
CREACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE ROBOT MÓVIL PARA CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Alumno

Daniel Andrés Juanatey Hermo

Tutores

Francisco Javier Bellas Bouza

Martín Naya Varela

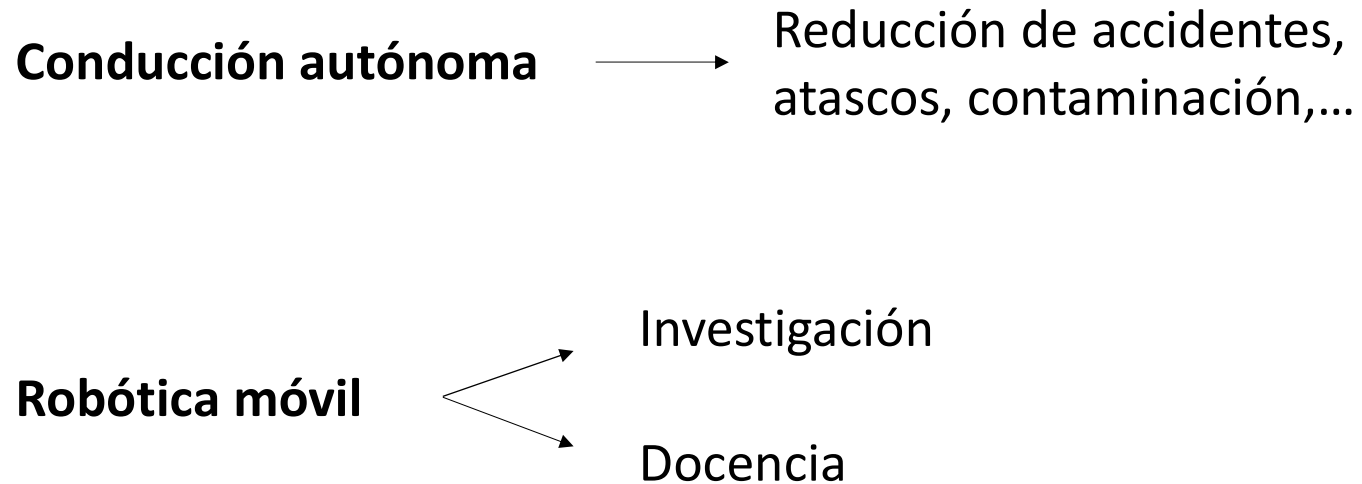
Fecha

Septiembre 2020

Contenido

1. Introducción
2. Objetivos
3. Especificaciones de diseño
4. Diseño del sistema
5. Implementación del sistema
6. Protocolo de pruebas y validación
7. Resultados obtenidos
8. Estudio de aplicabilidad
9. Presupuesto

