráfico de eventos en UE4. Elaboración propia.	158
Ilustración 204: Menú de ayuda en UE4. Elaboración propia.	158
Ilustración 205: Contenido del proyecto en UE4. Elaboración propia.	159
Gráfico 1: Flujo de trabajo que gestiona el motor de juego. Elaboración propia.	68
Gráfico 2: Evolución en las interacciones entre humano y ordenador. Elaboración propia.	69
Gráfico 3: Evolución del sonido. Elaboración propia.	77
Gráfico 4: Tipos de rastreo en Realidad Virtual. Elaboración propia.....	79
Gráfico 5: Recopilación de la información de la carretilla elevadora. Elaboración propia.	84
Gráfico 6: Recopilación de la información los videojuegos. Elaboración propia.	84
Gráfico 7: Flujo de procesos con el lanzamiento de la aplicación. Elaboración propia.	87
Gráfico 8: Esquema de la arquitectura de la aplicación no inmersiva. Elaboración propia.	90

Gráfico 9: Esquema de la arquitectura de la aplicación inmersiva. Elaboración propia.	92
Gráfico 10: Flujo de procesos en la implementación del proyecto.....	104
Gráfico 11: Estructura del entorno en 3Ds Max.	130
Gráfico 12: Estructura de vehículo UE4. Elaboración propia.	133
Gráfico 13: Niveles para cada tipo de entrenamiento.	153
Gráfico 14: Lanzamiento del juego en UE4.	170
Tabla 1: Menú principal. Elaboración propia.	88
Tabla 2: Estructura de la Carretilla en 3Ds Max. Elaboración propia	106
Tabla 3: Medidas de la nave principal.	117
Tabla 4: Controles de Interacción del manual de usuario.	171

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de las carretillas elevadoras es una tarea delicada, de la que dependen no sólo la integridad de los productos que son transportados, sino la seguridad de los trabajadores del almacén (incluyendo al propio conductor).

En la actualidad, los cursos de carretillero se realizan únicamente cuando hay cierto número de solicitantes, ya que es difícil contar con lugares de entrenamiento, e incluso hay operarios que las utilizan sin formación previa. Esto puede ocasionar accidentes que afectan tanto al conductor, a otros trabajadores, a las cargas, al material de la fábrica, o a las propias instalaciones.

Una solución lógica a estos problemas es la de realizar una formación y entrenamiento previo a los operarios, y que éste se realice mediante una simulación virtual inmersiva, de manera que aparte todos los problemas previamente mencionados y añada muchas otras ventajas: ahorro en costes de recursos naturales, minimiza daños, evita y previene riesgos, y el entrenamiento o aprendizaje es divertido y novedoso.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto consiste en diseñar un prototipo de entrenador que permita vincular el mundo virtual con el mundo real, de forma que la interacción conjunta logre la inmersión total del usuario en la aplicación, aportándole experiencias de conducción realista.

Se diseñará en dos niveles,

- (i) Entorno de realidad virtual inmersiva y
- (ii) Dispositivos de control reales (volante, pedales y palancas).

El gran desarrollo de la realidad virtual (RV) ha hecho posible interactuar a tiempo real con diferentes personas en espacios y ambientes inexistentes en la realidad, todo ello sin la necesidad de dispositivos adicionales a la computadora (ventana en el mundo de sistemas no inmersivos), pero su crecimiento ha ido más allá, permitiendo que el usuario deje de mirar por la ventana y, mediante unas gafas con dos mini pantallas delante de los ojos, pase a estar dentro del entorno virtual (sistema inmersivo). El ambiente tridimensional creado por el ordenador y la interacción lograda con la incorporación de una serie de dispositivos de alta tecnología, como pueden ser guantes, cascos u otros dispositivos, que capturan la posición y rotación de diferentes partes del cuerpo humano, hace que los sentidos perciban que el entorno digital es físicamente real, “engañando” así al cerebro e introduciéndolo completamente en el mundo virtual, aportando una experiencia sensitiva mayor y alcanzando un ámbito de aplicación más profesional.

Este proyecto pretende dar un salto potenciando la experiencia sensitiva de RV Inmersiva para que la vinculación del mundo virtual con el mundo real sea tal, que el usuario deje de percibir los dispositivos (incluso el propio ordenador), para pasar a interactuar directamente con los objetos de la escena. De esta manera se podrían percibir las sensaciones pertinentes a la conducción de la carretilla, desde el conocimiento de esta o de los riesgos o situaciones adversas que puedan surgir en su conducción o manipulación de objetos, etc. alcanzando un aprendizaje atractivo, experiencia y sin riesgos.

3. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se va a realizar un estudio de la historia de la carretilla automotora hasta su situación actual, además de un pequeño análisis de la industria de los videojuegos.

Por otro lado, se estudiarán las herramientas y métodos de interacción disponibles para la realización del proyecto.

3.1. INDUSTRIA DE LAS CARRETILLAS

No hay una seguridad total en quién fue el pionero en la invención de la carretilla elevadora, pero la creación se le atribuye a la compañía Clark en 1917.

Este prototipo de motor a gasolina se prendió rápidamente, y en la actualidad hay millones de carretillas elevadoras en uso en los almacenes de todo el mundo, aunque ahora son muy diferentes de las originales, ya que muchas de las piezas se han actualizado o eliminado a medida que ha ido avanzando la tecnología en la historia de la carretilla elevadora.

Si se remonta a la historia de la carretilla elevadora, cabe destacar que su evolución no fue simplemente la fusión o evolución de dos o tres diseños diferentes moldeados en una máquina perfecta, sino que tuvieron lugar una serie de transformaciones entre los períodos de cambio en los EE. UU. Desde el principio, la carretilla elevadora modificó las opciones de forma, tamaño, especificaciones, tecnología y energía, para ir satisfaciendo las distintas demandas que iban surgiendo en los distintos países.

Desde sus inicios tempranos a finales del siglo XIX como un simple elevador, realizado con tornos y cadenas, fue evolucionando a medida que iban surgiendo nuevas necesidades, como las Guerras Mundiales, que dieron paso a camiones de plataforma de madera y, más tarde, las versiones modernas de la tecnología híbrida, con máquinas con motor eléctrico y baterías.

En la actualidad, las carretillas elevadoras están controladas por un operador con licencia, y tienen la capacidad de levantar y mover cargas pesadas en distintas distancias, además de poder equiparse con distintos accesorios. Constan de un dispositivo de puntas en la parte frontal para subir y bajar artículos en paletas de madera.

Se pueden encontrar distintos tipos de carretillas diseñadas para ciertos tipos de cargas, condiciones de trabajo e industrias (interiores y superficies lisas, ambientes exteriores difíciles, etc.), o según sus fuentes de combustible, las cuáles pueden variar desde gas, propano, diésel y gas natural, hasta otros tipos de energía como baterías y celdas de combustible. [1]

CARRETILLAS ELEVADORAS A FINALES DE 1800 Y PRINCIPIOS DE 1900

La historia de la carretilla elevadora comenzó en 1887, nacida con el nombre de carretilla de mano, la cuál constaba de dos ejes y ruedas de hierro. Fue una gran revelación, ya que en esa época se elevaban los pesos usando mano de obra manual.



Ilustración 1: Linftparts, I. (2015). Carretilla de mano. [Ilustración]. Recuperado de: <http://store.intellaliftparts.com/blog/history-of-the-forklift/>

En un intento de combinar el movimiento horizontal y vertical para poder levantar la plataforma a varias pulgadas del suelo, la carretilla de dos ruedas mejoró al vagón de equipaje de cuatro ruedas usado en los ferrocarriles.

Varios años después, en 1906 y 1909, se creó el primer camión con plataforma motorizada, cuando un funcionario del sistema PA Railroad agregó la energía de la batería de almacenamiento a las máquinas existentes. Se desarrolló también la primera carretilla elevadora de acero, que apareció por primera vez en fábricas de papel.

Al inicio de la Primera Guerra Mundial, la evolución de la carretilla elevadora se aceleró: [1]

1914:

Se diseñaron las máquinas con plataformas eléctricas que podían elevarse o bajarse.

1915:

El gran esfuerzo en la guerra exigió innovaciones como la grúa de manejo de bombas, que levantaba el peso de forma mecánica, y fue considerada la primera carretilla elevadora eléctrica.

Las carretillas elevadoras se diseñaron sin sistema hidráulico ni horquillas, ya que sus labores eran únicamente elevar cargas unas pulgadas lateralmente.

1917:

Apareció lo que llamaron “Truactor”. Fue el primer tipo de vehículo con contrapeso que se manejaba sentado y cuyo fin era mover materiales alrededor de su fábrica. La invención de Clark se conoce como el precursor de la carretilla elevadora con asiento.



Ilustración 2: Truactor de Clark. [Ilustración]. Recuperado de:

<https://www.clarkmhc.com/Company/History>

Fueron usadas durante la Primera Guerra Mundial, e hicieron que la carga fuera más fácil y eficiente que nunca para materiales como aviones, armas, máquinas, tanques, recursos médicos, etc.

Debido a la escasez de mano de obra durante la guerra, las carretillas elevadoras fueron esenciales para una producción efectiva.

1919:

En este año se construyeron elevadoras de plataformas a varios pies de altura. Se introdujeron las horquillas y cilindros, lo que proporcionó un medio para manejar diferentes objetos a la vez. El acortamiento de la distancia entre ejes fue una mejora que no perdió la estabilidad del ascensor.

1920:

Se introdujo el primer elevador hidráulico de combustión interna (sin engranajes mecánicos y varillaje), y en 1923, Yale se convirtió en la primera compañía en usar equipos que podían extenderse más allá de la altura del vehículo, lo que permitía levantar mucho más las cargas respecto a otros diseños anteriores. Esto se consiguió gracias a la incorporación de un mástil elevado, que fue el primer voladizo vertical.



Ilustración 3: Invento de Yale e incorporación del mástil. [Ilustración]. Recuperado de: <https://www.clarkmhc.com/Company/History>

Los ingenieros de la Universidad de Yale crearon un vehículo eléctrico que podía levantar las horquillas y cargarlas a través del mástil, haciendo uso de un sistema de trinquete y piñón. El problema era que había algunos palets que eran demasiado pequeños o grandes para que se pudieran recoger, y eso evitó que este invento se volviera increíblemente popular.

Las primeras carretillas elevadoras eran bastante lentas, pero con el tiempo se fueron agregando motores más potentes que les daban un poco más de velocidad.

La invención de Yale fue considerada la primera carretilla elevadora.

CARRETILLAS ELEVADORAS A MEDIADOS DEL SIGLO XX

La mitad de la década de 1900 demostró ser una época de impulso al diseño y tecnología de la industria de las carretillas elevadoras. [1]

1930:

Este año aumentó el uso tanto de las carretillas elevadoras como sus horas de funcionamiento, ya que las utilizaban los distribuidores y fabricantes para el movimiento eficiente de cargas pesadas de materiales y su posterior apilamiento

de forma uniforme, y es por ello por lo que se implementó en el diseño baterías recargables de duración de hasta ocho horas.

Se estandarizó el tamaño, la longitud y el espaciado de los palets, lo que solucionó los problemas de los años anteriores previamente mencionados.

1935:

Entre los años 1935 y 1936 se desarrolló la carretilla elevadora de neumáticos con amortiguador BT. En ese momento la estabilidad del peso del mástil telescópico era un factor clave y supuso una mejora importante.

Durante este periodo apareció la carretilla elevadora Hyster.

1939:

La Segunda Guerra Mundial influyó en el aumento de la producción de carretillas elevadoras, al igual que ocurrió en la Primera Guerra Mundial, ya que durante esas fechas se necesitaba eficiencia para cargar grandes cantidades de productos de guerra. Eso supuso el aumento de producción de carretillas elevadoras y que éstas pudieran trabajar durante un día completo sin la necesidad de ser recargadas.

1939-1945:

Los desarrollos de carretillas elevadoras durante la Segunda Guerra Mundial fueron los siguientes:

- Alrededor de 25000 carretillas elevadoras estaban en uso durante el esfuerzo de guerra en 1941.
- La demanda de palets creció, y con ello la necesidad de carretillas.
- La “War Production Board” lanzó fondos en 1941 para suministrar la compra de carretillas elevadoras, y así combatir el esfuerzo de la Segunda Guerra Mundial.
- Debido a la escasez de mano de obra y al espacio limitado de los almacenes, la guerra requirió el uso de las carretillas para ahorrar en esos factores (tiempo, mano de obra y espacio).
- Las limitaciones surgidas durante ese período tan crítico allanaron el camino para un aumento de la producción de las carretillas elevadoras.



*Ilustración 4: Carretilla para la guerra [Ilustración]. Recuperado de:
<https://www.clarkmhc.com/Company/History>*

1950:

En 1950, los almacenes comenzaron a aumentar su tamaño y expandirse hacia arriba y horizontalmente.

De esta forma comenzaron a llegar al mercado elevadores más potentes, robustos y de distintos tamaños, los cuáles permitían circular entre los pasillos estrechos de los almacenes, permitían llegar a la potencia necesaria para alcanzar las estanterías más altas (hasta 50 pies de altura) y levantar materiales más pesados.

1955:

La seguridad se convirtió en una preocupación de gran peso en 1955, cuando las personas detectaron el peligro de que los objetos podían caer desde elevaciones altas, lo cuál podría desembocar en lesiones a los operadores de las carretillas o individuos u objetos valiosos de alrededores.

Los fabricantes comenzaron a buscar soluciones como la oferta de respaldos de carga, destinados a mantener cada carga en su lugar mientras el elevador lleva a cabo la maniobra entre las distintas distancias, convirtiéndose dichos soportes en características estándar de las carretillas.

CARRETILLAS ELEVADORAS A FINALES DE 1900 Y PRINCIPIOS DE 2000

La historia de las carretillas o montacargas en 1980 comenzó con la tecnología de balanceo de carga para evitar el vuelco de los vehículos.

El aumento de las capacidades de altura y peso de las cargas en el año 1950 supuso la preocupación y búsqueda de la forma de garantizar la seguridad. Durante este tiempo

se convirtió en vital la tecnología equilibrada y las restricciones de seguridad del operador.

A comienzos de la década de 2000, los fabricantes se preocuparon más por los impactos medioambientales y las emisiones del montacargas.

En el período de 2001 a 2004, se introdujeron nuevos estándares y regulaciones para carretillas elevadoras con grandes potencias (Los estándares de Nivel 3, para las emisiones de los nuevos motores diésel, se introdujeron gradualmente para los motores entre 50 y 750 CV). [2]

Las duras emisiones de los elevadores diésel son peligrosas para los ambientes de interior en comparación con los motores eléctricos, las baterías, la electricidad, el propano o el gas natural.

Las compañías continúan desarrollando y renovando diferentes tipos de motores para mejorar el tamaño, la eficiencia, la potencia y la estabilidad de las carretillas elevadoras. Todos estos esfuerzos para reducir las emisiones tienen muchos beneficios, como un entorno de trabajo más seguro, evitar la muerte prematura, evitar la exposición a la hospitalización u otras mejoras modernas como: [1] [3]

- Sistemas de presencia del operador: estos sistemas evitan que las carretillas elevadoras funcionen y se pongan en movimiento sin que haya alguien sentado en los controles.
- Visibilidad mejorada: los diseños más elegantes y sofisticados de las carretillas elevadoras proporcionan una mayor visibilidad en todas las direcciones y ayudan a prevenir accidentes.
- Mejoras de estabilidad: las características e innovaciones en seguridad mejoradas, como la colocación de contrapesos y estabilizadores, dan solidez y previenen el vuelco de las carretillas elevadoras.
- Telemática: esta característica se refiere a la transmisión inalámbrica de datos. Esta tecnología ayuda a los administradores a controlar los hábitos de conducción de los operadores o ayudarlos a analizar datos.

CARRETILLAS ELEVADORAS A PARTIR DEL 2000

Las carretillas elevadoras mejoran aún más los aspectos de seguridad de los equipos de carga.

Como para operar la carretilla elevadora es necesario que cada conductor esté certificado y capacitado para ello, y debido a la gran cantidad de marcas y tipos distintos de carretillas, cada una con unas características y funcionamientos personalizados, las herramientas de aprendizaje práctico comienzan a cobrar mucha importancia a la hora de preparar y prevenir los posibles riesgos.

Además, también se predice que puedan aparecer nuevos sistemas de prevención de colisiones guiados por láser, lo que aumentará aún más esa seguridad buscada. [3]



*Ilustración 5: Carretilla del año 2007. [Ilustración]. Recuperado de:
<https://www.clarkmhc.com/Company/History>*

EL IMPACTO DE LA CARRETILLA ELEVADORA EN LA HISTORIA

La carretilla elevadora ha recorrido un largo camino desde su diseño original. Como se ha visto a lo largo de su historia, su mayor impacto fue durante la Primera y Segunda Guerra Mundial. Si bien se produjo una escasez de mano de obra, las carretillas elevadoras aumentaron la productividad y la eficiencia dentro de la fuerza laboral industrial.

Las carretillas fueron capaces de transportar cargas de materiales para armas, tanques, aviones y recursos médicos. Aunque los fabricantes tuvieron problemas para recibir los materiales para construir las carretillas, la guerra sin ellas hubiera sido imposible, ya que era inviable que el trabajo de varios hombres subsanase las necesidades de guerras tan importantes y duras.

A lo largo de la historia también se ha visto como el ámbito de la carretilla no sólo se enfocaba a la guerra, sino que se utilizaba en distintas industrias, como almacenes, ferrocarriles, sitios de construcción, astilleros, etc.

- Las bodegas usaban las carretillas elevadoras para almacenar materiales en filas de estanterías altas, desde papel y plástico, hasta productos más pesados, como madera y metal.
- Los ferrocarriles, los astilleros y los sitios de reciclaje usaban la carretilla para transportar todo tipo de materiales sin necesidad de mano de obra manual.

Las carretillas elevadoras no sólo tienen el poder de transportar cargas pesadas en almacenes, sino que son ampliamente utilizadas en cualquier sector, brindando eficiencia y precisión con menos tiempo de inactividad. Por ejemplo, en el entorno de la construcción: transporte de bloques de cemento, elevar personal y transporte de otros equipos.

La historia de las carretillas elevadoras ha demostrado la progresión natural de nuestra necesidad de medios más ingeniosos, más fuertes y diversos para el transporte de cargas pesadas. Sin la carretilla, los días de trabajo serían más largos y agotadores, o incluso imposibles. Sin su presencia, la historia tendría que ser reescrita, y los aspectos revolucionarios de los países hubieran requerido más tiempo y más esfuerzo.

CARRETILLA ELEVADORA ACTUAL

Una carretilla elevadora es un equipo sobre ruedas que no circula sobre carriles, con conductor (a pie o sentado), con capacidad para auto cargarse y que permite el transporte y la manipulación de cargas horizontal o verticalmente.

Es utilizada tanto en locales interiores, donde generalmente son utilizadas en almacenes, como en emplazamientos exteriores de las empresas.

Se trata de un vehículo industrial pequeño, que tiene una plataforma bifurcada de accionamiento eléctrico unida en la parte delantera, que puede subir y bajar para soportar y coger una carga, pudiendo levantarla o moverla. Las carretillas elevadoras satisfacen las necesidades de diversas industrias, incluidos almacenes y otras grandes instalaciones de almacenamiento.

ESTRUCTURA DE UNA CARRETILLA

La carretilla elevadora consta de una variedad de componentes necesarios para manejar la tarea de forma efectiva. Desde el bastidor del vehículo, hasta la fuente de energía y el contrapeso, son esenciales para que ésta funcione de manera eficiente. [4]

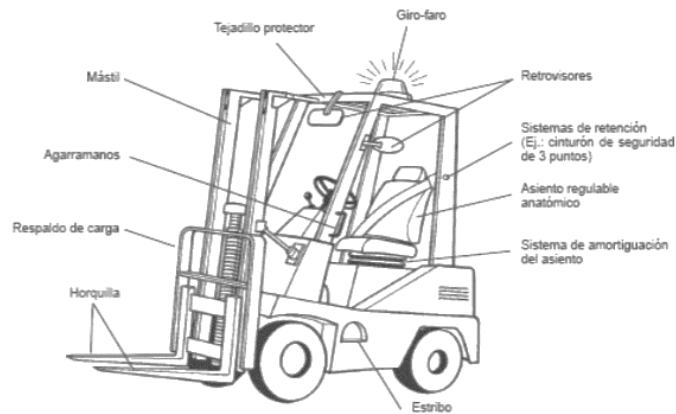


Ilustración 6: Estructura de la carretilla elevadora [Ilustración]. Recuperado de: <https://www.coruna.gal/download/1398302223675/MANUAL-CARRETILLAS-Y-PLATAFORMAS.pdf>

- **Chasis:**

El bastidor del vehículo es un componente vital, ya que forma la base de la máquina. Todos los componentes clave de la carretilla elevadora, incluidas las ruedas, el contrapeso y el mástil, están unidos al chasis del camión.

- **Contrapeso:**

Es un peso de hierro fundido unido a la parte trasera del montacargas, y cuyo objetivo es equilibrar la carga cuando se levanta.

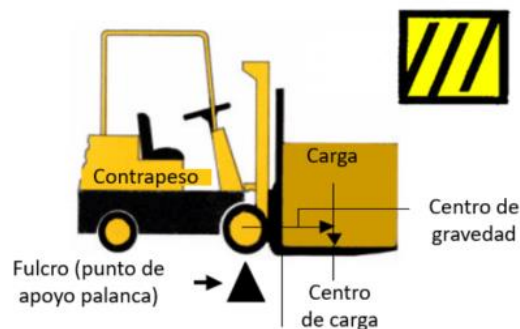


Ilustración 7: Contrapeso. Recuperado de: <http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/>

- **Techo o guardia superior:**

Está diseñado para proteger al operador de la caída de los objetos.

- **Fuente de alimentación:**

La fuente de la carretilla elevadora consiste en un motor de combustión interna, el cual puede ser alimentado por GLP (Gas Licuado de Petróleo), GNC (Gas Natural Comprimido), diésel o gas natural.

Las carretillas elevadoras eléctricas obtienen energía de las pilas de combustible o de las baterías de plomo.

- Neumáticos:

Las carretillas elevadoras actuales están formadas por cuatro ruedas, y éstas pueden ser de distintos tipos, dependiendo del uso y del lugar de trabajo.

Será necesario realizar una inspección diaria de las ruedas para comprobar su estado, su presión o posibles cortes.

- Los neumáticos sólidos están diseñados para su uso en interiores sobre superficies lisas y secas. No se deben utilizar al aire libre o en superficies rugosas.



Ilustración 8: Neumático sólido. Elaboración propia.

- Las llantas neumáticas (llenas de aire) están diseñadas para su uso en superficies mejoradas, tanto exteriores como interiores.



Ilustración 9: Llanta neumática. Elaboración propia.

- Carro:

Sirve de base para el montacargas. El carro se fija en los raíles del mástil para que pueda moverse fácilmente hacia arriba y hacia abajo.



Ilustración 10: Carro. Recuperado de: <http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/>

- **Mástil:**

Es el ensamblaje vertical que hace el trabajo de subir, bajar e inclinar las cargas. El mástil soporta el carro que permite su movimiento vertical con el elevador hidráulico. El carro está hecho de placas mecánicas planas que se mueven a lo largo del mástil mediante cadenas, o se unen directamente al cilindro hidráulico, que suministra la potencia para elevar la carga. El componente del mástil consiste en rieles de enclavamiento que ofrece el control horizontal.



Ilustración 11: Mástil. Recuperado de: <http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/>

Hay una serie de tipos de mástiles: [5]

- Simplex: mástil de una sola etapa. Con elevación libre limitada (4 a 6’). (La elevación libre es la distancia que recorren las horquillas antes de extender el mástil). El uso recomendado es para la carga y descarga de camiones en áreas donde el espacio libre es un problema.
- Dúplex: mástil de dos etapas. Tiene mayor elevación libre (50-60’’) que el mástil simple. Permite la carga y descarga de pilas de niveles más altos que los anteriores.

- Tríplex: mástil de tres etapas. Tiene la misma elevación libre (50-60'') que el mástil dúplex, pero su extensión es mayor, lo que permite cargar y descargar pilas de niveles más altos.
- Quad: mástil de cuatro etapas o mástil cuádruple. Tiene la misma elevación libre (50-60'') que el mástil dúplex y triple, pero tiene mayor extensión, permitiendo cargar y descargar stocks de niveles más altos, aunque las precauciones en sus alturas de elevación son mayores.

Los mástiles pueden afectar a la visibilidad del operador. Los diseños más nuevos son los que usan dos cilindros laterales, proporcionando mayor visibilidad que otros diseños previos que tienen un único cilindro central, lo que oscurece la visibilidad.

- Horquillas:

Las horquillas, también conocidas como cuchillas o púas, son las encargadas de llevar y sujetar la carga. Tienen un talón donde se curvan hacia arriba y un vástago vertical mediante el cuál se unen al vehículo.



Ilustración 12: Horquillas. Elaboración propia.

- Accesorios:

Las carretillas elevadoras motorizadas usan muy a menudo varios accesorios en lugar de las horquillas tradicionales. Estos accesorios aumentan la versatilidad de la carretilla.

Dentro de los accesorios más utilizados se pueden encontrar:

- Adjuntos de hoja de deslizamiento: evita el uso de palets.



Ilustración 13: Adjuntos de hoja de deslizamiento. Recuperado de:

<https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/attachments.html#Attachments>

- Abrazaderas de barril: para sujetarlos.



Ilustración 14: Abrazaderas de barril. Recuperado de:

<https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/attachments.html#Attachments>

- Horquillas telescópicas o extensibles.



Ilustración 15: Horquillas telescópicas. Recuperado de:

<https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/attachments.html#Attachments>

Los operadores han de estar capacitados en el uso adecuado de todos accesorios, ya que alteran el rendimiento de la carretilla, afectando la visibilidad, el centro de gravedad o la capacidad.

- Acelerador:

Es el control direccional de avance o retroceso. Permite al operador mover la carretilla elevadora hacia adelante o hacia atrás.

Este tipo de control puede encontrarse al lado del volante, o bien en los pies, como cualquier pedal de otros vehículos.

Algunas carretillas elevadoras también tienen un embrague, para cambiar las velocidades.



Ilustración 16: Pedales. Elaboración propia.

- Freno de estacionamiento:

Pedal que permite estacionar el vehículo.

- Placa de identificación:

Los operadores deben conocer y entender las especificaciones y limitaciones de las carretillas adjuntadas en la placa de identificación que poseen.

La placa de identificación, o placa de datos, proporciona información relevante: como el tipo de combustible, el peso y la capacidad de la carretilla elevadora (pauta del fabricante sobre el máximo peso que puede levantar la carretilla de forma segura), con el fin de evitar posibles peligros, como el vuelco.



Ilustración 17: Placa de identificación. Recuperado de:

<https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/nameplate.html>

- Dispositivos de advertencia y seguridad:

El fabricante puede equipar las carretillas con los siguientes dispositivos de seguridad:

- Cinturones de seguridad y restricciones similares.
- Alarmas de respaldo que suenan cuando la carretilla elevadora va marcha atrás.
- Extintor de incendios.
- Parpadeo de luces de advertencia.
- Señales direccionales o intermitentes.
- Luces de freno.
- Espejos.

FUNCIONAMIENTO

Las carretillas elevadoras obtienen su poder en dos mecanismos de entrelazado:

- Un par de cilindros hidráulicos.
- Un par de poleas de cadena de rodillos.
- Controles.

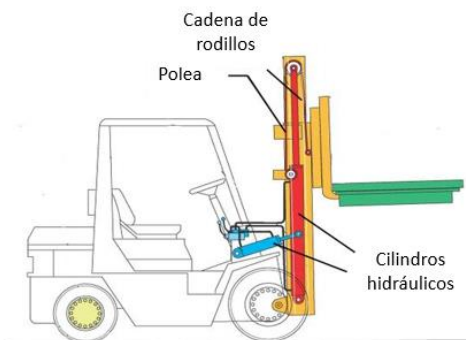


Ilustración 18: Mecanismos de funcionamiento de la carretilla. Edición propia.

Recuperado de: <http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/>.

MECANISMO DE ELEVACIÓN: CILINDROS HIDRÁULICOS

La manija de elevación está conectada a una bomba de aire eléctrica en la base de la carretilla elevadora. Una vez que se presiona el asa, dispara la bomba de aire que atrae

el aire exterior a través de un filtro y lo empuja hacia un tubo que llega a los cilindros hidráulicos.

Un cilindro hidráulico consta de un tubo hueco cerrado en un extremo, con un pistón lubricado flexible que encaja en el otro. El aire queda atrapado a través de la base del cilindro, permitiendo que los gases ingresen sin fugas.

El volumen de gas en el cilindro aumenta la presión dentro de él, y la presión aplicada al área de la cabeza del pistón genera una fuerza ascendente, que hace que el pistón se mueva hacia arriba, lo que aumenta el volumen del gas y minimiza la presión, creando un equilibrio físico a la altura de la carretilla elevadora y una fuerza equivalente del gas y de la carga de la carretilla.

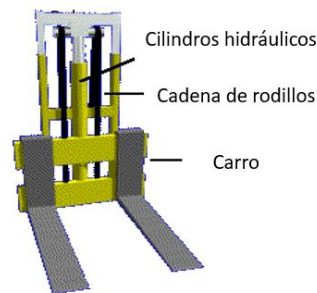


Ilustración 19: Cilindros hidráulicos. Elaboración propia.

- Elevación de la carga: el operador empuja la manija hacia adelante, indicando a la carretilla elevadora que bombee el exceso de aire a los cilindros. Cuando el cilindro está lleno de fluido hidráulico, obliga al pistón a moverse hacia arriba.

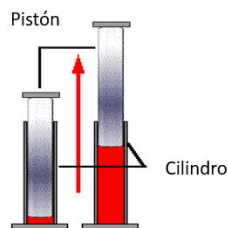


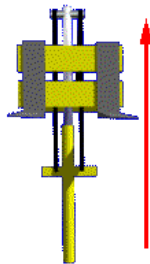
Ilustración 20: Elevación de la carga mediante cilindros hidráulicos. Elaboración propia.

- Bajada de la carga: el operador tira de la palanca hacia atrás, lo que señala una válvula especial que descarga el gas de los cilindros.

MECANISMO DE ELEVACIÓN: POLEA DE CADENA DE RODILLOS

Los pistones hidráulicos están unidos a las dos estructuras verticales principales conocidas como “mástiles”. Las horquillas destinadas al transporte de la carga están unidas al cuerpo de la carretilla elevadora mediante un par de poleas de cadena de rodillos, cuyo fulcro (punto de apoyo de la palanca) forma un engranaje en la parte superior del mástil.

Cuando los pistones hidráulicos empujan los mástiles hacia arriba, los engranajes de los mástiles se presionan contra las cadenas de rodillos. Esto ocurre debido a que un lado de la cadena está fijo al bastidor inmóvil del montacargas, y la única manera en la que los mástiles pueden elevarse es cuando los engranajes giran en el sentido de las agujas del reloj, subiendo las horquillas. Es decir, el movimiento hacia arriba del pistón y las cadenas, elevan las horquillas al nivel deseado.



*Ilustración 21: Elevación de las horquillas mediante la subida de cadenas de rodillos.
Elaboración propia.*

El significado de este mecanismo es que permite que las horquillas se alejen de los cilindros, y si no fuese así, las carretillas elevadoras necesitarían cilindros mucho más altos para elevar la carga hasta una altura equivalente. [4]

CONTROLES

Las carretillas constan de dos juegos de controles: uno para la dirección y otro para la elevación.

El control de la dirección.

Funciona de forma similar a los carritos de golf, teniendo un pedal de aceleración, volante, freno, marcha atrás y marcha adelante.

El control direccional, accionado mediante una palanca, permite desplazar la carretilla hacia adelante o hacia atrás.

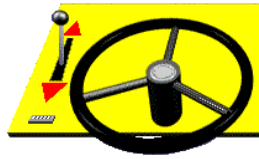


Ilustración 22: Control direccional mediante palanca. Elaboración propia.

Las carretillas usan la dirección de la rueda trasera. Cuando se gira el volante, el eje trasero del volante comienza a girar hacia adelante y hacia atrás, permitiendo que el operador tome un mayor grado de precisión y rotación cuando maneja cargas.

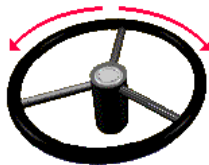


Ilustración 23: Movimiento del volante que permite el giro del eje trasero de la carretilla. Elaboración propia.

Todas las carretillas elevadoras tienen un pedal de acelerador, que controla la velocidad a la que se mueve la carretilla, y un pedal de freno, que estaciona o para la carretilla. Algunas tienen un embrague para el cambio a velocidades más altas cuando circulan hacia adelante.



Ilustración 24: Pedales de la carretilla. Elaboración propia.

Además, todas las carretillas están equipadas con un freno de estacionamiento, que será necesario poner cuando se vaya a dejar el vehículo.



Ilustración 25: Freno de estacionamiento. Elaboración propia.

El control de elevación.

Este control consta de dos palancas: una para el levantamiento de cargas hacia arriba y hacia abajo, y otra para la inclinación de la carga hacia detrás y hacia adelante.

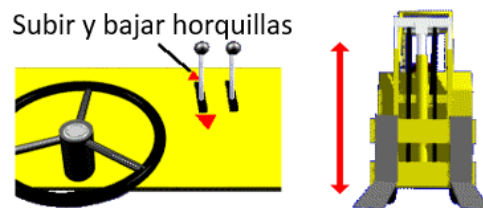


Ilustración 26: Movimiento de subir y bajar horquillas. Elaboración propia.

El control de elevación funciona de manera similar al control de dirección, mientras que el mecanismo de inclinación es algo diferente: hay dos pares de cilindros hidráulicos adicionales unidos a la base de los mástiles.

- Una vez que la manija de inclinación se mueve hacia adelante, la cámara se llena automáticamente de aire, y el aumento de la presión es suficiente como para empujar la cabeza del pistón y dejar que los mástiles se alejen de la carrocería de la carretilla.
- Una vez que la manija de inclinación se mueve hacia atrás, el aire pasa suavemente fuera del cilindro y se bombea a otra parte de los cilindros que están unidos al mástil. Cuando los pistones son empujados hacia adelante, los mástiles son empujados hacia atrás, hacia el vehículo.

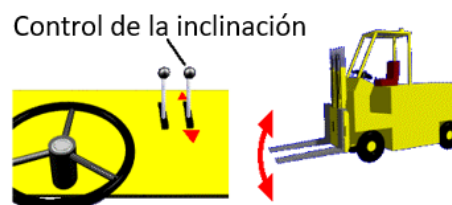


Ilustración 27: Control de la inclinación de las horquillas. Elaboración propia.

Las horquillas de elevación de la carretilla pueden moverse de lado a lado para ajustarse a diferentes tipos de cargas. La mayoría requieren que este proceso se realice manualmente, aunque algunas disponen de controles especiales para ajustar las horquillas.

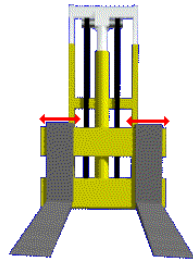


Ilustración 28: Ajuste de separación de las horquillas. Elaboración propia.

FÍSICAS DE LA CARRETILLA

DIRECCIÓN DE LA RUEDA TRASERA

A diferencia de un automóvil, las carretillas elevadoras usan las ruedas traseras para la dirección.



Ilustración 29: eje directriz en ruedas traseras. Elaboración propia.

La dirección de la rueda trasera brinda un mayor control de la carretilla cuando se están utilizando las horquillas.

En la siguiente ilustración (Ilustración 30), se puede observar cómo es más grande el arco de giro producido por la carretilla 1, que usa la dirección de la rueda trasera, frente a la carretilla 2, que usa la delantera.

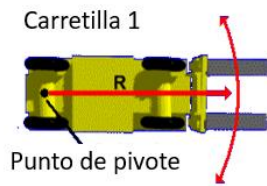


Ilustración 30: Arco de giro de la Carretilla 1, con dirección en la rueda trasera. Elaboración propia.

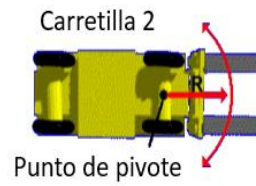


Ilustración 31: Arco de giro de la Carretilla 2, con la dirección en la rueda delantera. Elaboración propia.

TRIÁNGULO DE ESTABILIDAD

Si se levantara una carretilla elevadora y se mirase su parte inferior, se podría observar que los puntos de apoyo se encuentran en las zonas puntuales A, B y C. El triángulo que forman estos puntos se denomina triángulo de estabilidad.

Mientras el centro de gravedad permanezca dentro del triángulo, la carretilla elevadora no se inclinará ni volcará.

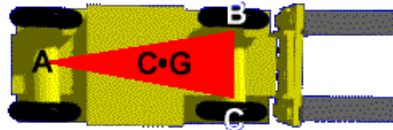
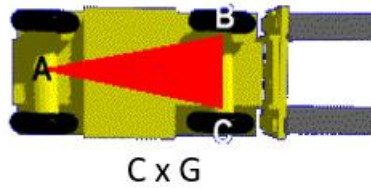


Ilustración 32: Triángulo de estabilidad con el centro de gravedad dentro. Elaboración propia.

Sin embargo, si el centro de gravedad se desplaza fuera del triángulo de estabilidad, la carretilla elevadora volcará.

Algunos de los motivos por los que se puede mover el centro de gravedad de una carretilla son:

- × Realizar un viaje con una carga elevada o demasiado pesada.
- × Realizar un giro de la carretilla mientras esta avanza con rapidez.
- × Operar la carretilla elevadora en una zona de pendiente.
- × Arrancar o parar bruscamente.
- × El funcionamiento desigual del sistema hidráulico.



*Ilustración 33: Triángulo de estabilidad con el centro de gravedad fuera (Vuelco).
Elaboración propia.*

CAPACIDAD DE CARGA

Las ruedas delanteras de la carretilla elevadora sirven como punto de apoyo entre el peso de la carretilla y el peso de la carga transportada. Si ambas cargas son iguales y la distancia entre los centros de gravedad son iguales, es posible que se “balancee” la carretilla (en sus ruedas delanteras).

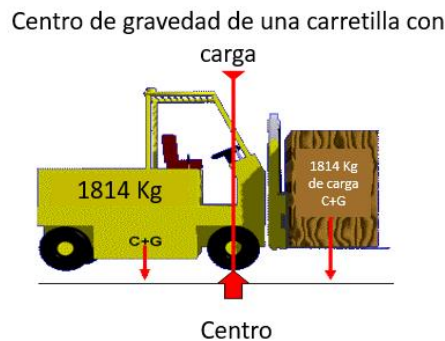


Ilustración 34: Carga estable. Elaboración propia.

Si se reorganiza la carga y el centro de gravedad está más alejado del punto de apoyo, esto provocará que los centros de gravedad de la carga y de la carretilla se desplacen más allá de las ruedas delanteras de la carretilla, y ésta se inclinará hacia adelante.

Por otro lado, si se organiza la carga de modo que el centro de gravedad de la carga esté más cerca del punto de apoyo, esto provocará que el centro de gravedad de la carretilla y de la carga se desplacen detrás de las ruedas delanteras de la carretilla, y no habrá peligro de que la carretilla gire hacia adelante.

CENTRADO DE CARGA

Cuando se realicen levantamientos y transportes de varias cargas a la vez, la carga más pesada ha de estar siempre situada contra la parte posterior de las horquillas (Ilustración 36). De esta manera el centro de carga se acerca más a las ruedas delanteras y permite una carga más estable.



Ilustración 35: Posición incorrecta de la carga. Elaboración propia.

Ilustración 36: Posición correcta de la carga. Elaboración propia.

También se puede aumentar la estabilidad de la carga inclinando las horquillas hacia atrás (Ilustración 38), acercando el centro de gravedad a las ruedas delanteras.



Ilustración 37: Horquillas en posición normal. Elaboración propia.

Ilustración 38: Inclinación de las horquillas para estabilizar la carga. Elaboración propia.

Por el contrario, la inclinación de las horquillas hacia adelante conlleva un alejamiento del centro de carga de las ruedas delanteras y crea una carga menos estable, especialmente cuando están levantadas. Únicamente se debe inclinar las horquillas hacia adelante cuando se esté depositando la carga (Ilustración 39).

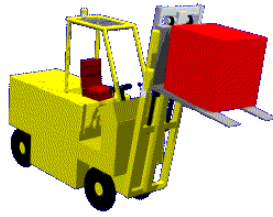


Ilustración 39: Inclinación hacia delante de la carga (para depositar cargas).

Elaboración propia.

TIPOS DE CARRETILLA

Se pueden encontrar distintos tipos de carretillas, distinguidas por la ubicación de la carga, por el sistema de elevación de la carga, en función del tipo de energía utilizada, por las características de sus trenes de rodaje o por la posición del operador. [6]

Las más usuales son las de tipo:

- Carretillas elevadoras de alcance industrial: famosas por su gran altura de elevación, permitiendo transportar objetos de estanterías de alturas muy grandes. Son las más comunes.



Ilustración 40: Carretilla de tipo voladizo. Recopilada de:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf

- Carretillas elevadoras industriales de carga lateral: ideales para pastillos estrechos, ya que las horquillas están montadas en el costado del camión. Un ejemplo bastante utilizado son los cargadores laterales (Ilustración 41).

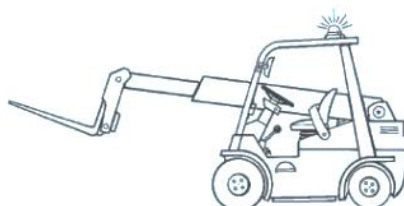


Ilustración 41: Carretilla no contrapesada. Recopilado de:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf

- Traspaletas: operadas por peatones y usadas principalmente en almacenes para facilitar el transporte de palets. Únicamente mueve las cargas de un lugar a otro al nivel del suelo. De allí recoge la carga introduciendo bajo la misma una plataforma u horquilla que se eleva ligeramente.

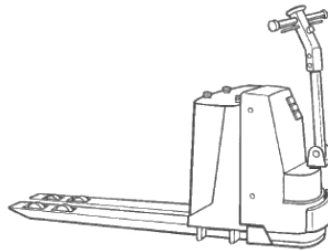


Ilustración 42: traspaleta. Recopilado de:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf

ZONA DE OPERACIÓN DE LA CARRETILLA ELEVADORA

Las carretillas elevadoras se utilizan mayoritariamente en sitios de construcción, almacenes, operaciones de reciclaje, dockyards (astilleros) o marros de nieve. [4]

SITIOS DE CONSTRUCCIÓN

Las carretillas elevadoras son un equipo realmente útil en zonas de construcción, ya que permiten el transporte de los materiales de construcción pesados a grandes distancias y posibles terrenos difíciles. Permiten descargar palets de ladrillos, viguetas de acero u otros materiales de construcción del camión de entrega para transportarlos al sitio de trabajo.

Fusiona y equilibra las funciones de una herramienta de elevación y un vehículo, fusionando las ventajas de ambos. Por esta razón, la mayoría de las empresas, e incluso las empresas navieras, ahora llevan montadas las carretillas elevadoras en camiones para descargar fácilmente los productos de construcción. [4]

ALMACENES

Las carretillas son las más usadas en los almacenes. Principalmente se usan para la carga y descarga de camiones y para el transporte de mercancías.

Éstas varían en tamaño o capacidad en función del tipo de carretilla o de las alturas de las estanterías de la nave. Presentará una placa que determina el peso máximo que puede levantar. [4]

OPERACIONES DE RECICLAJE

Las carretillas se utilizan en las operaciones de reciclaje para la descarga de camiones o contenedores de reciclaje y el transporte de su contenido a las bahías de clasificación. [4]

DOCKYARDS (ASTILLEROS)

Las carretillas elevadoras se han usado para apilar y descargar barcos y barcasas cuando surge la necesidad de cargar armas y suministros de forma rápida y eficiente, como sucedió en las Guerras Mundiales.

Hoy en día, las carretillas de servicio pesado se usan para transportar contenedores voluminosos desde camiones de reparto hasta las regiones de almacenamiento en el muelle, para luego cargarlos en los barcos. [4]

MARROS DE NIEVE

La carretilla elevadora también puede ser muy útil como quitanieves, acoplándole un accesorio al vehículo que ayudará a palear la nieve. [4]

NORMATIVA VIGENTE DE CARRETILLAS ELEVADORAS

La mayoría de las normas vigentes están basadas en la prevención de riesgos, y es el Ministerio de trabajo quien indica o limita cada aspecto.

Se busca que la formación de los operadores sea realmente práctica, actual, que proporcione conocimientos preventivos de seguridad, y que aporte a los trabajadores la capacidad de realización de cualquier tipo de maniobra (conforme a los requerimientos normativos).

La normativa vigente sobre las carretillas elevadoras comprende: [7] [10]

- Ley 31/95, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales: *“Este mandato Constitucional conlleva la necesidad de desarrollar una política de protección de la salud de los trabajadores mediante la prevención de los riesgos derivados de su trabajo y encuentra en la presente Ley su pilar fundamental. En la misma se configura el marco general en el que habrán de desarrollarse las distintas acciones preventivas, en coherencia con las decisiones de la Unión europea que ha expresado su ambición de mejorar progresivamente las condiciones de trabajo y de conseguir este objetivo de progreso con una armonización paulatina de esas condiciones en los diferentes países europeos.”*

[7]

En la siguiente captura (Ilustración 43), se muestra parte del documento de esta Ley.

I. Disposiciones generales

JEFATURA DEL ESTADO

24292 LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

JUAN CARLOS I
REY DE ESPAÑA

A todos los que la presente vieren y entendieren.
Sabed: Que las Cortes Generales han aprobado y Yo vengo en sancionar la siguiente Ley.

EXPOSICION DE MOTIVOS

1

El artículo 40.2 de la Constitución Española encomienda a los poderes públicos, como uno de los principios rectores de la política social y económica, velar por la seguridad e higiene en el trabajo.
Este mandato constitucional conlleva la necesidad de desarrollar una política de protección de la salud de los trabajadores mediante la prevención de los riesgos derivados de su trabajo y encuentra en la presente Ley su pilar fundamental. En la misma se configura el marco general en el que habrán de desarrollarse las distintas acciones preventivas, en coherencia con las decisiones de la Unión Europea que ha expresado su ambición de mejorar progresivamente las condiciones de trabajo y de conseguir este objetivo de progreso con una armonización paulatina de esas condiciones en los diferentes países europeos.
De la presencia de España en la Unión Europea se deriva, por consiguiente, la necesidad de armonizar nuestra política con la naciente política comunitaria en esta materia, preocupada, cada vez en mayor medida, por el estudio y tratamiento de la prevención de los riesgos

2

Pero no es sólo del mandato constitucional y de los compromisos internacionales del Estado español de donde se deriva la exigencia de un nuevo enfoque normativo. Dimana también, en el orden interno, de una doble necesidad: la de poner término, en primer lugar, a la falta de una visión unitaria en la política de prevención de riesgos laborales propia de la dispersión de la normativa vigente, fruto de la acumulación en el tiempo de normas de muy diverso rango y orientación, muchas de ellas anteriores a la propia Constitución española; y, en segundo lugar, la de actualizar regulaciones ya desfasadas y regular situaciones nuevas no contempladas con anterioridad. Necesidades éstas que, si siempre revisten importancia, adquieren especial trascendencia cuando se relacionan con la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo, la evolución de cuyas condiciones demanda la permanente actualización de la normativa y su adaptación a las profundas transfor-

Directivas cuya materia exige o aconseja la transposición en una norma de rango legal, como son las Directivas 92/85/CEE, 94/33/CEE y 91/383/CEE, relativas a la protección de la maternidad y de los jóvenes y al tratamiento de las relaciones de trabajo temporales, de duración determinada y en empresas de trabajo temporal.
Así pues, el mandato constitucional contenido en el artículo 40.2 de nuestra ley de leyes y la comunidad jurídica establecida por la Unión Europea en esta materia configuran el soporte básico en que se asienta la presente Ley. Junto a ello, nuestros propios compromisos contraídos con la Organización Internacional del Trabajo a partir de la ratificación del Convenio 155, sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo, enriquecen el contenido del texto legal al incorporar sus prescripciones y darles el rango legal adecuado dentro de nuestro sistema jurídico.

Ilustración 43: • Ley 31/95, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/1995/11/10/pdfs/A32590-32611.pdf>

- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, de Prevención de Riesgos Laborales: sobre la utilización de los equipos de trabajo. Se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. *“La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz. Según el artículo 6 de la misma serán las normas reglamentarias las que irán fijando y concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.”* [8]

En la siguiente imagen (Ilustración 44), se puede observar una captura de la primera parte del documento.

En su virtud, de conformidad con el artículo 6 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, a propuesta de los Ministros de Trabajo y Asuntos Sociales y de Industria y Energía, consultadas las organizaciones empresariales y sindicales más representativas, oída la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 18 de julio de 1997,

DISPONGO:

Artículo 1. Objeto.

1. El presente Real Decreto establece, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo empleados por los trabajadores en el trabajo.
2. Las disposiciones del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado anterior, sin perjuicio de las disposiciones específicas contenidas en el presente Real Decreto.

Artículo 2. Definiciones.

A efectos del presente Real Decreto se entenderá por:

- a) Equipo de trabajo: cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo.
- b) Utilización de un equipo de trabajo: cualquier actividad referida a un equipo de trabajo, tal como la puesta en marcha o la detención, el empleo, el transporte, la reparación, la transformación, el mantenimiento y la conservación, incluida, en particular, la limpieza.
- c) Zona peligrosa: cualquier zona situada en el interior o alrededor de un equipo de trabajo en la que la presencia de un trabajador expuesto entrañe un riesgo para su seguridad o para su salud.
- d) Trabajador expuesto: cualquier trabajador que se encuentre total o parcialmente en una zona peligrosa.
- e) Operador del equipo: el trabajador encargado de la utilización de un equipo de trabajo.

Artículo 3. Obligaciones generales del empresario.

1. El empresario adoptará las medidas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse y convenientemente adaptados al mismo, de forma que garanticen la seguridad y la salud de los trabajadores al utilizar dichos equipos de trabajo.

Cuando no sea posible garantizar de este modo totalmente la seguridad y la salud de los trabajadores durante la utilización de los equipos de trabajo, el empresario tomará las medidas adecuadas para reducir tales riesgos al mínimo.

En cualquier caso, el empresario deberá utilizar únicamente equipos que satisfagan:

- a) Cualquier disposición legal o reglamentaria que les sea de aplicación.
- b) Las condiciones generales previstas en el anexo I de este Real Decreto.

Ilustración 44: Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, de Prevención de Riesgos Laborales. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/07/18/1215/con>

- NTP 713,714 y 715 de 2005 del INSHT, sobre carretillas elevadoras automotoras. “Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente.” [9]

En la imagen inferior (Ilustración 45), se puede ver una captura de una parte de esta guía.



Ilustración 45: Guía de Buenas Prácticas (NTP). Recuperado de:

https://www.insst.es/InshWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_715.pdf

Esta guía comprende propuestas de modelos de comprobaciones a realizar a diario, como un modelo de hoja de revisión periódica de seguridad (Ilustraciones 46 y 47), normas básicas para el manejo seguro de una carretilla: aportando información sobre el entorno de trabajo, criterios básicos de utilización, prohibiciones, excepciones, recomendaciones (Ilustraciones 48), mantenimiento

de la carretilla: consejos generales y aspectos a considerar para el tipo de mantenimiento a realizar (Ilustración 49). [9]

Cuadro 1
Modelo de hoja de revisión periódica de seguridad

HOJA DE INSPECCIÓN PERIÓDICA		Carretilla n°		Horas:	Fecha:...../...../200...
Marca y tipo de carretilla				Propietario:	
Comprobaciones (marcar el resultado con un cruz en la casilla que corresponda)	Resultado		Criterio de validación y aclaraciones	Comentarios	
	OK	Def			
Dispositivo de elevación:					
Horquillas:					
Espesor en el talón					
Deformaciones permanentes					
Grietas en talon y soportes de montaje					
Cadenas de elevación:					
Incremento de longitud sobre el valor inicial					
Sistema de propulsión					
Composición gases de escape			Equipo con motor térmico		
Revisión instalación GLP			Equipo con motor de GLP		
Estado de neumáticos, llantas.....			Apriete tuercas		
Sistema de frenado					
Prestaciones del freno de servicio					
Prestaciones del freno de estacionamiento					
Prestaciones del freno en el timón			Transpaletas		
Conductos, fugas de fluido, cables, ajustes...					
Puesto del operador y mandos					
Sistema de retención del operador					
Fijaciones del asiento					
Sistema de amortiguación del asiento					
Sistema de dirección					
Mandos, indicadores y testigos					
Equipo eléctrico					
Estado de la batería					
Sistema de fijación de la batería					
Caducidad de la batería					
Sistemas de aislamiento					
Estado general instalación, fusibles.....					

Ilustración 46: Modelo de hoja de revisión periódica de seguridad. (Parte 1). Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d

Interruptores de dispositivos de seguridad				
Paro de emergencia				
Interruptores de seguridad en timón			Transpaletas	
Sistema hidráulico				
Velocidad descenso carga por fugas internas				
Velocidad inclinación carga por fugas internas				
Estado general de tuberías, fugas....				
Chasis y equipos de seguridad				
Chasis			Grietas, roturas.....	
Techo protector y sus fijaciones			Grietas, roturas.....	
Estado general de tapas y protectores			Fijación, bloqueos	
Puntos de fijación grupos principales			Deformaciones, apriete	
Gancho para remolques			Grietas, roturas.....	
Varios				
Placa de capacidad de cargas				
Placas de instrucciones y avisos				
Manual de instrucciones				
Equipos opcionales				
Accesorios varios			Según tipo	
Organismo:	Inspección	Fecha:	Nombre:	Firma:
Observaciones:				

Ilustración 47: Modelo de hoja de revisión periódica de seguridad. (Parte 2). Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d

Utilización: Normas básicas para el manejo seguro de una carretilla

Aunque en la utilización de cada tipo concreto de carretilla deben seguirse los procedimientos específicos que se recomiendan en los "Cursos de formación de operadores" y en el Manual de Instrucciones entregado por el fabricante, a continuación se exponen algunas recomendaciones de tipo general.

Antes de utilizar una carretilla elevadora por primera vez, el operador debe leer y comprender la información facilitada en el manual de la misma. Para una utilización segura y eficiente de la carretilla, las instrucciones y consejos indicados en estos manuales deben seguirse escrupulosamente.

Entorno de trabajo

Es esencial disponer de una buena información del entorno de trabajo, teniendo en cuenta por ejemplo que:

- Si en la zona de trabajo existe riesgo de incendio o explosión, ya sea por las mercancías almacenadas, por las características del proceso productivo o por posibles fugas accidentales de fluidos (gases, vapores, nieblas, etc.), se debe comprobar que la carretilla posee la protección antiexplosiva del grupo y categoría adecuado a los niveles de protección exigidos. Recordar al respecto que desde el 30 de junio de 2003 es exigible y aplicable el RD 400/1998.
- Si se opera con una carretilla con motor térmico en locales cerrados, se debe comprobar que exista una ventilación suficiente para evitar concentraciones nocivas de los gases de escape. Se debe parar el motor siempre que no se utilice. Si las necesidades de ventilación no están garantizadas, en cumplimiento de las exigencias del Anexo II. 2.5 del RD 1215/1997, las carretillas "dotadas de motor de combustión no deberán emplearse en esas zonas de trabajo".
- Si se manejan productos alimenticios, tener siempre en cuenta si los citados productos pueden verse afectados por los gases de escape de la carretilla.
- Si se trabaja en almacenes frigoríficos, prestar atención al estado de los suelos y los bandajes de rodadura de la carretilla, por la influencia que tienen en el riesgo de deslizamiento y la disminución de la eficacia de frenado.
- En la utilización de carretillas "todo terreno", se debe prestar especial atención al estado de los neumáticos y a los criterios de utilización de los dispositivos particulares de este tipo de carretillas, como pueden ser por ejemplo, la conexión de tracción a las 4 ruedas o los bloqueos del diferencial.
- Si se circula con la carretilla por vías públicas, el operador debe obtener los permisos y autorizaciones necesarios de acuerdo con la legislación vigente, así como contratar la póliza de seguro pertinente. En general, las carretillas obtienen el permiso de circulación como vehículos para usos muy específicos, una vez solicitada una exención de homologación a las autoridades estatales o autonómicas y efectuada la revisión de la unidad en una ITV que extenderá la oportuna ficha técnica. Deben incorporar los elementos de señalización y seguridad prescritos en el Reglamento General de Vehículos (RD 2822/1998 de 23 de diciembre. BOE de 26.01.99).
- Si existen campos electromagnéticos de intensidad suficiente para alterar los sistemas de funcionamiento o seguridad de la carretilla, deberán seleccionarse los equipos con la compatibilidad adecuada a este tipo de situaciones.

Criterios básicos de utilización

Distinguiremos entre los criterios a tener en cuenta previamente al inicio de la jornada, las prohibiciones, las recomendaciones de seguridad en la utilización y lo relativo a los equipos de protección individual.

Previamente al inicio de la jornada

• Antes de iniciar la jornada de trabajo debe revisarse el estado de la carretilla siendo recomendable registrar el resultado de esta revisión en una hoja de control (en el cuadro 2 se incluye un modelo de esta hoja de control). Esta revisión debería incluir como mínimo:

- Presión de hinchado de los neumáticos y estado de su superficie de rodadura.
- Funcionamiento correcto de frenos, dirección, mandos, equipos de alumbrado y señalización, bocinas.
- Inexistencia de fugas de fluidos de cualquier tipo.
- Posición correcta y debidamente fijada, de todos los protectores, tapones y elementos de seguridad así como de los brazos de horquilla o del accesorio que los sustituya.
- Ausencia de grietas u otros defectos estructurales observables a simple vista.
- Niveles de fluidos de engrase, refrigerante, etc.
- Nivel de combustible (efectuar el llenado del mismo siempre con el motor parado).

Ilustración 48: Normas básicas para el manejo seguro de una carretilla. Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d

Mantenimiento

Tener siempre en cuenta que las carretillas pueden convertirse en máquinas muy peligrosas si se abandona su mantenimiento y que, asimismo, el correcto mantenimiento del entorno de trabajo reduce el mantenimiento de la carretilla; por ejemplo: manteniendo los suelos en buen estado se reducen los impactos y sobretensiones sobre la máquina, una aspiración de polvos adecuada prolonga la duración de filtros y sistemas, etc.

A este respecto deben seguirse escrupulosamente las pautas y criterios de mantenimiento básico que el fabricante de la carretilla incluye en el Manual del Operador, que obligatoriamente debe entregar con cada máquina y que debe estar redactado en el idioma del país donde se utilice el equipo.

Consejos generales

Con carácter informativo y no exhaustivo, a continuación se indican algunos consejos habituales para el mantenimiento de carretillas industriales.

- El mantenimiento y reparación, deben efectuarse únicamente el personal autorizado y especializado, sea de la propia empresa (para lo que deberán haber recibido una formación específica adecuada en cumplimiento de lo exigido en el art. 5.4 del RD 1215/1997) o sea ajeno a la misma, sea del fabricante de la máquina o de una empresa de reconocida solvencia, provisto de las herramientas e instrucciones necesarias.
 - Debe evitarse cualquier modificación del uso previsto de la carretilla que afecte a su capacidad y seguridad (están prohibidas, p. e., el cambio de longitud de los brazos de las horquillas ya que puede influir directamente en la estabilidad de la carretilla). En caso de tener que realizar este tipo de modificaciones, debe acudir al fabricante, que actualizará, en cuanto sea necesario, las placas informativas, manuales de instrucciones, etc.
 - Las operaciones de mantenimiento, ajuste, revisión o reparación que puedan suponer un peligro para la seguridad de los trabajadores se realizarán tras haber parado o desconectado el equipo, haber comprobado la inexistencia de energías residuales peligrosas y haber tomado las medidas necesarias para evitar su puesta en marcha o conexión accidental mientras esté efectuándose la operación (máquina consignada).
- Cuando la parada o desconexión no sea posible, se adoptarán las medidas necesarias para que estas operaciones se realicen de forma segura o fuera de zonas peligrosas.
- Las placas de características, instrucciones y advertencias existentes sobre la carretilla deben mantenerse en perfecto estado de conservación y lectura. En el caso de que la máquina, por cualquier motivo careciera de ellas (antigüedad del equipo, pérdida o deterioro de las mismas, etc.) se deben incorporar en cumplimiento de las exigencias contenidas en el Anexo I, apartado 1, punto 13 del RD 1215/1997.
 - Antes de desconectar los circuitos de fluidos, asegurarse de que no existe presión en los mismos, que su temperatura no puede producir quemaduras y tomar las precauciones necesarias para evitar derrames imprevistos.
 - En los manuales facilitados por el fabricante se incluyen los cuadros de engrase y mantenimiento fijando su periodicidad, productos a utilizar, regulaciones y reglas a aplicar, procedimientos operativos recomendados, etc.
- La elevación de la carretilla para su reparación o inspección, así como el remolque de la misma en caso de avería o su sujeción sobre plataformas de transporte, debe efectuarse con dispositivos de suficiente capacidad y por los puntos previstos a este efecto señalizados sobre la máquina.
 - Para el remolcado de la carretilla en caso de avería, utilizar preferentemente una barra de remolcado y efectuar la maniobra a una velocidad reducida que permita efectuar la maniobra con seguridad, en ningún caso superior a 10 km/h, dada la peligrosidad que la operación comporta. Si se conduce una carretilla remolcada, prestar atención a la posición de sus manos sobre el volante de dirección, de forma que un giro inesperado del volante no pueda dañar al conductor. Si la carretilla a remolcar es de accionamiento hidrostático, previamente a la operación, seguir las instrucciones del manual del operador para desconectar el accionamiento del eje motriz sin riesgos para el equipo hidrostático.
 - Antes de cualquier intervención, se debe comprobar el correcto estado de aislamiento de los bornes de la batería, o aislarlos en su caso, para evitar contactos accidentales.
 - Las baterías deben mantenerse limpias, y siempre que se efectúen trabajos en las mismas, el personal debe utilizar con gafas protectoras y guantes adecuados al tipo de riesgo.
 - Antes de intervenir en el circuito eléctrico de la carretilla, para evitar riesgos a las personas y los equipos, desconectar la batería.
 - Antes de efectuar operaciones de soldadura sobre la máquina, debe desconectarse el alternador y vaciar los depósitos de combustible si existen.
- En función de su utilización, el sistema de frenado debe revisarse con la periodicidad necesaria para asegurar que no pierde efectividad. Ello es especialmente importante en carretillas sin frenos estancos y que trabajen habitualmente en barizales.
 - Antes de efectuar intervenciones en el circuito de refrigeración del motor térmico, esperar a que la temperatura del líquido descienda hasta un valor que permita retirar sin riesgo el tapón del radiador o del vaso de expansión.
- Al sustituir un neumático con banda de rodadura tipo "todo terreno", comprobar que se ha montado la cubierta con el dibujo de la misma en el sentido correcto.
- Al efectuar operaciones de limpieza, no utilizar líquidos inflamables o recipientes que los hayan contenido. Evitar la entrada de cualquier tipo de líquidos en los circuitos eléctricos.
 - Para prevenir dermatitis de contacto u otro tipo de patologías cutáneas, es recomendable efectuar el llenado de combustible y demás fluidos, provisto de guantes.
 - Toda carretilla pendiente de reparación o durante la misma debe permanecer con la llave de contacto quitada y en posesión del responsable y además debe tener claramente señalizada esta situación con una etiqueta de "carretilla en reparación" o "carretilla temporalmente fuera de uso".

Ilustración 49: Mantenimiento de una carretilla. Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d

- UNE 58451:2014 "Formación de los operadores de carretillas de manutención hasta 10000 kilogramos". Esta norma tiene como objetivo la definición de los puntos clave para la formación de los operadores de carretillas de hasta 10000 kgs (son la mayoría de los equipos usados en la industria). [10]

Se basa en los siguientes puntos:

- Objetivos de la formación: como que el operador pueda manejar la carretilla en los distintos entornos en los que se ha formado, o que conozca las distintas operaciones de manipulación de cargas, las medidas de seguridad que debe seguir y los posibles riesgos que se pueden presentar.
- Tipos de máquinas:
 - Tipo 1:

- Transpaletas.
- Transportadores y tractores.
- Apiladores.
- Tipo 2:
 - Mástil con carga en voladizo.
 - Brazo telescópico.
 - Retráctil.
 - Conductor que se eleva con carga.
 - Montadas sobre camión.
- Duración de la formación:
 - Formación inicial:

TIPO	TEORICA		PRACTICA	TOTAL
	COMUN	ESPECIFICA		
1	2	+2	Mínimo 1	5
2	2	+4	Mínimo 4	10

Ilustración 50: Duración de la formación inicial según la Norma Une 58451:2014. Recuperado de: <https://www.lacorformacion.com/normativa-vigente-y-formacion-sobre-carretillas-elevadoras>

- Formación de actualización: que se debe realizar como máximo cada cinco años.

TIPO	TEORICA		PRACTICA	TOTAL
	COMUN	ESPECIFICA		
1	1	+1	Mínimo 1	3
2	1	+2	Mínimo 2	5

Ilustración 51: Duración de la formación de actualización según la Norma Une 58451:2014. Recuperado de: <https://www.lacorformacion.com/normativa-vigente-y-formacion-sobre-carretillas-elevadoras>

- Definición y requisitos mínimos:
 - Operador: persona que adquiere, a través de su formación, cualificación y experiencia, las habilidades y conocimientos que harán posible la realización correcta del trabajo asignado.

- Formador: persona competente cuya labor es impartir la formación al operador. Comprende una experiencia contrastada y está acreditado por un organismo certificador o equivalente.
- Supervisor: persona competente en sus labores de trabajo. Autoriza al operador cualificado a la conducción de la carretilla y define las tareas que debe realizar.
- Contenido de la formación: va a ser de dos tipos, formación práctica y teórica.
 - Contenido teórico: [10]
 - Información sobre la carretilla a utilizar.
 - Mentalización general sobre riesgos, accidentes o seguridad.
 - Conceptos básicos de uso habitual.
 - Legislación básica.
 - Símbolos y pictogramas.
 - Descripción general de las partes de la carretilla y equipos utilizados (terminología).
 - Diferencias esenciales respecto al automóvil.
 - Componentes existentes en la carretilla, mandos de control.
 - Implicaciones debidas al entorno de trabajo, estado de pavimentos y suelos, suelos consolidados, puertas, montacargas, rampas y pendientes, cables eléctricos, muelles de carga. Condiciones de los lugares de trabajo conforme a la legislación vigente.
 - Operaciones de carga de combustible, diésel, gasolina, gas, carga de baterías.
 - Operaciones típicas en el uso diario de la máquina.
 - Carga nominal, carga admisible, centro de carga, altura de elevación, alcance de brazo o gráficos de carga.
 - Estabilidad del conjunto.
 - Conducción en vacío y con carga.
 - Operaciones de elevación.
 - Utilización de accesorios para unidades de carga específicas.
 - Cargas oscilantes.
 - Elevación de personas.

- Tipos de estanterías, sistemas de almacenaje.
 - Pasillos de maniobra, tráfico con peatones.
 - Uso de vías públicas.
 - Control diario.
 - Mantenimiento preventivo.
 - Manual del operador (facilitado por el fabricante).
 - Equipos de protección individual.
 - Estacionamiento en aparcamiento.
 - Procedimientos a seguir en caso de situación de riesgo.
- Contenido práctico: [10]
- Conocimiento de las partes de la carretilla, control visual de características. Mantenimiento, mandos, placas y manuales.
 - Comprobación de la puesta en marcha, el control y uso de la dirección, frenos, claxon, etc.
 - Maniobras sin carga, desplazamiento en ambas direcciones, velocidades, giros, frenadas, utilización en rampas.
 - Maniobras similares con cargas.
 - Carga y descarga de camiones, colocación y retirada de cargas en estanterías, apilado y retirado de cargas en superficie libre.
 - Gráfico de cargas, comprobación efecto de las dimensiones de la carga.
 - Prácticas con accesorios.
 - Maniobras extraordinarias.
- Certificado de acreditación: el operador de la carretilla debe disponer del certificado de haber recibido la formación suficiente y haber superado exitosamente las pruebas citadas previamente, tanto las teóricas como las prácticas.

El certificado debe incluir: [10]

- Nombre de la empresa y persona que lo imparte.
- Tipos de máquinas para el que es válido.
- Cualquier limitación que sea necesaria incluir.
- Contenido de la formación recibida.
- Duración de la misma.
- Lugar en que se ha realizado.

- Fecha de celebración.
- Fecha de caducidad del mismo.
- Entidades acreditadas: son las empresas destinadas a la formación, fabricación o suministro de carretillas. Todas las empresas deben tener un registro en el que consten todos los operadores que hayan realizado el curso. Los requisitos mínimos son los siguientes: acreditar y disponer de instalaciones apropiadas para la formación, disponer de carretillas y equipos apropiados, acreditar y disponer de personal para realizar la formación, certificar formadores que cumplan con los requisitos de esta norma y disponer de procedimientos de aseguramiento de la calidad certificados para actividades de formación.

3.2. INDUSTRIA DE LOS VIDEOJUEGOS

La simulación virtual de la carretilla sigue las mismas técnicas de creación de un videojuego, como el sistema de movimiento de un vehículo o su interacción con el entorno. Por esta razón, se puede considerar el entrenador como un videojuego educativo, ya que es un tipo de juego que facilita el aprendizaje o entrenamiento al jugador.

Desde la década de 1980, los videojuegos se han convertido en una parte cada vez más importante en la industria del entretenimiento.

Un videojuego es un juego electrónico que implica la interacción con una interfaz de usuario para generar retroalimentación visual en un dispositivo de visualización de vídeo, de dos o tres dimensiones (pantalla de televisión, casco de realidad virtual o monitor de una computadora). Los sistemas electrónicos donde se lanza el videojuego se denominan plataformas, y los dispositivos de entrada para manipular el videojuego van a variar en función de ellas. Los controladores más comunes son: gamepads (controlador de juego o mando), joystick (palanca de mando), mouse (ratón o dispositivo apuntador), teclado (método de interacción más común), touch screen (pantalla táctil, mediante contacto), detección del movimiento de una persona (usando un sensor Kinect o webcam), etc.



Ilustración 52: Gamepad. Recopilado de:
<https://www.flipkart.com/logitech-gamepad-f310/p/itmddyfyfrzch29cf>



Ilustración 53: Joystick.
Recuperado de:
<https://www.ecured.cu/Joystick>



Ilustración 54: Ratón. Recopilado de:
<https://www.infotechcomputers.ca/product/new-usb-mouse/>



Ilustración 55: Teclado.
Recuperado de:
<https://www.ecured.cu/Joystick>



Ilustración 56: Pantalla Táctil. Recopilado de:
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-552617705-monitor-touch-screen-de-185-nuevo-facturado-con-garantia-_JM?quantity=1



Ilustración 57: Sensor de movimiento, Kinect (para Xbox 360).
Recopilado de:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Kinect>



Ilustración 58: Webcam. Recopilado de: <http://ia-latam.com/2018/12/26/webcam-de-microsoft-tendra-reconocimiento-facial/>

Los usuarios ven el juego en un dispositivo de visualización (monitor de computadora o televisor), o, en ocasiones, a través de gafas de realidad virtual (juego en 3 dimensiones). La mayoría de las veces, se añaden auriculares o altavoces que van a aportar efectos de sonido, música o voz.



Ilustración 59: Monitor. Visualización del juego en 2D. Recopilado de: <https://www.lenovo.com/es/es/accessories-and-monitors/monitors/office/E24-10D17238FE0-23-8-inch-FHD-Monitor/p/61B7JAT6EU>



Ilustración 60: Gafas de Realidad Virtual. Visualización del juego en 3D. Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display

La realidad virtual es un entorno de escenas u objetos aparentemente reales, generalmente logrado por tecnología informática, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso dentro de lo que está viendo. Dicho entorno informático (que de manera digital representa algo que simula ser real) es contemplado por el usuario a través de las gafas o casco de realidad virtual (HMD o Head-mounted display) normalmente.

Estas gafas pueden ir acompañadas de otros periféricos para dar mayor control de lo que se está viendo, proporcionando al usuario una sensación y experiencia mucho mayor, ya que de esta manera no son solo espectadores, sino que pueden interactuar con el entorno virtual, el cual responderá a los movimientos que hagan realmente. El usuario siente que está e ingresa en el interior del mundo, percibiendo que interactúa con los elementos reales, aunque físicamente no lo son. [11]

Hay varios niveles de inmersión del usuario en el mundo virtual, y dependiendo del nivel se va a poder interactuar con este mundo y sus objetos en un grado u otro. La realidad virtual ideal sería aquella que desde una inmersión total permita la interacción sin límites con el mundo virtual, y aportar como mínimo los mismos sentidos que las personas tenemos en el mundo real (oído, vista, gusto, tacto y olfato). Los sistemas

actuales se centran únicamente en los sentidos de la vista y del oído, ya que la simulación de todos ellos da lugar a grandes dificultades y costes.

Las aplicaciones de la realidad virtual son muchas, como simulaciones, películas, vídeos, juegos, etc. Entre los distintos tipos de inmersión se encuentran: [11]

- Simulaciones no inmersivas: son la implementación menos inmersiva de la tecnología de realidad virtual. Sólo se estimula un subconjunto de los sentidos del usuario, los cuáles ingresan en los entornos a través de un portal o ventana, utilizando monitores de alta resolución (estaciones de trabajo de escritorio convencionales).



Ilustración 61: Simulación no inmersiva. Recopilado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

- Realidad virtual inmersiva: utilización de periféricos (gafas, cascos de realidad virtual, posicionadores, etc.) consiguiendo la inmersión total y desapareciendo el mundo real. El usuario olvida que es un entorno virtual-artificial. Consigue la inmersión mental, con la incredulidad del usuario de que se encuentra en un entorno virtual y la inmersión física, con la suspensión de la incredulidad y compromiso físico de que se está en un entorno virtual.



Ilustración 62: Realidad virtual inmersiva. (1). Recopilado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>



Ilustración 63: Realidad virtual inmersiva. (2). Recopilado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

- Realidad virtual no inmersiva o semiinmersiva: se interactúa con el mundo virtual sin estar sumergidos en el mismo, por ejemplo, a través de un monitor. Suelen combinarse con sistemas de proyectores de pantalla grande o de cine para estimular de forma adecuada las imágenes al usuario. Consigue una inmersión parcial. Es un tipo de RV muy utilizado, ya que no requiere de ningún hardware especial, sobre todo en simulaciones de vuelo.



Ilustración 64: Realidad virtual semiinmersiva. Recopilado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

En los años 2000 surgieron algunos juegos que incluían tecnología háptica, también llamada comunicación kinestésica o toque 3D, que busca embaucar otro de nuestros sentidos. Este tiene gran peso a la hora de la elaboración de la imagen del entorno por el cerebro, ya que es aquel que se percibe mediante el órgano más grande del cuerpo humano, la piel. Uno de los ejemplos más utilizados de este tipo de tecnología es el guante, que permite la interacción con un mundo virtual mediante un avatar de la mano

real que permite que ésta responda a nuestros movimientos, e incluso haciéndonos creer que estamos tocando algo y detectando distintas texturas, temperaturas, vibraciones, etc. [12]



Ilustración 65: Tecnología háptica. Recopilado de:
https://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology

Desde el año 2010, la industria de los videojuegos está aumentando notablemente. Los juegos móviles en los teléfonos inteligentes han provocado en gran parte este aumento, y con ello las grandes cifras manejadas en el mercado, superando incluso a otras industrias como la música o el cine. Además, las nuevas generaciones de máquinas se comenzaron a implantar como algo habitual en las viviendas, desbancando completamente las zonas recreativas.

En la actualidad, el videojuego que más éxito está obteniendo es el Fortnite, que se ha convertido en un fenómeno mundial, ya que desde su estreno en 2017 por la empresa Epic Games, cuenta con millones de descargas y ha atraído a más de 125 millones de jugadores en menos de un año, alcanzando los 3,4 millones de jugadores simultáneos (pueden jugar juntos en la misma partida, aunque se encuentren en distintas plataformas) y ganando cientos de millones de dólares al mes, convirtiéndose en un fenómeno cultural.

Se prevé que en el futuro los videojuegos tengan un vínculo mayor con otros medios: mayor conexión con personajes, actores o películas de cine y programas de televisión; unión con juguetes y libros; uso de los videojuegos como medios publicitarios, y además, dependiendo del tipo de videojuego, las campañas podrán ir más enfocadas o dirigidas a un grupo más específico de personas; mayor diversidad y complejidad y cambios en la tecnología, como los juegos en red (varias personas juegan una misma partida en tiempo real y de forma simultánea).

VIDEOJUEGOS Y NEUROCIENCIA

Como se ha visto previamente en la historia de los videojuegos, éstos son una actividad cada vez más popular en la sociedad contemporánea, especialmente entre los jóvenes. Los videojuegos están ganando popularidad no sólo como una herramienta de juego e investigación, sino también como un campo de estudio.

Los científicos han recopilado y resumido muchos estudios sobre cómo los videojuegos pueden dar forma a nuestro cerebro y a nuestro comportamiento, proporcionando una gran cantidad de correlaciones cerebrales derivadas de videojuegos en las últimas décadas. La investigación hasta la fecha sugiere que los videojuegos son capaces de cambiar las regiones del cerebro responsables de la atención y las habilidades visuoespaciales (capacidad de representar, analizar y manipular objetos mentalmente).

Además, los videojuegos educativos permiten a los usuarios prepararse y afrontar situaciones de la vida real que, aunque no sean totalmente iguales, sí serán similares a las que en su día encontraron en el videojuego.

SIMULACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL EN INVESTIGACIÓN

Los simuladores de realidad virtual han sido utilizados como entrenamiento desde antes de la Segunda Guerra Mundial.

Los primeros fueron diseñados para el entrenamiento aeronáutico, proporcionando un sistema de formación de los pilotos mucho más seguro y rentable.

En 1960, la simulación se diversificó para incluir los simuladores de conducción de automóviles en carretera, aunque desafortunadamente, la tecnología limitada impidió que estos sistemas evolucionasen hasta mediados de los años setenta.

En los años posteriores se produjeron grandes avances en informática. El rendimiento de la tecnología, junto con la disminución de los costos, dieron lugar a simuladores de conducción más accesibles tanto en formación como en investigación (Blana, 1996).

En la actualidad, muchas industrias relacionadas con maquinaria peligrosa o pesada usan simuladores como herramientas de capacitación con el fin de reducir el riesgo de daños a los operadores, equipos o el entorno circundante (Lemerle et al., 2011).

La simulación de realidad virtual ofrece muchas ventajas, y como se ha visto, la seguridad es un beneficio deslumbrante. La conducción de una carretilla elevadora es una gran amenaza para la seguridad del operador y los trabajadores cercanos cuando no se conduce de forma segura (Choi et al., 2009). Un simulador de realidad virtual proporciona un entorno más seguro y controlado, en el que los conductores novatos pueden aprender y desarrollar sus habilidades sin riesgo a lesionarse a ellos mismos o a otros (Bergamasco et al., 2005). Además, permite la personalización y configurabilidad rápida de los distintos elementos que componen el escenario virtual o incluso la carretilla utilizada. Los componentes de hardware que componen el simulador suelen ser modulares, permitiendo una manipulación fácil de la disposición física de la cabina del vehículo, o controles como los joysticks o los botones se pueden reasignar fácilmente para ejecutar distintos aspectos del vehículo virtual. Todos estos atributos permiten la reconfiguración del simulador y una estrategia muy rentable para estudiar y entrenar con múltiples vehículos, tipos de suelo, entornos, factores climáticos, cargas y su manipulación.

Tras realizar el estudio de los simuladores virtuales y de la historia de los videojuegos para comprender el entorno de trabajo, es necesario realizar un análisis de las herramientas de modelado tridimensional y de implementación (mediante el motor de juego) disponibles, por lo que se profundizará en las características principales del software existentes con el fin de encontrar los programas que mejor se ajusten a las necesidades del proyecto.

3.3. DISEÑO 3D

El diseño 3D es el proceso de usar software para crear una representación matemática de un objeto o forma tridimensional. El objeto creado se denomina modelo 3D, y se usa para el diseño generado por computadora (CG). El diseño 3D se utiliza en gran variedad de industrias y es uno de los campos que más han evolucionado gracias al aumento de potencia de los equipos informáticos, alcanzando cada vez modelos más realistas.

En este caso en particular, el diseño 3D se va a aplicar para la implementación de videojuegos, aunque como se ha mencionado previamente, su uso abarca infinidad de ámbitos distintos: en medicina (realización de modelos de órganos detallados), en el sector científico (representación de componentes químicos), en arquitectura (diseños de

obras y remodelaciones), en ingeniería (modelo de vehículos, estructuras, maquinarias o componentes), siendo el más conocido su aplicación en el cine.

En el mundo de los videojuegos, el diseño se compone de varias fases, la fase de modelado, que se basa en la creación de modelos y objetos que van a ser utilizados durante el proyecto (fase muy importante, ya que da realismo y requiere mucha inversión en recursos y tiempo), y la fase de implementación mediante el motor gráfico del videojuego, que establece el marco o entorno de desarrollo de software para la construcción y creación de videojuegos. La funcionalidad básica proporcionada normalmente por el motor de juego incluye:

- Motor gráfico: representación del motor (“render”) para gráficos 2D o 3D. [13]

- o Los gráficos computacionales 2D son la generación de imágenes digitales basadas en computadora, principalmente a partir de modelos bidimensionales.
- o Los gráficos 3D usan representación tridimensional de datos geométricos que se almacenan en la computadora para realizar cálculos y renderizar imágenes en 2D (para almacenarlas y verlas posteriormente o mostrarlas en tiempo real).

El motor de renderizado puede generar gráficos 3D animados mediante el método de trazado de rayos o raytracing (basado en el algoritmo de determinación de superficies visibles, el algoritmo Ray Casting de Arthur Appel), y es una técnica de representación que determina las superficies visibles de una escena trazando rayos desde el observador (cámara), hasta el punto de la escena (a través del plano de la imagen). [13]

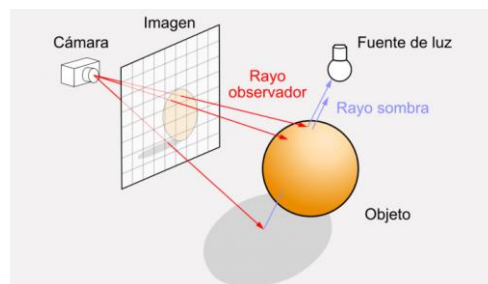


Ilustración 66: Raytracing o algoritmo de trazado de rayos. Recopilado de:

<https://www.elgrupoinformatico.com/que-ray-tracing-t73504.html>

- Motor de física: es un software de computadora que proporciona una simulación aproximada de ciertos sistemas físicos, como la dinámica de cuerpos rígidos, incluida la detección de colisiones (detecta intersecciones entre dos o más objetos, calculando constantemente la posición de cada uno de ellos en la escena para comprobar si están en contacto, evitar que se atraviesen, activar acciones cuando se apuntan o tocan, etc.), la dinámica de cuerpos blandos (simulaciones físicas visualmente realistas de movimiento y propiedades de objetos deformables o blandos), la gravedad, velocidades, fuerzas o masas, la animación fluida (técnica de gráficos para generar animaciones realistas de fluidos, como el agua y el humo) en videojuegos o películas. En el caso de los videojuegos, las simulaciones se realizan en tiempo real. [13]
- Inteligencia artificial: la mayoría de los videojuegos implementan sistemas de IA muy diferentes y complicados, por ello se considera la IA como una especificación del juego que suele ser subcontratada a ingenieros de software con conocimientos especializados. Este motor dota al sistema de “realismo”, programando los comportamientos de los NPC (cualquier personaje en un juego que no está controlado por un jugador, por lo que será controlado por la computadora a través de un comportamiento algorítmico) ante los estímulos que les afectan o programando sus reacciones. [13]
- Motor de audio: componente basado en una serie de algoritmos relacionados con la carga, modificación y salida de los sonidos de la escena. Los motores de audio más avanzados permiten calcular y producir ecos, ajustes de tono o amplitud, efecto Doppler (cambio en la frecuencia o longitud de onda causado por el movimiento de una fuente), etc. [13]

Con la evolución constante del software y del hardware, los motores han conseguido completar con infinidad de opciones sus funciones nativas, permitiendo la creación de juegos de forma fácil y completa, ya que las funcionalidades previamente citadas (físicas, renderizado y colisiones), han ido aumentando, como el desarrollo de software de edición de sonido, la iluminación dinámica (imitaciones de ambientes nocturnos o diurnos, cambios de temperatura de color e intensidad de luz de forma

automática, iluminación fría o cálida, etc.), sistemas de partículas (técnica en física de juegos, gráficos en movimientos que usa una cantidad de sprites, o mapas de bits bidimensionales integrados en una escena más grande, modelos 3D u otros objetos gráficos para la simulación de ciertos tipos de fenómenos “difusos”, como la simulación de incendios), gestión de redes y streaming (tecnología de transmisión por secuencias que transmite datos como flujo continuo, permitiendo a los destinatarios comenzar a ver o escuchar casi de inmediato), administración de memoria, o utilización de librerías de tratamiento de gráficos con interfaces intuitivas y sencillas.

Dada la magnitud del proyecto y la importancia de una perfecta simulación, y ante tanta cantidad de información acerca de las tecnologías y software para la creación de este videojuego, se han estudiado las distintas herramientas disponibles y se han elegido las que se han considerado más apropiadas para este tipo de trabajo.

A continuación, se realizará una pequeña descripción de los programas elegidos y sus características más importantes.

AUTODESK 3DS MAX

El 3D Max es un software de renderización, animación y modelado en 3 dimensiones que permite crear escenas para la visualización, grandes mundos en juegos, experiencias de realidad virtual, cine, televisión o arquitectura, permitiendo exportar los assets creados para Unity 3D o Unreal Engine 4.

Este software permite realizar cualquier tipo de escena gracias al modelado 3D, a la creación de la iluminación, los materiales y las cámaras de la escena, pudiendo generar imágenes a partir de la información digital con el renderizado.

Este programa fue desarrollado por Autodesk y comprende una arquitectura basada en plugins o complementos, es decir, aplicaciones o programas informáticos relacionados entre sí, que pueden ser desarrollados por terceros, y que agregan nuevas funcionalidades.

Esta aplicación adicional es ejecutada por el programa principal, y permite reducir el tamaño de la aplicación, ya que el usuario puede agregar únicamente las funcionalidades específicas que necesite.

Este software ofrece una versión de prueba al público gratuita de 30 días, y una licencia educativa gratuita para estudiantes para uso no comercial. Las suscripciones

tienen distintos costes en función de la duración del contrato, si el periodo es mensual tiene un precio de 254,10 €, si el periodo es anual su coste es de 2032,80 €, y si la duración del contrato es de 3 años, su valor es de 5487,35 €. [14]



Ilustración 67: Interfaz 3DMAX.

UNREAL ENGINE 4

Unreal Engine es un motor de juego creado por la compañía Epic Games. Presenta un alto grado de portabilidad y es una herramienta utilizada actualmente por muchos desarrolladores de juegos y diseñadas para el trabajo con tecnología en tiempo real.

La versión actual, Unreal Engine 4, está diseñada para numerosas plataformas (Microsoft Windows, macOS, Linux, SteamOS, HTML5, Android, PlayStation4, Nintendo, SteamVR, HTC Vive, Oculus Rift, etc.)

Las simulaciones de las físicas de los objetos que proporciona Unreal Engine, junto con los reflejos, las opciones avanzadas de sombra dinámica y los canales de iluminación, permiten un renderizado foto-real perfecto en tiempo real.

Unreal Engine 4 salió al público en el año 2015 de manera totalmente gratuita, y cualquier usuario puede descargarlo y crear sus propios escenarios o videojuegos, siendo el único requisito el pago de un 5% de los primeros 3000 dólares en el caso que se desarrolle y comercialice.

Por estos motivos, se ha elegido el motor de juego Unreal Engine 4 y no otros como Unity, ya que proporciona una solución de mayor calidad para la creación de experiencias y contenido de realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y realidad mixta (MR), generando gráficos muy realistas y mejorando las capacidades gráficas (incluye un sistema de iluminación dinámica o de partículas). La perfecta integración de la programación mediante C++ junto con los blueprints (creación sin codificación), son

motivos suficientes para realizar productos muy interesantes en VR. Además, en el año 2018, Epic Games presentó un formato de este motor adaptado a la realidad virtual. Incluye un editor dentro del propio motor gráfico que permite ver los cambios en tiempo real a los desarrolladores, dando lugar a una creación y desarrollo de videojuegos inmersivos más sencillos, pudiendo manipular los objetos de manera más directa y fácil.

En este proyecto, se utilizará este último modo de programación para la creación de comportamientos e interacciones de objetos, para modificar las interfaces de usuario, ajustar los controles de entrada y otras muchas opciones. Gracias a las capacidades técnicas de Unreal Engine 4, se podrá desarrollar el simulador de VR pese a la necesidad de altas velocidades de renderizado por segundo y creación de gráficos, resoluciones y sombras en tiempo real.