Introducción



Introducción

Simulación



- Ahorro de costes
- Reproducción de experimentos
- Acceso al material didáctico



Objetivos

Objetivo general



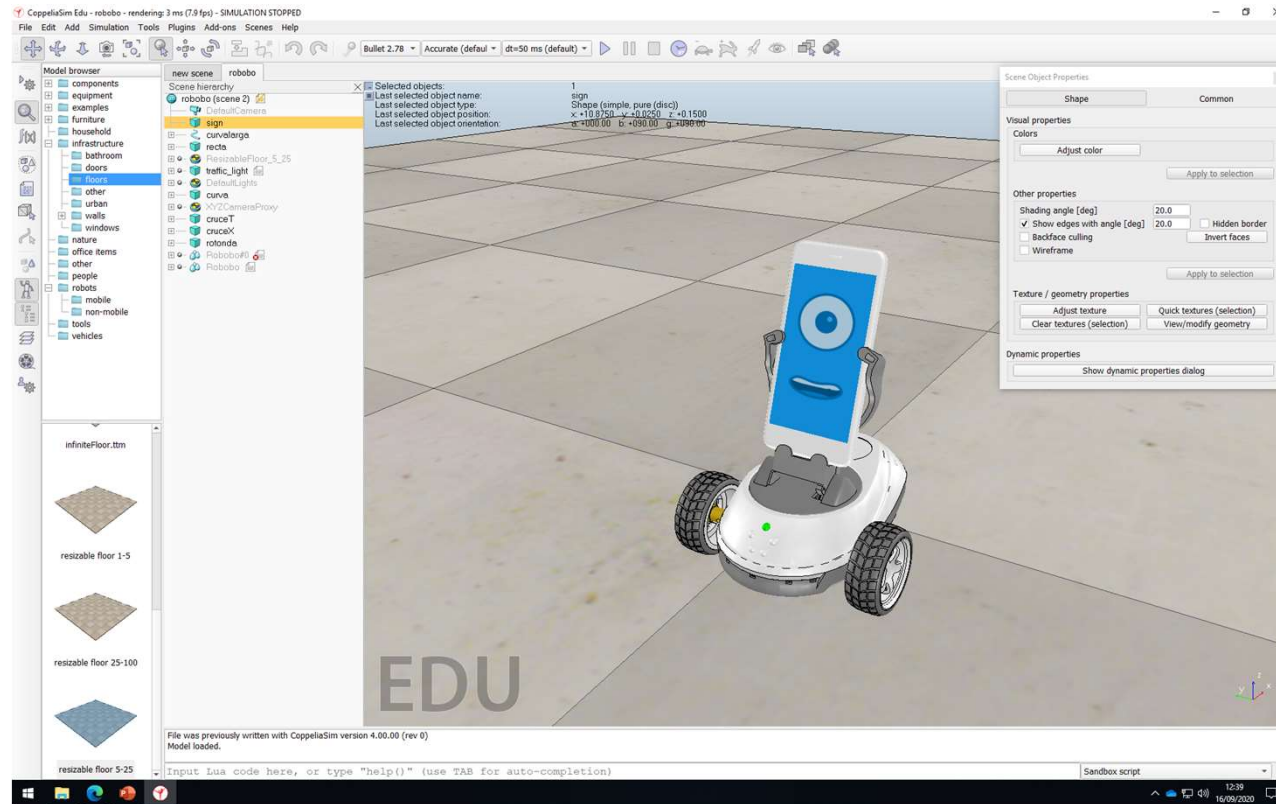
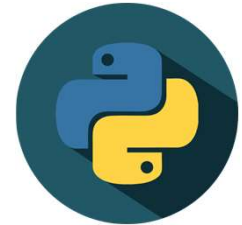
Desarrollo de un modelo en simulación de un robot móvil que pueda ser utilizado tanto en docencia como en investigación en el campo de la conducción autónoma.

- Diseño e implementación de un entorno de simulación.
- Estudio y análisis de las funcionalidades básicas necesarias.
- Implementación de estas funcionalidades en un dispositivo robótico móvil.

Especificaciones de diseño

Requisitos impuestos por el GII:

- **Plataforma robótica:** Robobo
- **Software de simulación:** VREP
- **Lenguaje de programación:** Python



Introducción Objetivos **Especificaciones** Diseño Implementación Pruebas Resultados Aplicabilidad Presupuesto

Diseño del sistema

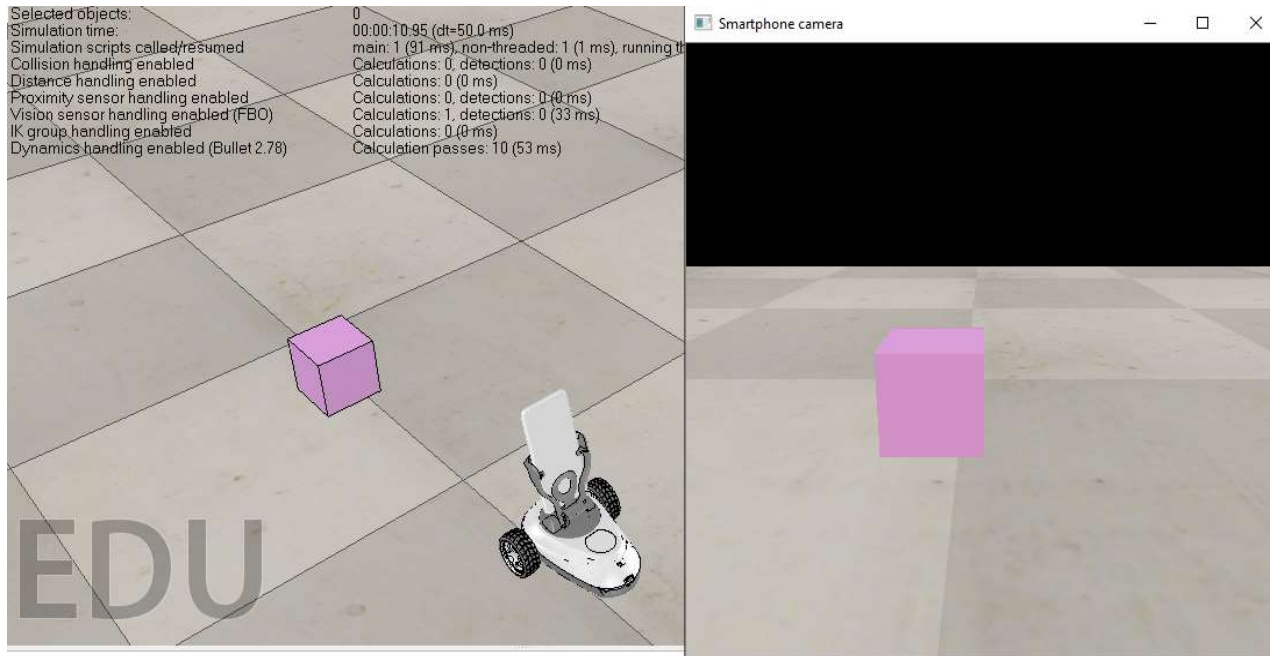
- Mejora del modelo del Robobo
- Desarrollo del entorno para la simulación
- Desarrollo de librerías de visión