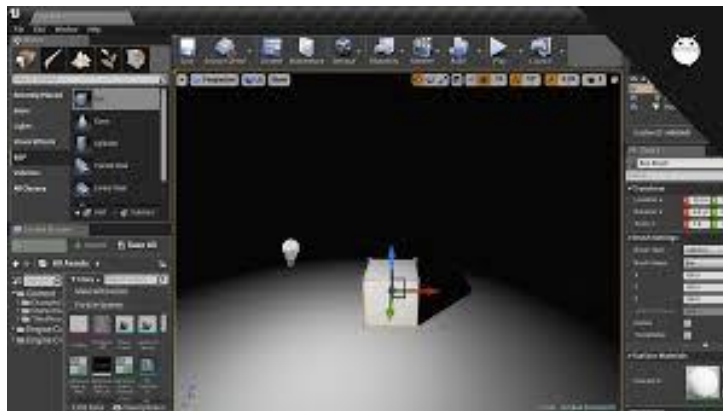


Ilustración 68: Interfaz Unreal Engine 4.

Como conclusión, queda reflejado que el motor de juego es el encargado de la gestión de todas las tecnologías y herramientas que van a ser utilizadas para generar el producto final. El flujo de trabajo que va a gestionar el motor puede ver en el siguiente gráfico:

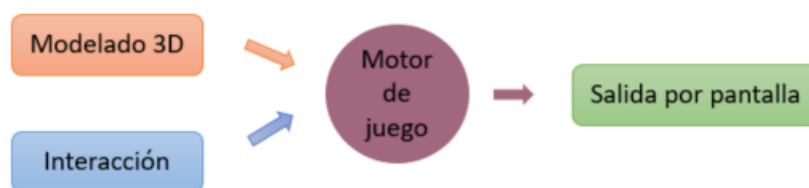


Gráfico 1: Flujo de trabajo que gestiona el motor de juego. Elaboración propia.

OTROS PROGRAMAS

En ocasiones, no sólo cobra importancia la parte del modelado y del motor gráfico, sino que son necesarios otro tipo de programas que, aunque puedan pasar desapercibidos, son igualmente importantes a la hora de alcanzar y lograr un buen proyecto.

Entre estos programas pueden añadirse los de edición de audio, imagen o vídeo, ya que han sido necesarios para el desarrollo del programa.

Para la edición de sonidos se ha utilizado la herramienta en línea y gratuita Bear Audio Editor, que ha permitido cortar y realizar combinaciones de audio (como el sonido de la marcha atrás de la carretilla elevadora) y que soporta varios formatos de importación como MP3, WAV o OGG y formato de exportación WAV (formato utilizado en Unreal Engine 4).

Para la edición de imágenes se ha utilizado Photoshop. No se va a llevar a cabo un análisis completo de esta herramienta ya que se considera una herramienta de apoyo, aunque sí voy a mencionar los motivos por los que la elegido. La decisión viene marcada por la disposición de una licencia comercial proporcionada por la Universidad y de la potencia y versatilidad del programa.

3.4. INTERACCIÓN

En la actualidad se puede interactuar con los videojuegos de muchas maneras. Según cómo se lance la aplicación se van a utilizar de los métodos disponibles unos u otros. Esas interacciones entre el humano y el ordenador han evolucionado de la tecnología 2D a 3D, como se puede observar en el siguiente gráfico (Gráfico 2).



Gráfico 2: Evolución en las interacciones entre humano y ordenador. Elaboración propia.

Dentro de las formas existentes de interacción para el control y las respuestas ante movimientos del usuario son:

En el caso que la aplicación se lance en 2D, entre los más extendidos están los mencionados previamente: el teclado, el ratón, los mandos, etc.

En el caso que la aplicación se lance en 3D el componente más importante de la realidad virtual son las gafas o HMD (Head-Mounted Display), ya que proporcionan una tecnología de visualización muy distinta a las interfaces de usuario tradicionales. Con la simulación de los máximos sentidos posibles (visión, oído, tacto, e incluso olfato), la computadora cobra mucha importancia en este mundo artificial, siendo un requerimiento mínimo y un límite la potencia del ordenador. La interacción es crucial en las experiencias de realidad virtual. Si el entorno virtual responde a la acción de un usuario de manera natural, los sentidos de inmersión permanecerán. En caso contrario, si el entorno virtual no es capaz de responder lo suficientemente rápido, el cerebro humano se dará cuenta de inmediato y la sensación de inmersión desaparecerá. Entre los componentes claves en un sistema de realidad virtual están, por lo tanto: [11]

- PC o computadora personal / consola / teléfono inteligente: necesarios para alimentar los entornos tridimensionales interactivos, para lo que se requiere una potencia de computación significativa y motores que impulsen el contenido que produce.



*Ilustración 69: PC apto para VR. Recuperado de:
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>*

- Gafas de Realidad Virtual (HMD): tipo de dispositivo que contiene una pantalla montada frente a los ojos del usuario. Esta pantalla cubre generalmente el campo de visión completo del jugador y muestra el contenido de realidad virtual. Algunas utilizan pantallas de teléfonos inteligentes (como Google Cardboard o Samsung

Gear VR). Las gafas de VR suelen ir acompañadas de un auricular para proporcionar estimulación de audio.



Ilustración 70: Gafas de VR. Recuperado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

- Dispositivos de entrada: son una de las dos categorías de componentes que proporcionan a los usuarios una sensación de inmersión, y, por lo tanto, convencer al cerebro humano de que acepte el entorno artificial como real. Proporcionan a los usuarios una forma más natural de navegar e interactuar en un entorno de realidad virtual.



Ilustración 71: Dispositivos de entrada de VR. Recopilado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

Algunas de las formas más comunes de dispositivos de entrada de realidad virtual incluyen los joysticks, las bolas de fuerza / seguimiento (force balls / tracking balls), las varillas de control (controller wands), los guantes de datos (data gloves), los paneles de control (trackpads), los botones de control en los dispositivos (on-device control), los rastreadores de movimiento (motion trackers), trajes (bodysuits) y plataformas de movimiento (virtual omni).

Los dispositivos de salida se usan para presentar el contenido o entorno de VR a los usuarios y lograr una mayor sensación de inmersión. Entre ellos se

incluyen: retroalimentaciones visuales, auditivas o algunas incluso hápticas (táctiles).

FUNCIONAMIENTO HMD DE VR

El entorno completo y totalmente inmersivo proporcionado por las gafas de realidad virtual o HMD, es posible gracias a una serie de sensores, pantallas oculares individuales, lentes y pantallas de visualización, entre otros componentes. En las siguientes imágenes (Ilustración 72 e Ilustración 73) se puede observar de forma genérica la construcción y vista de un casco de realidad virtual. [11]

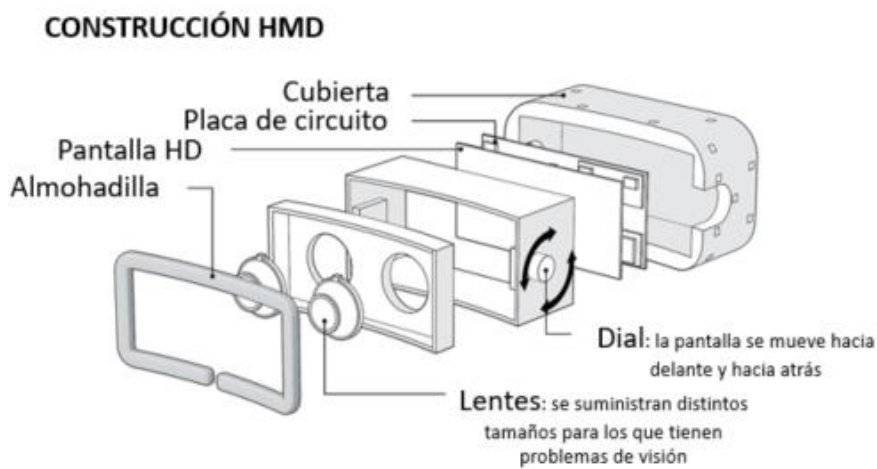
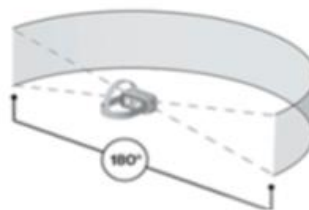


Ilustración 72: Construcción de un casco de VR. Recuperado de: <https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>. Edición propia.

VISTA HMD



El software se convierte en una escena de dos vistas, una al lado de la otra



Mirando a través de las lentes del dispositivo, el usuario percibe una vista panorámica 3D expansiva

Dentro de los componentes claves dentro de un HMD se encuentran:

SENSORES

Los tres sensores más comunes en cualquier casco de realidad virtual son los magnetómetros, acelerómetros y giroscopios. Estos trabajan de forma conjunta para medir los movimientos y la dirección del usuario en el espacio. El objetivo final es lograr verdaderos grados de libertad para que cubran todos los grados de movimiento de un objeto en el entorno. [11]

- **Magnetómetro:** proporciona la dirección de orientación del dispositivo frente a la superficie de la tierra, actuando como una especie de brújula. Esto lo hace posible midiendo campos magnéticos (mide la dirección, la fuerza o el cambio relativo de un campo magnético en una ubicación particular).
- **Acelerómetro:** proporciona o mide la aceleración adecuada (o tasa de cambio de velocidad) del dispositivo en un sistema de coordenadas fijo. Para lograr esta información, el dispositivo tiene varios acelerómetros que trabajan conjuntamente midiendo cosas como la fuerza gravitacional (en relación con el acelerómetro que mide la orientación del dispositivo). Se utilizan sobre todo en tabletas y cámaras digitales para que las imágenes en pantallas se muestren siempre en posición vertical; o en portátiles y controladores de videojuegos, para detectar la posición del dispositivo o proporcionar la entrada al juego.
- **Giroscopio:** calcula la orientación del dispositivo, permitiendo conocer la orientación particular o asegurarse de que cambie correctamente cuando se desplace. Es una rueda giratoria o disco en el que el eje de rotación mantiene su dirección de eje de giro independientemente de la orientación o inclinación del marco exterior. [11]

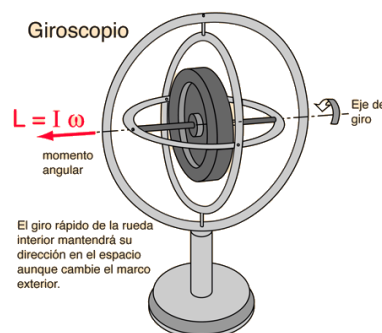


Ilustración 73: Giroscopio. Recuperado de: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/gyr.html>

LENTESES

Las lentes se encuentran entre los ojos y los píxeles en la pantalla de visualización. Enfocan y remodelan la imagen de cada ojo, inclinando dos imágenes 2D para imitar cómo ve cada uno de nuestros ojos el mundo (llamado también estereoscópico), creando una sensación e impresión de profundidad y solidez que percibimos como imagen tridimensional.



Ilustración 74: Lentes de VR. Recuperado de:
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN

Las pantallas de visualización muestran las imágenes que ve el usuario a través de las lentes. Normalmente son LCD, y reciben las imágenes o el vídeo desde la computadora o el teléfono inteligente. Dependiendo del casco o gafas de RV, la alimentación de vídeo se envía a una o dos pantallas (una por cada ojo). Esto se lleva a cabo a través de una conexión inalámbrica, una conexión de teléfono inteligente o HDMI. Los tipos más comunes de tecnología de pantalla de realidad virtual es una pantalla de cristal líquido (LCD), similar a la utilizada en teléfonos inteligentes y monitores de ordenador. Otra tecnología de visualización alternativa es una pantalla de diodo orgánico emisor de luz (OLED).



Ilustración 75: Pantallas de visualización 3D. Recuperado de:
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

TRATAMIENTO

Los sistemas de realidad virtual exigen una cantidad sustancial de energía, incluso en comparación con potentes sistemas de juegos. La potencia de procesamiento requerida por los sistemas de VR se puede dividir en varias categorías:

- Procesador de entrada: controla los dispositivos utilizados para la entrada de información a la computadora. Se encarga de recuperar y distribuir los datos al resto del sistema con el mínimo tiempo de retraso. Entre ellos se encuentran los teclados, ratones, rastreadores de posición 3D y sistemas de reconocimiento de voz.
- Procesador de simulación: conduce las entradas del usuario, junto con cualquier otra tarea programada desde el mundo natural, y determina las acciones que van a ser llevadas a cabo en el mundo virtual. Es un componente central o neutro del sistema VR.
- Sistema de procesamiento: crea las sensaciones que van a ser enviadas o transmitidas al usuario. Incluyen sistemas visuales, hápticos, auditivos y otros sistemas sensoriales. Cada uno de los sistemas sensoriales utiliza procesos de renderización separados. [11]

CAMPO DE VISIÓN

El campo de visión o FOV es un componente importante de la VR utilizado para proporcionar a los usuarios una percepción realista de su paisaje ambiental o entorno. Resumiendo, el campo de visión se refiere a la amplitud de la imagen. Se mide según el grado de visualización (por ejemplo, 360°). La mayoría de los cascos de gama alta tienen un campo de visión de 100° o 110°, suficiente para la gran mayoría de los contenidos de realidad virtual. [11]

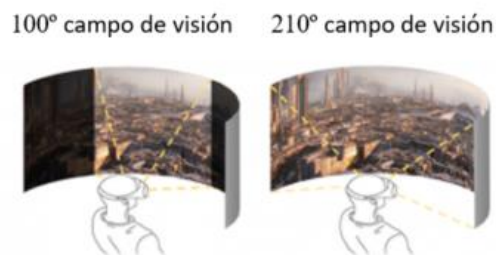
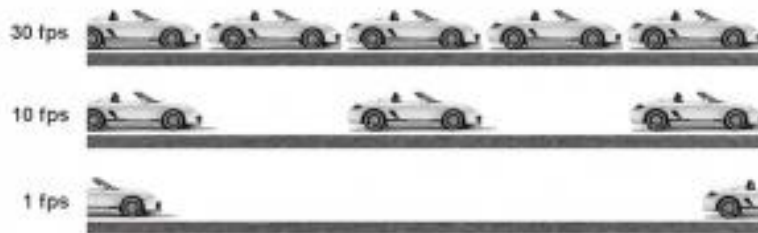


Ilustración 76: Campo de visión VR. Recuperado de: <https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>. Edición propia.

CUADROS O FOTOGRAMAS POR SEGUNDO

La velocidad de fotogramas (frame rate) se refiere a la frecuencia a la que la pantalla muestra imágenes consecutivas (fotogramas). Los programas de televisión funcionan a 30 fps (fotogramas por segundo), y algunas consolas de videojuegos funcionan a 60 fps. En la realidad virtual, se necesita una velocidad de fotogramas mínima de aproximadamente 60 fps, ya que es la única manera de evitar el parpadeo del contenido o problemas en la simulación. Oculus Rift funciona a 90 fps, aportando experiencias muy reales. Se prevé que en un futuro estas velocidades sigan aumentando. [11]



*Ilustración 77: Velocidad de fotogramas. Recuperado de:
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>*

ESTADO LATENTE

La latencia se refiere a la cantidad de tiempo que tarda una imagen mostrada en las gafas de un usuario en alcanzar su posición real cuando se mueve. Se considera un retraso y se mide en milisegundos (ms). Para que una experiencia de virtualización en 3D se sienta real, la latencia debe estar generalmente en el rango de 20 ms o un poco menos. Es necesario que la latencia sea lo más pequeña posible y que el tiempo de enfoque de la imagen tenga muy poca demora, para conseguir que el cerebro humano acepte el entorno virtual como real. Por lo tanto, cuanto menor sea la latencia mejor, ya que cuando tome valores más altos puede dar lugar a retrasos notables y antinaturales, pudiendo desembocar en trastornos o enfermedades de simulación en el usuario. [11]

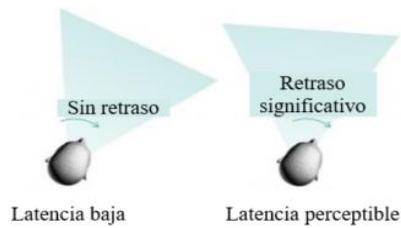


Ilustración 78: Latencia VR. Recuperado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>. Edición propia.

AUDIO

El audio de realidad virtual puede no ser tan complejo técnicamente como los componentes visuales, sin embargo, es igualmente importante para la estimulación de los sentidos de un usuario y lograr la inmersión. La mayoría de los cascos o gafas de realidad virtual ofrecen a los usuarios la opción de utilizar sus propios auriculares.

El sonido de realidad virtual funciona a través de audio posicional de múltiples altavoces, y esto proporciona y estimula ambiente en el mundo 3D. Tener la información de los ejes X, Y, Z es lo que permite que el sonido sea tridimensional. El audio posicional es una forma de “ver con los oídos”, y se usa en la realidad virtual porque puede proporcionar pistas para capturar la atención de un usuario, o dar información que puede que no sea presentada visualmente.

Pero el verdadero audio 3D se hizo posible en la realidad virtual con la adopción de la tecnología de renderización binaural, que replica lo que escuchamos en el mundo real al transformar señales de audio tridimensionales en salidas estéreo. Esto permite escuchar verdaderos sonidos 3D, incluso a través de auriculares normales, sumergiendo a los usuarios aún más en la escena gracias a su interacción. [11] [15]

La evolución del audio a lo largo de la historia se puede ver en el siguiente gráfico:

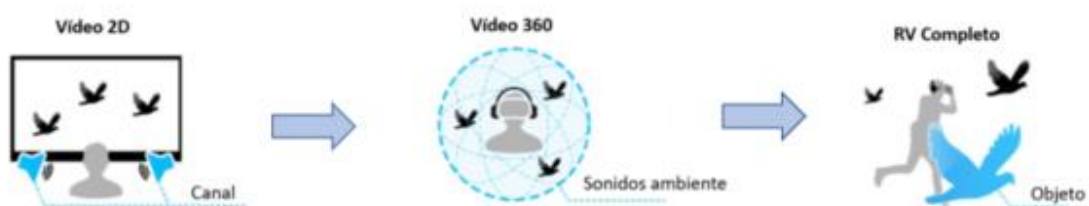


Gráfico 3: Evolución del sonido. Elaboración propia.

Anteriormente, cuando no había interacción del usuario, el video y el audio se representaban previamente en el lado de producción en una pantalla plana y un diseño de altavoz fijo. Más tarde, con la aparición de la interacción del usuario y control de su orientación de la cabeza, el sonido no se puede pre-renderizar durante la producción de VR, ya que tiene que cambiar en función del punto de vista o el movimiento de un oyente en tiempo real.

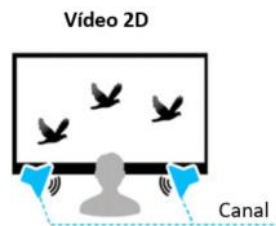


Ilustración 79: Audio en 2D. Recuperado de: <https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/>. Edición propia.

En contenido de video de 360° o 3DoF, el mundo está pre-renderizado. El espacio tridimensional se proyecta en un mundo esférico en el que se puede mirar desde diferentes direcciones, pero desde un mismo punto de vista, ya que su posición permanece fija en un solo lugar. [15]

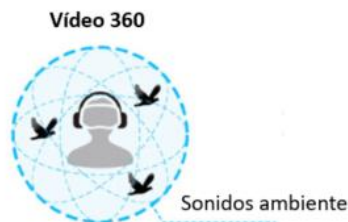


Ilustración 80: Audio en 360°. Recuperado de: : <https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/>. Edición propia.

Por último, el contenido completo de VR o 6DoF se procesa en tiempo real mientras el usuario interactúa y se mueve en la escena. Esto requiere que los objetos en el entorno sean controlados individualmente, en lugar de como una porción de vídeo y audio preconfigurados. Cuando cada fuente de sonido se reproduce como una señal de objeto individual, se puede reflejar verdaderamente tanto el entorno, como la forma en

que el usuario interactúa en su interior. En la actualidad, algunos podrían argumentar que el audio personalizado es el desafío más importante para el futuro, junto a que se requieran menos recursos que ahora para la captura de información antropométrica (dimensiones y medidas humanas). [15]



Ilustración 81: Audio 3D con tecnología binaural. Recuperado de: <https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/>. Edición propia.

RASTREO

El seguimiento maneja la tarea vital de comprender los movimientos de un usuario para posteriormente actuar en consecuencia manteniendo la inmersión total en la realidad virtual. Los tres tipos principales de rastreo de VR son:



Gráfico 4: Tipos de rastreo en Realidad Virtual. Elaboración propia.

Seguimiento de la cabeza: forma en que la vista cambia cuando se mire hacia arriba, hacia abajo o hacia algún lado, es decir, permite reconocer los movimientos de cabeza realizados por el usuario y desplazar la imagen acorde a esas direcciones. Es un sistema con tres grados de libertad (3DoF o 3 números de “direcciones” diferentes en las que un objeto se puede mover en el espacio 3D). Traza la cabeza del usuario en términos de sus ejes X, Y e Z para medir y rastrear sus movimientos, inclinaciones y giros. Este seguimiento usa una serie de sensores mencionados previamente, un giroscopio, un acelerómetro y un magnetómetro. La tecnología de seguimiento de la cabeza debe ser de

baja latencia para que sea efectiva, por lo que cualquier valor que supere los 50 ms causará un retraso entre el movimiento del casco y los cambios en el entorno de realidad virtual. Los 3 ejes son balanceo o alabeo (rotación respecto al eje longitudinal), guiñada (rotación respecto al eje vertical) y cabeceo (rotación respecto al eje transversal). El punto clave para comprender esta tecnología es que los controladores 3DOF están limitados únicamente al seguimiento rotacional, no tienen un seguimiento posicional. Por desgracia, esto hace que no sean ideales, ya que no simulan ni perciben el movimiento natural que realizaría una persona en el entorno. [14] [16]

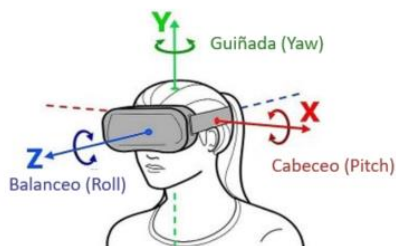


Ilustración 82: Seguimiento de cabeza (3DOF).

Recopilado de:

<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>. Edición propia.

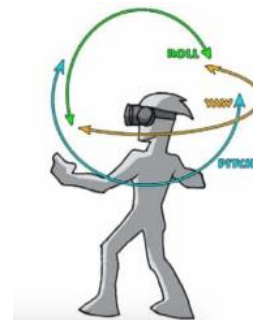


Ilustración 83: 3 Grados de Libertad (3DoF). Recopilado de:

<https://emiliusvgs.com/que-es-3dof-6dof/>

Rastreo de movimiento: el seguimiento del movimiento es la forma en la que se visualiza y se interactúa con el propio cuerpo del usuario (manos, movimientos, etc.). Es un sistema con visión de 6DOF, rastreando los elementos mencionados de la rotación y añadiendo el movimiento traslacional. El tracking de posición 6DoF se realiza de dos maneras: mediante sensores externos (Outside-in tracking), que son cámaras que leen y procesan el movimiento del usuario generando su posición en el entorno virtual; y mediante los sensores internos (Inside-out tracking), que se encuentran en el interior de los visores de los dispositivos de control. [14] [16]

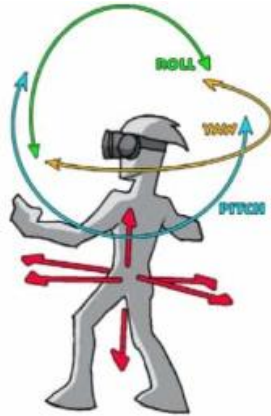


Ilustración 84: Rastreo de movimiento con 6 Grados de Libertad (6DoF). Recopilado de: Recopilado de: <https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>. Edición propia.

Con este tipo de visión ahora sí podemos comprender dónde estamos posicionados dentro del espacio. Por ello, está relacionado también al room scale o escala de habitaciones. Una persona puede sentir que se mueve de forma libre y natural en el entorno virtual (al igual que en el mundo real). Puede ver los objetos desde distintos ángulos, agacharse, esquivar objetos, caminar, correr por el entorno (natural).

En este tipo de tecnología es necesario utilizar un tipo de componente de realidad virtual, las estaciones base.



Ilustración 85: Estaciones base. Recopilado de: <https://espaciorealidadvirtual.com/las-estaciones-base-en-los-arcade-vr/>

Las estaciones base captan la presencia y la inmersión de la realidad virtual a escala de la habitación, ya que ayudan a los controladores y audífonos a rastrear sus ubicaciones exactas. El sistema advierte sobre los límites del área de juego, para que el

usuario pueda mantenerse inmerso en la realidad virtual sin preocuparse por el mundo real.

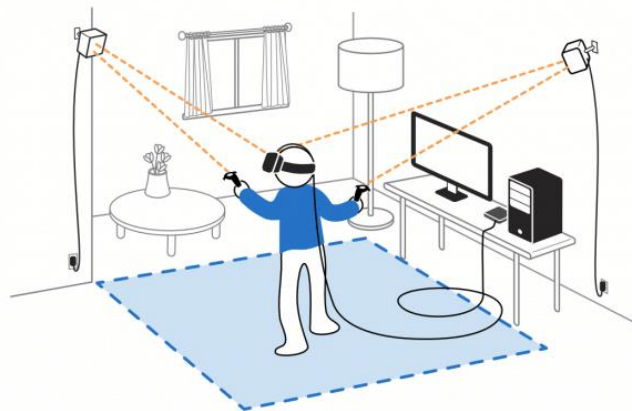
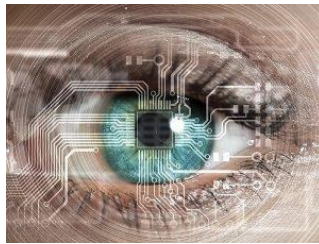


Ilustración 86: Límites controlados por las estaciones base. Recuperado de <https://gouforit.com/oculus-rift-vs-htc-vive-que-dispositivo-de-realidad-virtual-es-el-mejor-para-ti/>

Uno de los actos más naturales relacionados con el movimiento es la de querer ver tus propias manos (virtualmente) frente a ti. Para conseguir esto, se pueden utilizar accesorios de entrada de VR como pueden ser los guantes. Para complementar y conseguir una experiencia más envolvente se están utilizando otros dispositivos de seguimiento de movimiento como las palancas de mando, los controladores inalámbricos, y otros mencionados previamente. La mayoría utilizan sensores internos para la detección de gestos, señales, agitaciones u otro tipo de movimientos. Los sistemas de realidad virtual, como los auriculares Vive de HTC, utilizan los sensores externos de las estaciones base para rastrear los sensores de las gafas y de los controladores.

Registro visual o Seguimiento ocular: la tecnología de seguimiento ocular está aún en desarrollo, pero puede resultar ser una de las piezas más importantes que faltan para conseguir la inmersión total en la realidad virtual. El registro visual implica el seguimiento de los ojos humanos a través de un sensor infrarrojo que controla el movimiento del ojo dentro de las gafas. Con este tipo de seguimiento se logra una ventaja fundamental, la profundidad de campo (distancia) se vuelve mucho más realista.

Se trata de una tecnología aún no lanzada en las principales compañías, aunque ya está incorporado en algún casco (HMD Fove VR). Este incorpora unos sensores infrarrojos internos que capturan los movimientos del ojo, pudiendo replicar los movimientos de los ojos en un avatar virtual, provocar reacciones de otros personajes según la forma en que se miren, y muchas opciones más. La mayor dificultad es que en la vida real, los ojos tienen un enfoque central, mientras que el resto está desenfocado, lo cuál es muy complicado de replicar. El seguimiento ocular permite enfocar sólo aquello que está observando el usuario, lo que soluciona este problema. [14] [17]



*Ilustración 87: Seguimiento ocular. Recuperado de:
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>*

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se va a definir y desarrollar un programa de capacitación o entrenamiento de operadores, siguiendo la normativa indicada previamente en el *Apartado 3.2.* para la utilización de carretillas elevadoras motorizadas y los manuales de operador para el manejo del equipo en su lugar de trabajo.

Con los estudios e información tomada previamente en el apartado de estado del arte *Apartado 3,* va a ser posible definir y abarcar el problema. En los siguientes gráficos se recuerda la información recopilada que ha sido necesaria para plantear y definir el simulador de carretillas elevadoras.



Gráfico 5: Recopilación de la información de la carretilla elevadora. Elaboración propia.

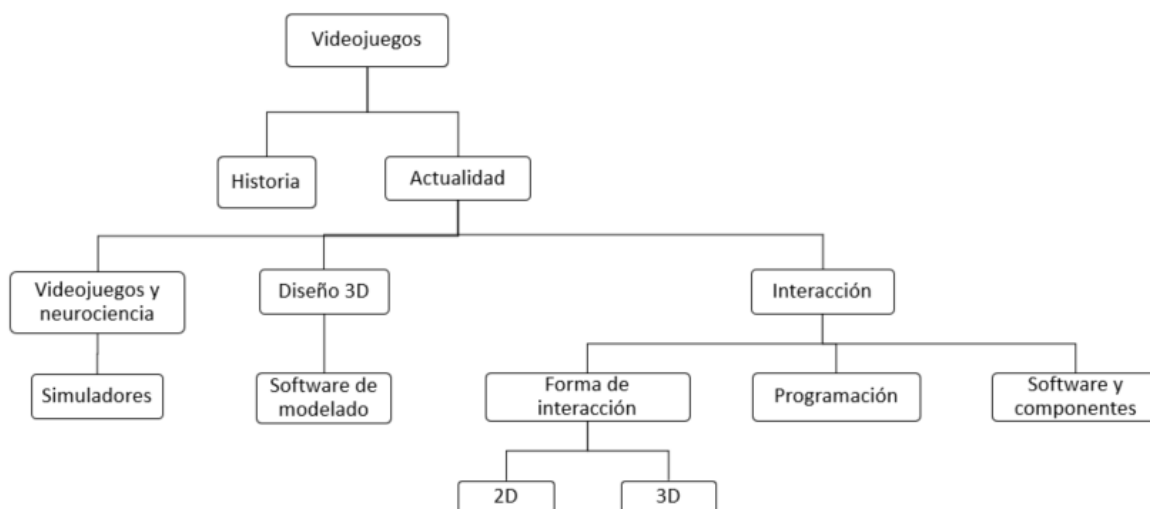


Gráfico 6: Recopilación de la información los videojuegos. Elaboración propia.

Una vez capturada la información se comienza a definir el problema:

- Se detectan los requisitos mínimos del sistema.
- Se estudia y se capturan ideas del entorno y los objetos que van a ser necesarios para el desarrollo del proyecto (identificación del tipo de carretilla utilizada y su lugar de trabajo).
- Se estudian las distintas herramientas para lograr el correcto desarrollo de la aplicación, tanto de diseño 3D como de interacción. En estas últimas se recoge información sobre los lenguajes de programación existentes, motores de juego o componentes, controladores o hardware de entrada para el manejo de la tecnología elegida.
- Se estructura el proyecto y las funcionalidades de la aplicación (distintos tipos de entrenamiento, menús, opciones, etc.).
- Se desarrolla el contenido para el programa de entrenamiento.
- Se van a realizando pruebas a lo largo del desarrollo para evitar los posibles errores y detectarlos lo antes posible, para así solucionarlos y ahorrar tiempo y coste.
- Se incluyen y detectan las labores de mantenimiento, como puede ser la actualización de los entrenamientos.

Se reconoce que la capacitación, aunque es esencial, no va a ser suficiente para la eliminación de accidentes o riesgos. Por ello, para que la formación sea más efectiva, el entrenamiento de los operadores forma parte de un programa de seguridad de carretillas elevadoras que incluye:

- Identificación de peligros y las posibles soluciones.
- Capacitación, tanto de los operarios de las carretillas como del personal que trabaja junto a ellas, con la posterior evaluación, para garantizar que el operario ha adquirido los conocimientos y habilidades necesarias para el manejo de la carretilla de forma segura.
- Supervisión y estudio continuo de los peligros en función de los lugares de trabajo.
- Procedimientos operativos: políticas de las empresas, mantenimiento de registros, prácticas de seguridad.
- Diseño de distintas instalaciones.

Debido a que operar una carretilla elevadora es un trabajo importante, su entrenamiento se centrará en dos áreas principales:

1. Conocimiento de la carretilla elevadora.
2. Habilidades operativas.

5. DESARROLLO DEL PROBLEMA

En este apartado del proyecto se describen las características y requerimientos que debe cumplir la aplicación mediante:

- La arquitectura de la aplicación.
- Los requisitos del sistema.

5.1. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN

La estructura de la aplicación va a permitir obtener un diseño a alto nivel, de forma que se identifiquen los módulos, las partes y las relaciones entre ellos en el sistema. El flujo de procesos que se lleva a cabo con el lanzamiento de la aplicación se puede observar en el gráfico 7.

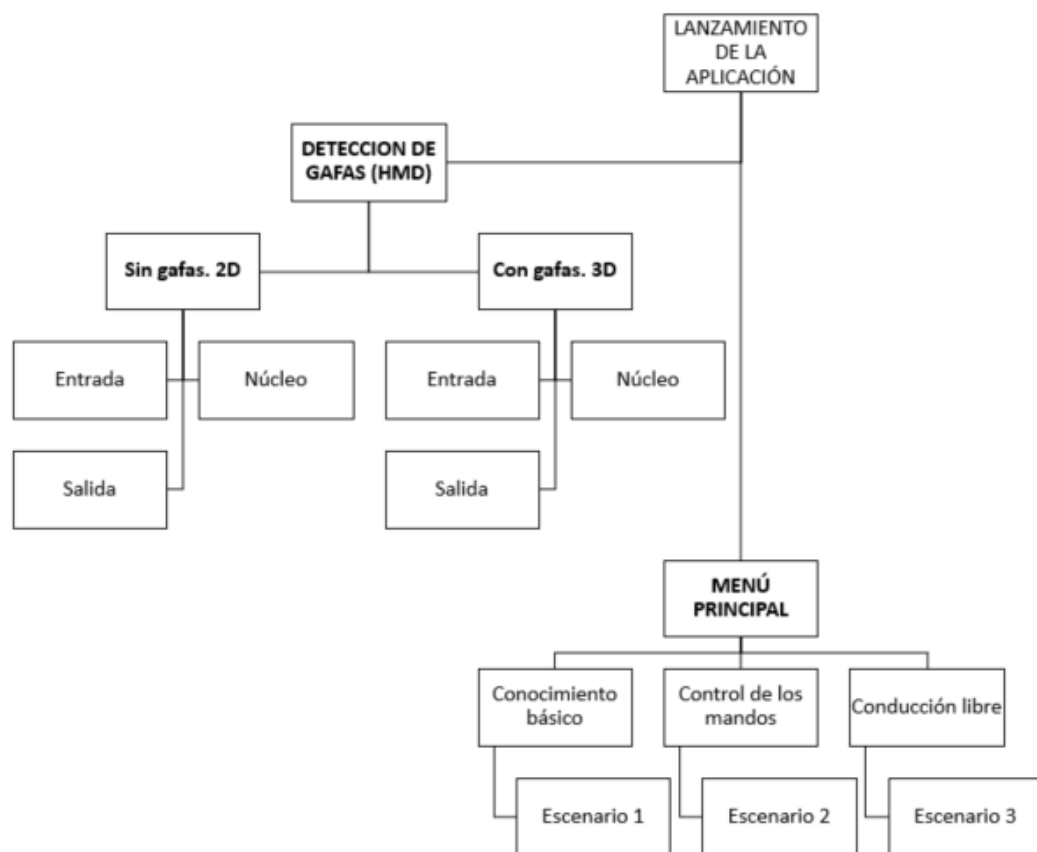


Gráfico 7: Flujo de procesos con el lanzamiento de la aplicación. Elaboración propia.

Con el lanzamiento y ejecución de la aplicación, se mostrará una pantalla de presentación que contendrá el menú principal para que el usuario elija qué parte del

entrenamiento desea realizar, la estructura del menú principal se muestra en la *Tabla 1*. En función del tipo de entrenamiento que elija: conocimiento básico, control de los mandos o conducción libre se mostrará el escenario correspondiente.

MENÚ
Conocimiento básico
Control de los mandos
Conducción libre
Salir

Tabla 1: Menú principal. Elaboración propia.

Un menú es un componente de la aplicación que es necesario que implemente el motor de juego. En ellos se busca un aspecto minimalista e inteligible, de forma que la información se transmita de forma clara y directa. El resultado final se observa en la sección posterior en el *Apartado 6.2.5*.

El menú principal muestra varias opciones a elegir, que se corresponden con los diferentes tipos de entrenamiento que puede realizar el usuario: conocimiento básico o tutorial, entrenamiento básico. Durante todo momento, el usuario dispone de un menú de ayuda que podrá visualizar realizando algún tipo de control (por ejemplo, pulsar la tecla H).

CONOCIMIENTO BÁSICO

La primera opción consiste en la explicación de los controles de la carretilla, donde se inicia al usuario al conocimiento básico de los mandos de control.

En esta fase secuencial se le va presentando de forma guiada al usuario cada una de las referencias al controlador, los cuáles se explican mediante el mismo procedimiento: se ilumina el elemento y aparece un panel de información nombrando el componente, sus funcionalidades y cómo debe controlarlo el usuario. Cuando el usuario finalice esta sesión del entrenamiento aparecerá un menú, en el que podrá salir de la simulación, repetir el aprendizaje, o elegir otro entrenamiento diferente.

CONTROL DE LOS MANDOS

Esta fase es una continuación del aprendizaje previo para poner en práctica los conceptos y probar los mandos de control.

Se solicita al usuario que realice ciertas acciones, también guiadas mediante paneles de información, donde comenzará a experimentar cuál es la respuesta de la máquina en relación a la interacción con los mandos de la misma. Si el usuario realiza bien el ejercicio, podrá continuar con la siguiente prueba, si no, tendrá que seguir hasta que alcance al objetivo solicitado. Una vez finalizado el entrenamiento, si el jugador ha conseguido terminarlo con éxito, se le felicita y se le da la opción de repetir el entrenamiento o volver al menú principal.

Además, se pretende que, en proyectos de mejora futuros, en la fase de mantenimiento y perfeccionamiento este entrenamiento evolucione y se haga más difícil, introduciendo ejercicios básicos para el manejo de cargas: el usuario se desplaza para recoger una carga del suelo y transportarla posteriormente (realizando un recorrido básico lineal) al lugar indicado, el cual se iluminará para guiar y captar la atención del usuario. Si el jugador lo consigue, se felicitará al usuario y se continuará con otro ejercicio con un nivel de dificultad un poco superior, como puede ser la colocación de una carga en una estantería.

CONDUCCIÓN LIBRE

En esta fase del entrenamiento, el usuario tiene total libertad para manejar y moverse libremente con la carretilla y poner en práctica los conocimientos adquiridos.

Una posible opción de esta fase es la de poner obstáculos al usuario: paso de personas, conos entre su trayectoria, rampas, etc.

Independientemente del tipo de entrenamiento a realizar, si el usuario se coloca sus gafas de realidad virtual, se mostrará un menú en donde el jugador elegirá si desea continuar la simulación en dos dimensiones o si desea realizar un entrenamiento tridimensional, como se puede observar en la *Tabla 2*. La estructura y los tipos de entrenamiento son similares en ambos casos.

DETECCIÓN DE GAFAS
Continuar en 2D
Lanzar aplicación en 3D

2D (No inmersiva)

En el caso de que el usuario no se coloque las gafas de realidad virtual, o que elija lanzar la aplicación en dos dimensiones, el sistema de visualización del simulador será el más básico, mediante un monitor.

En este modo de entrenamiento se requerirá de un ordenador, un monitor y algunos dispositivos de entrada para el control dentro de la aplicación: como el teclado o el ratón.

La inmersión en el entorno virtual proporcionada al usuario es escasa, ya que visualiza el entrenamiento únicamente a través de una pantalla, por lo que sólo se puede observar el entorno en una única dirección (cuando se mira al monitor), cuyas dimensiones restringirán el tamaño en que se podrá utilizar la aplicación.

Para facilitar la comprensión del flujo de trabajo y las relaciones existentes en la arquitectura del sistema cuando se lanza en dos dimensiones, se muestra en el *Gráfico 8* un esquema y se procede a explicar cada parte.

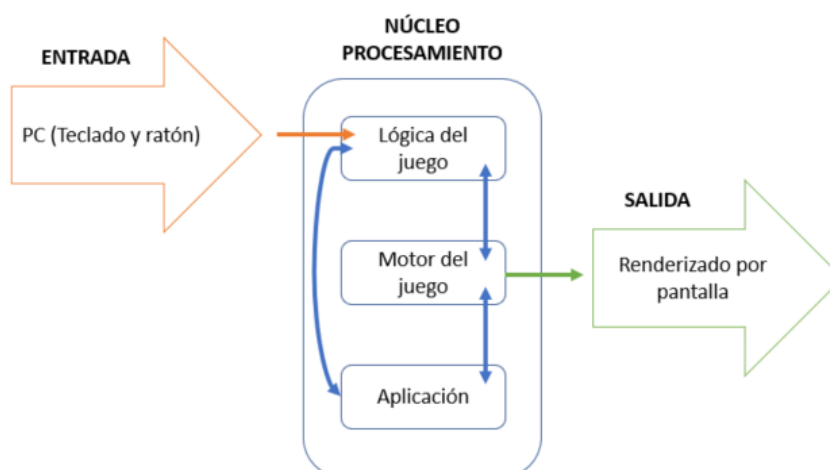


Gráfico 8: Esquema de la arquitectura de la aplicación no inmersiva. Elaboración propia.

Entrada: es la primera parte en el lanzamiento de la aplicación, y captura las acciones que manda y que desea visualizar el usuario.

- PC (ratón y teclado): obedece las indicaciones del usuario y se corresponden con las entradas en el lanzamiento de la aplicación en 2D.

Procesamiento o núcleo: es el elemento principal de la aplicación, ya que contiene:

- Codificación de la lógica del juego: código de programación que produce las conexiones entre los distintos objetos de la aplicación y el comportamiento de los mismos. Se encarga también de interpretar la información que recibe de los periféricos de entrada para convertirla en distintas acciones que afectan a la simulación de la carretilla elevadora.
- Motor de juego: controla los parámetros, niveles, esqueletos, iluminación, entornos, pantallas del juego, animaciones, movimientos de los jugadores, la salida por pantalla o renderización y detecta las colisiones y simula las físicas.
- Aplicación: se encarga de unir los componentes más importantes y de ejecutar el proyecto, por lo que lo hace el elemento más importante. También controla el flujo de datos (información), el motor y la lógica de juego.

Salida: se corresponde con la última parte del proyecto. Su finalidad es mostrar al usuario el renderizado generado por el videojuego.

- Render: es el proceso automático de generar una imagen visible e inteligible por medio de programas de computadora. Un archivo de escena contiene información como la textura, iluminación o sombreado de un objeto o entorno. Hace posible que el usuario pueda visualizar lo que ocurre durante la simulación.
- En el lanzamiento de la aplicación en 2D el modo de visualización es mediante un monitor (renderizado por pantalla).

3D (Inmersiva)

La simulación en tres dimensiones o realidad virtual, por el contrario, ofrece un nivel de inmersión total. Independientemente de la dirección de visualización del usuario,

éste podrá ver el mundo virtual en todo momento e interactuar con el entorno mediante movimientos naturales.

En este modo de juego se requerirá de un ordenador, de gafas o casco virtual, el cual se conecta directamente a la salida gráfica del ordenador. Para la interacción con el mundo virtual, se añadirán otros periféricos.

De esta manera, todo será virtual: el entorno, la carretilla y los elementos externos a ésta. El usuario podrá ver todo lo que vería en la realidad: su cuerpo, las cargas, las pinzas de la carretilla, el entorno, etc. Aunque en realidad él esté estático y sea el entorno virtual el que le ofrece la sensación de movimiento.

En el entorno tridimensional no sólo toma protagonismo la imagen, sino también los sonidos, la interacción u otros estímulos, ya que, si el usuario no los siente, el cerebro nota la falta y se sale del mundo virtual. Por ello, la aplicación va acompañada de unos cascos que, con el lanzamiento del juego y las distintas acciones ejecutadas, emitirá distintos sonidos (según se hayan programado). Lo mismo ocurre con la interacción, que también serán programadas en función de los movimientos del usuario (disparadores de acción). Si existe latencia o retraso entre la acción que realiza el usuario y su representación en la pantalla, no sólo el cerebro detecta que no es real, sino que puede provocar mareos y náuseas, como se vio previamente.

Para facilitar la comprensión del flujo de trabajo y las relaciones existentes en la arquitectura del sistema cuando se lanza en tres dimensiones, se muestra en el *Gráfico 9* un esquema y se procede a explicar cada parte.

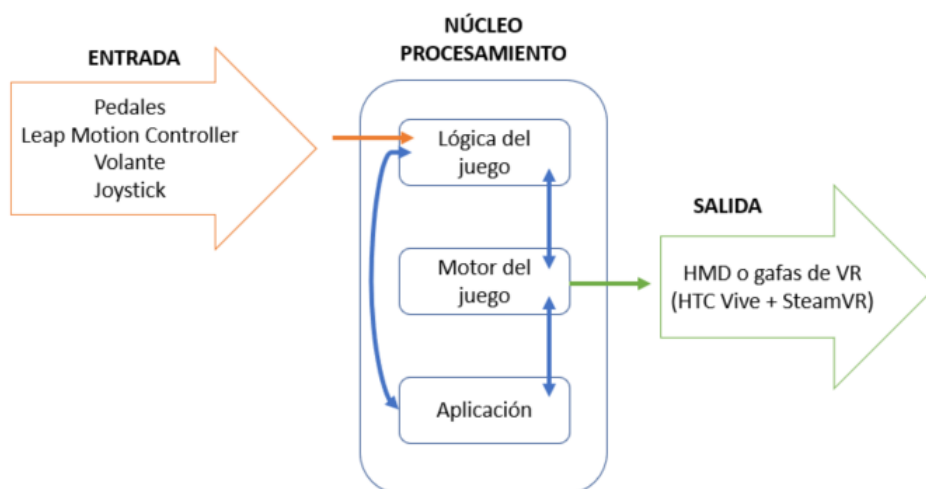


Gráfico 9: Esquema de la arquitectura de la aplicación inmersiva. Elaboración propia.

Entrada: los movimientos y la manipulación de objetos que realiza el usuario dentro del entorno virtual se llevan a cabo mediante la incorporación de dispositivos adicionales que permiten realizar distintas funciones. Para la simulación de conducción y puesta en práctica del entrenamiento de este proyecto se han utilizado los siguientes periféricos:

- Pedales: permiten al usuario realizar los movimientos de aceleración y frenado de la carretilla, que se verán reflejados en el comportamiento del vehículo en el mundo virtual. Son controlados mediante los pies, al igual que se usan en los vehículos reales.



Ilustración 88: Pedales para VR. Recuperado de:

<https://www.pccomponentes.com/thrustmaster-t-flight-rudder-pedales>

- Leap Motion Controller: En la simulación se lleva a cabo un control o seguimiento gestual de los movimientos de las manos a través del Leap Motion Controller, que es un pequeño dispositivo USB que va incorporado en el frontal de las gafas y, con los sensores de cámara y luces LED, escanea un área de 8 pies cúbicos (2*2*2) sobre el dispositivo. Los sensores tienen un campo de visión de 150 grados. Permite rastrear el movimiento de ambas manos y cada uno de los dedos, y traducir estos datos de entrada en información al ordenador. De esta manera, se pueden observar durante todo momento las manos del usuario. El jugador podrá verlas cuando vaya a agarrar el volante, a mover la palanca o realizar cualquier otro tipo de movimiento, lo que supone una inmersión enorme en la realidad virtual. [18]



Ilustración 89: Leap Motion Controller acoplado a un HMD. Recuperado de:

<https://www.tworeality.com/leap-motion-controller/>

Este sistema puede utilizarse también cuando se lanza la aplicación en 2D o sobre el monitor, como se puede ver en la *Ilustración 90* e *Ilustración 91* respectivamente. La detección y el seguimiento funcionan de manera óptima cuando el controlador tiene una vista de alto contraste, clara y siluetas de las manos y los dedos. El software Leap Motion combina sus datos del sensor con un modelo interno de la mano humana para ayudar a enfrentar condiciones de seguimiento difíciles. [18]

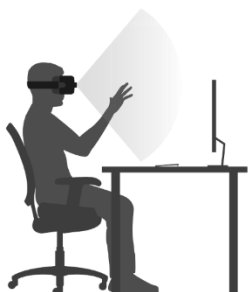


Ilustración 90: Leap Motion en modo HMD. Recopilado de: https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/javascript/unity/Unity_Overview.html

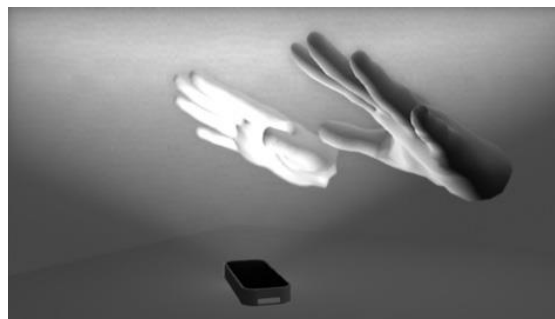


Ilustración 91: Leap Motion en modo escritorio. Recuperado de: https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/javascript/unity/Unity_Overview.html

- Volante: permite el movimiento del eje de dirección de la carretilla, la cual realiza los giros mediante las ruedas del eje trasero. Además, en el volante viene incorporada una palanca lateral que el usuario sube o baja para poder

realizar el cambio de marcha adelante a marcha atrás, y viceversa. En el último caso, en la virtualización el usuario escucha el pitido realizado por estas máquinas. Los movimientos del volante en el entorno tridimensional son similares a los realizados en cualquier vehículo real.



Ilustración 92: Volante. Recuperado de: <https://www.costomovil.es/consolas-y-videojuegos/volantes>

- Joystick: el movimiento de la palanca se realiza con la mano derecha y permite al usuario mover el mástil y las horquillas de la carretilla en todas las direcciones: control de la elevación posicionando la palanca de control hacia delante, descenso del mástil moviendo la palanca de control hacia atrás, la inclinación del mástil y movimiento de las horquillas cuando se mueve a los laterales. Gracias a los sensores incorporados en el joystick, se puede conocer en todo momento la posición o inclinación de la palanca, programando las acciones a realizar en el juego en función de esos valores. Esto facilita aún más la inmersión en el entorno, porque visualizando las manos y la palanca, si se controla la latencia, la inmersión del usuario y la simulación del manejo de la carretilla es completa.



Ilustración 93: Joystick. Recuperado de: <https://www.ldlc.com/es-es/ficha/PB00244928.html>

Procesamiento o núcleo:

- La codificación del juego varía un poco en el cambio de 2D a 3D, mientras que la lógica del juego es prácticamente similar (el comportamiento de cada objeto), exceptuando la forma de entrada de los datos desde los periféricos, en los que en 2D se utilizarán ciertas teclas del teclado o pulsaciones del ratón que dispararán distintas acciones, mientras que en 3D se utilizarán los rastreadores de movimiento de cada componente hardware o controlador para conocer en todo momento sus posiciones y desembocar en esas acciones. Por lo tanto, los disparadores de acción serán distintos pero el resultado (los movimientos en el entorno) son prácticamente similares.

Salida:

- En el lanzamiento de la aplicación en 3D el modo de visualización es mediante las gafas de realidad virtual. En el proyecto se ha utilizado las de la marca Vive, desarrolladas conjuntamente por Valve Corporation y HTC y diseñadas para utilizar en espacios pequeños. Permite la sumersión en el mundo virtual, en el que el usuario podrá desplazarse y utilizar controladores para interactuar con los objetos virtuales. El HMD (casco o gafas de VR) tiene una resolución de 1080*1200 para cada ojo, más de 70 sensores de posición y orientación, una tasa de refresco de 90 Hz y un rango de visión de 100°, aunque actualmente se encuentra en desarrollo. El control preciso de 360 grados del controlador y los auriculares, los gráficos realistas, el audio direccional y la retroalimentación háptica de alta definición dan lugar a movimientos y acciones realistas en el mundo virtual. [19]



Ilustración 94: Gafas HTC Vive. Recuperado de:

<https://www.vive.com/eu/setup/>

Como se citó previamente, estas gafas deben ir acompañadas de otros componentes. HTC Vive es un sistema de periféricos que se conectan al ordenador vía HDMI y USB o Displayport (interfaz estándar de dispositivos, principalmente vídeo). El HTC Vive contiene lo siguiente, y se puede ver en la *Ilustración 95*: [19]

- Gafas HTC Vive (HDMI, cable de alimentación y un USB de bastante longitud, unos 5 metros).
- Link box: es una caja de conexiones que conecta las gafas a la computadora (formado por un enchufe de alimentación con su adaptador de luz, puerto HDMI/Display y USB para el PC, y tres conexiones para las gafas).
- Base Station: son dos sensores de posición que requieren una visión directa entre ella, estar conectadas a un enchufe y estar a cierta altura. Opcionalmente pueden conectarse por cable de forma directa entre ellas. Las bases hacen posible situar las gafas (con 32 sensores) y los mandos (24 sensores cada mando) en el espacio tridimensional virtual.
- Auriculares in-ear minijack: son de cable de pequeña longitud.



Ilustración 95: Sistema de periféricos HTC Vive. Recuperado de: <http://mundo-virtual.com/gafas-realidad-virtual/htc-vive-steam/>

Una vez se tenga todo conectado y configurado se descarga el software de Valve, SteamVR (plataforma de contenidos y juegos Steam). Permite acceder a los juegos gracias al kit de desarrollo de software OpenVR y una interfaz de programación de aplicaciones desarrollada por Valve para admitir SteamVR (HTC Vive o lanzador de juegos).



Ilustración 96: Menú SteamVr. Recuperado de: https://store.steampowered.com/app/491380/SteamVR_Driver_for_Razer_Hydra/

5.2. REQUISITOS DEL SISTEMA

La ejecución de la aplicación en Realidad Virtual presenta unos requisitos mínimos para poder ejecutarse. Para un correcto funcionamiento de este sistema de periféricos es necesario un ordenador potente, que tenga como mínimo las siguientes especificaciones: [19] [20]

- Tarjeta gráfica: Nvidia GeForce GTX 9700 / AMD Radeon R9 290 o superior.
- CPU: Intel Core i5 4590 / AMD FX 8350 o superior
- RAM: 4 GB o más
- Salida de video: HDMI 1.4 / DisplayPort 1.2, o una versión más reciente
- Puertos USB: 1 USB 2.0 o superior
- Sistema operativo: Windows 7 SP1 o más reciente.

La zona de juego entre las bases como mínimo es de 2 x 1.5 metros. El máximo tiene una diagonal que puede alcanzar hasta 5 metros, como se puede observar en la *Ilustración 97*. [20]

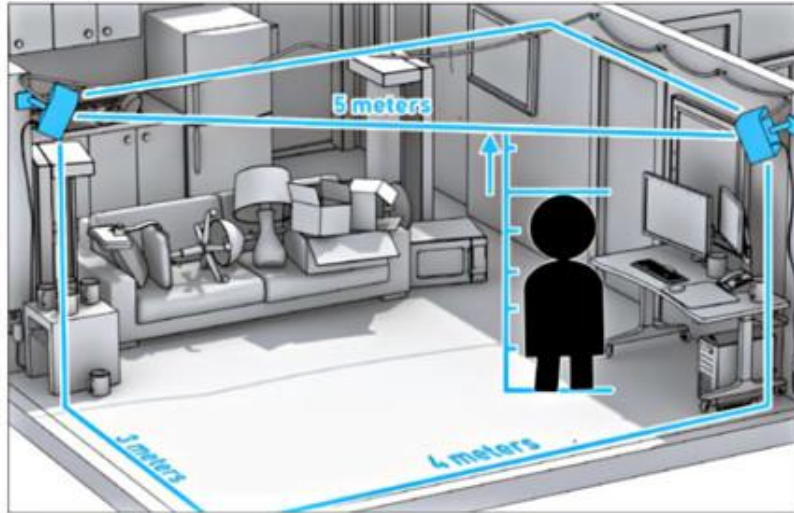


Ilustración 97: Tamaño mínimo entre bases de la zona de juego. Recuperado de: <https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva>

Pero ante esta situación, si se tienen las gafas puestas es imposible saber dónde están las paredes u otros objetos de la habitación reales. La solución de HTC ha sido integrar una cámara pequeña, que sitúa unos muros o cuadrículas virtuales, que se muestran en las pantallas de las gafas cuando el usuario se aproxima demasiado a los bordes del juego (inicialmente configurados). [20]



Ilustración 98: Alerta de límites de la zona de juego. Recuperado de: <https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva>

5.3. MODELADO DE LOS ESCENARIOS

El modelado de cada uno de los escenarios ha sido realizado íntegramente con la herramienta 3Ds Max.

Para poder llevar a cabo la modelación de los escenarios primero se recabó información para que los modelos fueran lo más realistas posibles.

CARRETILLA ELEVADORA

El objeto de carretilla elevadora 3D ha sido modelado de una carretilla real cuyo modelo es TOYOTA forklift 2.5 Ton, de motor diésel, mástil de 3 etapas y 4 ruedas. Las características de este modelo son: [21]

- El año de lanzamiento de esta carretilla es el 2019.
- La velocidad máxima de desplazamiento es de 17,5 km.
- Tiene una capacidad nominal de 2500 kg.
- La máxima altura de elevación son 4700 mm.
- La longitud de las horquillas es de 1220 mm.
- La inclinación de sus ángulos hacia adelante y hacia atrás es de 6 grados.
- La capacidad del tanque de combustible es de 60 litros.
- Las llantas son de tipo neumático.

La comparativa de una carretilla real del modelo anterior (*Ilustración 99*) con el modelo 3D (*Ilustración 100*) es buena, siendo muy similares ambas imágenes.



Ilustración 99: TOYOTA forklift 2.5 Ton.

Recuperado de:

https://www.aboudcar.com/vehicules/toyota_25d19_Forklift_Code_diesel_2019



Ilustración 100: Modelo de Carretilla 3D. Elaboración propia. Captura de pantalla de Unreal Engine 4.

PALET

Se ha realizado un modelo 3D de un palet siguiendo la normativa UNE-EN 13698-1:2003 (Asociación Española de Normalización) de especificación para la producción de paletas planas de madera de 800 mm x 1200 mm. [22]

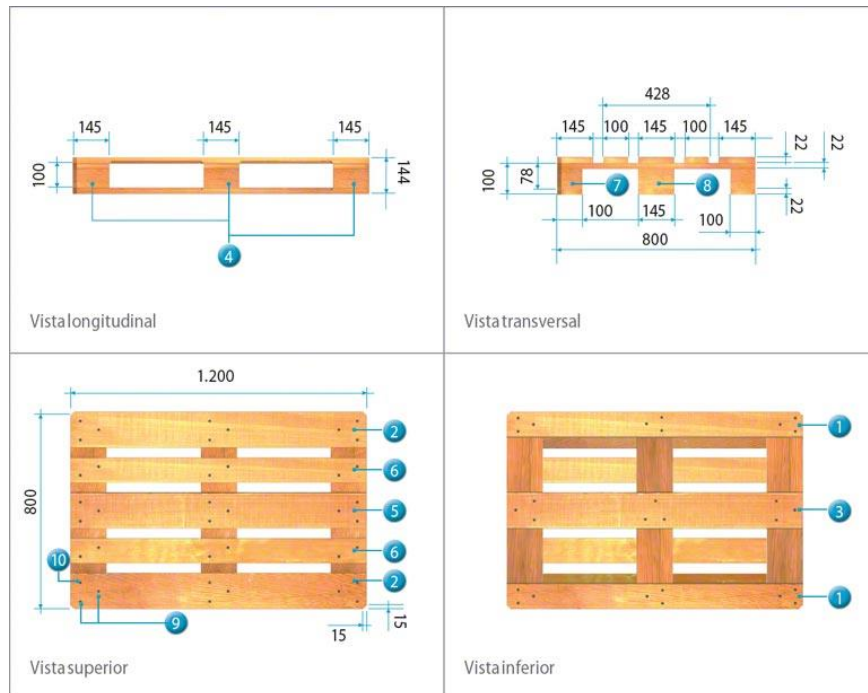


Ilustración 101: Medidas estándar del palet europeo. Recuperado de: <https://www.mecalux.es/manual-almacen/palets/palet-europeo-medidas>



Ilustración 102: Palet. Recuperado de: <https://www.mecalux.es/manual-almacen/palets/palet-europeo-medidas>



Ilustración 103: Modelo palet 3D. Elaboración propia. Captura de pantalla de Unreal Engine 4.

ENTORNO

El entorno en el que se sitúa y opera la carretilla en la realidad es una fábrica o nave. Por este motivo, el entorno tridimensional creado será una imitación o recreación de ese tipo de escenarios. Consiste en un polígono industrial que comprende distintas fábricas, al igual que ocurre en la *Ilustración 104* de una imagen real, y una de ellas podrá ser recorrida interiormente, encontrando todo tipo de elementos que se encuentran en los interiores de las fábricas o almacenes reales (*Ilustración 105*).



Ilustración 104: Polígono Industrial. Recuperado de: <http://ganasdevivir.es/blog/2016/12/13/salen-a-la-venta-dos-parcelas-en-el-poligono-industrial-el-sosal-de-binefar/>



Ilustración 105: Interior de una nave Industrial. Recuperado de: <https://www.patec.org/naves-industriales.php>

6. IMPLEMENTACIÓN DEL PROBLEMA

Para el alcance de los objetivos del proyecto se ha desarrollado un programa de ordenador que permite la simulación de las operaciones realizadas por un operador de una carretilla elevadora.

La simulación incluye tanto las decisiones que tome el usuario en el sistema, como los cambios de escenario o tipos de entrenamiento, la detección del jugador y algunas de sus partes del cuerpo en todo momento (para reflejarlo con total exactitud en el mundo virtual).

El programa se ha desarrollado de tal manera que sea escalable y se pueda usar con varios medios de simulación: desde un ordenador hasta dispositivos de realidad virtual.

En este apartado, se van a abarcar varias tareas por separado para poder definir el problema correctamente. Por una parte, el diseño 3D, y por otra parte la implementación en el motor de juego.

6.1. DISEÑO 3D

La primera etapa de este proyecto es la de diseñar en tres dimensiones, y se realizará mediante el software de modelado y renderizado 3DS Max, enfocado al diseño, juegos y animación, que los preparará en formato FBX, para que posteriormente el motor gráfico cargue cada objeto (con su forma, apariencia y tamaño correcto). FBX es un formato de archivo (.fbx) adaptable para software de animación 3D, que forma parte de la tecnología de intercambio y manipulación de datos entre aplicaciones, manteniendo la plena funcionalidad del archivo original. Además, la unidad de medida en la que se han realizado todos los modelos es en centímetros, ya que es la unidad interna de Unreal Engine 4.

Los objetos o modelos necesarios para llevar a cabo este proyecto son la creación de una carretilla virtual, un palet y uno o varios entornos (con todos los componentes que lo formen, desde los objetos, hasta sus materiales, texturas, sombras, reflejos, iluminación, etc.). El fin del modelado y articulación del objeto es la de crear su jerarquía respecto a cada componente, y articularlo de tal manera que pueda realizar los movimientos que va a llevar a cabo durante el lanzamiento del juego. Estos movimientos tendrán lugar cuando se programen scripts mediante el motor de juego Unreal Engine 4

que sirvan como lanzamientos de acciones. Por lo tanto, la parte de implementación del proyecto sigue el flujo de procesos que se observa en el *Gráfico 10*.

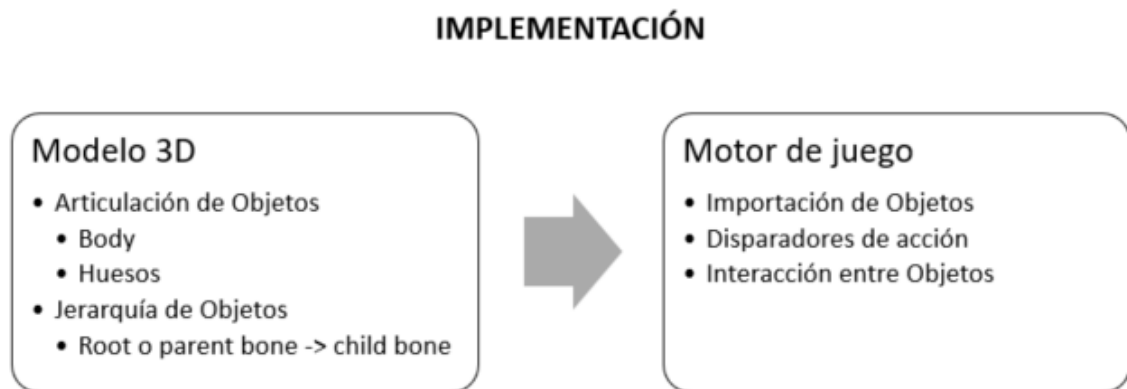


Gráfico 10: Flujo de procesos en la implementación del proyecto.

Los distintos escenarios que contiene la aplicación se corresponden con distintos archivos que contiene la información gráfica que emplea el motor gráfico para la representación de los distintos objetos que van a aparecer en el entorno virtual.

Este archivo es configurable, lo que va a permitir que el motor gráfico emplee distintos entornos de simulación con distintos objetos, iluminación, elementos decorativos, etc.

6.1.1. Modelo carretilla elevadora 3D

El objeto clave del proyecto es la modelación y correcta articulación de la carretilla. Para poder realizar esto se ha utilizado el software 3DsMax como se indicó en el *Apartado 3.3 Diseño*.

Para poder separar los distintos componentes del vehículo y poder programar sus posibles acciones y movimientos, ha sido necesario establecer la estructura de la carretilla desde este programa de diseño. Esta estructura se basa en la separación de la carretilla en cada una de sus cuatro ruedas, en el mástil, en el joystick, en la palanca de marcha, en el portahorquillas, en las horquillas y en el chasis. Estos elementos forman parte del body (objeto corporal, similar a un objeto sólido), y cada uno de ellos va a ir asociado a un hueso (bone).

Un sistema de huesos o sistema Bone es un enlace jerárquico y articulado de objetos óseos que se puede utilizar para animar otros objetos o jerarquías. Los huesos tienen varios parámetros, como la forma cónica y las aletas (definen la forma que representa el hueso y sirven para ver cómo gira). La geometría del hueso es distinta de su enlace. Cada enlace tiene un punto de pivote en su base alrededor del cual gira el hueso (cuando se mueve un “child bone” o hueso hijo, realmente estás girando su hueso padre “parent bone”). [14]

Por lo tanto, los huesos son una forma de controlar las jerarquías de objetos, lo que significa que, al cambiar un elemento en la jerarquía afecta al resto (según como se construya esa plataforma: cinemática inversa IK o cinemática directa FK). Un hueso tiene transformaciones (rotación, traslación y escala), permitirán controlar y afectarán la piel del modelo y tiene una cabeza y una cola que se usa para unir otros huesos y crear jerarquías.

Para crear un hueso se accede al panel de crear de 3Ds Max, se hace clic en sistemas, y se crea el objeto de tipo hueso (bones). [14]

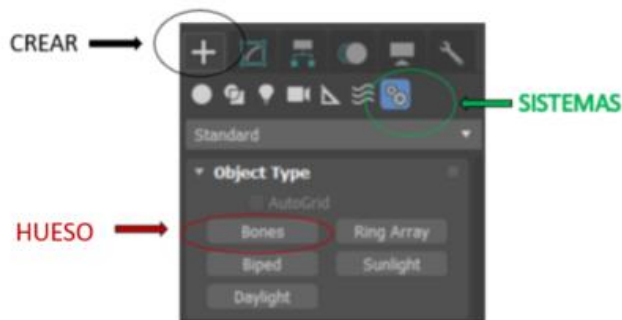


Ilustración 106: Proceso de creación de un hueso en 3Ds Max. Elaboración propia.

Se hace clic en una vista y se crea la articulación, que es la base de la jerarquía del hueso, y, arrastrando, se define la longitud del hueso. 3Ds Max crea un pequeño hueso “nudillo” al final de la jerarquía, que se usa cuando se asigna una cadena IK (cinemática inversa).

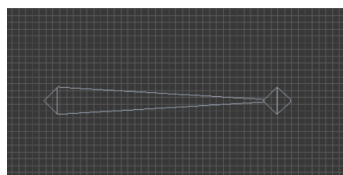


Ilustración 107: Estructura hueso en 3Ds Max. Elaboración propia.

Para definir correctamente el movimiento y articulación de cada componente (con su respectivo hueso) en la carretilla, habrá un hueso principal o root situado en el punto 0,0,0 de los ejes X, Y, Z, como se puede ver en la *Ilustración 108*. Este hueso controlará y afectará a la piel de toda la carretilla, por lo que un movimiento, rotación o escalado sobre el provocará lo mismo en todos sus hijos en la jerarquía de la *Tabla 2*.

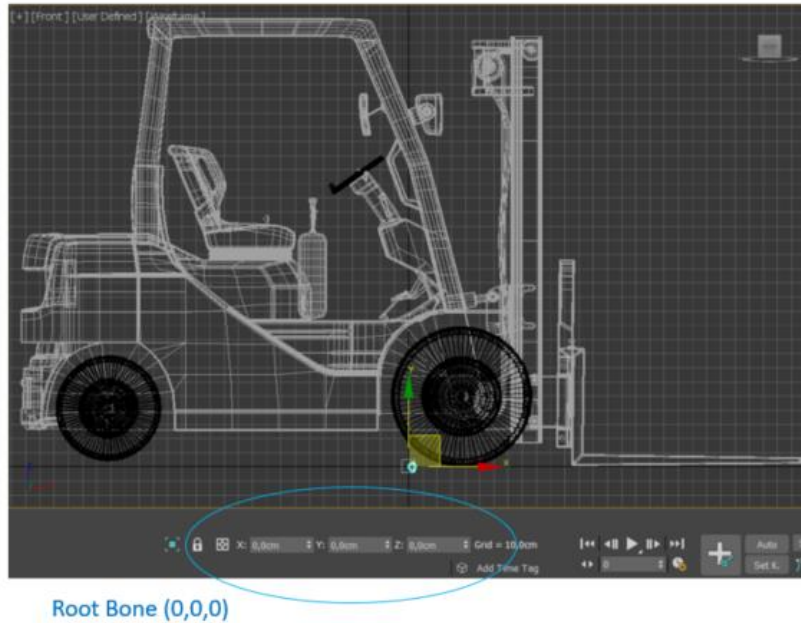


Ilustración 108: Posición del hueso Root (0,0,0) en 3Ds Max. Elaboración propia.

El root bone va a ser padre del resto de huesos, por lo que sus movimientos afectarán al resto, que, a su vez, serán padres del cuerpo del elemento, pudiendo moverlo sin alterar al root bone.

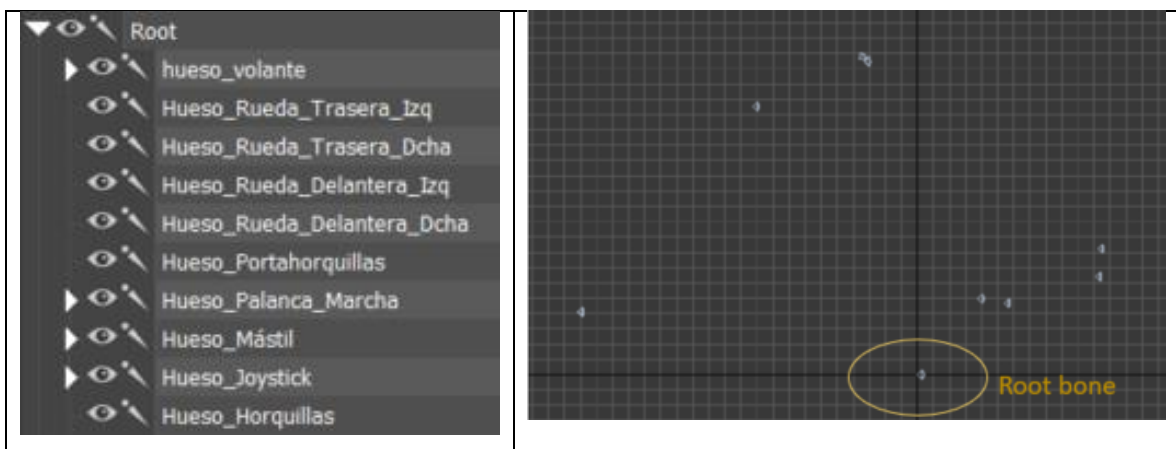


Tabla 2: Estructura de la Carretilla en 3Ds Max. Elaboración propia

La jerarquía de los huesos se basa en este hueso principal o Root, que afecta a la piel o skin de toda la carretilla y a otros huesos, que son los de las cuatro ruedas, el portahorquillas, la palanca, el mástil, el joystick, las horquillas y el volante. Cada uno de estos afecta al cuerpo o body de esa parte. Además, cada componente tendrá a su vez una jerarquía del hueso – body (mediante links entre ambos, en la que el movimiento del hueso afecta al cuerpo de esa parte), o bien se puede hacer de otra manera *Ilustración 109*, en la que se le añade el modificador skin o piel al cuerpo del elemento, se selecciona al hueso al que va a afectar, en el caso del ejemplo de la *Ilustración 109* al “hueso_portahorquillas” (ya que se trata del cuerpo portahorquillas), y en la tabla de pesos o weight table se elige los vértices a los que va a afectar y en qué medida (de 0 a 1), como se puede observar en la *Ilustración 110*.

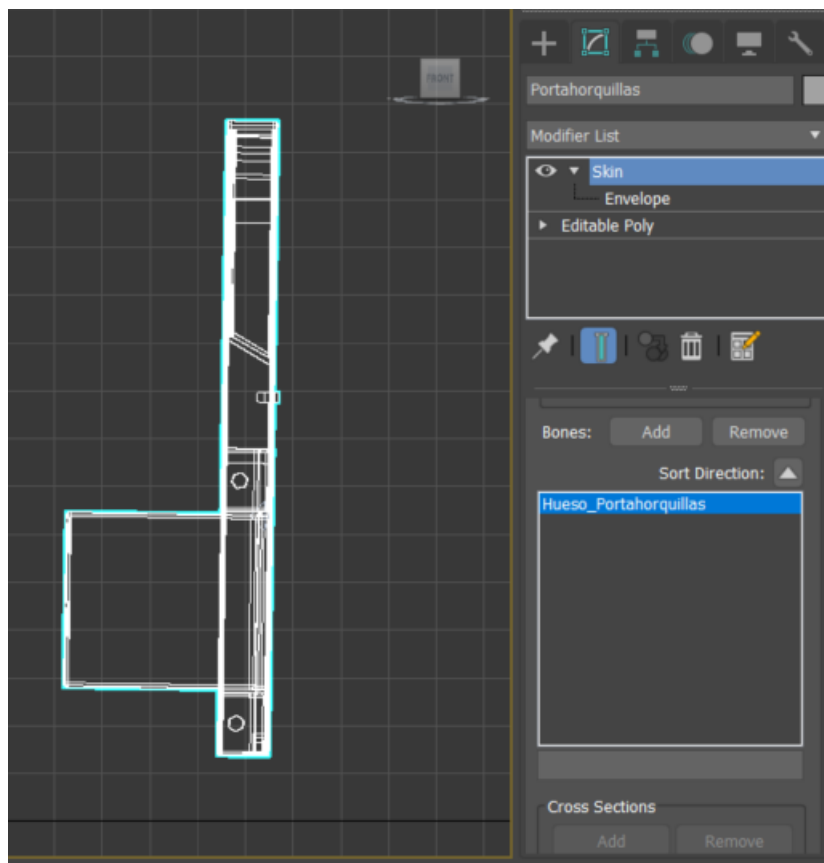


Ilustración 109: Articulación mediante modificador skin in 3Ds Max. Elaboración propia.

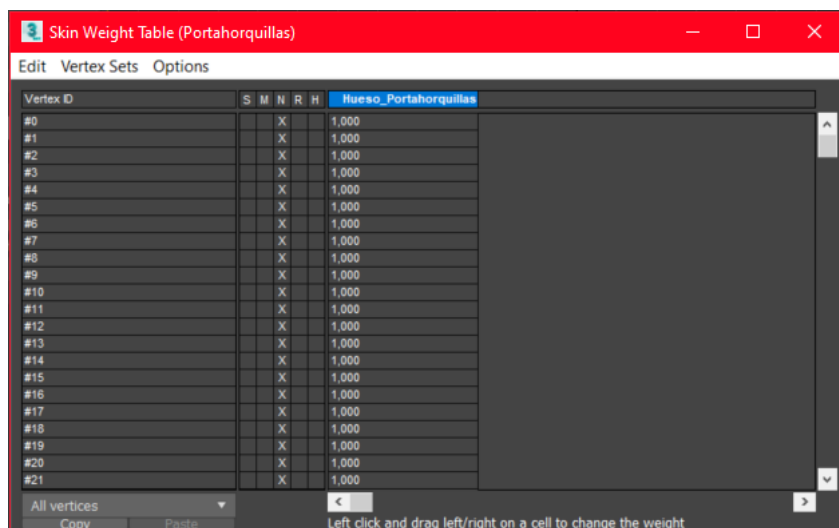


Ilustración 110: Skin Weight Table (portahorquillas) en 3Ds Max. Elaboración propia.

Para poder comprender todo esto mejor, se va a ir tomando cada elemento de la carretilla para ir viendo cómo ha quedado la estructura. Estos objetos, sus movimientos y sus funcionalidades son los explicados en el *Apartado 3.1*.

VOLANTE

En la *Ilustración 11* se puede ver como el volante tiene un hueso en su centro que permitirá girarlo, ya que afecta al cuerpo del elemento. Se ha elegido este componente para explicar profundamente ya que tiene un punto clave e importante, su pivote. Este, como se puede ver en la *Ilustración 112*, sigue las coordenadas de la vista y del Root (única manera de que funcione correctamente). Pero el volante está girado respecto a los ejes, por ello, ha sido necesario modificar y establecer su pivote en el centro y dirección del objeto (para que el movimiento del hueso de lugar a un correcto movimiento del elemento, *Ilustración 113*).

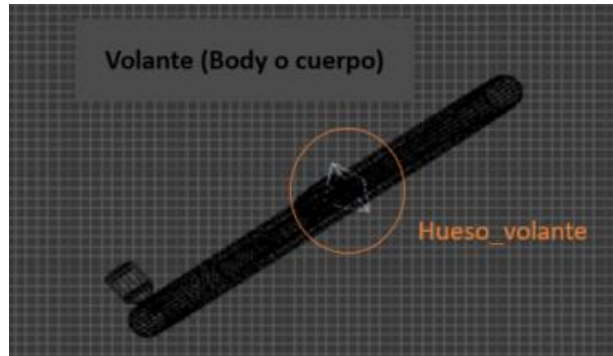


Ilustración 111: Estructura del volante de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

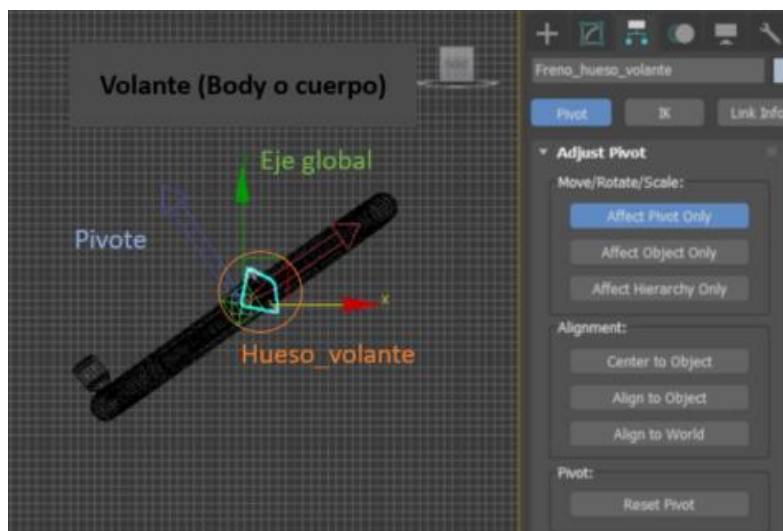


Ilustración 112: Estructura del volante y colocación del pivote del volante de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

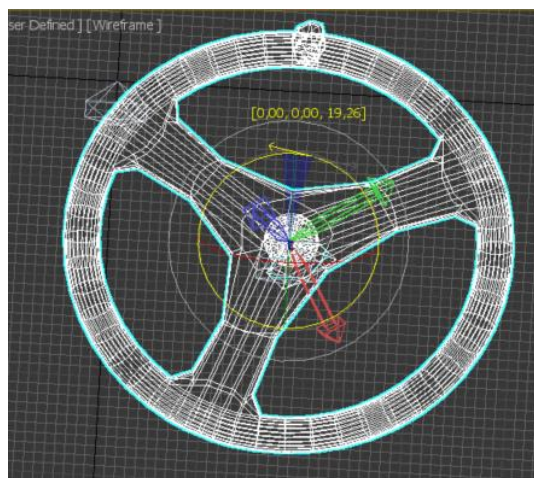


Ilustración 113: Movimiento del hueso del volante que da lugar al movimiento del cuerpo del volante en 3Ds Max. Elaboración propia.

PALANCA MARCHA

Esta palanca se encuentra situada al lateral del volante y permite el cambio de marcha adelante a marcha atrás.

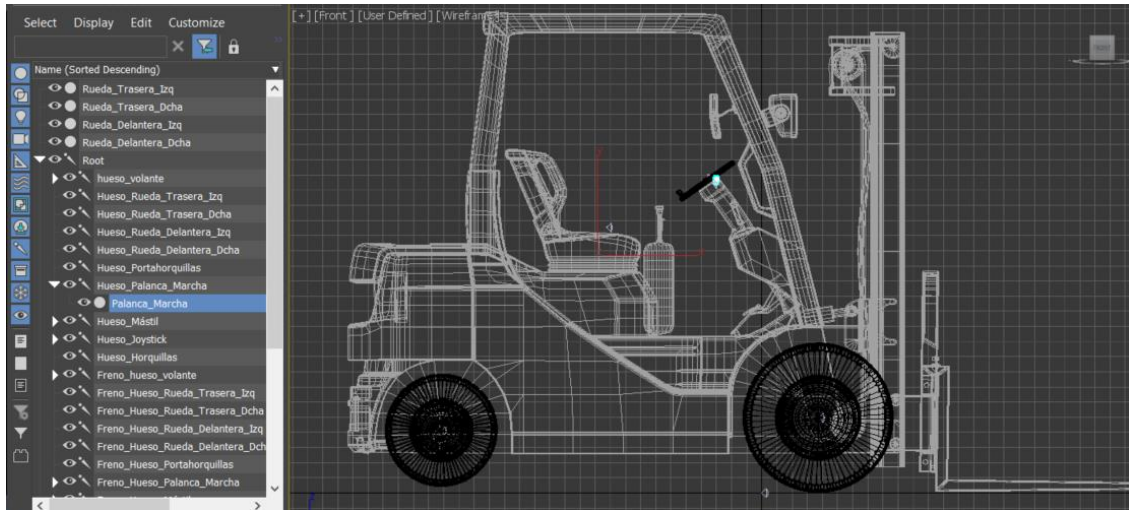


Ilustración 114: Palanca de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

La estructura de la palanca es similar a la del volante, contiene un hueso en la parte inferior de la palanca, que será su eje de movimiento. Al girar el hueso, la palanca realizará el desplazamiento de arriba hacia abajo.



Ilustración 115: Estructura de la palanca de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

MÁSTIL

El mástil permite la elevación y descenso de las cargas y podrá inclinarse hacia adelante o hacia atrás para realizar la carga y descarga.

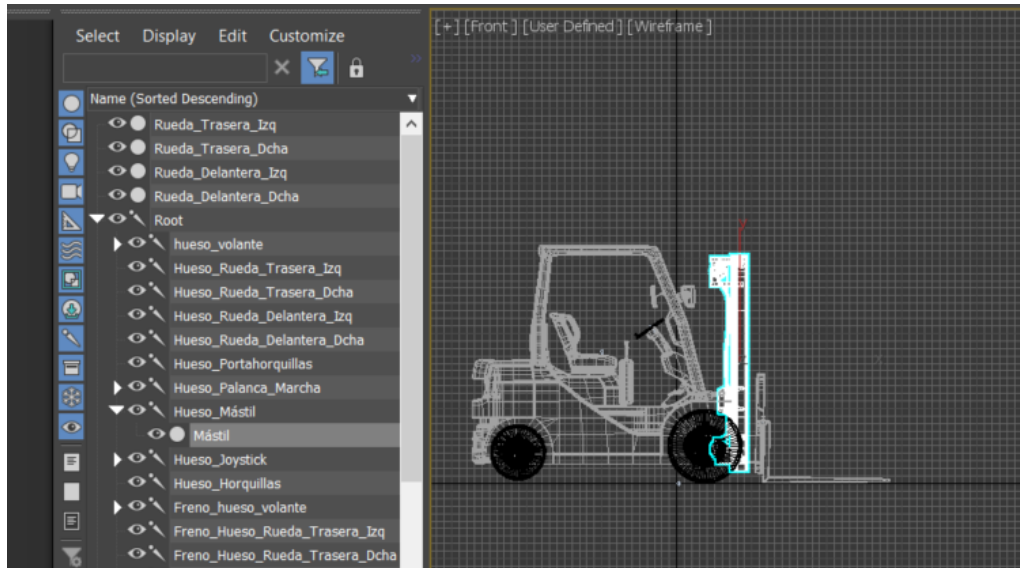


Ilustración 116: Mástil de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

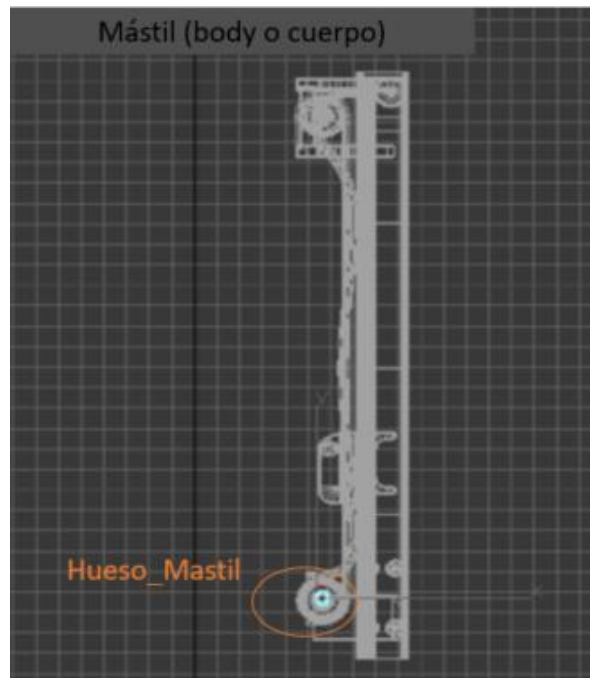


Ilustración 117: Estructura del mástil de la carretilla elevadora en 3Ds Max.

Elaboración propia.

HORQUILLAS

Las horquillas permiten recoger los objetos, y podrán subir, bajar, desplazarse hacia los laterales e inclinarse.

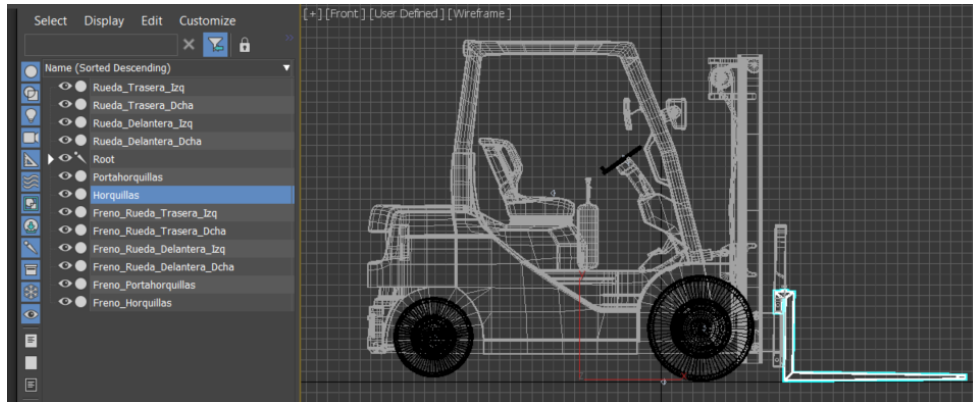


Ilustración 118: Horquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

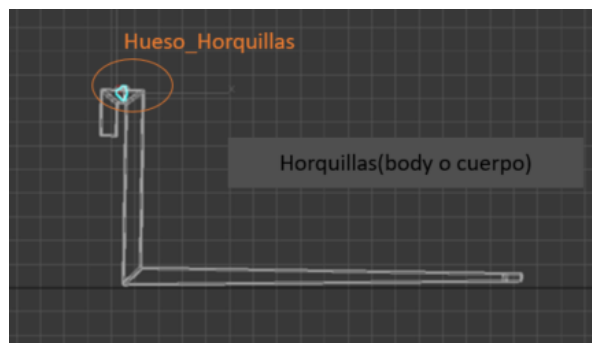


Ilustración 119: Estructura de las horquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

En la *Ilustración 120* se muestra un ejemplo de uno de los movimientos de las horquillas, la inclinación para el transporte correcto de cargas. Se puede observar que al rotar el hueso se produce la alteración deseada en el cuerpo de las horquillas.