Implementación del sistema

Modelo 3D Robobo

→ Necesaria una mejora en el modelo →

Nueva función:
acceso externo a la cámara



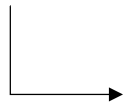
`robobo.startColorImage()`
`robobo.getColorImage()`

`robobo.startGrayImage()`
`robobo.getGrayImage()`

3 veces más rápido

Implementación del sistema

Modelado del entorno

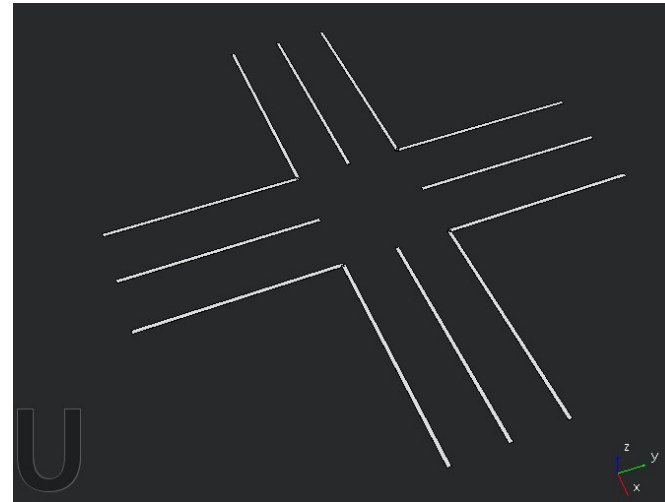
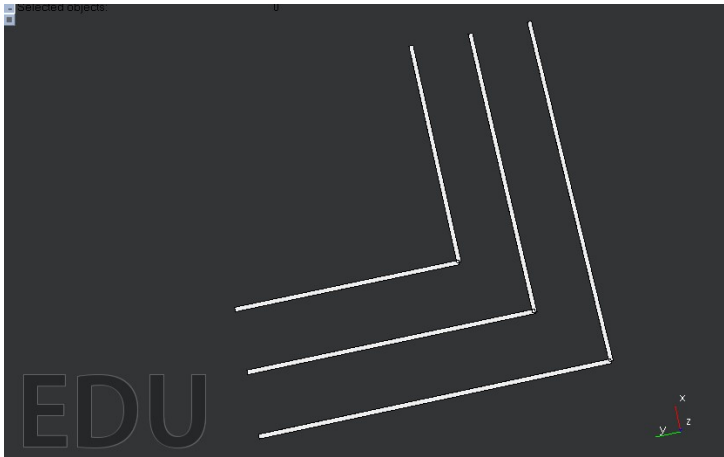
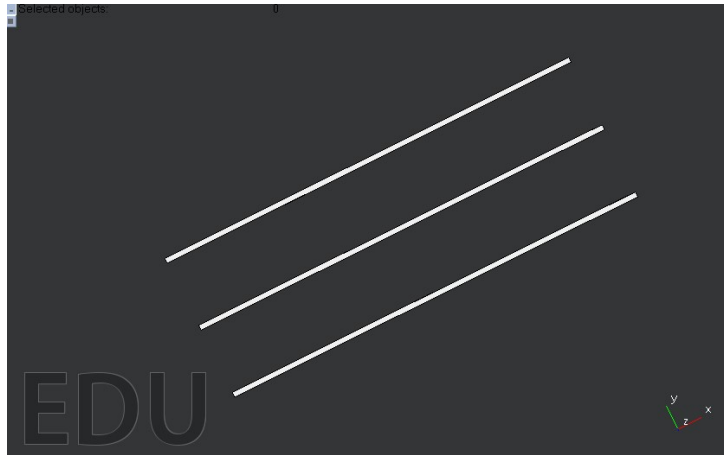