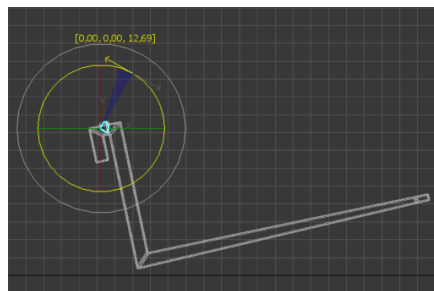


Ilustración 120: Movimiento del hueso de las horquillas en 3Ds Max. Elaboración propia.

JOYSTICK

El joystick dirige el mástil, el portahorquillas y las horquillas. Permite realizar movimientos en las cuatro direcciones (laterales, hacia adelante y hacia atrás).

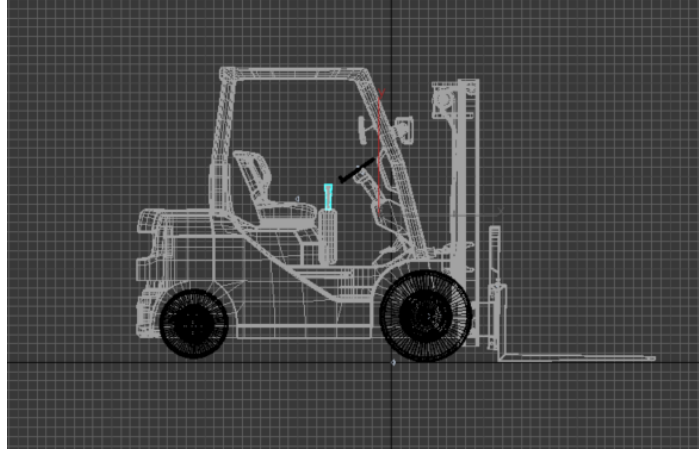


Ilustración 121: Joystick de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

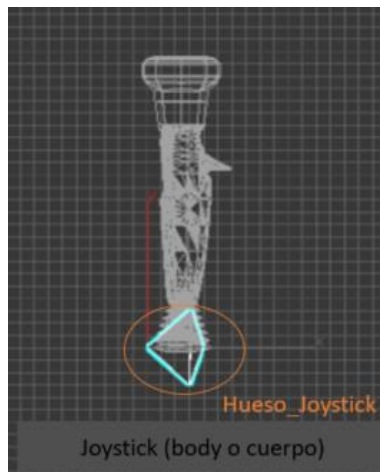


Ilustración 122: Estructura del joystick de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

PORTAHORQUILLAS

El portahorquillas recorre el mástil y sujeta las horquillas. Se desplaza en todas las direcciones.

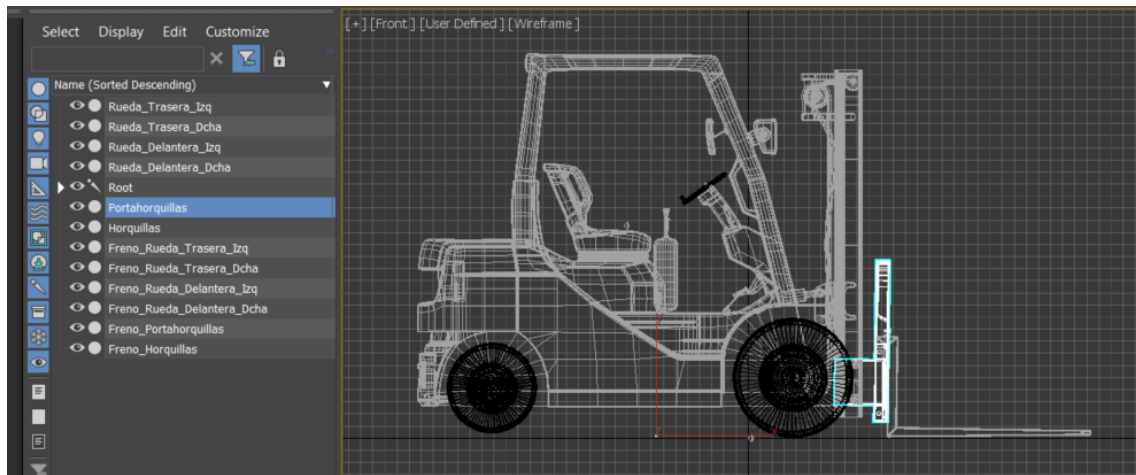


Ilustración 123: Portahorquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.



Ilustración 124: Estructura del portahorquillas de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia.

RUEDAS

Las ruedas traseras y delanteras de la carretilla no son iguales, aunque sí tienen la misma estructura (*Ilustración 127*). Lo único que cambia es el tamaño de la rueda, siendo las delanteras más grandes que las ruedas directrices o traseras.

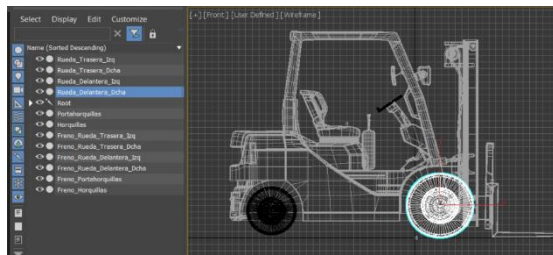


Ilustración 125: Rueda delantera de la carretilla elevadora en 3Ds Max.

Elaboración propia.

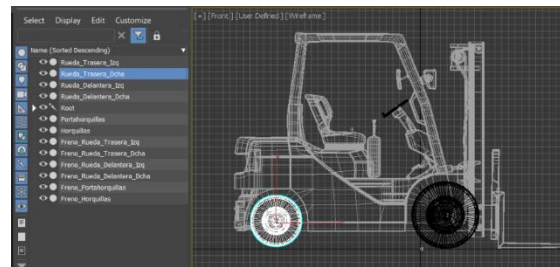


Ilustración 126: Rueda trasera de la carretilla elevadora en 3Ds Max.

Elaboración propia.



Ilustración 127: Estructura de cualquier rueda de la carretilla elevadora en 3Ds Max.

Elaboración propia.

RESULTADO FINAL

El resultado final del objeto de carretilla realizado en 3Ds Max se observa en la *Ilustración 128.*

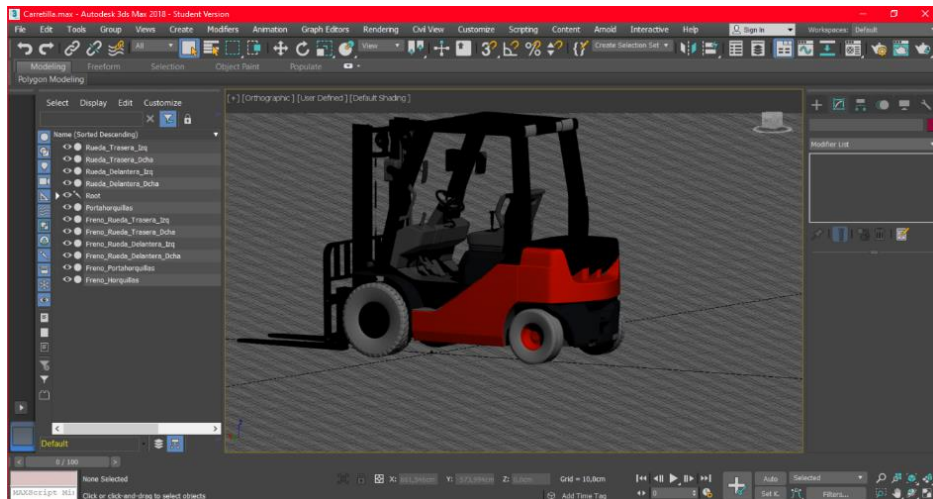


Ilustración 128: Resultado final de la carretilla elevadora en 3Ds Max. Elaboración propia

6.1.2. Modelo de palet

El objeto palet tiene una estructura mucho más simple que la carretilla, ya que se trata de un objeto sin articulaciones, por lo que la estructura es de un único nivel. Para su modelación se han ido creando cajas de distintos tamaños, siguiendo siempre la normativa para cumplir las medidas correctas mencionadas en el *Apartado 5.3*.

Los materiales se le añadieron en el motor de juego Unreal Engine 4. El resultado final del objeto palet se puede observar en la *Ilustración 129*.

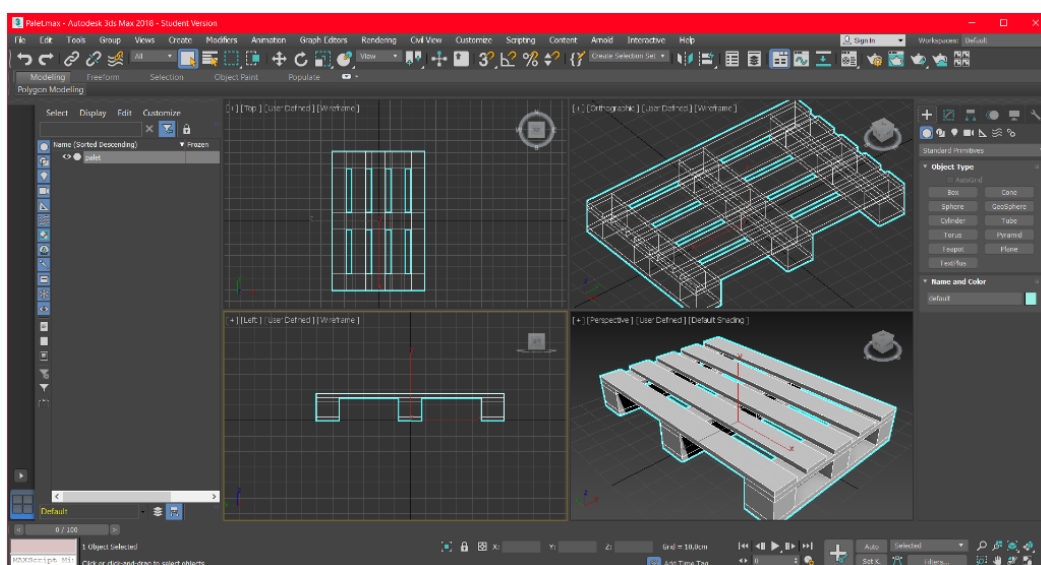


Ilustración 129: Resultado final del palet en 3Ds Max. Elaboración propia

6.1.3. Modelado del entorno

Previamente, en el *Apartado 5.3* se pudo observar que el entorno que iba a dar lugar al escenario de operación de la carretilla elevadora es una fábrica o nave de un polígono industrial.

Tras recopilar mucha información desde gran variedad de fuentes se llegó a una idea de nave, cuyas medidas se encuentran en la *Tabla 3*.

Superficie total	1250 m ² (25m ancho * 50m largo)
Altura libre interior	7m
Altura exterior a cumbrera	9,5m
Grosor de la pared	0,5m

Tabla 3: Medidas de la nave principal.

ENTORNO DE LA NAVE

Para crear el modelo del entorno de la fábrica, se comenzó por crear varias cajas de pequeña altura, que representan la calle, la acera y la superficie de la fábrica.

La primera caja creada representa la calle, y se ha dado valores de 100m de largo, 50m de ancho y sin altura o grosor (*Ilustración 130*), y se ha posicionado en el punto central.

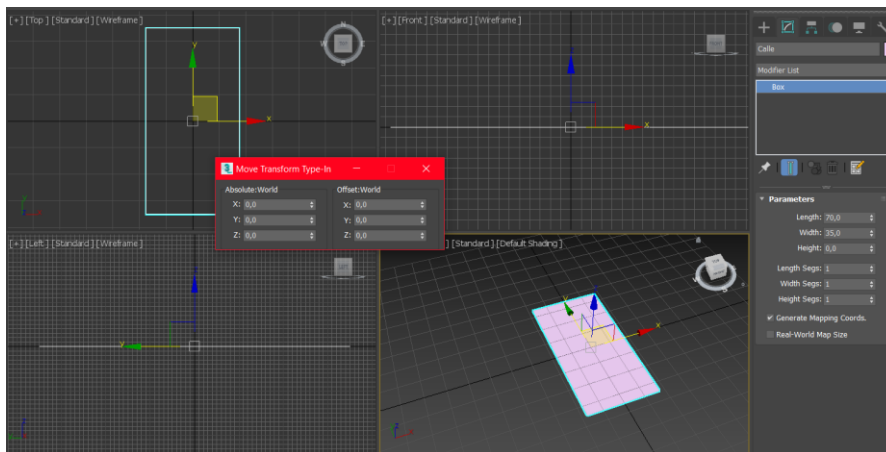


Ilustración 130: Calle del entorno en 3Ds Max. Elaboración propia.

Se continuó creando la acera, que ha sido realizada con una caja de 68m de altura, 33m de anchura y 0,1m de grosor, es decir, 10cm de altura sobre el suelo.

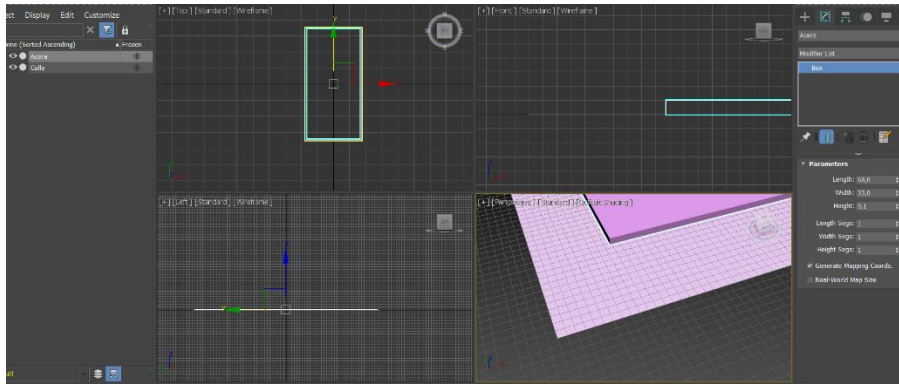


Ilustración 131: Acera del entorno en 3Ds Max. Elaboración propia.

Una vez creadas la calle y la acera, se modelaron el suelo y el muro exterior de la fábrica. El suelo del entorno de la fábrica es una caja con 66m de largo, 31m de ancho y una anchura de 0,1 cm, es decir, de 0,001m.

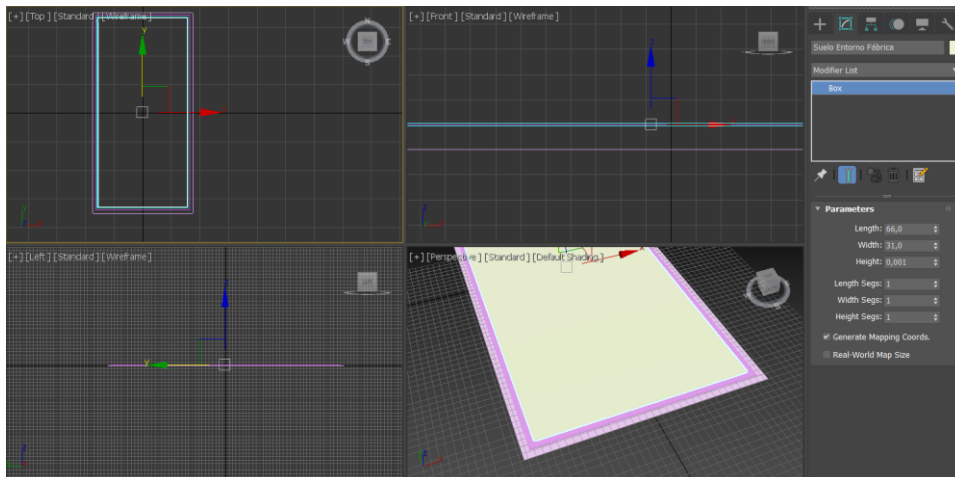
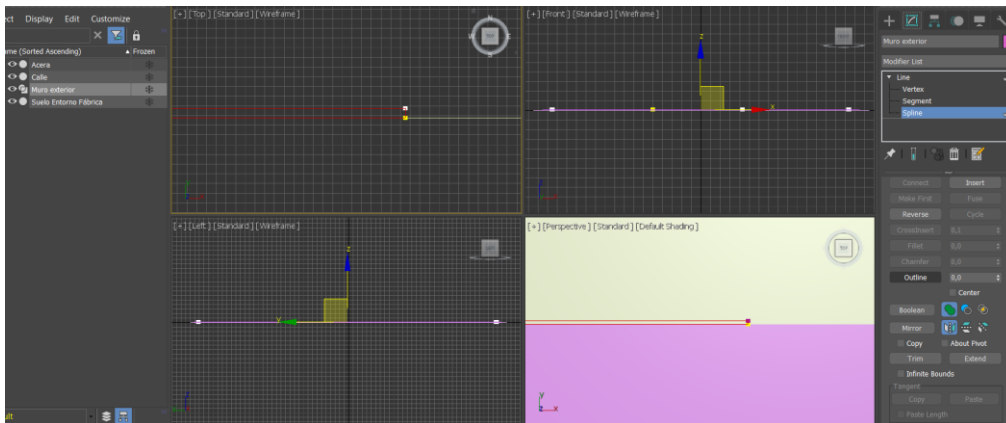


Ilustración 132: Suelo del entorno en 3Ds Max. Elaboración propia.

Para la creación del muro exterior de la nave, se dibujó una línea (en el menú de formas planas), que se corresponde con el perfil de dicho muro, dejando un hueco para la puerta de entrada a la nave. Para su creación se utilizó una spline (curva diferenciable definida en porciones mediante polinomios) de la línea y se le aplicó un valor de -0,5 a outline, para crear una línea paralela, dándole grosor al muro, como se observa en la *Ilustración 133*.



*Ilustración 133: Muro exterior del entorno en 3Ds Max. Mediante Outline.
Elaboración propia.*

Por último, se añadió un modificador de extrusión al paso anterior para darle la altura necesaria, que es de 2m.

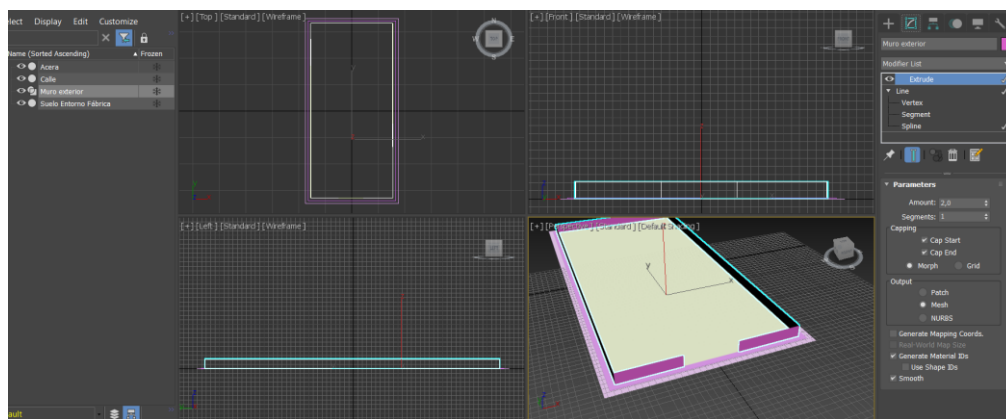


Ilustración 134: Muro exterior con modificador extrude en 3Ds Max. Elaboración propia.

El polígono industrial, al igual que ocurre en la realidad, va a estar formado por varias naves. En este documento sólo se ha explicado el modelado de una de ellas, la nave principal (que podrá ser recorrida internamente), ya que el procedimiento es el mismo para todas ellas.

NAVE

La nave principal va a tener una superficie de 1500 m², de la cual tiene 25m de ancho y 60m de largo.

PARED DELANTERA

La pared delantera consta de tres puertas; por ello, su creación ha sido realizada mediante el dibujo de una línea en el menú de formas planas, con las formas de las puertas, y que será el perfil de la pared. Para facilitar su creación, se han ocultado el resto de los objetos creados excepto el suelo de la fábrica, ya que la pared debe ir sobre él, *Ilustración 135*.

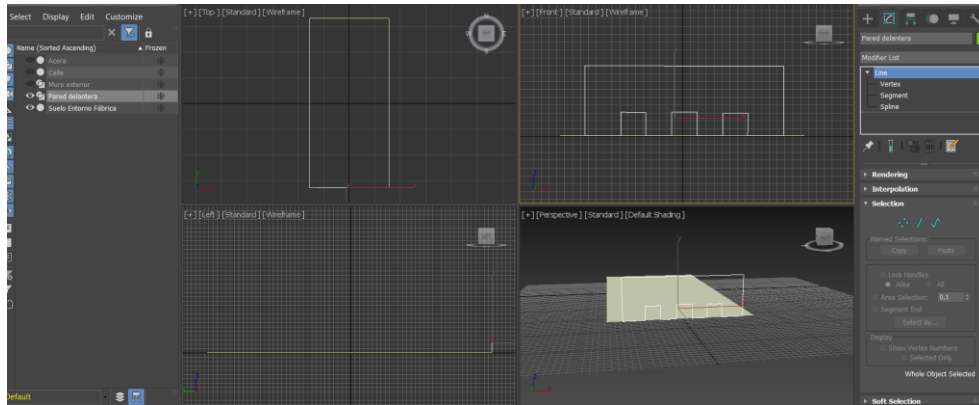


Ilustración 135: Pared delantera de la nave en 3Ds Max. Elaboración propia.

Las dimensiones de la pared, como se puede observar mediante el parámetro measure (medida), serán de un valor de 25,314 en el eje X, un valor de 0 en el eje Y, que habrá que modificar en el siguiente paso del modelado, y un valor de 8,9 en el eje Z.

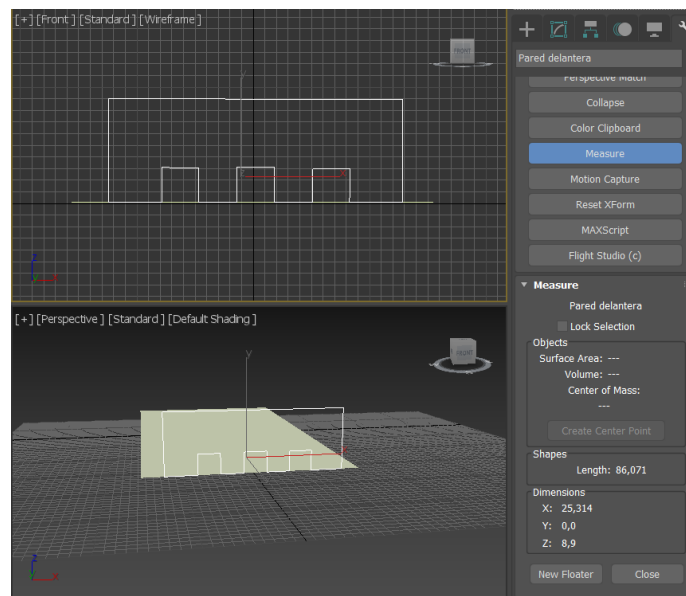
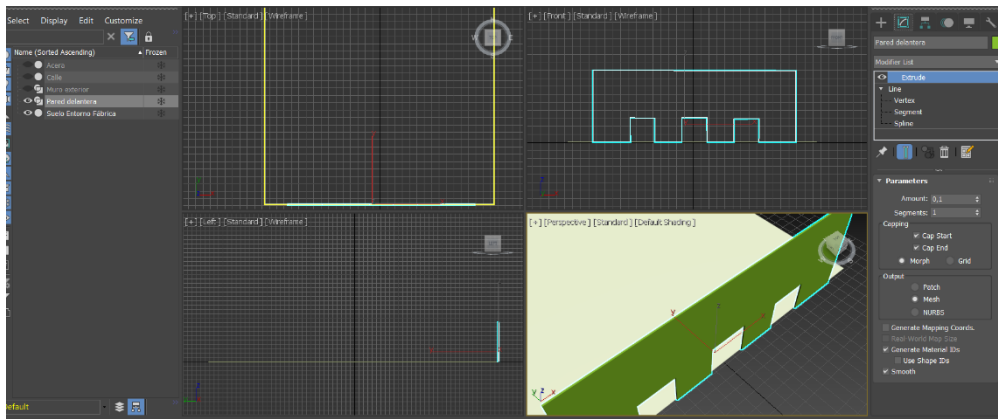


Ilustración 136: Dimensiones de la pared en 3Ds Max. Elaboración propia.

Por último, se le aplica un modificador de extrusión, para darle el grosor a la pared, será de 0,1m.



*Ilustración 137: Modificador extrude para el grosor de la pared en 3Ds Max.
Elaboración propia.*

PARED LATERAL DERECHA

Para crear la pared lateral derecha se siguen los mismos pasos realizados que en la creación de la pared frontal, a excepción que esta pared no tendrá puertas, por lo que la línea tendrá forma rectangular. En la vista derecha del 3dmax, y mostrando únicamente la pared delantera para tomar la altura como referencia y el suelo de la nave como base de la pared, se crea la línea que forma la pared. Las dimensiones de la pared lateral son de la misma altura que la puerta delantera, es decir, 8,883m y 50,056m de largo y una anchura de 0,1m, que será el grosor de la pared y que se consigue aplicando una extrusión a la línea.

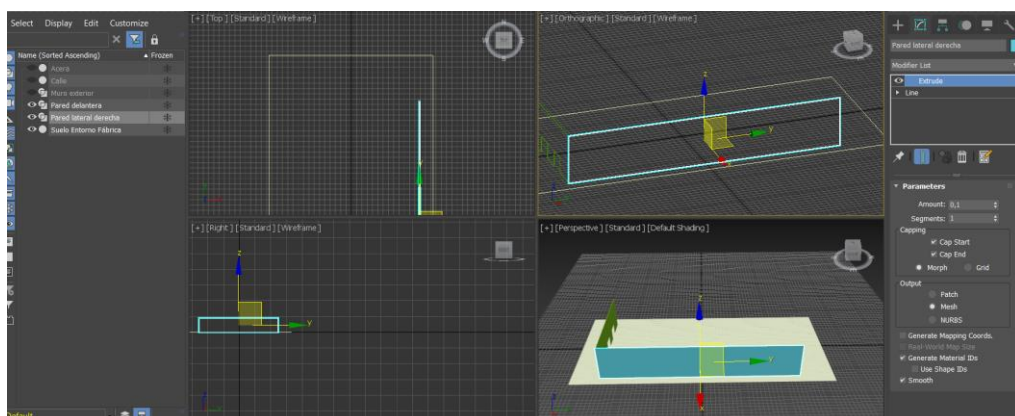


Ilustración 138: Pared lateral derecha, modificador extrude en 3Ds Max. Elaboración propia.

Pero la pared va a tener ventanas, por lo que para agregarlas ha eliminado el modificador extrude de la pared, y mediante una línea se crea la forma de la ventana,

como se puede observar en la *Ilustración 139*. Como la pared va a tener tres ventanas iguales, se copia la spline de la línea dos veces, llegando al resultado de la *Ilustración 140*.

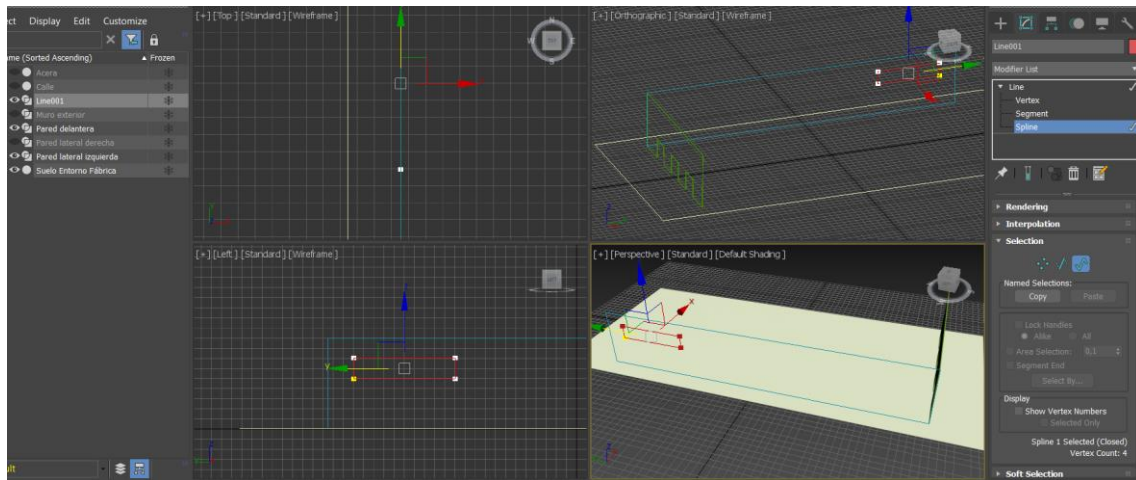


Ilustración 139: Creación de una ventana en 3Ds Max. Elaboración propia.

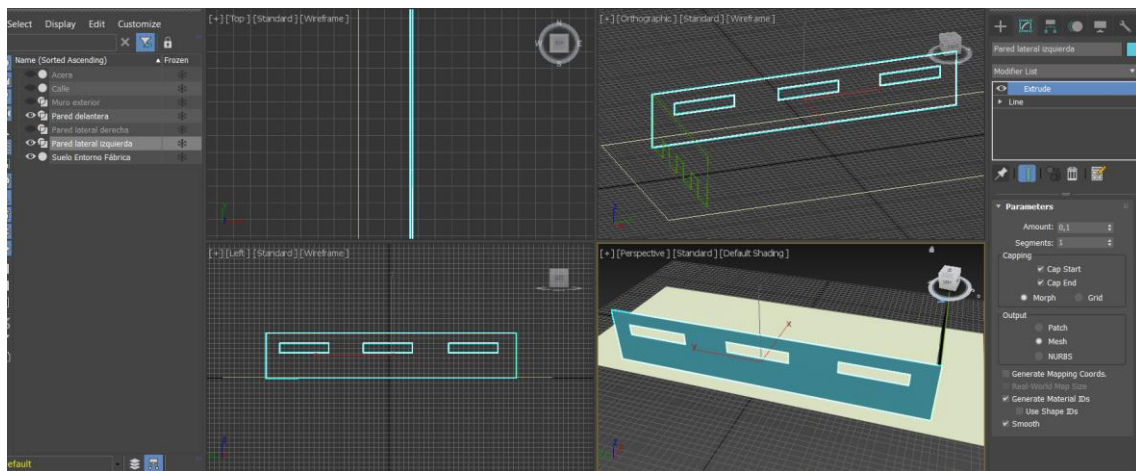


Ilustración 140: Pared con ventanas en 3Ds Max. Elaboración propia.

PARED LATERAL IZQUIERDA

Como la pared con ventanas es similar del otro lado, simplemente se copia el objeto y se mueve posicionándolo en el lugar correcto: cuadrando los vértices con los de la pared frontal por el lado derecho, y se creará una copia totalmente independiente a futuras modificaciones que tomará el nombre de pared lateral izquierda.

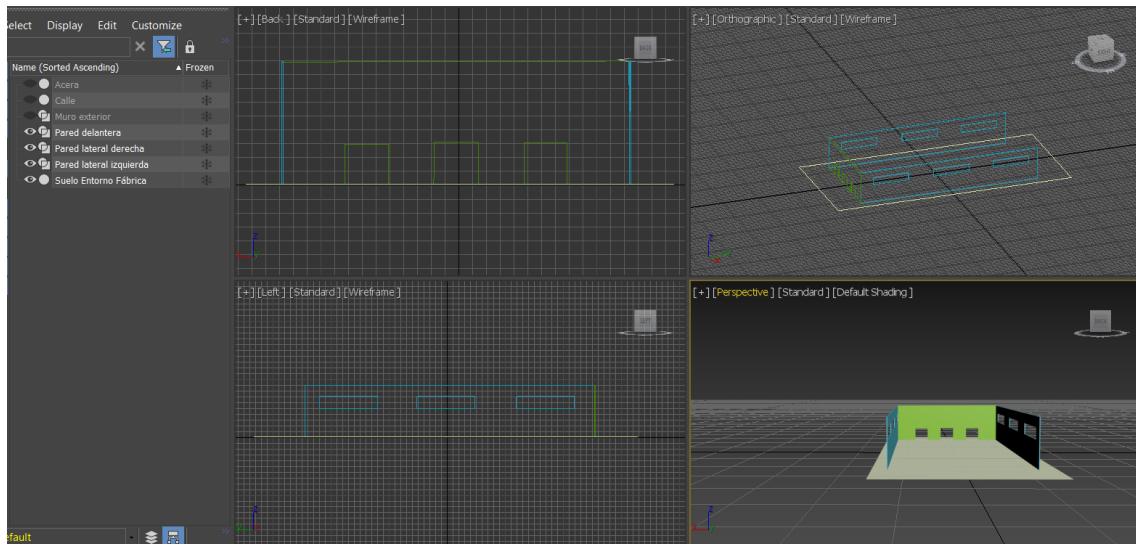


Ilustración 141: Pared lateral izquierda de la nave en 3Ds Max. Elaboración propia.

PARED TRASERA

La pared trasera está creada mediante una línea que, en vez de ser rectangular, dejará un hueco para la otra puerta que tiene la nave, la puerta trasera. De la misma forma que en el modelado de las paredes realizadas, se le aplicará el modificador de extrusión para darle el grosor a la pared, de 0,1m.

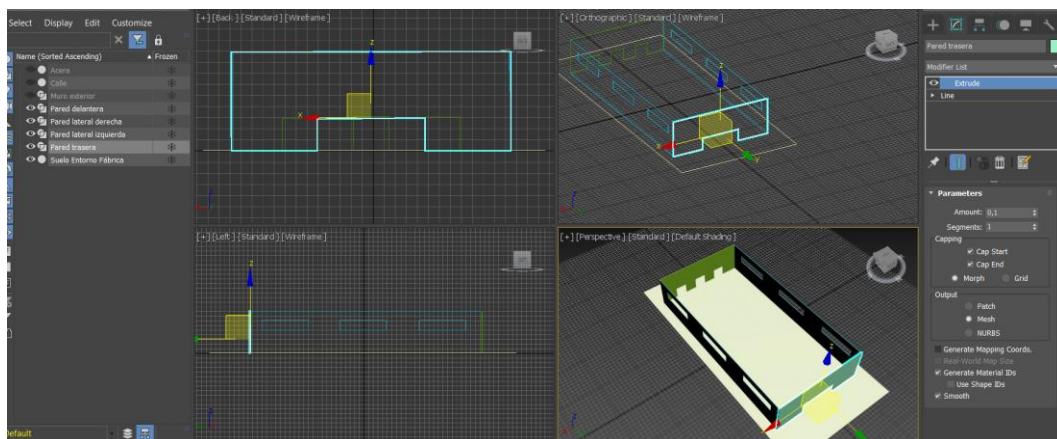


Ilustración 142: Creación de la puerta trasera mediante una línea y extrusión en 3Ds Max. Elaboración propia.

TEJADO

Para crear el tejado se han dibujado dos formas planas: perfiles triangulares situados en el frontal y la trasera de la nave.

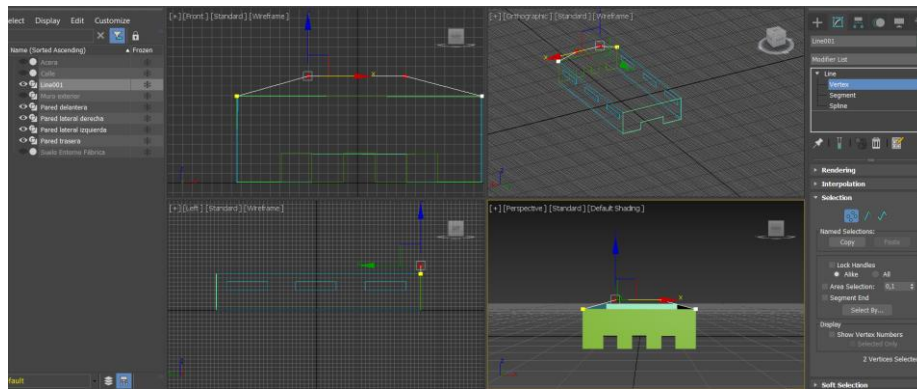


Ilustración 143: Creación del tejado mediante una línea en 3Ds Max. Elaboración propia.

El siguiente paso realizado fue la modificación del parámetro outline para darle un valor de -0,1 y así trazar una paralela a la línea creada.

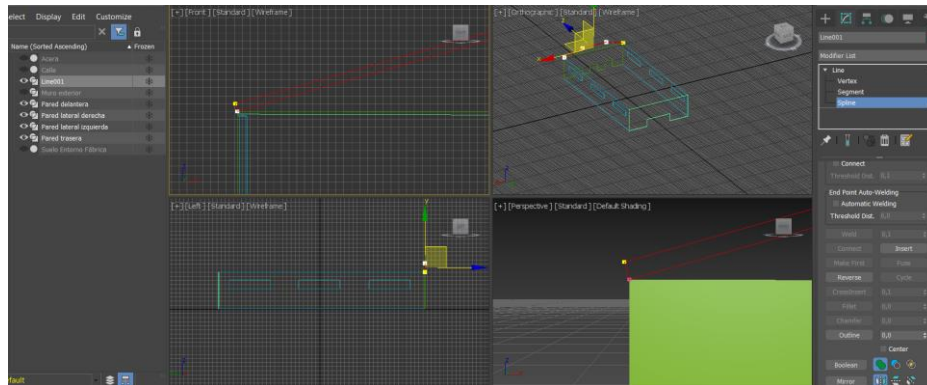


Ilustración 144: Variación del parámetro outline para trazar la paralela al tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.

Al crear esto, vemos en la *Ilustración 144* que los laterales del tejado no están perpendiculares al suelo, por lo que se seleccionan los dos vértices posteriores de los extremos y se mueven.

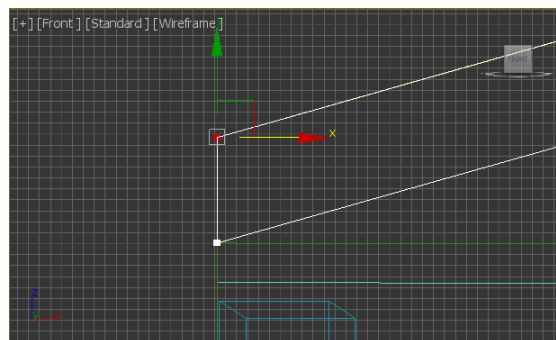


Ilustración 145: Traslado del vértice en 3Ds Max. Elaboración propia.

Para finalizar, se aplicó el modificador extruir con la longitud adecuada, que es de 50 metros, ya que tiene que medir lo mismo que la longitud de la nave. Se puede observar en la *Ilustración 146* que queda un hueco entre las paredes frontales y traseras al tejado.

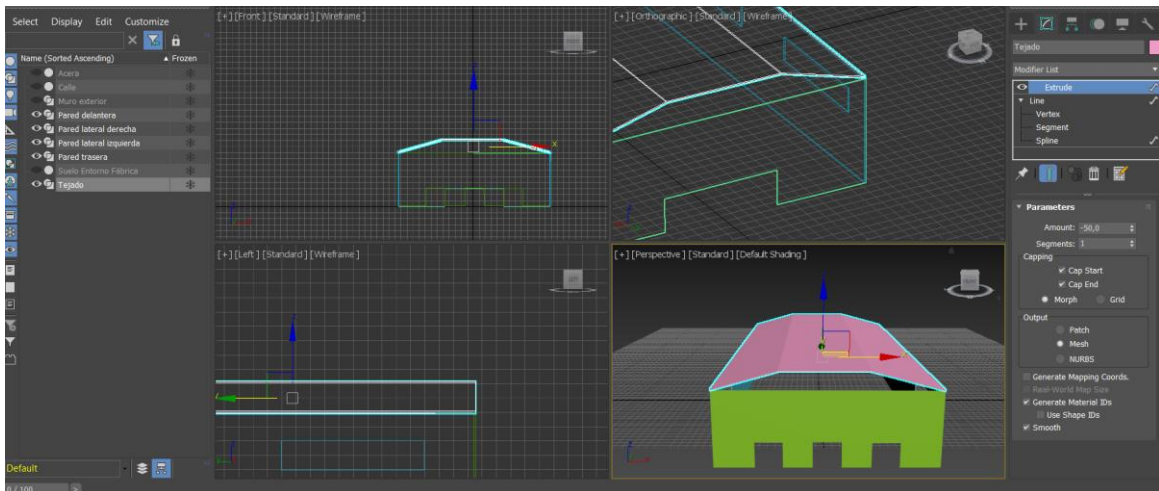


Ilustración 146: modificador de extrusión para la realización del tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.

Para unir las paredes se accede a los vértices de la línea que forma la pared, y se le da a “refine” para crear nuevos vértices, que serán los que se moverán y posicionarán junto a los vértices del tejado, como se puede observar en la *Ilustración 147*.

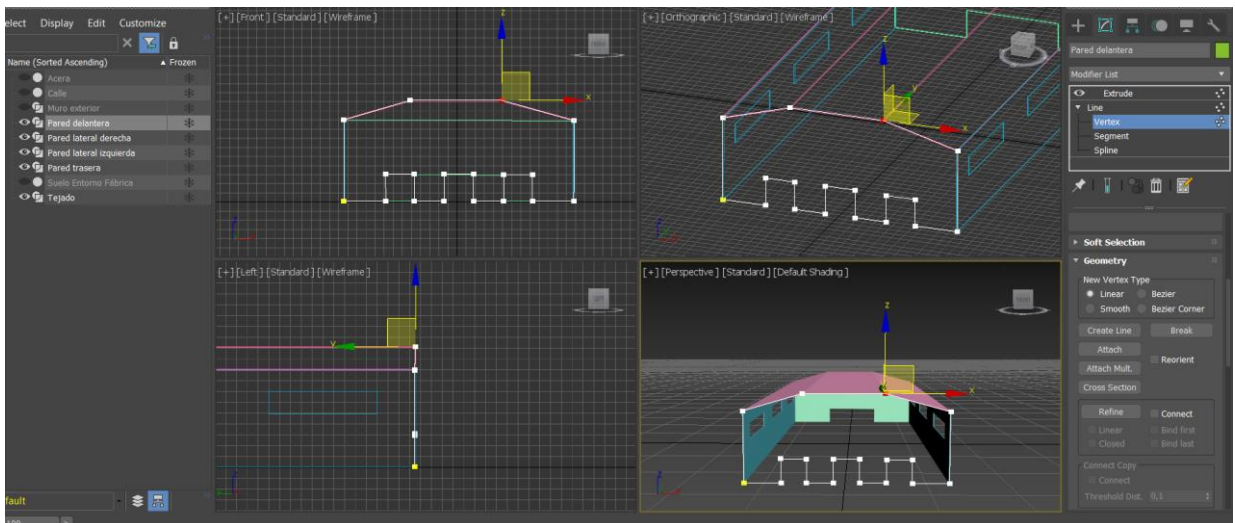


Ilustración 147: Creación y movimiento de los vértices para posicionarlos junto a los vértices del tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento con la pared trasera, y el resultado obtenido es el de la *Ilustración 148*.

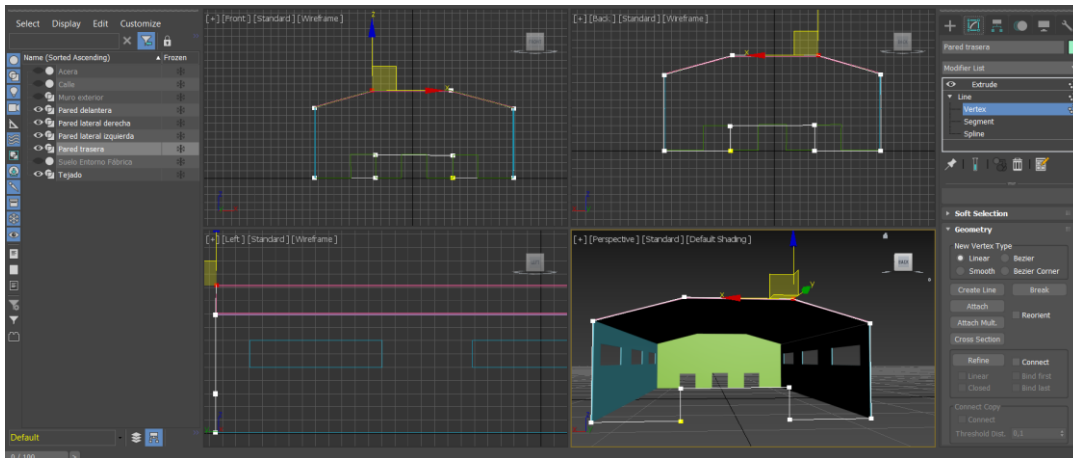


Ilustración 148: 2. Creación y movimiento de los vértices para posicionarlos junto a los vértices del tejado en 3Ds Max. Elaboración propia.

PUERTAS

Las puertas, tanto delanteras (*Ilustración 149*) como traseras (*Ilustración 150*) se modelan mediante cajas, las cuáles se crearán en el espacio de la pared, siendo del mismo grosor.

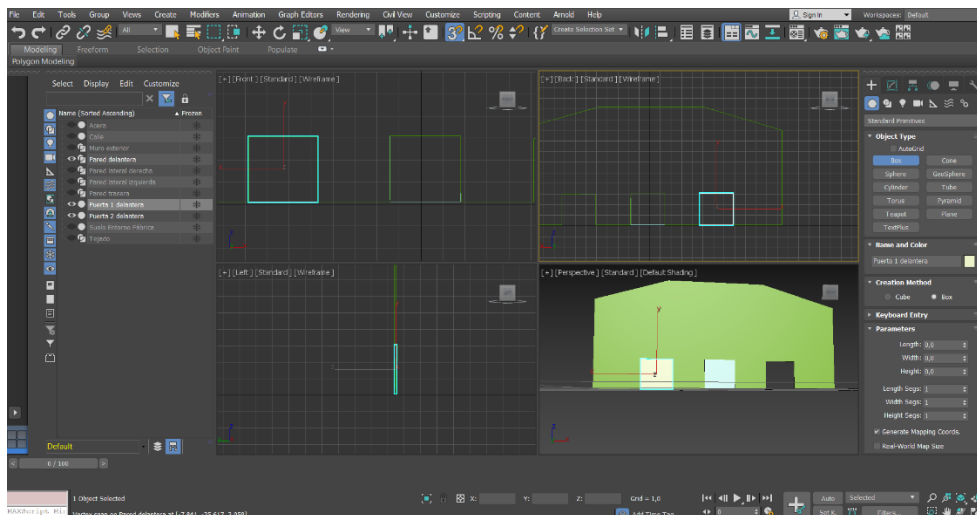


Ilustración 149: Creación de puertas de la pared delantera en 3Ds Max. Elaboración propia.

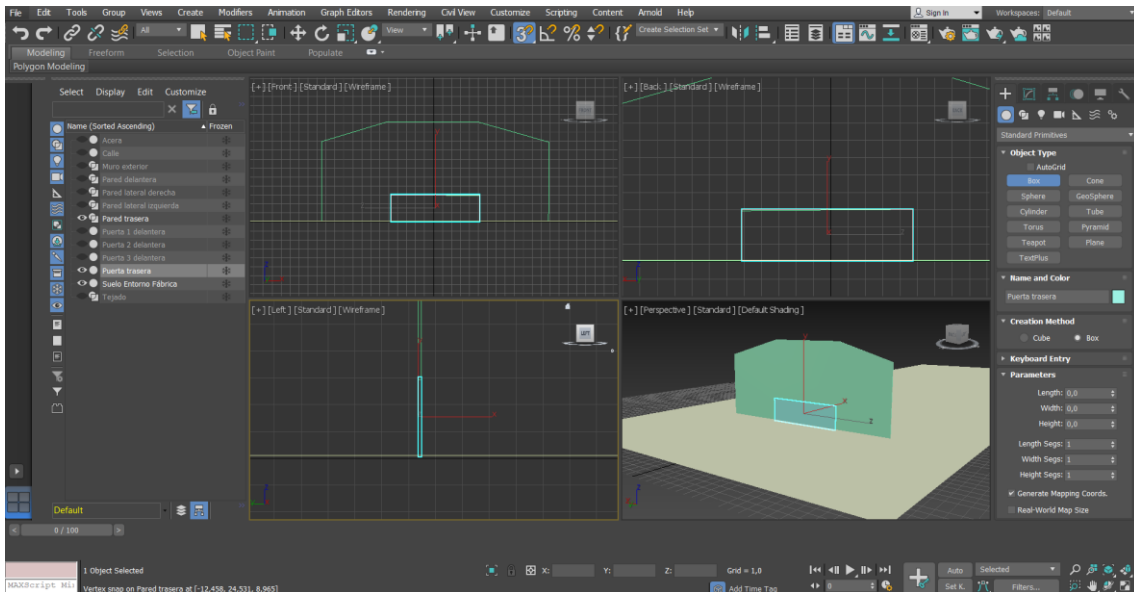


Ilustración 150: Creación de puertas de la pared delantera en 3Ds Max. Elaboración propia.

VENTANAS

Las ventanas están formadas por el marco más los cristales. El marco serán cajas (*Ilustración 151*) y el cristal será un plano (*Ilustración 152*).

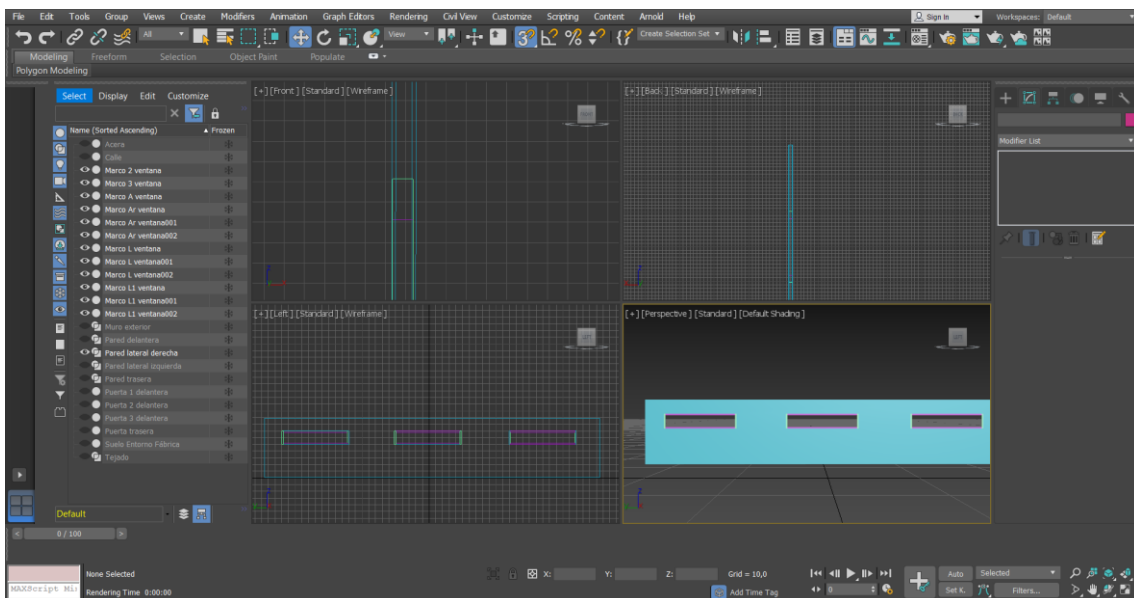


Ilustración 151: Creación de la ventana (marco) en 3Ds Max. Elaboración propia.

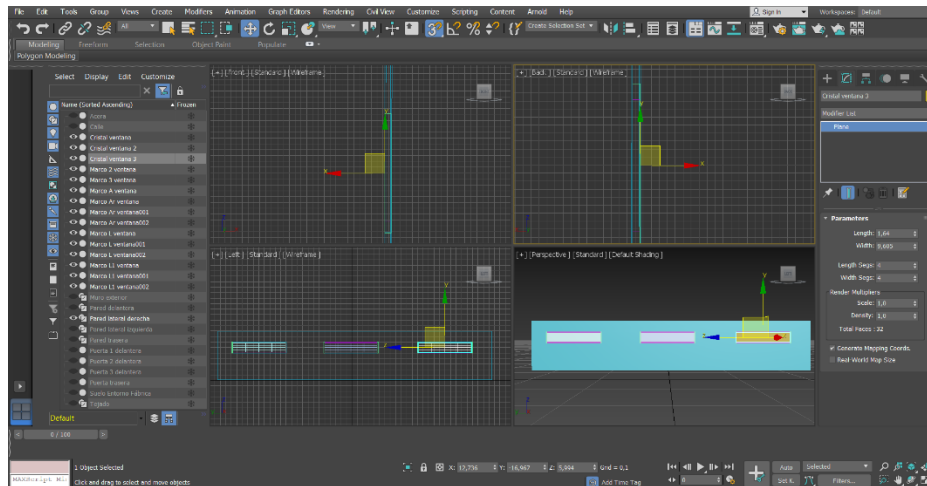


Ilustración 152: Creación de la ventana (cristal) en 3Ds Max. Elaboración propia.

RESULTADO FINAL

La nave va a estar situada en un polígono a las afueras de la ciudad, por lo tanto, estará rodeada de otras fábricas. Si el usuario se posiciona mirando a la puerta principal de la nave y da un giro de 180 grados, verá que cruzando la acera y atravesando la carretera hay otras fábricas. Para realizar estas naves, simplemente se copiará la fábrica ya realizada como base para modelar luego y transformarlas para que sean distintas.

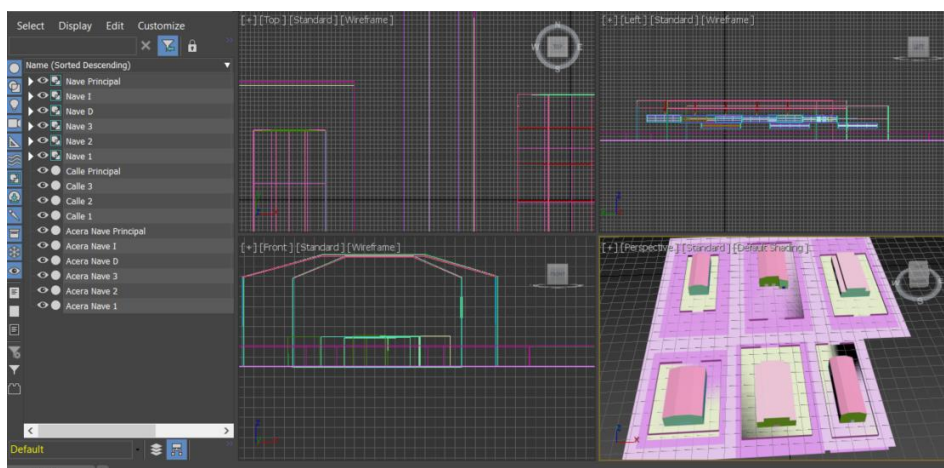


Ilustración 153: Copia de nave para la creación del polígono en 3Ds Max. Elaboración propia.

Además, durante la realización del proyecto se decidió que la fábrica principal tuviera un despacho, con su puerta interior, como el de la *Ilustración 155*. Se tuvo que

modificar la pared principal, alterar y añadir algunos vértices, aplicar modificadores (como edit poly, para convertir a malla poligonal y poder moldear artistas y polígonos).

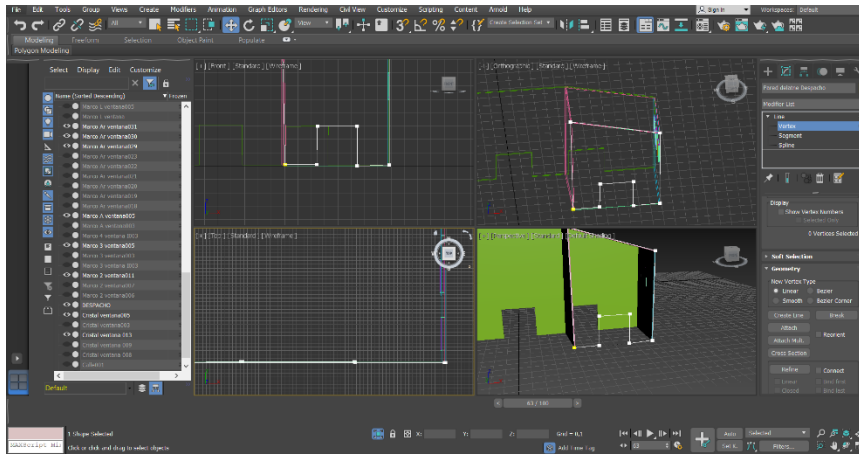


Ilustración 154: Creación del despacho en 3Ds Max. Elaboración propia.

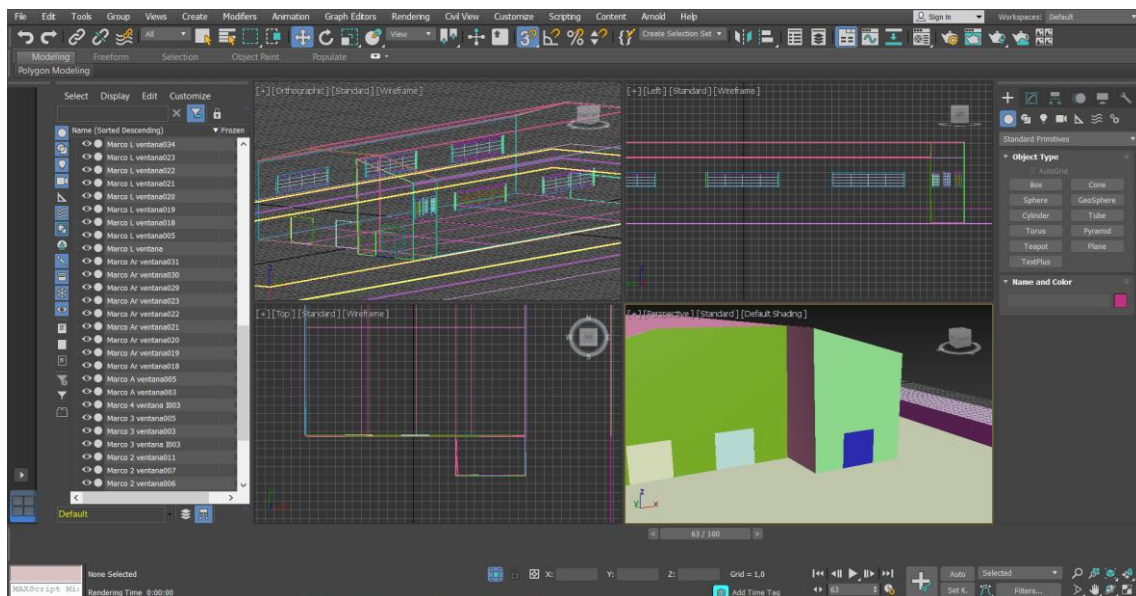


Ilustración 155: Despacho de la nave principal en 3Ds Max. Elaboración propia.

Se modelaron vigas para el interior de esta nave, formadas por cilindros y cajas, y unidas a las paredes y al bordeado del tejado interno.

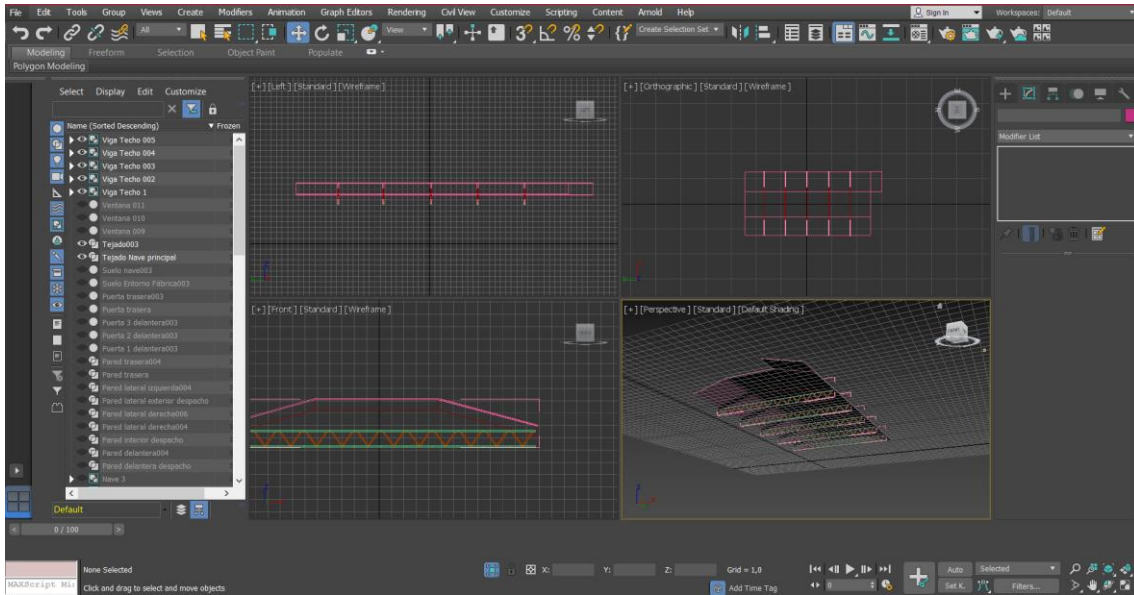


Ilustración 156: Vigas de la nave principal en 3Ds Max. Elaboración propia.

Como conclusión, el modelo “entorno.max” tiene la estructura establecida en el *Gráfico 11*.

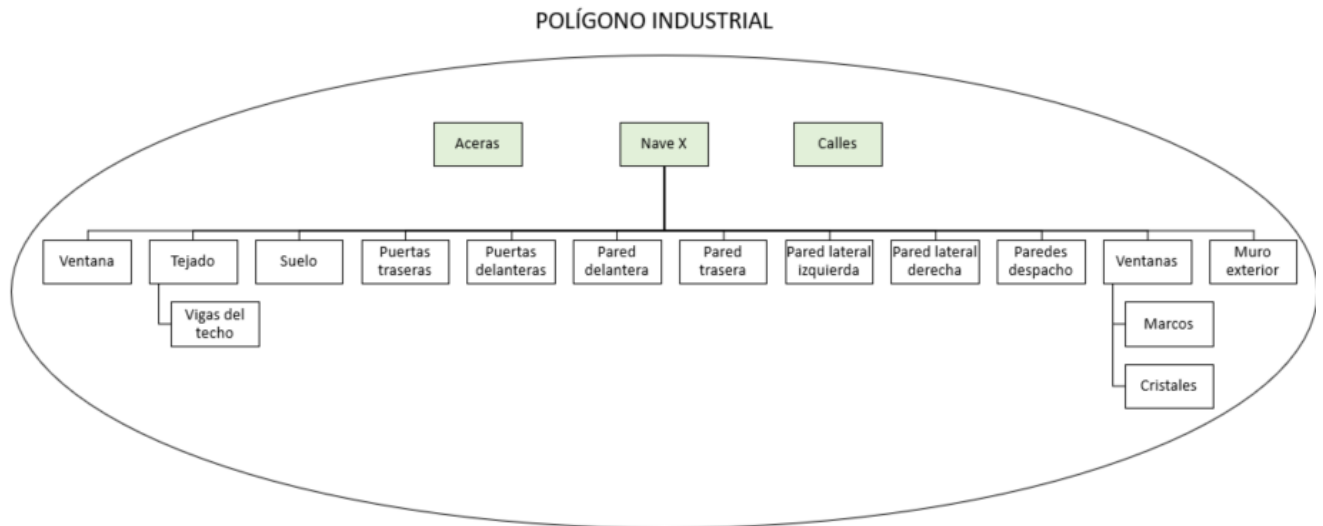


Gráfico 11: Estructura del entorno en 3Ds Max.

6.2. MOTOR DE JUEGO

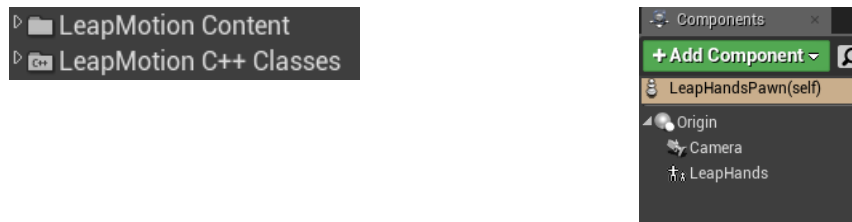
6.2.1. Importación de modelos

Una vez que los modelos de los objetos 3D están realizados y almacenados como archivos FBX (con extensión. fbx), se importarán y cargarán en el motor gráfico de Unreal Engine 4, donde se realizará:

- La implementación de los modelos previamente creados en 3D MAX (al modelarlos en cm, no da problemas la conversión, ya que el sistema de medida interno de Unreal Engine 4.
- La implementación de los assets (extensión .usasset), que es una pieza de contenido de carpetas o subcarpetas para un proyecto de Unreal Engine, es decir, la importación de recursos externos que completan la funcionalidad.
- Iluminación del entorno, que es un punto clave para el realismo.
- Creación de algunos materiales.
- Configurar las entradas o inputs, tanto para el juego en 2D como en el entorno tridimensional.
- Creación de scripts o archivos escritos mediante lenguajes de programación que contienen una serie de comandos para programar los distintos eventos en el juego. Por ejemplo, activar los movimientos de los componentes de la carretilla mencionados en el *Apartado 6.1.1*.
- Creación de menús para el control del juego, mostrar información o salir del programa.
- Implementación del sistema de interacción usuario-conducción virtual mediante el movimiento del jugador (carretilla) y visión en primera, o en ocasiones tercera persona del operador.
- Implementación de archivos generados por otros softwares de apoyo, como los archivos de audio en formato WAV.
- Importación de imágenes tratados en UE4 como texturas para fondos de menús.

Para la realización del seguimiento de manos mediante Leap Motion se ha descargado el programa necesario. En el motor de juego se han importado las carpetas

que contienen las clases necesarias para su utilización, que en este proyecto por blueprints es LeapMotion Content. La estructura de peón de RV es:



6.2.2. Iluminación

La iluminación es uno de los puntos clave para conseguir el realismo de este proyecto. Las luces proporcionadas por el motor de juego UE4 son las luces direccionales o “directional light” (luces emitidas desde una fuente infinitamente lejana, como la luz solar), luces puntuales o “point light” (funcionan como las bombillas del mundo real, emitiendo luz en todas las direcciones desde el filamento de la bombilla), luz puntual o “spot light” (emite luz desde un solo punto en forma de cono) y luz del cielo o “sky light” (captura las partes distantes en el nivel y lo aplica a la escena como una luz. Esto significa que la apariencia del cielo y su iluminación / reflejos coincidirán). En la escena se han ido incorporando las luces del cielo y la luz solar para exteriores, y las luces puntuales para el interior de la nave.

6.2.3. Interacción

Para la realización del proyecto se ha hecho cierto uso y ha servido como guía la plantilla de vehículo proporcionada por el motor de juego. Tras realizar las modificaciones pertinentes y utilizar las características necesarias, se ha obtenido un vehículo completamente funcional que ha sido utilizado en el trabajo.

Para la realización del vehículo se comenzó creando los componentes claves que lo forman en UE4 se puede ver en el *Gráfico 12*, y son: [22]

- Una malla esquelética (Skeletal Mesh).
- Un activo de física (Physic Asset).
- Un plano de animación (Animation blueprint).
- Uno o más planos de rueda (Blueprint).
- Un activo de datos de TireConfig (Tire).

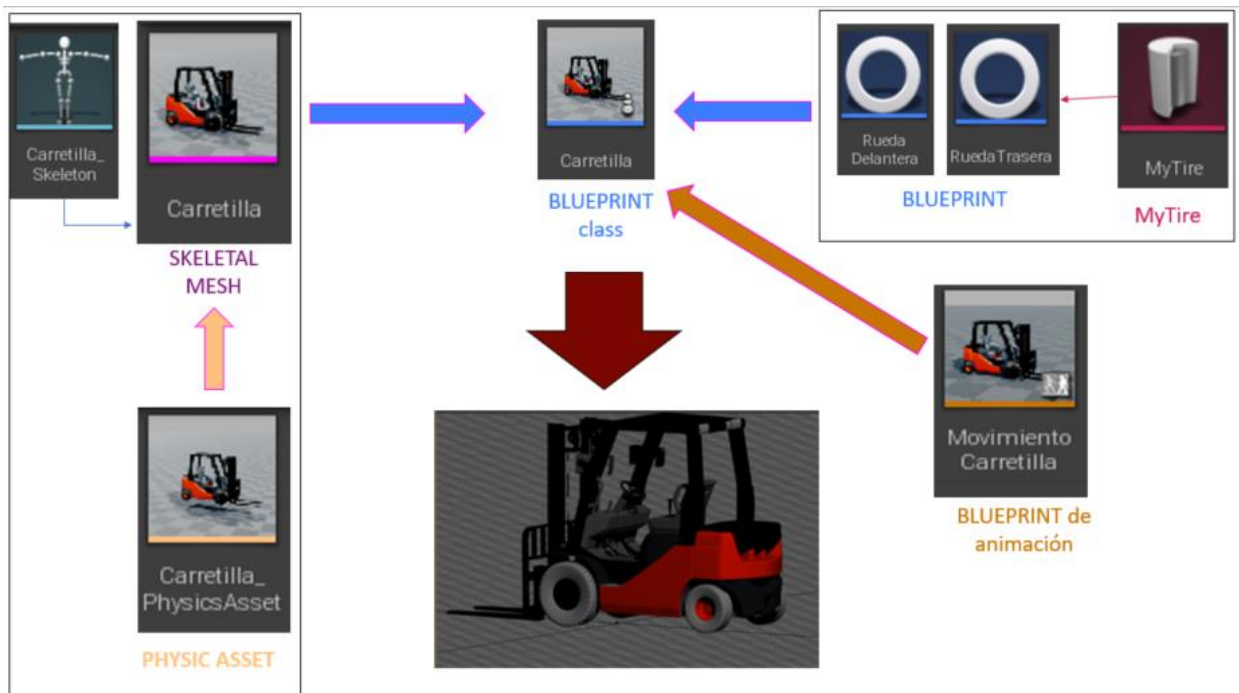


Gráfico 12: Estructura de vehículo UE4. Elaboración propia.

TIRE CONFIG Y PLANO DE RUEDA

El primer paso para la creación del vehículo propio es juntar dos partes para realizar las ruedas del vehículo: el activo de datos TireConfig y la clase de modelo de rueda (alberga propiedades de las ruedas y se asignan los datos de TireConfig).

El archivo de datos TireConfig se usa para controlar la escala de fricción, valor que afecta tanto a la fricción bruta y escala los valores de deslizamiento de la rueda cuando ésta gira. En el proyecto, este archivo contiene el valor de fricción que se muestra en la *Ilustración 157*.

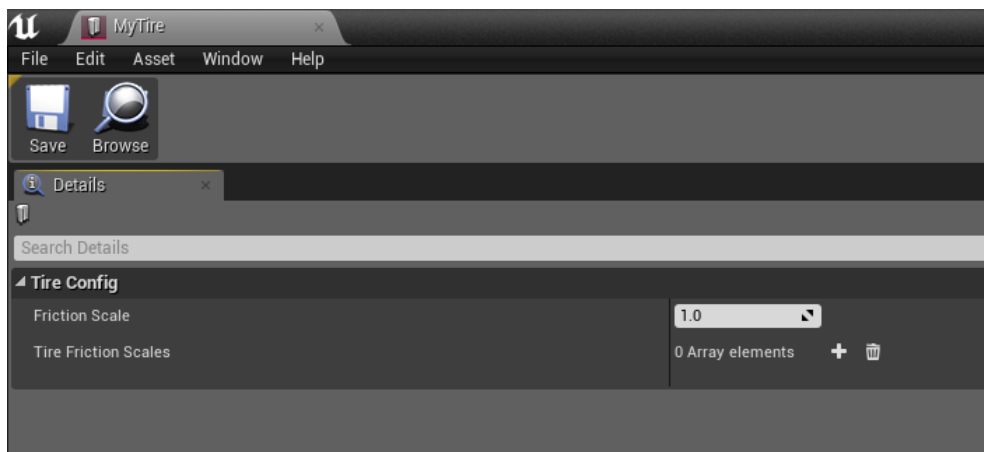


Ilustración 157: MyTireConfig de la carretilla en Unreal Engine 4. Elaboración propia.

Para configurar los planos de rueda hay que tener en cuenta las ruedas directrices y los tamaños entre las ruedas delanteras o traseras, teniendo en cuenta el radio (shape radius), la masa, el ancho, si afecta el freno de mano (affected by handbrake), la suspensión y muchas otras propiedades.

La rueda delantera de la carretilla va a tener menor tamaño que la trasera, no se va a ver afectada por el freno de mano y no tiene ángulo de giro (steer angle), ya que no es directriz. Estos parámetros se pueden ver en la *Ilustración 158*.

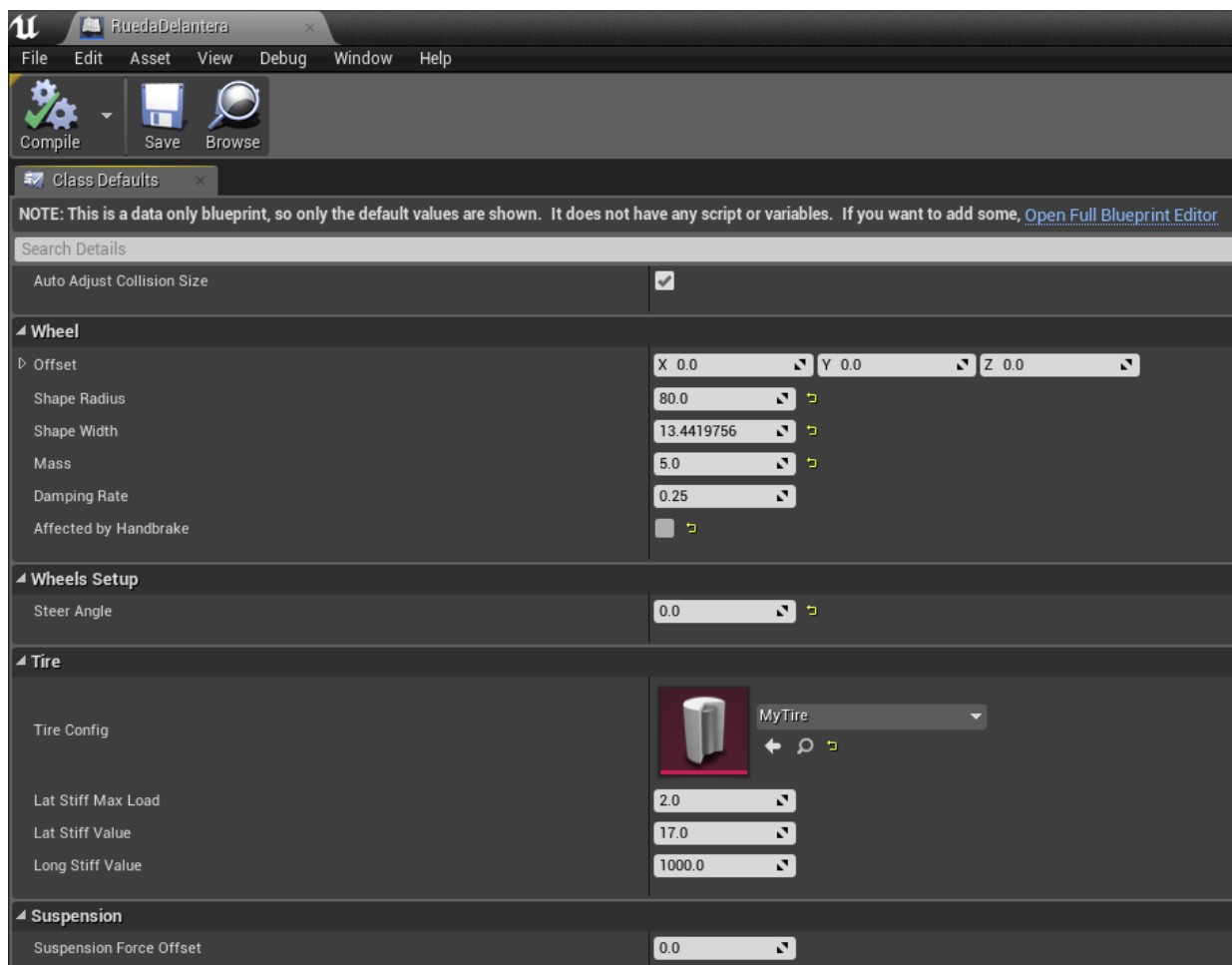


Ilustración 158: Propiedades de la rueda delantera en UE4. Elaboración propia.

Por el contrario, como se puede observar en la *Ilustración 159*, la rueda trasera es de mayor tamaño, le afecta el freno de mano (affected by handbrake) y tiene un ángulo de giro de 45 grados, ya que ambas ruedas traseras forman el eje directriz de la carretilla.

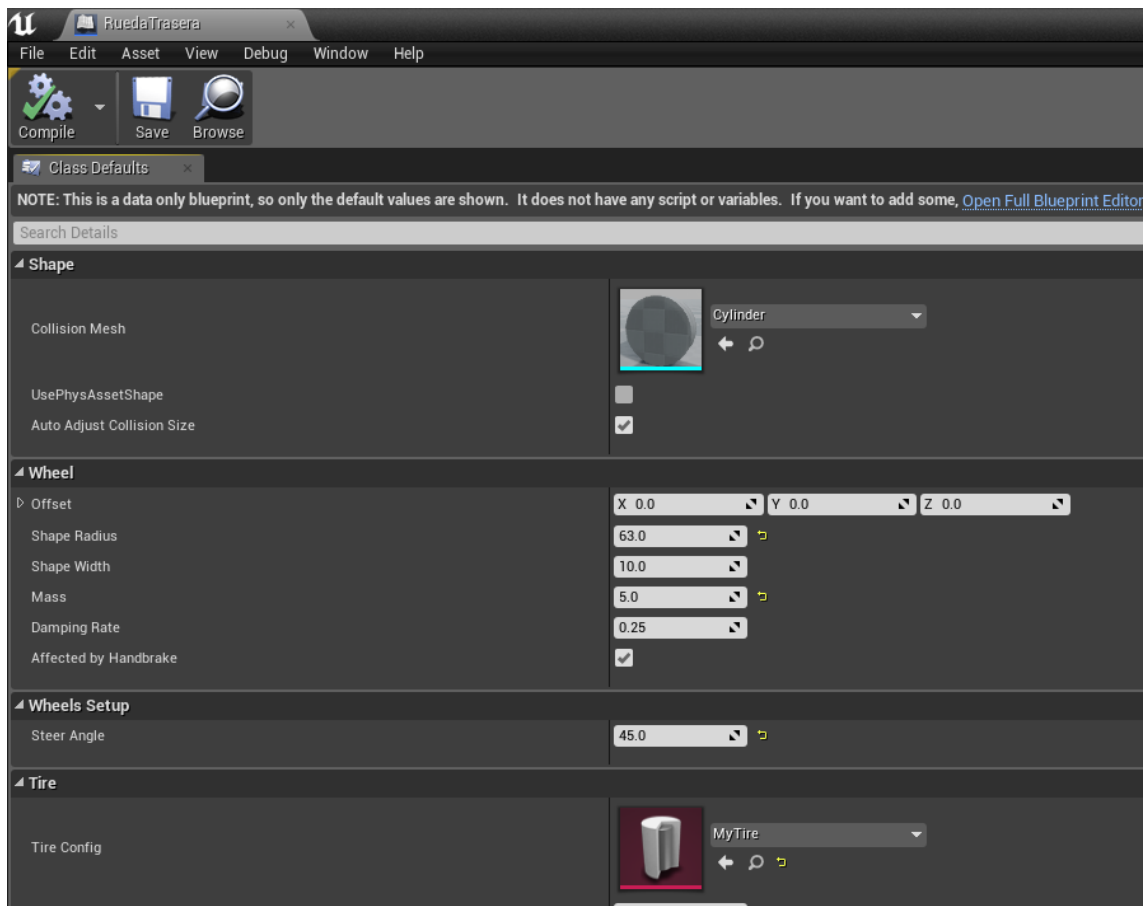


Ilustración 159: Propiedades de la rueda trasera en UE4. Elaboración propia.

SKELETAL MESH

En Unreal Engine 4 las mallas esqueléticas están compuestas por un conjunto de polígonos compuestos que forman la superficie de la malla esquelética, y un conjunto interconectado de huesos que se usan para animar los vértices de los polígonos. En este proyecto, se va a utilizar la malla esquelética para representar a la carretilla (objeto animado), y se va a importar de 3Ds Max. [22]

En la *Ilustración 160* se puede observar la estructura que tiene el objeto carretilla importado de 3Ds Max. Además, como las horquillas (tanto derecha como izquierda) forman parte de un único objeto en 3Ds Max, ha sido necesario crear dos sockets mesh (sirve para adjuntar algo a la malla estática), uno para cada horquilla, para la posterior configuración de colisiones (recoger una carga).

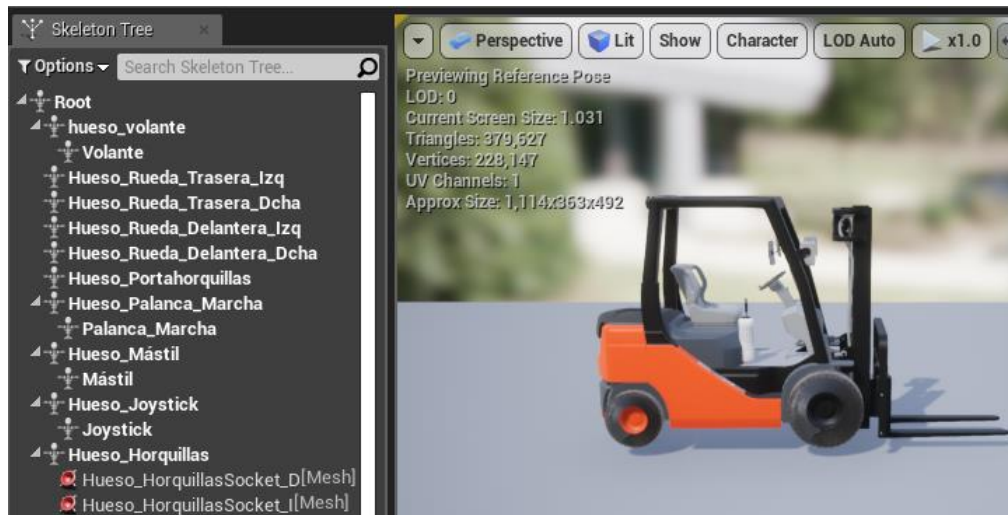


Ilustración 160: Malla esquelética de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

PHYSIC ASSET

A la malla esquelética creada previamente ha sido necesario agregarle un activo de física. Se utiliza para definir las físicas y las colisiones utilizadas para una malla esquelética, y debido a que solo se permite un activo de física para una malla esquelética, se van a poder activar o desactivar para muchos componentes de la carretilla. Las físicas y objetos colisionadores o delimitadores de la malla se observan la *Ilustración 161*.

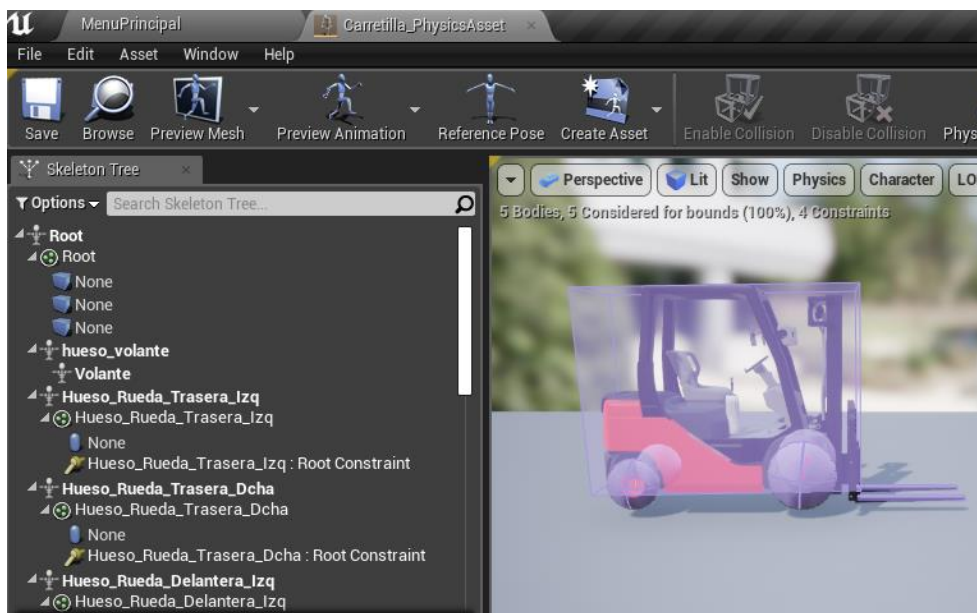


Ilustración 161: Físicas de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

Como se puede observar en la *Ilustración 162*, el hueso Root tiene 3 formas de colisión, una caja para todo el cuerpo de la carretilla, y dos cajas, una para cada horquilla, visto en la *Ilustración 163*.

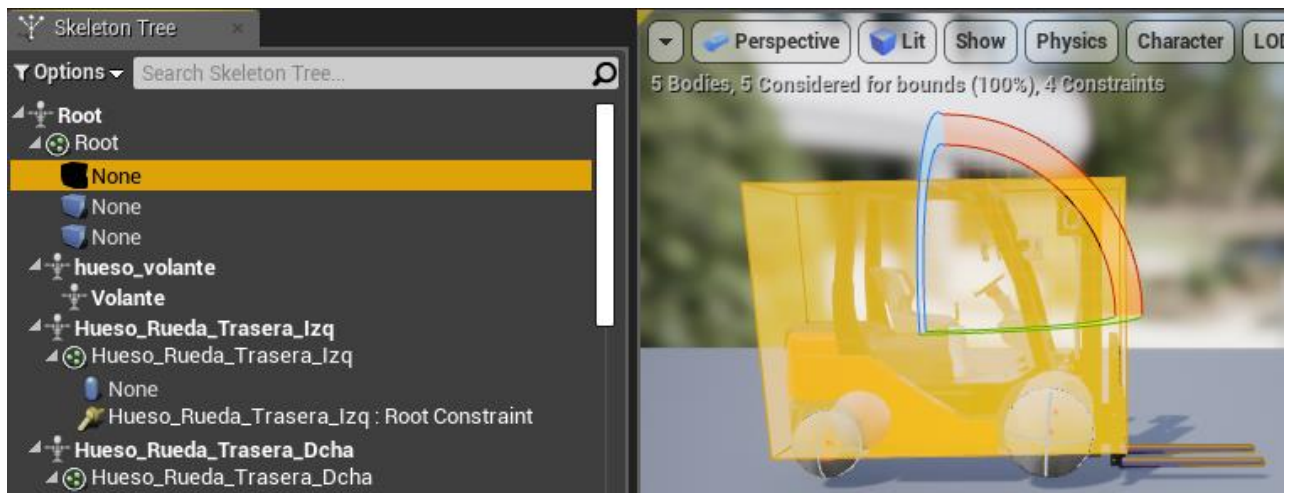


Ilustración 162: Caja de colisión del Root UE4. Elaboración propia.

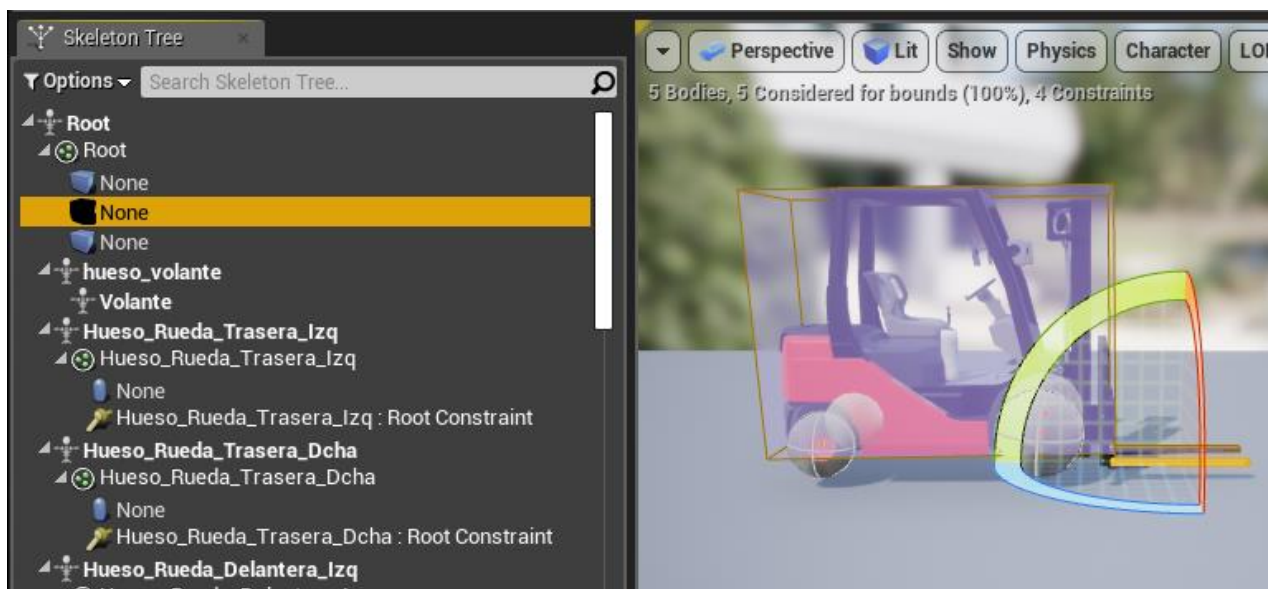


Ilustración 163: Cajas de colisión del Root UE4. Elaboración propia.