Entorno urbano adaptado a las dimensiones del Robobo

- Señalización horizontal
- Señalización vertical
- Semáforos

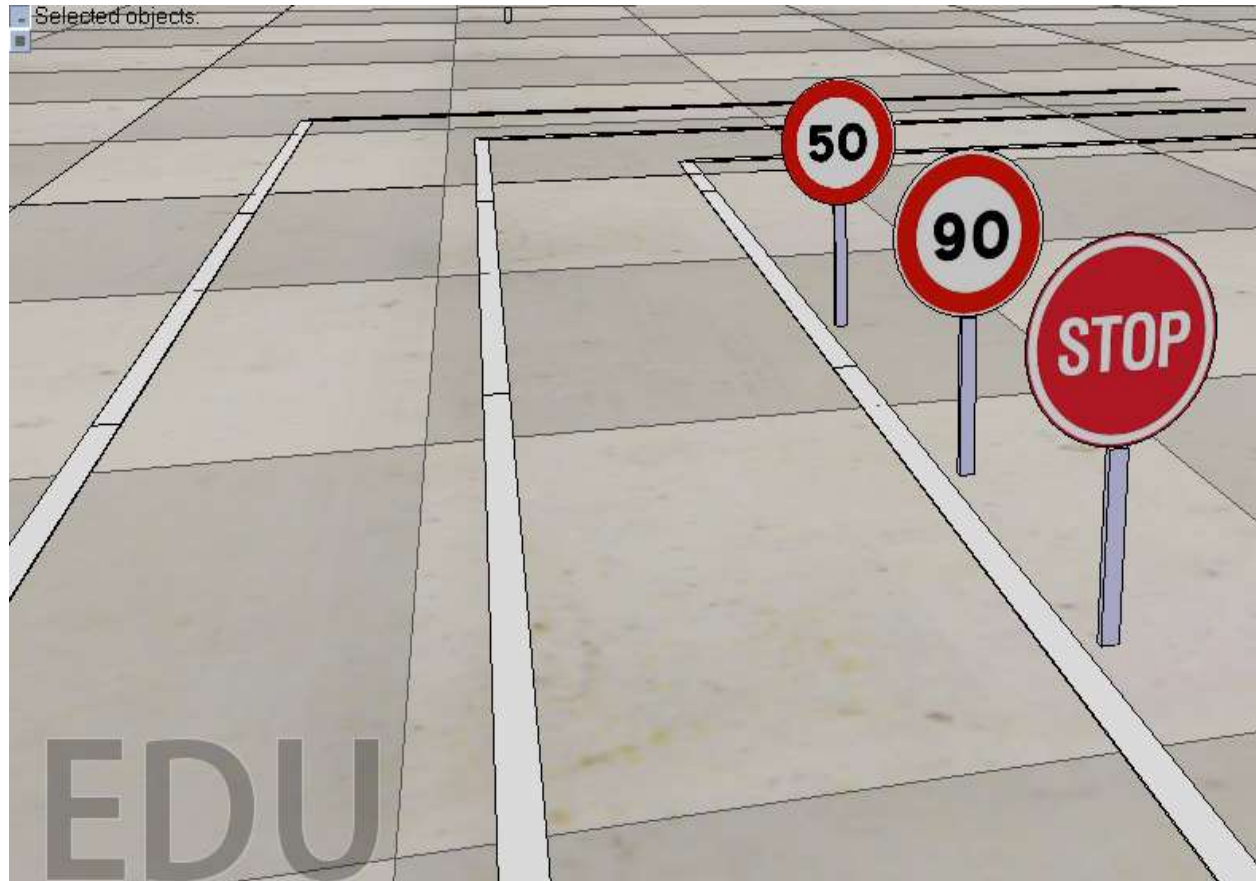
Implementación del sistema

Señalización horizontal



Implementación del sistema

Señalización vertical



Implementación del sistema

Comportamiento autónomo



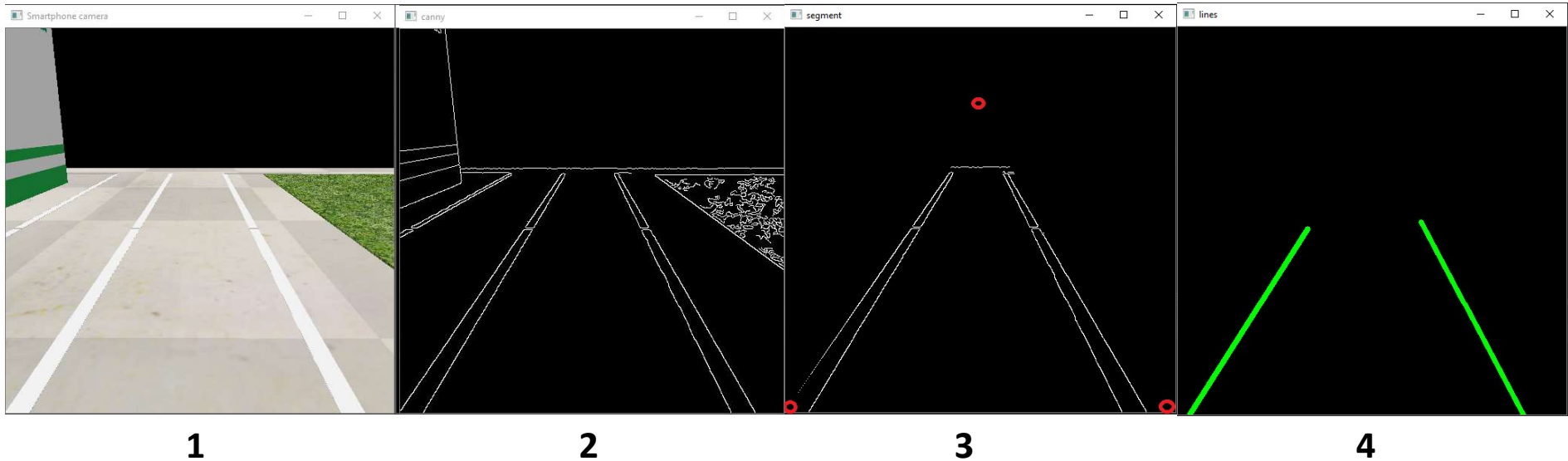