Por último, cada una de las cuatro ruedas tendrá una esfera como colisionador, como se puede observar en la *Ilustración 164*.

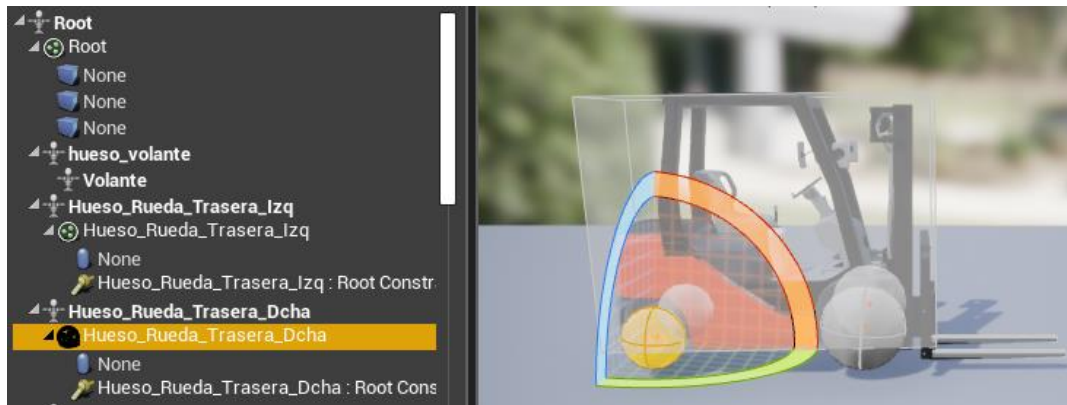


Ilustración 164: Colisionador de la rueda en UE4. Elaboración propia.

ANIMATION BLUEPRINT

En este punto, se continúa preparando el contenido para toda la animación necesaria en la carretilla: las ruedas, el mástil, el portahorquillas, las horquillas, el joystick y el volante. Con este blueprint se puede controlar la animación de la malla esquelética de la carretilla para que tenga neumáticos giratorios, frenos de mano, dirección y cualquier movimiento de los elementos de la carretilla. El gráfico de animación llamado “MovimientoCarretilla” del proyecto se ve de forma global en la *Ilustración 165*, y va a cumplir todos los movimientos recabados de las carretillas actuales en el *Apartado 3.1*.

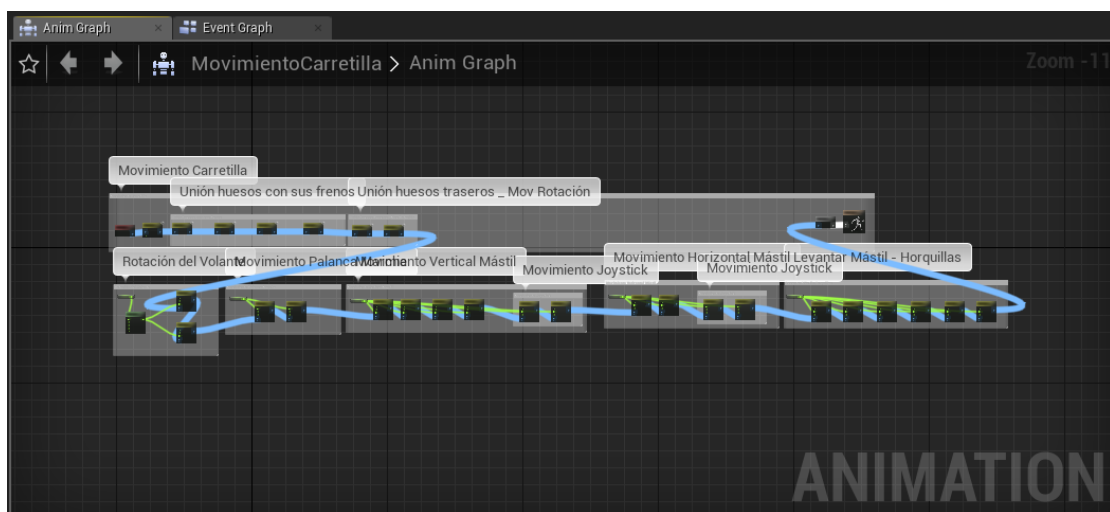


Ilustración 165: Gráfico de animación de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

Se va a ir documentando cada parte para un mejor entendimiento de cada movimiento.


Las ruedas y su animación se controlan mediante el “Wheel handler”, que toma la información necesaria de las ruedas: rapidez de giro, afectada por el freno de mano, ajustes de suspensión, etc. Estos resultados los traduce al hueso con el que está asociada la rueda. Una vez realizado esto se aplica el porcentaje de rotación a las ruedas traseras que son las que dirigen la carretilla (*Ilustración 167*).



Ilustración 166: Nodo controlador de ruedas en UE4. Elaboración propia.



Ilustración 167: Aplicación de un porcentaje de rotación a las ruedas traseras UE4. Elaboración propia.

La rotación del volante se tiene que dar lugar a la vez y en la misma dirección de la rotación de las ruedas. Por ello, lee de una variable (grados rotación) el valor del ángulo que tiene la rueda trasera de la carretilla en ese momento (las 2 ruedas traseras tienen el mismo ángulo), y en función de ese valor, transforman o modifican el hueso del volante dándole una rotación de ese valor en el eje Z, como en la *Ilustración 168*. Hay que añadir que para que la variable se pueda leer, el script donde toma el valor debe tener la variable como pública, que se mostrará con este icono: .

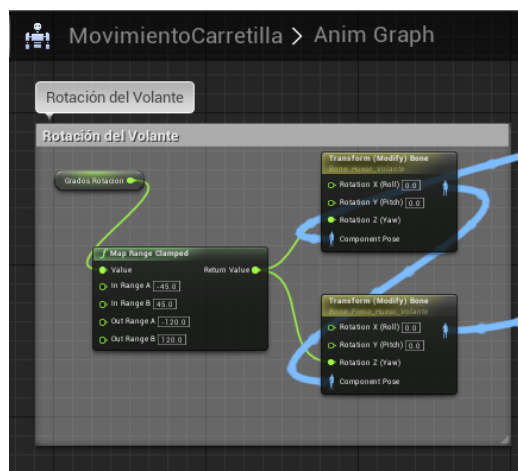


Ilustración 168: Movimiento del volante en función del valor del ángulo de las ruedas traseras en UE4. Elaboración propia.

La palanca de la marcha adelante y marcha atrás funciona de forma similar al volante. Lee de una variable llamada velocidad que contiene la velocidad de la carretilla, y en función del valor transforma el hueso dándole una rotación en el eje X, *Ilustración 169*.

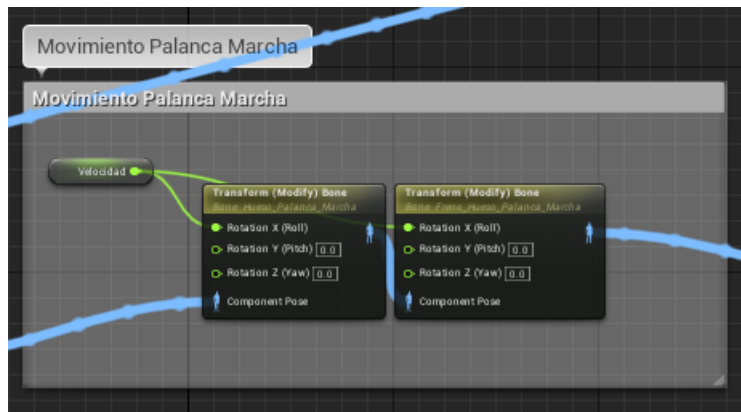


Ilustración 169: Movimiento de la palanca en UE4. Elaboración propia.

El movimiento vertical del mástil lee el valor de la variable mástil y, en función de dicho valor, modifica el hueso del portahorquillas y de las horquillas. En ambos tiene lugar una traslación del valor de la variable en el eje Z, como se puede observar en la *Ilustración 170*. Además, cuando se mueve el mástil verticalmente provoca que se transforme el hueso del joystick con el valor de la variable mástil con una rotación en el eje Y, *Ilustración 171*.



Ilustración 170: Movimiento vertical del mástil en UE4. Elaboración propia.



Ilustración 171: Movimiento joystick tras el movimiento vertical del mástil en UE4.

Elaboración propia.

El movimiento horizontal del mástil tiene lugar cuando la variable (Mástil H) toma valor, transformando el hueso de las horquillas con una translación del valor de la variable (Mástil H) en el eje Y, y una rotación del hueso joystick de ese valor en el eje X (Ilustración 172).

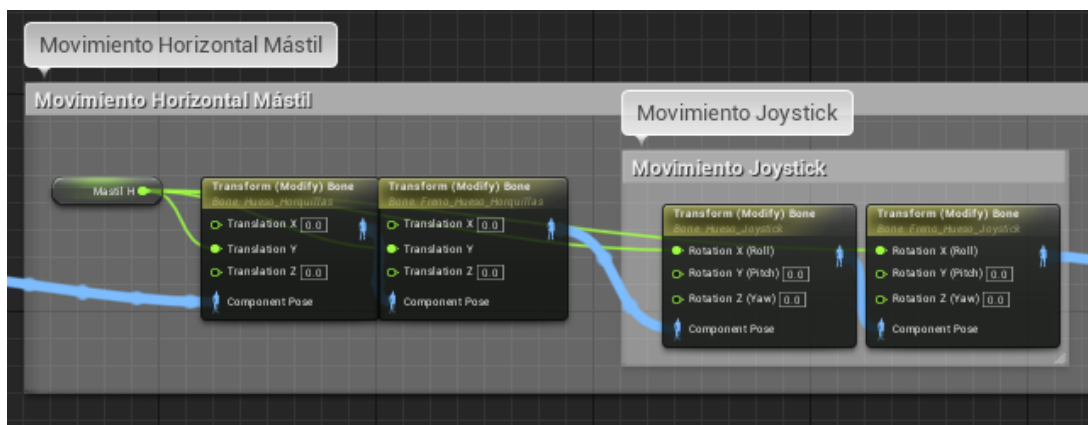


Ilustración 172: Movimiento horizontal del mástil en UE4. Elaboración propia.

El movimiento de levantar mástil tiene lugar cuando tiene valor la variable (Mástil Levantar), en la que se da una rotación de esa cantidad al eje Y del hueso mástil, una rotación al eje Y del hueso portahorquillas y una rotación al eje Y del hueso horquillas.

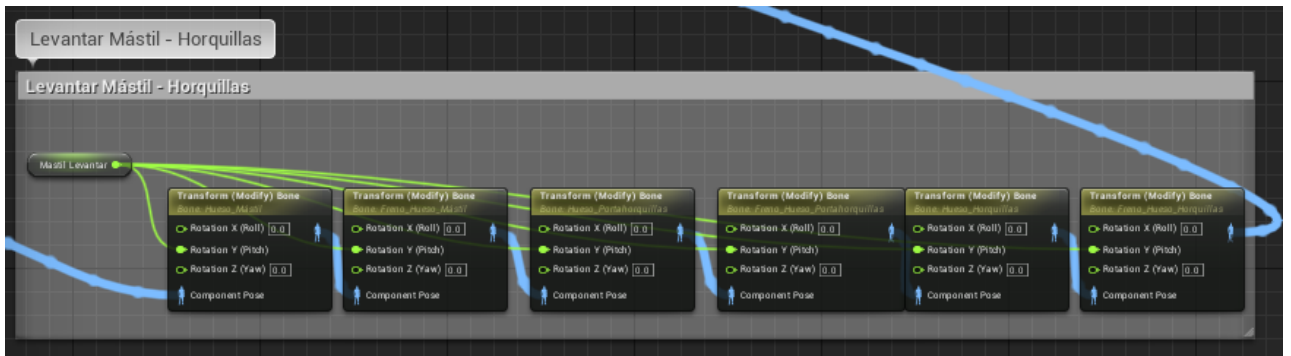


Ilustración 173: Levantamiento del mástil en UE4. Elaboración propia.

De esta manera se configura todo el plano de animación, donde el nodo de conversión de componente a local se creará automáticamente y ahora este plan de animación impulsará las ruedas del vehículo y el resto de los movimientos de la carretilla. Hay que añadir que todas las variables se inicializan con el valor 0 (carretilla parada y huesos y componentes en estado normal).

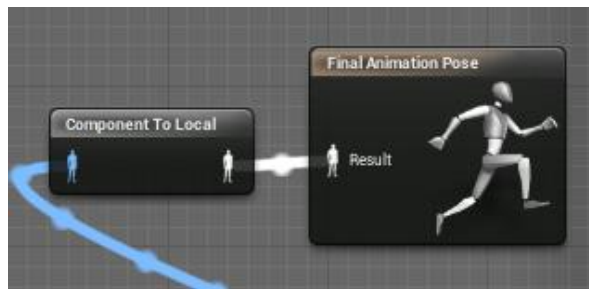


Ilustración 174: Fin del plano de animación UE4. Elaboración propia.

BLUEPRINT CLASS

Para la creación de esta clase se busca dentro de los blueprints los de clase de tipo “wheeledVehicle”. En la *Ilustración 175* se muestra qué componentes tiene este blueprint denominado carretilla y que será el peón del juego. En el componente de malla esquelética (mesh, inherited) se elige la malla de la carretilla creada previamente (skeletal mesh component). Posteriormente se crearon dos cámaras, una que es para ver la carretilla desde distintos ángulos, ya que la cámara está unida a un SpringArm (con el ratón se va desplazando la cámara), y otra que está unida a un componente de la escena, que es el lugar que se va a ver, y es el asiento de la carretilla. Esta cámara no se puede mover y se va a usar sobre todo para cuando se lance la aplicación en tres dimensiones. Por último, se establece la clase generada de blueprint de animación del vehículo (paso previo, con el nombre de “MovimientoCarretilla”), por lo que el peón se moverá según lo programado

en ese blueprint de animación. También ha sido necesario crear un peón para cuando el juego se lance en tres dimensiones, que internamente funcionará como el peón carretilla.

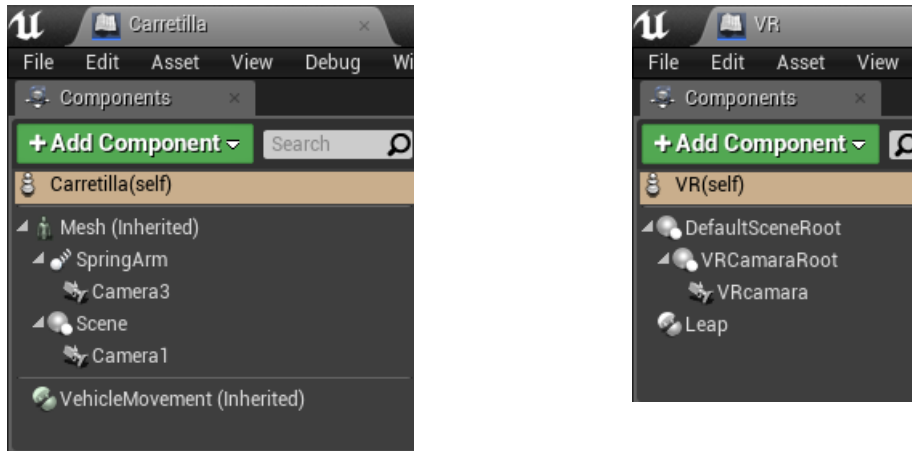


Ilustración 175: Componentes del peón carretilla UE4. Elaboración propia.

Se crearon también dos funciones, llamadas primera persona y tercera persona, que simplemente activaban la cámara en una posición y la desactivaban en otra.



Ilustración 176: Función Tercera persona (vista cámara) en UE4. Elaboración propia.

En el componente de movimiento de la carretilla hay valores importantes, como la velocidad máxima de la carretilla, su masa, anchura y peso del chasis, la inercia, si puede ir marcha atrás, se configuran las ruedas (*Ilustración 177*), indicando la clase de rueda, delantera o trasera, que se creó al iniciar la estructura de la carretilla, el hueso que es y su posición exacta (capturada en 3DS Max), etc.

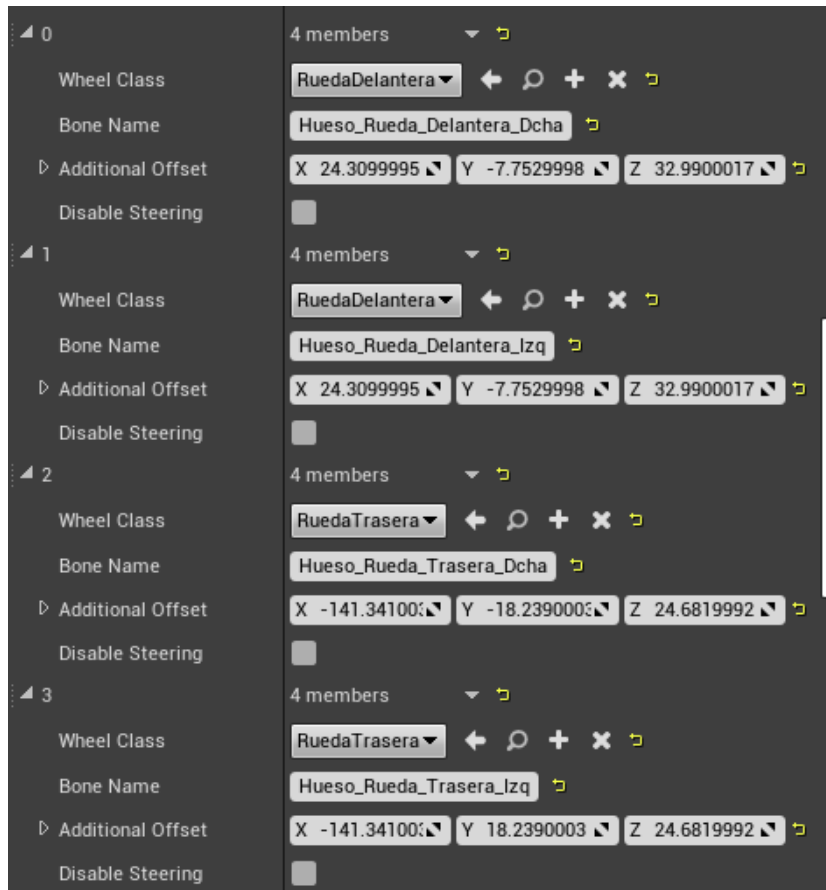


Ilustración 177: Configuración de las ruedas en el movimiento de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

En el panel de detalles de la *Ilustración 178* se ven las variables que tienen importancia en la ejecución de este script y su inicialización en 0.

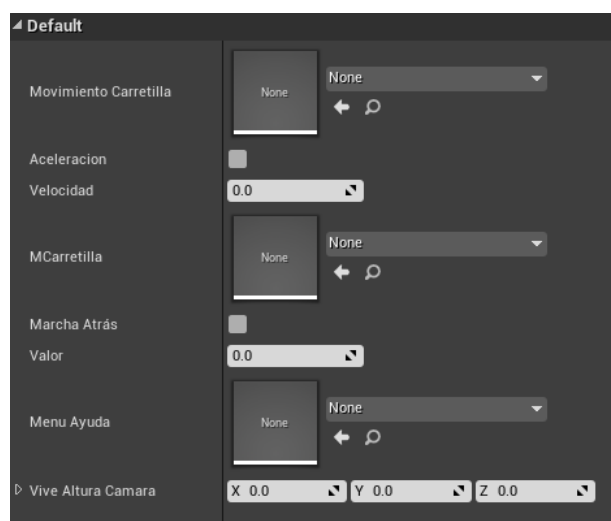


Ilustración 178: Inicialización de variables en el peón carretilla UE4. Elaboración propia.

Por último, el evento de gráficos del peón de la carretilla tiene muchos blueprints, como se puede ver en la vista general capturada en la *Ilustración 177*.

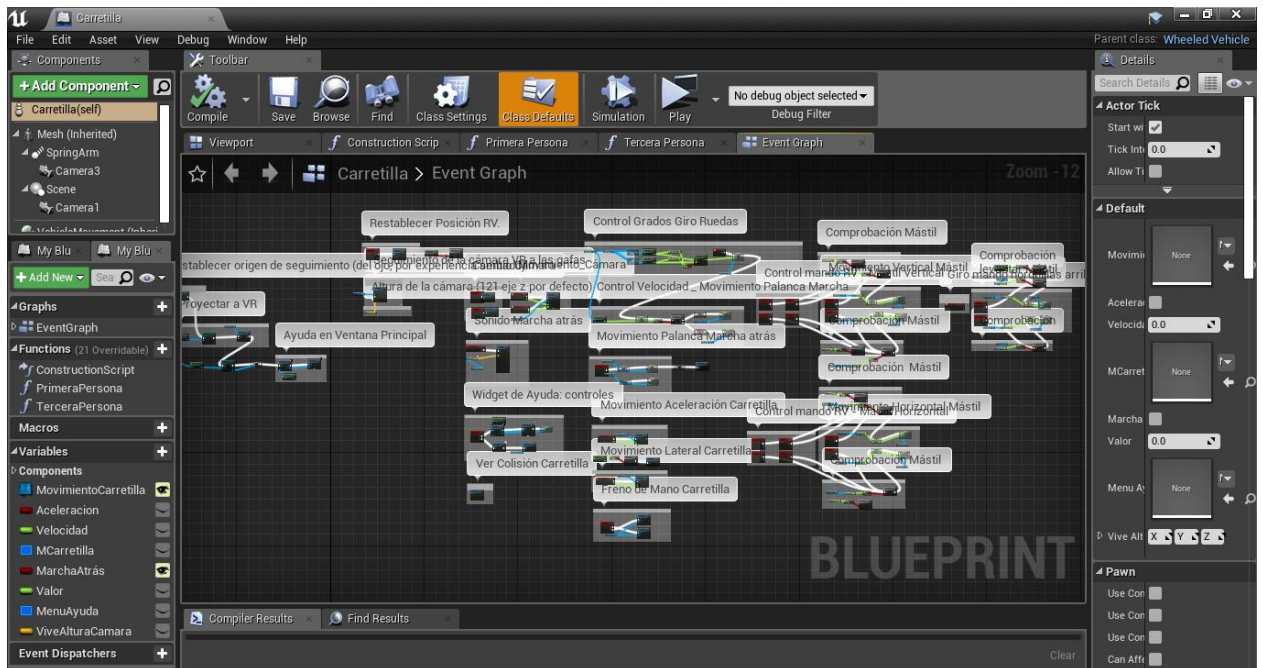
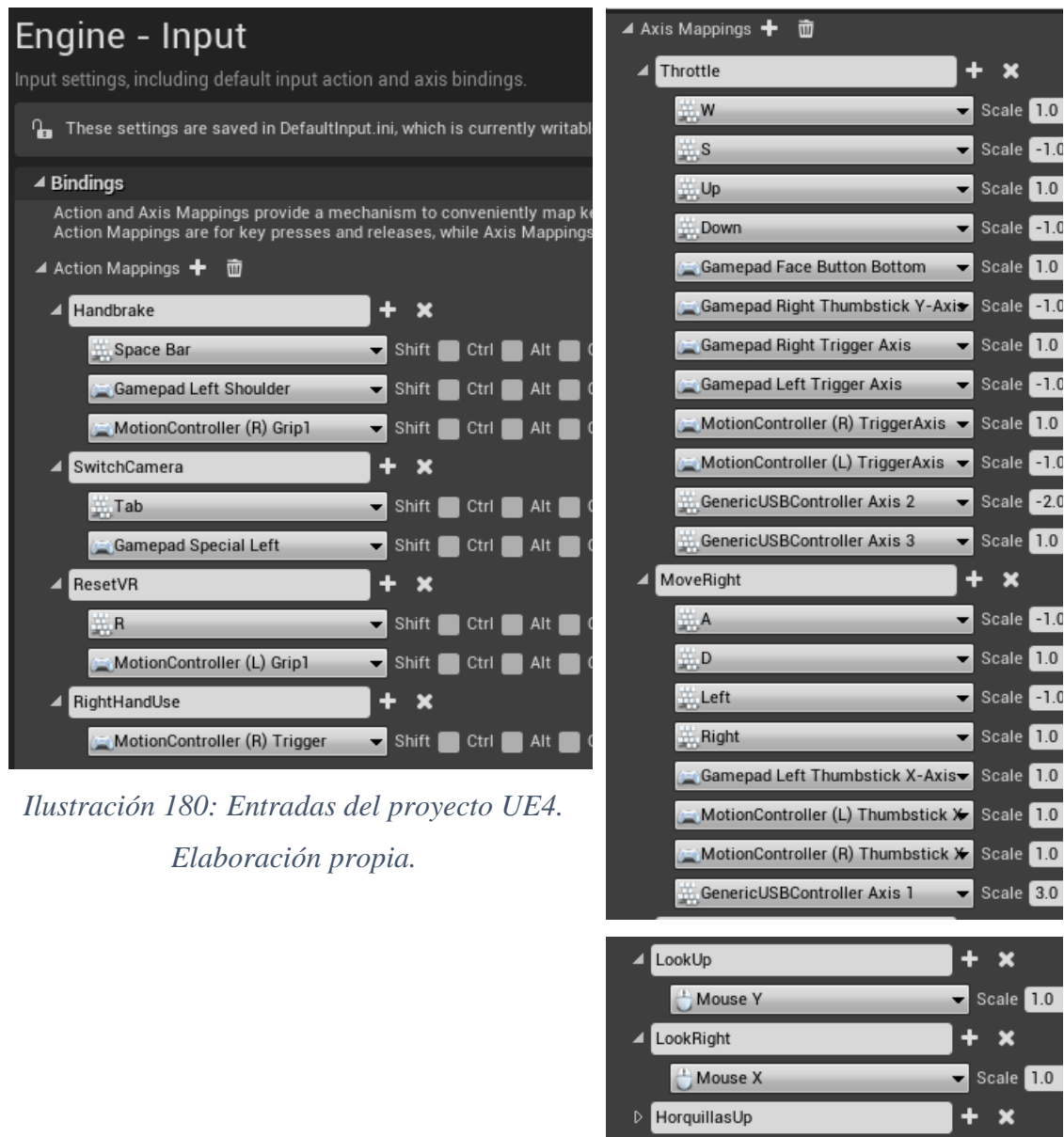


Ilustración 179: Vista general del peón carretilla en UE4. Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN DE LOS CONTROLES

Se configura los distintos métodos de entrada para la interacción, o en 2D, con movimientos de teclado y ratón, o en 3D, con la gafas y controladores.

Se configura el freno de mano, (que será con la barra espaciadora y con el grip del joystick), el cambio de cámara, el reinicio de VR, el movimiento de aceleración, de giro, y así sucesivamente. Se le darán valores negativos o positivos en función de la entrada (negativos a la marcha atrás o al movimiento hacia la izquierda). Como este proyecto es un prototipo, por lo que lo normal es que no sea la versión final o producto, estas entradas pueden ir cambiando a lo largo de las distintas fases de mantenimiento o evolución de la aplicación. Por el momento, las entradas se muestran en la *Ilustración 180*.



*Ilustración 180: Entradas del proyecto UE4.
Elaboración propia.*

GRÁFICO DE EVENTOS

En el documento se van a ir explicando las partes más importantes, y una de ellas es el establecimiento del origen del seguimiento del HMD o gafas de realidad virtual. Como se inicia en el asiento del conductor, será sentado (“origin in eye level”), como se ve en la *Ilustración 179*, y se observa desde la cámara 1 o cámara de primera persona.



Ilustración 181: Establecimiento del origen del seguimiento con HMD en UE4.

Elaboración propia.

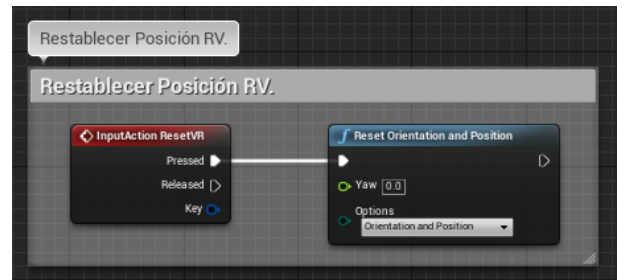


Ilustración 182: Restablecer la posición de las gafas en UE4. Elaboración propia.

Durante todo momento en la pantalla principal, si se pulsa la tecla Y se va a añadir un menú de ayuda, donde se mostrarán los controles.

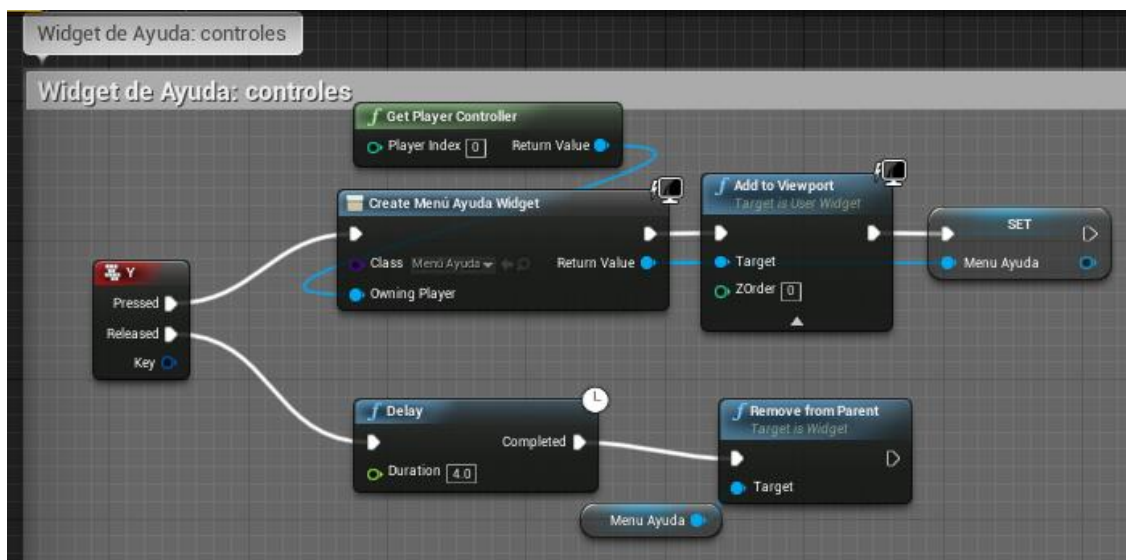


Ilustración 183: Menú de ayuda en UE4. Elaboración propia.

Para el cambio de cámara se pulsán las teclas 1 (cámara en primera persona) o 3 (cámara en tercera persona). Y el movimiento de la cámara en tercera persona varía en función del movimiento del ratón.

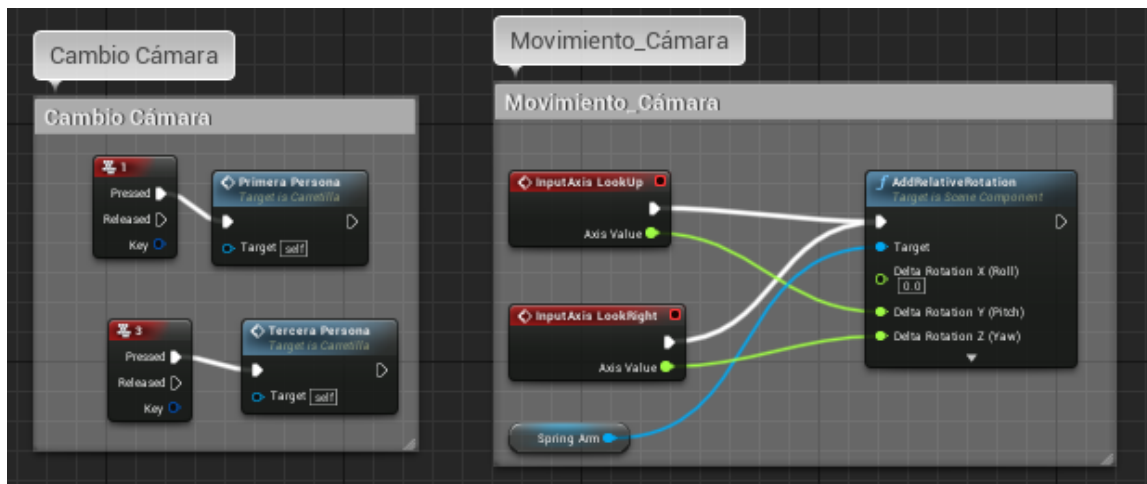


Ilustración 184: Programación cámaras UE4. Elaboración propia.

El movimiento de aceleración de la carretilla se configura como muestra la *Ilustración 185*, y el movimiento lateral o configuración de la dirección como se puede observar en la *Ilustración 186*, y para controlar los grados de giro de las ruedas traseras se establecen las variables de la *Ilustración 188*. Para establecer el freno de mano se realizan los pasos de la *Ilustración 187*.



Ilustración 185: Movimiento de aceleración de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

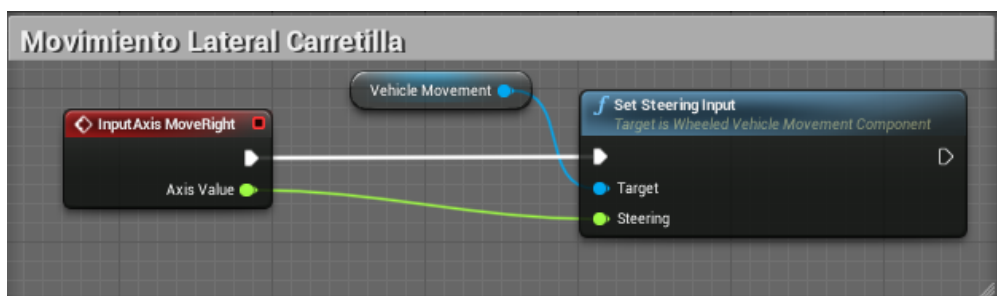


Ilustración 186: Movimiento lateral de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

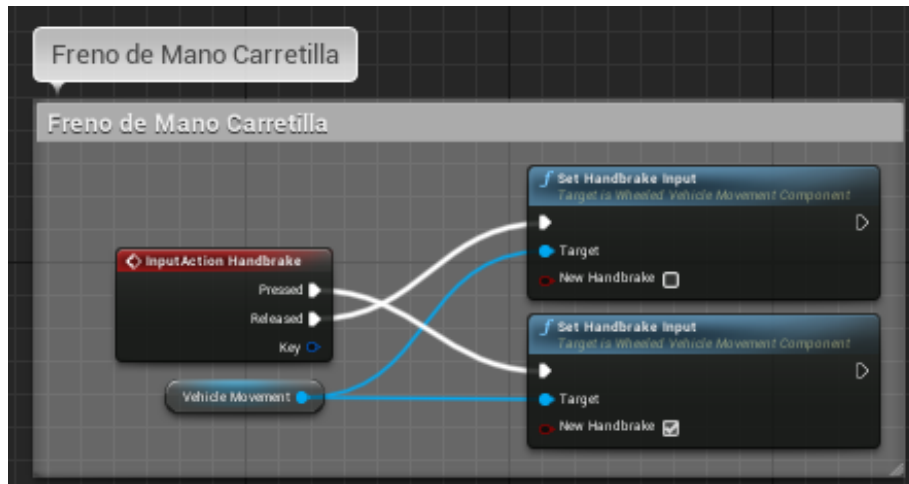


Ilustración 187: Freno de mano de la carretilla en UE4. Elaboración propia.

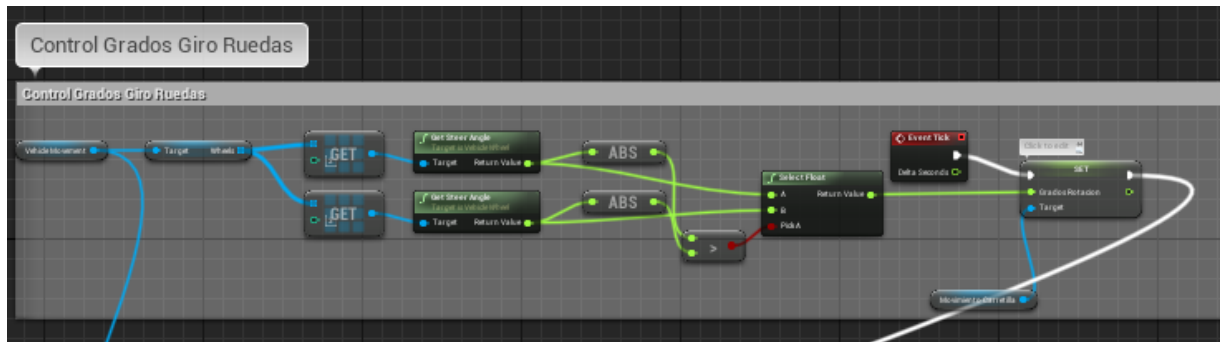


Ilustración 188: Control de grados de giro de las ruedas en UE4. Elaboración propia.

Cuando se pulsa la tecla de bajar e ir marcha atrás, se establece la posición de la carretilla en una velocidad de -45 (valor negativo), y se le da valor positivo a la variable booleana marcha atrás y se llama al evento “Sonido Marcha Atrás” (Ilustración 184).

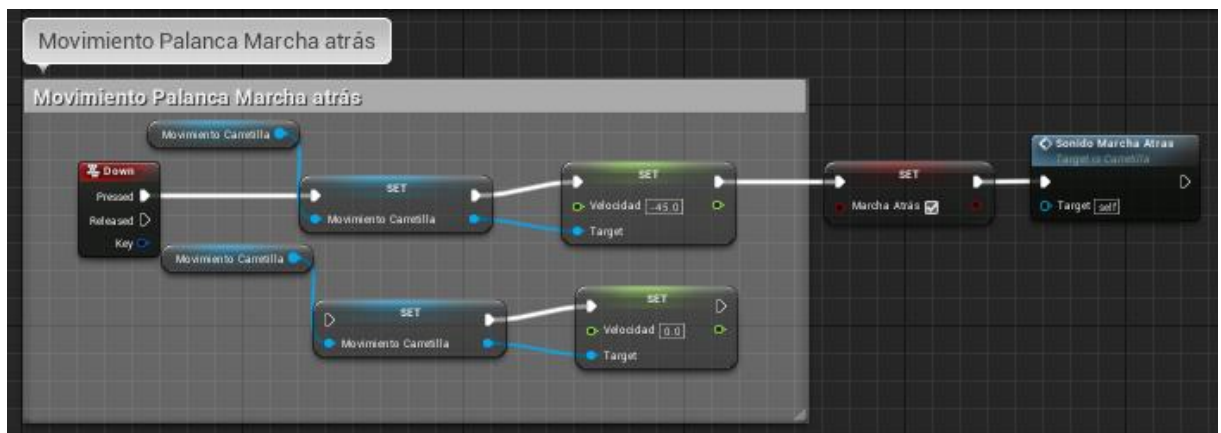


Ilustración 189: Marcha atrás carretilla UE4. Elaboración propia.

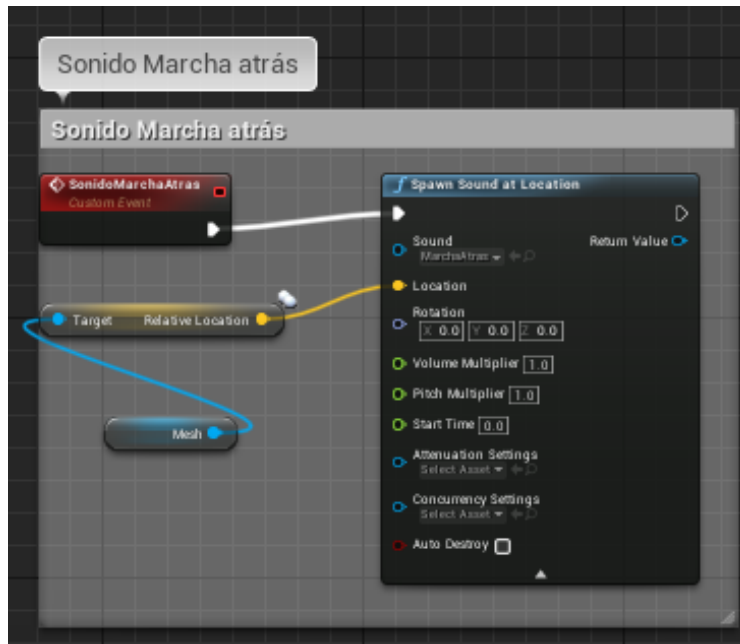


Ilustración 190: Sonido marcha atrás UE4. Elaboración propia.

Por último, se muestran los eventos que dan lugar a los movimientos de los distintos componentes de la carretilla.

Para el movimiento vertical del mástil se usan como entradas las teclas M y N del teclado y la posición del joystick en RV, y la secuencia de ejecución es la siguiente: si la entrada es la tecla N o el joystick se inclina hacia delante, sube y aumenta en uno la variable mástil cuando se le dé la entrada de subir y el valor de la variable mástil es menor que 150. Si no supera la condición, entonces no sube más el mástil (Ilustración 191).

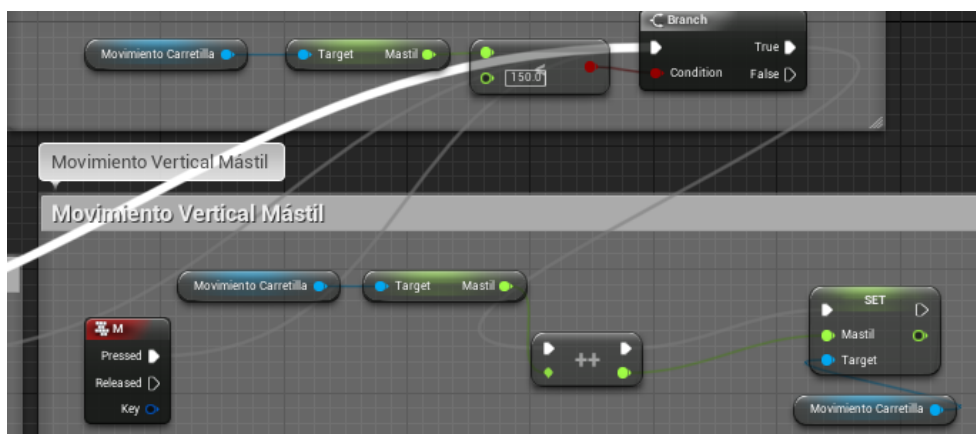


Ilustración 191: Subir el mástil verticalmente en UE4. Elaboración propia.

Por el contrario, si la tecla es N o se inclina el joystick hacia atrás, baja y disminuye en uno la variable mástil cuando se le dé la entrada de bajar y el valor de la

variable mástil es mayor que 0. Si no supera la condición, entonces no baja más el mástil (*Ilustración 192*).

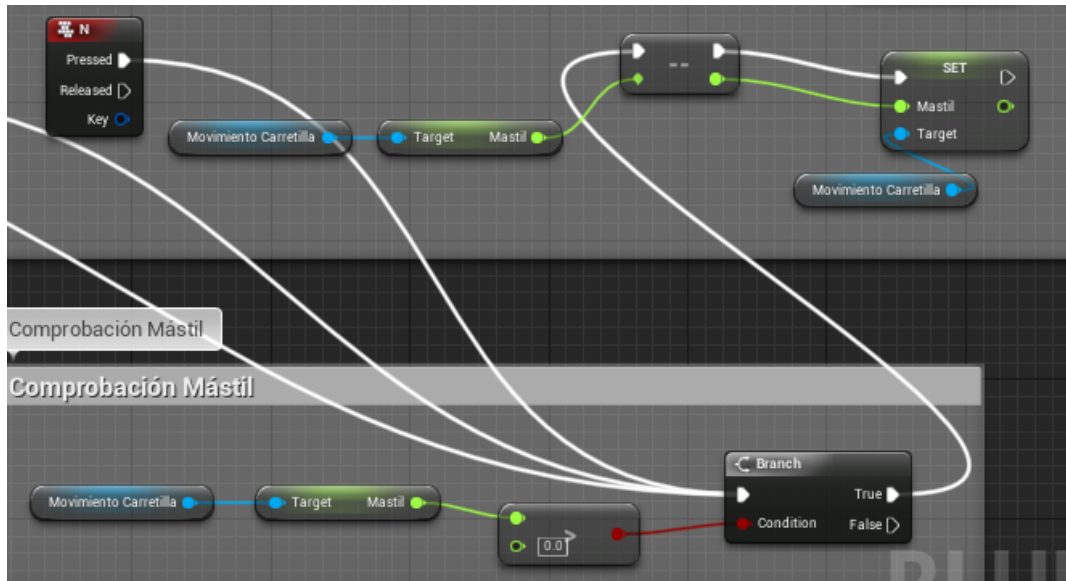


Ilustración 192: Bajar el mástil verticalmente en UE4. Elaboración propia.

Para el movimiento horizontal del mástil se usan como entradas las teclas K y J del teclado y la posición del joystick en RV, y la secuencia de ejecución es la siguiente: se desplaza hacia la derecha y aumenta en uno la variable “mástil H” cuando se le dé la entrada de desplazar hacia la derecha (tecla K o movimiento del joystick hacia la derecha) y el valor de la variable mástil es menor que 22. Si no supera la condición, entonces no se desplaza (*Ilustración 193*).

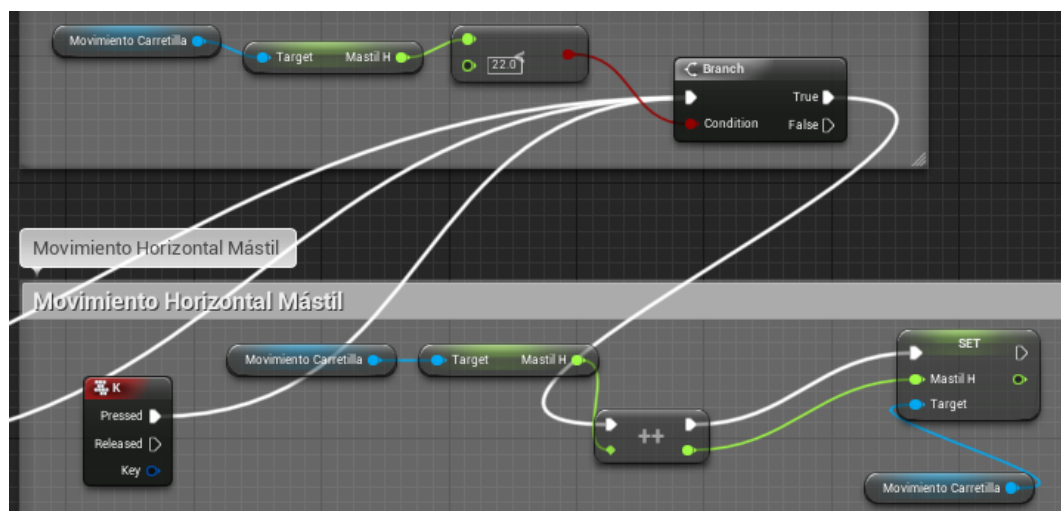


Ilustración 193: Movimiento lateral hacia la derecha del mástil en UE4. Elaboración propia.

Por el contrario, si la tecla es J o se inclina el joystick hacia la izquierda, baja y disminuye en uno la variable “mástil H” cuando se le dé la entrada de desplazar hacia la izquierda y el valor de la variable mástil es mayor que -22. Si no supera la condición, entonces no baja más el mástil (*Ilustración 194*).

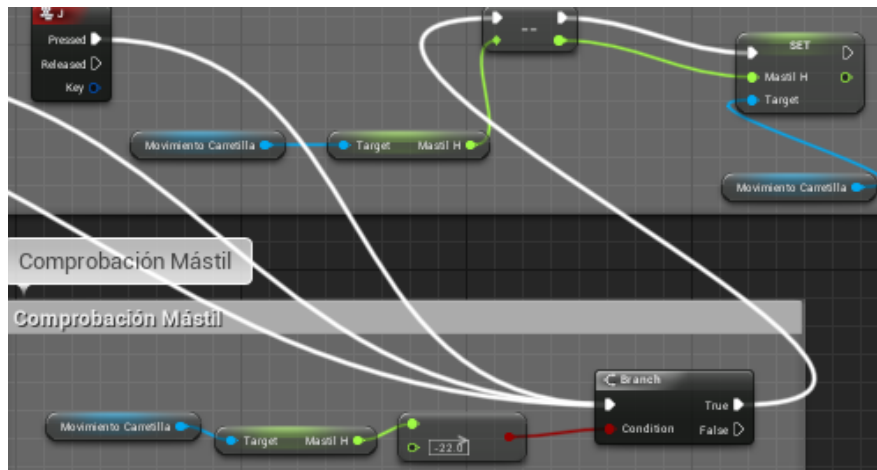


Ilustración 194: Movimiento lateral hacia la izquierda del mástil en UE4. Elaboración propia.

Para la inclinación del mástil y de las horquillas se usan como entradas las teclas H y U del teclado y la posición del joystick en RV junto con la presión de la tecla posterior del joystick, y la secuencia de ejecución es la siguiente: se desplaza inclina hacia arriba y aumenta en uno la variable “mástil levantar” cuando se le dé la entrada de inclinar hacia arriba (tecla H o movimiento del joystick hacia adelante) y el valor de la variable mástil levantar es menor que 10. Si no supera la condición, entonces no se inclina (*Ilustración 195*).

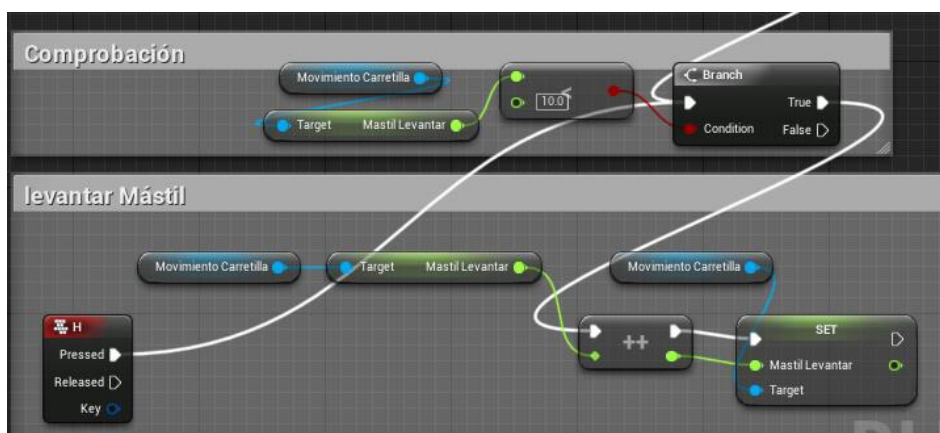


Ilustración 195: Levantamiento e inclinación hacia arriba del mástil y horquillas en UE4. Elaboración propia.

Por el contrario, si la tecla es U o se inclina el joystick hacia atrás, se inclina hacia adelante y disminuye en uno la variable “mástil Levantar” cuando se le dé la entrada y el valor de la variable “mástil levantar” es mayor que 0. Si no supera la condición, entonces no baja más el mástil (*Ilustración 196*).

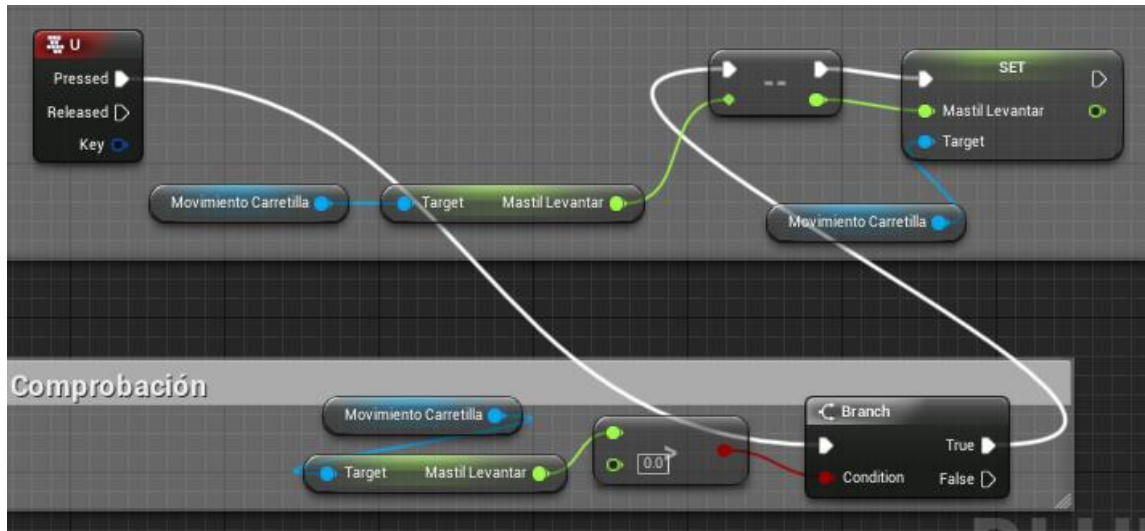


Ilustración 196: Levantamiento e inclinación hacia atrás del mástil y horquillas en UE4. Elaboración propia.

6.2.4. Tipos de entrenamiento

Se han creado tres niveles (level), uno para cada tipo de entrenamiento. En el proyecto también hay otro nivel llamado Menú Principal que contiene un menú de elección de estos entrenamientos y la opción de salir de la aplicación.



Gráfico 13: Niveles para cada tipo de entrenamiento.

CONOCIMIENTO BÁSICO

Como se mencionó en el *Apartado 5.1* este nivel consiste en un tutorial para conocer la carretilla, sus componentes y su funcionamiento. El blueprint o programación del nivel visto en la *Ilustración 197* contiene órdenes para quitar movimiento a la carretilla (ya que es un tutorial y no hay conducción), se activa el ratón para poder dar a siguiente a los botones o el joystick en RV, y se añade un widget en el nivel que es de tipo “ConocimientoB”.

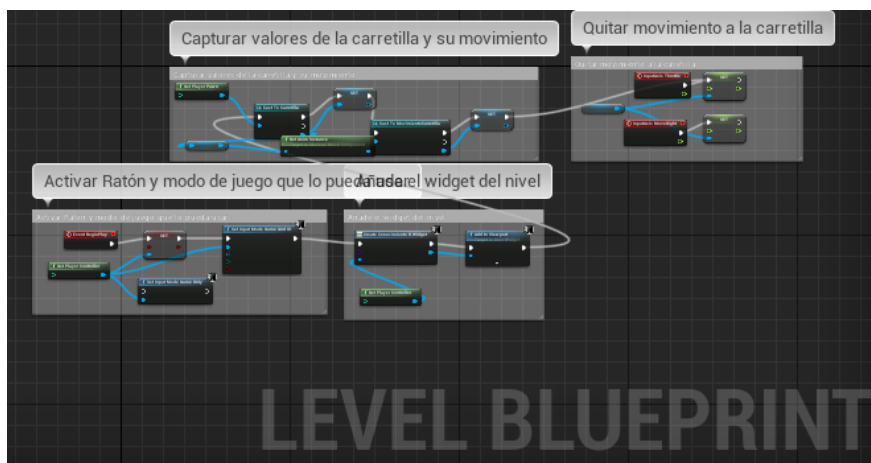


Ilustración 197: Blueprint del nivel Conocimiento básico en UE4. Elaboración propia.

El widget de tipo “ConocimientoB” en el apartado de diseño es de la forma que se muestra en la *Ilustración 198*, conteniendo botoneras para dar “siguiente” o “anterior”, o cuando se llega al final “repetir” o “salir”, el título y un texto explicativo.

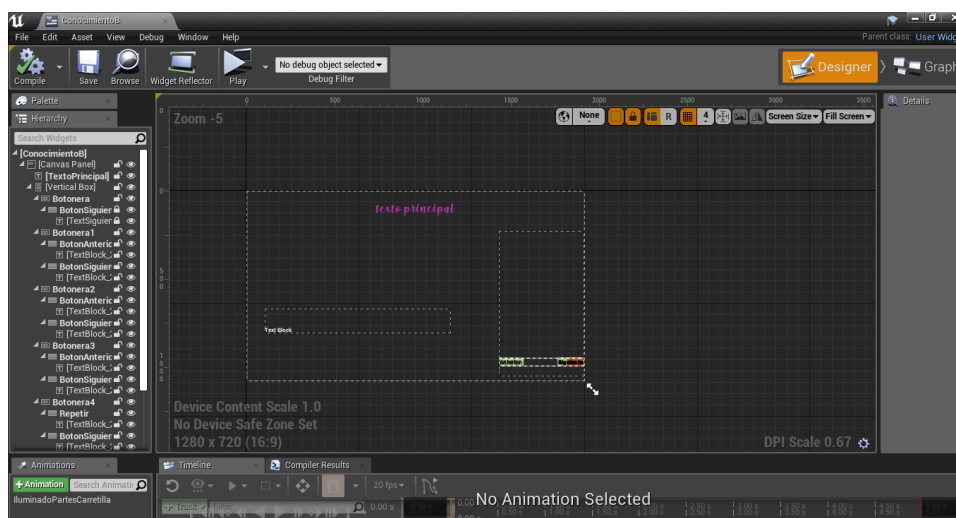


Ilustración 198: Opción diseño del widget de conocimiento B en UE4. Elaboración propia.

En el apartado de programación (graph) se programan las distintas pantallas, configurando el texto que aparece, cambiando los títulos y los botones.

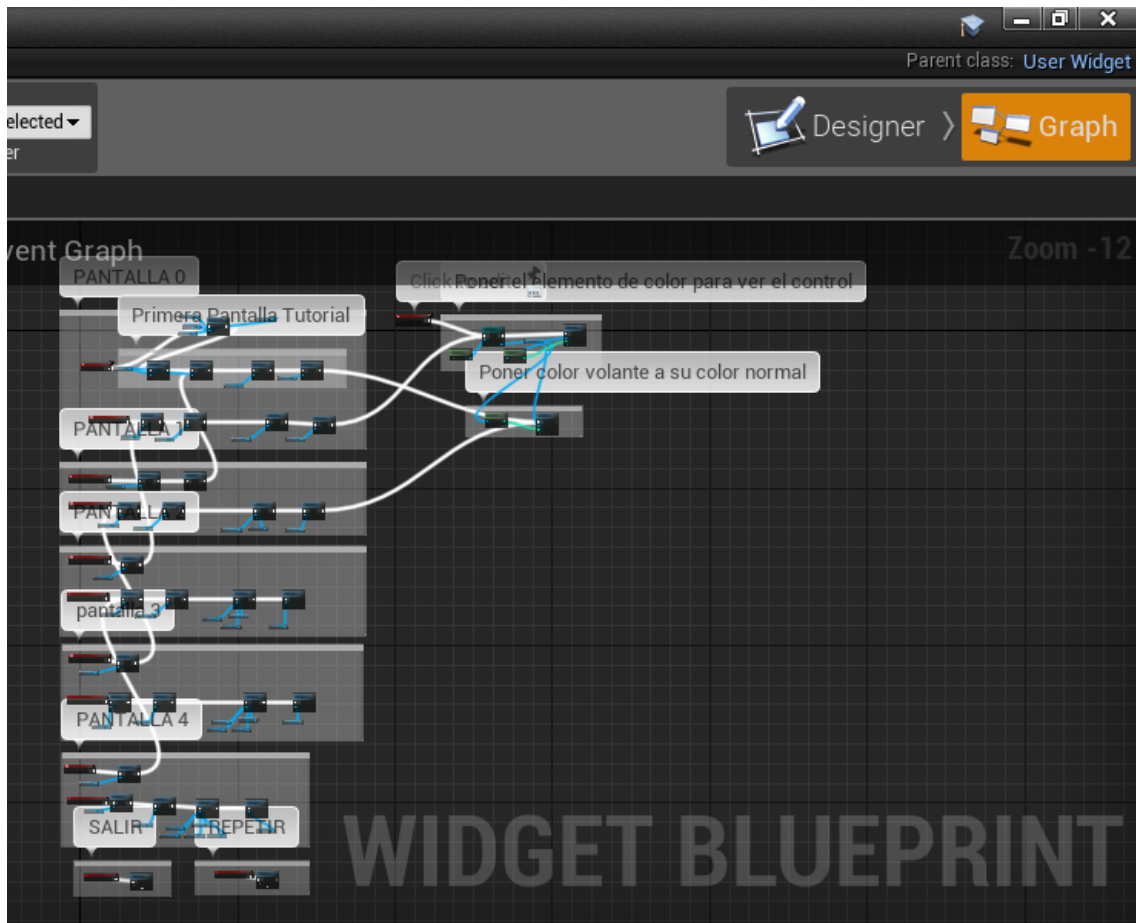


Ilustración 199: Opción gráfico de eventos del widget de conocimiento B en UE4.

Elaboración propia.

CONTROLES

Como se mencionó en el *Apartado 5.1* este nivel consiste en un tutorial para la realización de un entrenamiento y evaluar si el usuario realiza de forma correcta las órdenes mandadas. El blueprint o programación del nivel visto en la *Ilustración 200* contiene órdenes para quitar movimiento a la carretilla (ya que es un entrenamiento básico de control de los mandos y no hay conducción), se activa el ratón para poder dar a siguiente a los botones o el joystick en RV, y se programan las distintas comprobaciones. Primero se le ordena hacer un movimiento de un elemento de la carretilla y si se hace bien se pasa

al siguiente mandato y si no, se repite hasta que lo consiga. Cuando se llega al final se felicita, dando al usuario la opción de repetir o salir.



Ilustración 200: Blueprint del nivel Controles en UE4. Elaboración propia.



CONDUCCIÓN LIBRE

Como se mencionó en el *Apartado 5.1* este nivel permite que el usuario realice cualquier movimiento de forma totalmente libre por el entorno. Por lo tanto, no tiene órdenes en el blueprint del nivel.

6.2.5. Menús

MENÚ PRINCIPAL

El menú principal permite elegir el tipo de entrenamiento a realizar o salir de la aplicación. En el blueprint del nivel se activan las gafas de RV o HMD y se añade el widget de tipo “menú”.

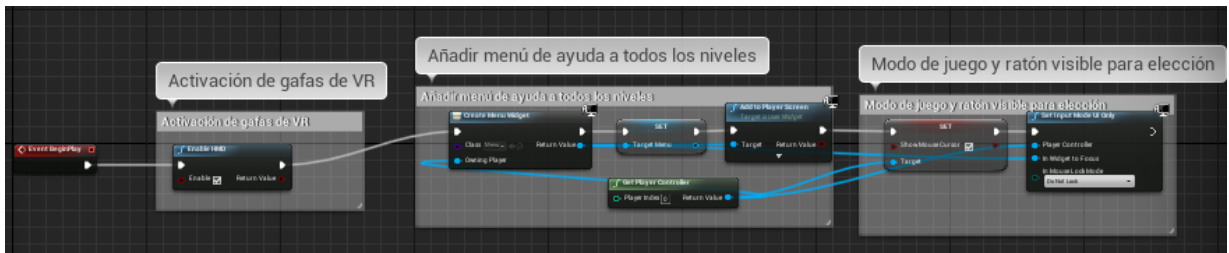


Ilustración 201: Nivel de menú principal en UE4. Elaboración propia.

El widget de tipo “menú” en el modo gráfico se percibe como se muestra en la *Ilustración 202*, permitiendo elegir el tipo de entrenamiento o salir de la aplicación.

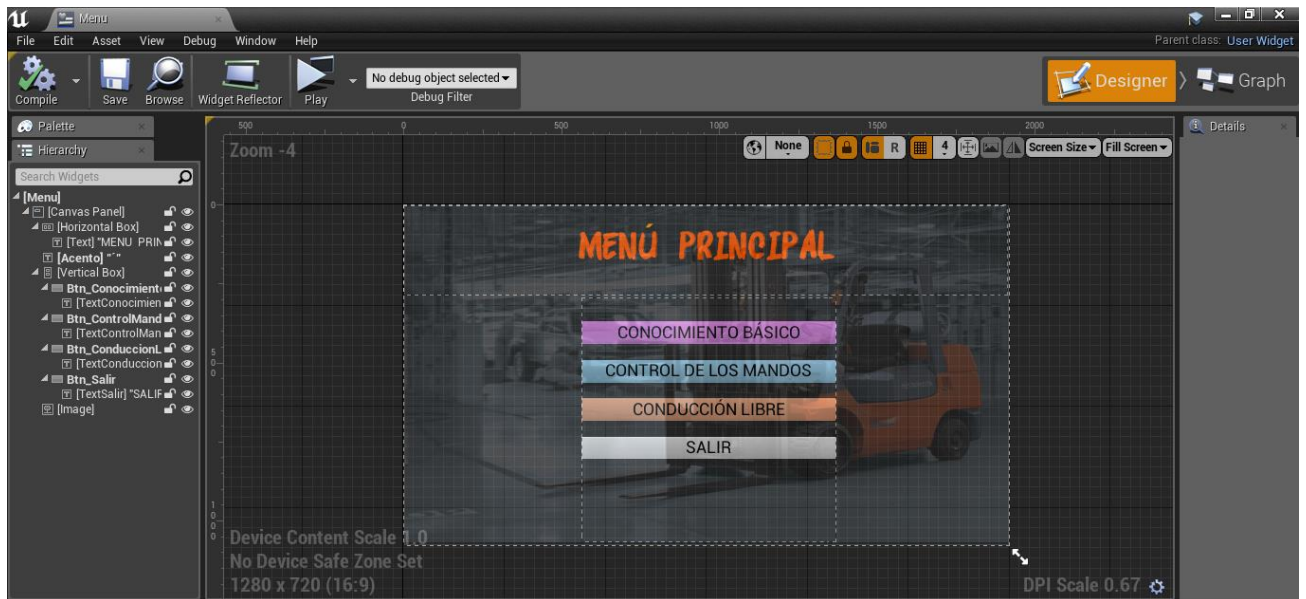


Ilustración 202: Widget Menú en modo diseñador en UE4. Elaboración propia.

En el modo de gráfico de eventos de UE4, en función del tipo de entrenamiento que elija el usuario, el código ejecuta la función “open level” con el nombre de ese nivel. Si elige salir entonces se llama a la función “quit game” que sale del juego o aplicación.

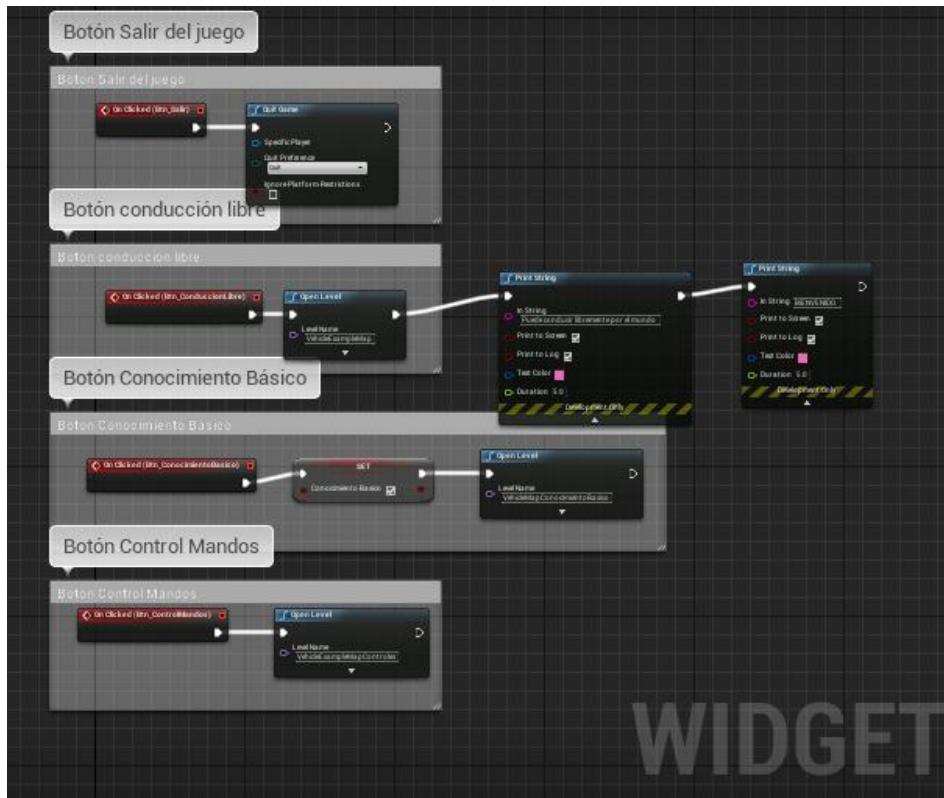


Ilustración 203: Widget Menú en modo gráfico de eventos en UE4. Elaboración propia.

MENÚ DE AYUDA

El menú de ayuda simplemente tiene órdenes en la parte de diseño, ya que solamente muestra información por pantalla. Estos datos son las distintas teclas que el usuario debe pulsar para realizar los distintos movimientos de los componentes de la carretilla.

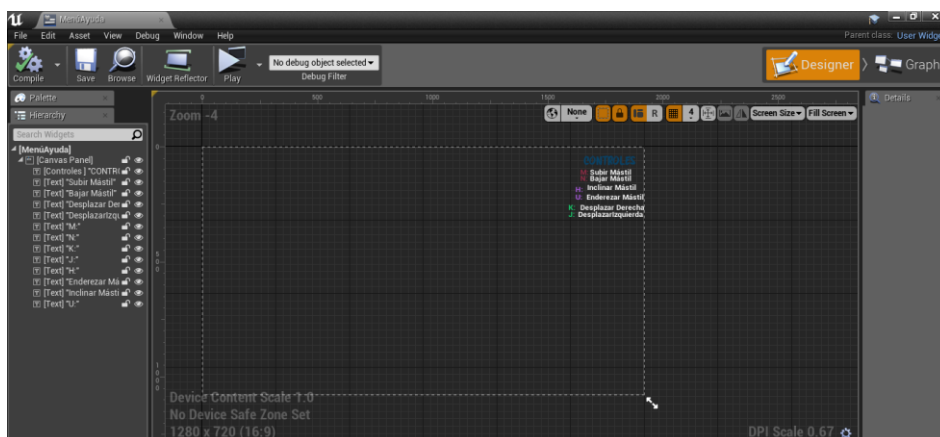


Ilustración 204: Menú de ayuda en UE4. Elaboración propia.

6.3. RESULTADO FINAL

Para observar el resultado final de la aplicación es necesario probarla, ya que en documentación sólo se puede mostrar la programación, no la ejecución del juego.

El contenido del proyecto tiene la estructura capturada en la *Ilustración 205*.

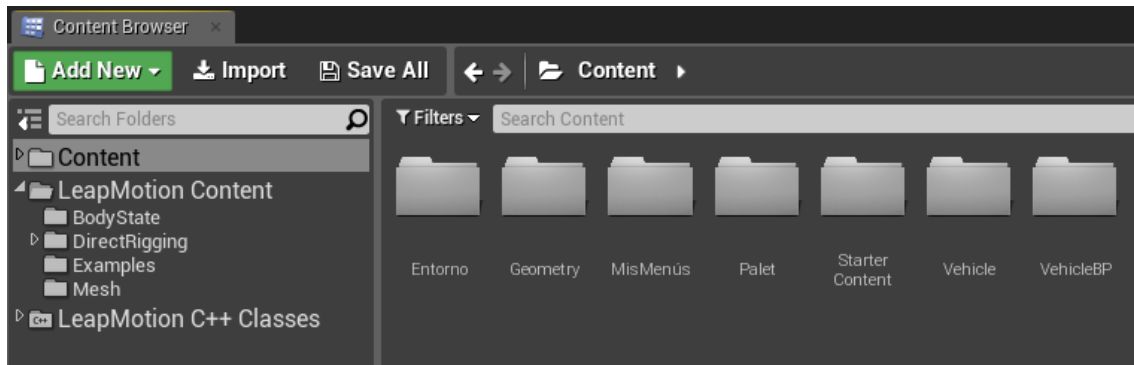


Ilustración 205: Contenido del proyecto en UE4. Elaboración propia.

7. PRUEBAS

Tras haber realizado el diseño, desarrollo e implementación de los objetos y sistemas de interacción con Unreal Engine 4 se han realizado pruebas para comprobar que la aplicación funciona correctamente, y que no ha sido necesario instalar ningún software adicional.

Para realizar esta comprobación se ha probado la aplicación en distintos equipos, en distintas personas y se ha lanzado la aplicación 3D desde distintas direcciones (inicializando siempre desde la visión programada, por ejemplo, el asiento de la carretilla y con vista hacia adelante).

Se han probado todos los controles, tanto en el lanzamiento de la aplicación en dos dimensiones como en el entorno tridimensional. Se han comprobado las físicas, provocando vuelcos a la carretilla, caídas del palet cuando está mal situada la carga y la carretilla está en movimiento, choques del vehículo contra las paredes, vuelcos en rampas, correcto transporte del palet cuando la carga está bien colocada en las horquillas de la carretilla, comprobación de la marcha atrás y sonido asociado, movimientos de los controles (volante, ruedas, palanca, mástil, acelerador y horquillas) al interactuar con la carretilla, movimiento de las ruedas junto con el volante, y de la palanca junto al mástil y las horquillas, etc.

8. CONCLUSIONES

En este último capítulo del documento se van a relatar las conclusiones que he sacado tras la realización completa del proyecto.

El trabajo consiste en la realización de un prototipo de entrenador basado en realidad virtual inmersiva para la conducción de carretillas automotoras industriales. Cuando se está desarrollando software, un prototipo es un modelo de trabajo rudimentario de un producto o sistema de información, generalmente construido con fines de demostración o como parte del proceso de desarrollo. En el ciclo de vida de desarrollar software, se construye, se prueba y se vuelve a trabajar en una nueva versión del sistema hasta conseguir finalmente un prototipo aceptable a partir del cual llegar al sistema completo o al producto.

Tras haber realizado el proyecto, se puede afirmar que todos los objetivos marcados al inicio del proyecto en el *Apartado 2*, se han concluido y cumplido.

El objetivo principal, diseñar un prototipo de entrenador que permita vincular el mundo virtual con el mundo real se ha conseguido, de forma que la interacción conjunta entre ambos mundos logra la inmersión total del usuario en la aplicación, aportándole experiencias de conducción realista.

El proyecto se inició realizando un estudio del arte de la industria y evolución de las carretillas, de los videojuegos, y en concreto, de los simuladores de ámbito científico a lo largo de la historia, ayudando a comprender el estado actual en el que se encontraban y cómo se afectan y se pueden interrelacionar unos con otros para alcanzar grandes metas.

Tomando como base las técnicas de desarrollo de los videojuegos, se ha podido realizar una simulación del vehículo de trabajo más utilizado en las industrias, y que el usuario pudiera virtualmente tener una libertad absoluta de movimiento, y a la vez control total dentro del entorno tridimensional, consiguiendo el mayor tipo y alcance de realidad virtual, la inmersiva. Con esta potenciación de experiencia sensitiva de RV Inmersiva se consigue el siguiente objetivo marcado en el *apartado 2*.

El siguiente objetivo propuesto era poder interactuar con el entorno utilizando dispositivos de control reales (volante, pedales y palancas). Gracias al modelado y la correcta creación del esqueleto de la carretilla, y la articulación y programación adecuada dentro del motor de juego Unreal Engine 4, se han conseguido simular las físicas reales

de una carretilla, así como sus movimientos y sus interacciones, como coger un palet y moverlo y descargarlo en el entorno. Para evitar que el usuario percibiese los dispositivos, (incluso el propio ordenador), para pasar a interactuar directamente con los objetos de la escena, se implementaron controladores de entrada como el volante, los pedales y una palanca, e incluso un controlador de seguimiento de manos y dedos, para poder ver durante todo momento las manos e introducir al cerebro del usuario completamente en el mundo virtual.

De esta manera se perciben las sensaciones pertinentes a la conducción de la carretilla, desde el conocimiento de ésta o de los riesgos o situaciones adversas que puedan surgir en su conducción o manipulación de objetos, etc. alcanzando un aprendizaje atractivo, ganando experiencia y todo ello sin riesgos.

Pero como se indicó previamente, este proyecto simplemente es un prototipo, por lo que las conclusiones extraídas del trabajo no se centran únicamente en comprobar que se hayan conseguido los objetivos propuestos, sino que es un proyecto realizado con la intención de poder ampliar su alcance en un futuro, y que se puedan añadir funcionalidades y mejoras no previstas en este documento y diseño inicial.

La primera línea de trabajo y posiblemente la más lógica, es la de realizar entrenamientos más preparados, con circuitos, con obstáculos, realizados en distintos tipos de suelo, con carretillas diferentes, etc.

Al tratarse de un proyecto de simulación de algo real, se podría usar como prevención y aprendizaje ante emergencias (fuga, derramamiento de líquidos, etc.).

Y como línea de trabajo más ambiciosa, se puede desarrollar el proyecto para poder emprender un negocio como curso de carretillero. Para ello, se desarrollaría un sistema de evaluación al usuario que en el caso de resultar apto desembocaría en la consecución de un certificado o carnet de operario de carretilla. Pensando en la mejora e incorporación de tecnología más avanzada al proyecto, se podría seguir una línea en la que varias personas puedan realizar varias pruebas o entrenamientos a la vez, incluso desde distintos lugares, dando lugar a simulaciones multijugador. (O incluso la incorporación de un entrenador On-Line).

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «The evolution of the forklift truck,» [En línea]. Recuperado de: <https://www.mccallhandling.com/history-forklift-truck/>
- [2] Liew, C. (2007), «Emissions drive innovation.» Recuperado de: <https://www.forkliftaction.com/news/newsdisplay.aspx?nwid=4751>
- [3] Liftparts, I. (2015), «History of the forklift.» Recuperado de: <http://store.intellaliftparts.com/blog/history-of-the-forklift/>
- [4]. «Torcan Lift Equipment». [En línea]. Recuperado de: <http://torcanlift.com/what-is-forklift-working-mechanism-where-it-is-used/>
- [5] United States Departamento f Labor. «Powered Trucks (forklift)». [En línea]. Recuperado de: <https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/forklift/basicparts/mastandhydrauliclift.html>
- [6] Rodríguez Planas, D. (200'). Ministerio de trabajo y asuntos sociales España. «NTP 713: Carretillas elevadoras automotoras (I): conocimientos básicos para la prevención de riesgos». Recuperado de: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_713.pdf
- [7] Carlos I, J. (1995). «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado», Boe num.269. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/1995/11/10/pdfs/A32590-32611.pdf>
- [8] (1997) «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, BOE». Número188. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/07/18/1215/con>
- [9] Torradeflot Diars, M. (200'), Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. «Carretillas elevadoras automotras (III): mantenimiento y utilización.» Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_715.pdf/753a15aa-3df8-4df2-bd7d-649594b2d07d
- [10] Lacor F. (2002). «Normativa vigente y formación sobre carretillas elevadoras.» Recuperado de: <https://www.lacorformacion.com/normativa-vigente-y-formacion-sobre-carretillas-elevadoras>

- [11] Reality Technologies. «Reality.». [En línea]. Recuperado de: <https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>
- [12] Elío, J. (2015). «Tecnología háptica o cómo las máquinas te hacen sentir.». Recuperado de: <https://elandroidelibre.lespanol.com/2015/04/tecnologia-haptica-o-como-las-maquinas-te-hacen-sentir.html>
- [13] Dohlmann, H (2019). Wikipedia, «Physics engine.». Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Physics_engine
- [14] «Autodesk 3ds Max,» [En línea]. Recuperado de: <https://www.autodesk.es/products/3ds-max/subscribe?plc=3DSMAX&term=1-MONTH&support=ADVANCED&quantity=1>
- [15] Earick, B. (2017). «VR. What's next for VR Audio.» Recuperado de: <https://uploadvr.com/world-vr-audio-perspective/>
- [16] Vegas, M (2019). «Emiliusvgs.» Recuperado de: <https://emiliusvgs.com/que-es-3dof-6dof/>
- [17] Wikipedia (2019). «Realidad Virtual.». [En línea]. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual#Seguimiento_de_cabeza
- [18] Leap Motion, Inc. (2017). «Leap Motion Overview.». [En línea]. Recuperado de: https://developerarchive.leapmotion.com/documentation/javascript/unity/Unity_Overview.html
- [19] Mundo Virtual. (2016). «HTC Vive.». [En línea]. Recuperado de: <http://mundo-virtual.com/gafas-realidad-virtual/htc-vive-steam/>
- [20] Maturana, J. (2017). «HTC Vive, análisis: esto sí que es realidad virtual interactiva». Recuperado de: <https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva>
- [21] Ghassan Abould. (2019). «Ghasan Abourd: cars & spare parts». [En línea]. Recuperado de: https://www.aboudcar.com/vehicles/toyota_25d19_Forklift_Code_diesel_2019/

[22] Asociación española de normalización. (2004). «Especificación para la producción de paletas. Parte 1». UNE-EN 13698-1:2003 (Vigente). Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0030318>

[23] Epic Games Unreal Engine. (2019). «Guía del usuario del vehículo.» Recuperado de: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Physics/Vehicles/VehicleUserGuide/index.html>

ANEXO I: Acrónimos

FBX: es una tecnología de intercambio de datos y archivos en 3D que facilita la movilidad de los datos entre programas de diseño como 3Ds Max y otros softwares.

3Ds Max: es un programa de gráficos de computadora para crear modelos 3D, animaciones e imágenes digitales. Es uno de los programas más populares en la industria de los gráficos por ordenador.

CG: término que hace referencia a los diseños o gráficos generados por computadora.

VR: Realidad Virtual. Simulación generada por una computadora de una imagen o entorno tridimensional que puede utilizar una persona con un equipo electrónico especial, como las gafas.

VRI: Realidad Virtual Inmersiva. Es la presentación de un entorno artificial que reemplaza el entorno del mundo real de los usuarios de manera suficientemente convincente para que puedan suspender la incredulidad y comprometerse completamente con el entorno creado.

AR: Realidad Aumentada. Experiencia interactiva de un entorno del mundo real en el que los objetos que residen en el mundo real se ven realzados por información perceptiva generada por computadora.

MR: Realidad Mixta. Fusión de realidad y mundos virtuales para producir nuevos entornos y visualizaciones donde los objetos físicos y digitales interactúan en tiempo real.

3D: Entorno tridimensional.

2D: Animaciones secuenciales que suelen utilizar software de computadora en un grado u otro.

C++: Lenguaje de programación orientada a objetos de propósito general.

PC: Ordenador personal.

Fps: Fotogramas por segundo. Medida de cuántas imágenes consecutivas únicas puede manejar una cámara por segundo.

USB: Bus de serie universal. Interfaz común que permite la comunicación entre dispositivos y un controlador host, como un PC.

WAV: Es una extensión de archivo de audio creado para Microsoft. Se ha convertido en un formato de archivo de audio de PC estándar para todo, desde sonidos del sistema y juegos, hasta audio con calidad de CD.

HMD: Head Mountain Display. Auricular, gafas o casco utilizado con sistemas de realidad virtual para la proyección del entorno.

LCD: Pantalla de cristal líquido. Tecnología utilizada en pantallas de dispositivos.

HDMI: Estándar para conectar dispositivos de video de alta definición.

FOV: Campo de visión (en ángulos). Es la extensión del mundo de juego observable que se ve en la pantalla en un momento dado.

IA: Inteligencia Artificial. Es inteligencia simulada en máquinas programadas para “pensar” como un humano e imitar la forma en la que actúa una persona.

NPC: Non Player Character. Es un personaje de videojuego que está controlado por la inteligencia artificial (IA) del juego en lugar de por un jugador.

GLP (Gas Licuado de Petróleo), mezcla butano y propano.

GNC (Gas Natural Comprimido), 90% metano. Como el que se usa en el hogar pero que se vende comprimido para automóviles.

ANEXO II: Glosario de términos

Asset: Activos. Se refiere a los archivos de código de programación realizados por los desarrolladores.

Game Engine: Motor de juego. Es un entorno de desarrollo de software diseñado para que las personas construyan videojuegos.

Plug-in: Es un componente de software que agrega una característica específica a un programa de computadora existente.

Render: Síntesis de imágenes. Es el proceso automático de generar una imagen a partir de un modelo 2D o 3D por medio de programas de computadora.

Scripting: Lenguaje de programación para un entorno especial de ejecución que automatiza la ejecución de las tareas. A menudo son interpretados, en vez de compilados.

Streaming: Transmisión de datos en tiempo real, en lugar de descargar los archivos a la computadora para verlos posteriormente.

Spline: Función definida por trozos de polinomios. Se utilizan para interpolar los intervalos entre puntos de datos y se usan ampliamente en las ciencias de la computación, sobre todo en subcampos de diseño asistido por ordenador y gráficos de ordenador.

ANEXO III: Requisitos del sistema

- Tarjeta gráfica: Nvidia GeForce GTX 9700 / AMD Radeon R9 290 o superior.
- CPU: Intel Core i5 4590 / AMD FX 8350 o superior
- RAM: 4 GB o más
- Salida de video: HDMI 1.4 / DisplayPort 1.2, o una versión más reciente
- Puertos USB: 1 USB 2.0 o superior
- Sistema operativo: Windows 7 SP1 o más reciente.

ANEXO IV: Manual de usuario

INICIALIZACIÓN

Para iniciar o lanzar la aplicación es necesario abrir el motor de juego Unreal Engine 4 el proyecto de la carretilla. Una vez cargado, se le da al botón de “play” para ejecutar el proyecto.

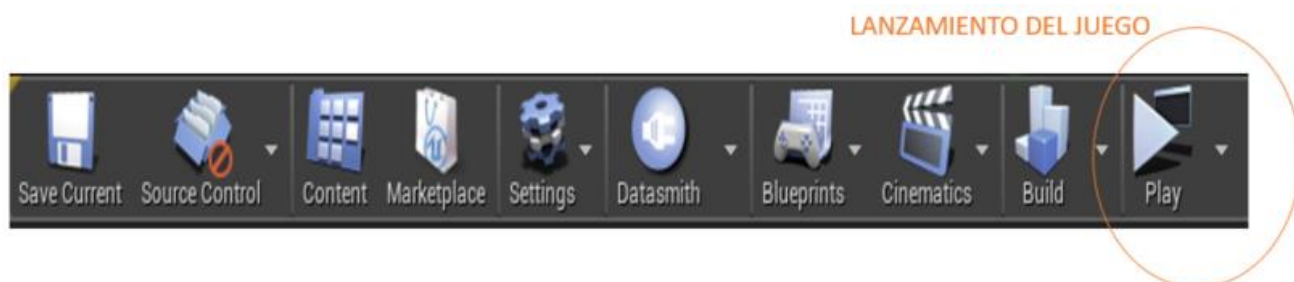


Gráfico 14: Lanzamiento del juego en UE4.

MENÚ

Cuando se ejecuta la aplicación aparece un menú principal en el que debe elegir el tipo de entrenamiento que desea realizar:

- Conocimiento básico = tutorial de aprendizaje.
- Control de los mandos = entrenamiento y prueba de evolución.
- Conducción libre = total libertad en los movimientos por el entorno.
- Salir = finalizar la aplicación o simulación.

INTERACCIÓN

Para el manejo de la carretilla y de sus componentes, dependiendo de si el juego tiene lugar de forma no inmersiva (en dos dimensiones) o inmersiva (en tres dimensiones), se deben realizar las acciones mostradas en la *Tabla 4*, que indica las entradas (inputs) necesarias para realizar los movimientos de los controles de la carretilla.

	<u>No inmersiva 2D</u>	<u>Inmersiva 3D</u>
<u>Subir mástil</u>	Tecla M	Inclinar joystick hacia adelante
<u>Bajar mástil</u>	Tecla N	Inclinar joystick hacia atrás
<u>Inclinar mástil</u>	Tecla H	Inclinar joystick hacia adelante manteniendo pulsado el botón trasero
<u>Enderezar mástil</u>	Tecla U	Inclinar joystick hacia atrás manteniendo pulsado el botón trasero
<u>Desplazar mástil hacia la derecha</u>	Tecla K	Inclinar joystick hacia la derecha
<u>Desplazar mástil hacia la izquierda</u>	Tecla J	Inclinar joystick hacia la izquierda
<u>Aceleración</u>	Tecla flecha hacia arriba o tecla W	Pisar pedal derecho
<u>Marcha atrás</u>	Tecla flecha hacia atrás o tecla S	Pulsar cambiar marcha en la palanca del volante
<u>Girar a la derecha</u>	Tecla flecha que apunta hacia la derecha o tecla D	Giro del volante hacia la derecha
<u>Girar a la izquierda</u>	Tecla flecha que apunta hacia la izquierda o tecla A	Giro del volante hacia la izquierda
<u>Freno</u>	Barra espaciadora	Pisar pedal izquierdo
<u>Menú de ayuda</u>	Tecla H	
<u>Movimiento de la cámara en tercera persona</u>	Movimiento del ratón	
<u>Cambio a cámara de primera persona</u>	Tecla 1	
<u>Cambio a cámara de tercera persona</u>	Tecla 3	

Tabla 4: Controles de Interacción del manual de usuario.

SALIR

Para salir de la simulación o se le da al botón de salir o se pulsa la tecla Esc.