- Detección de carriles
- Identificación de señales
- Identificación de semáforos
- Detección de obstáculos

Implementación del sistema

Detección de carriles

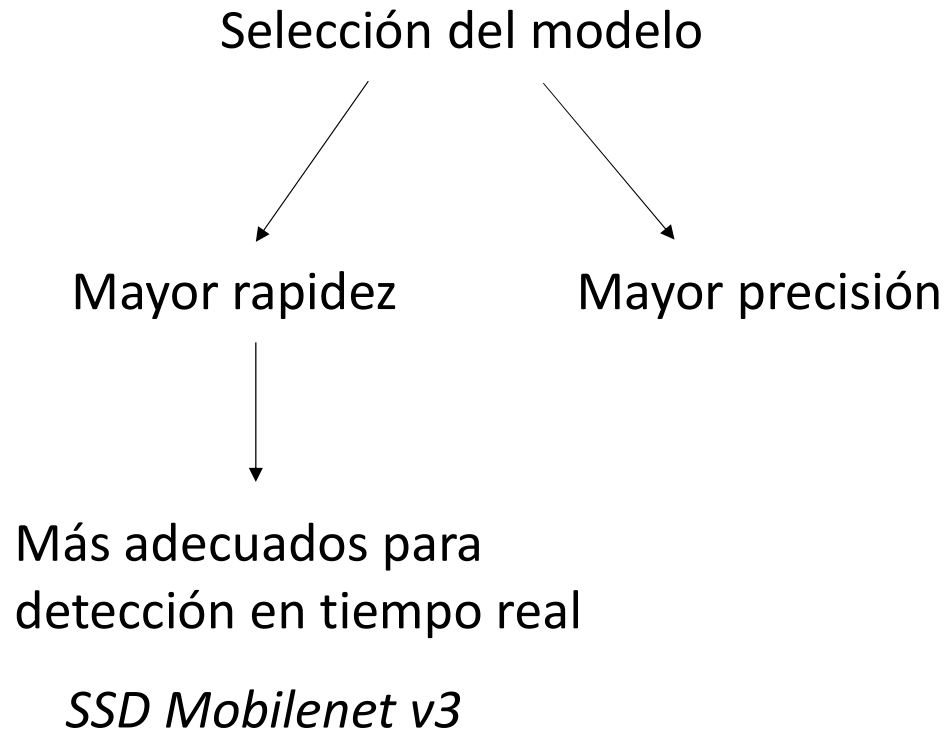


1. Imagen cámara
2. Escala de grises – Emborronado – Algoritmo de Canny
3. Máscara triangular
4. Transformada de Hough - Visualización



Implementación del sistema

Detección de objetos

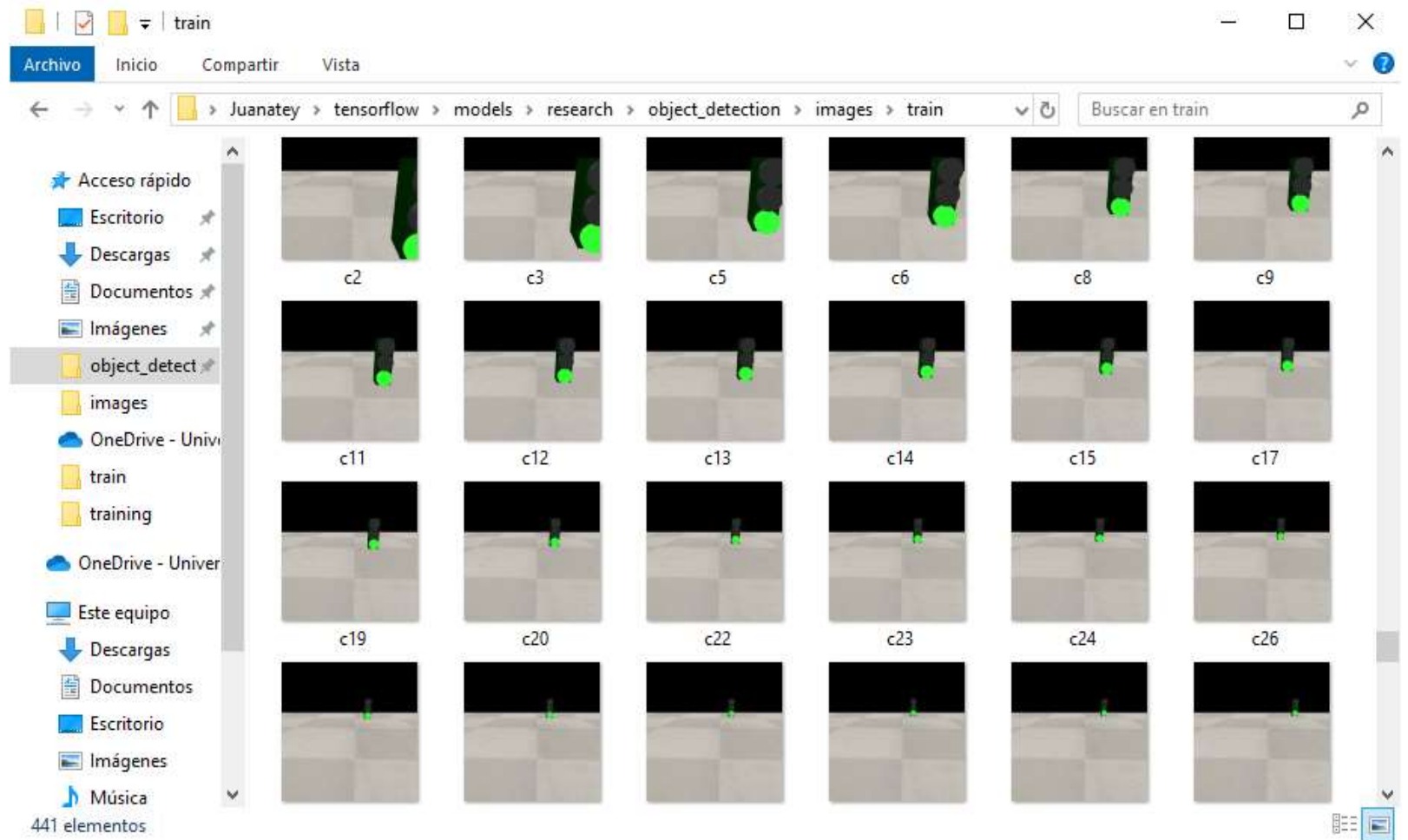


Implementación del sistema

Detección de objetos

Entrenamiento

Conjunto de datos

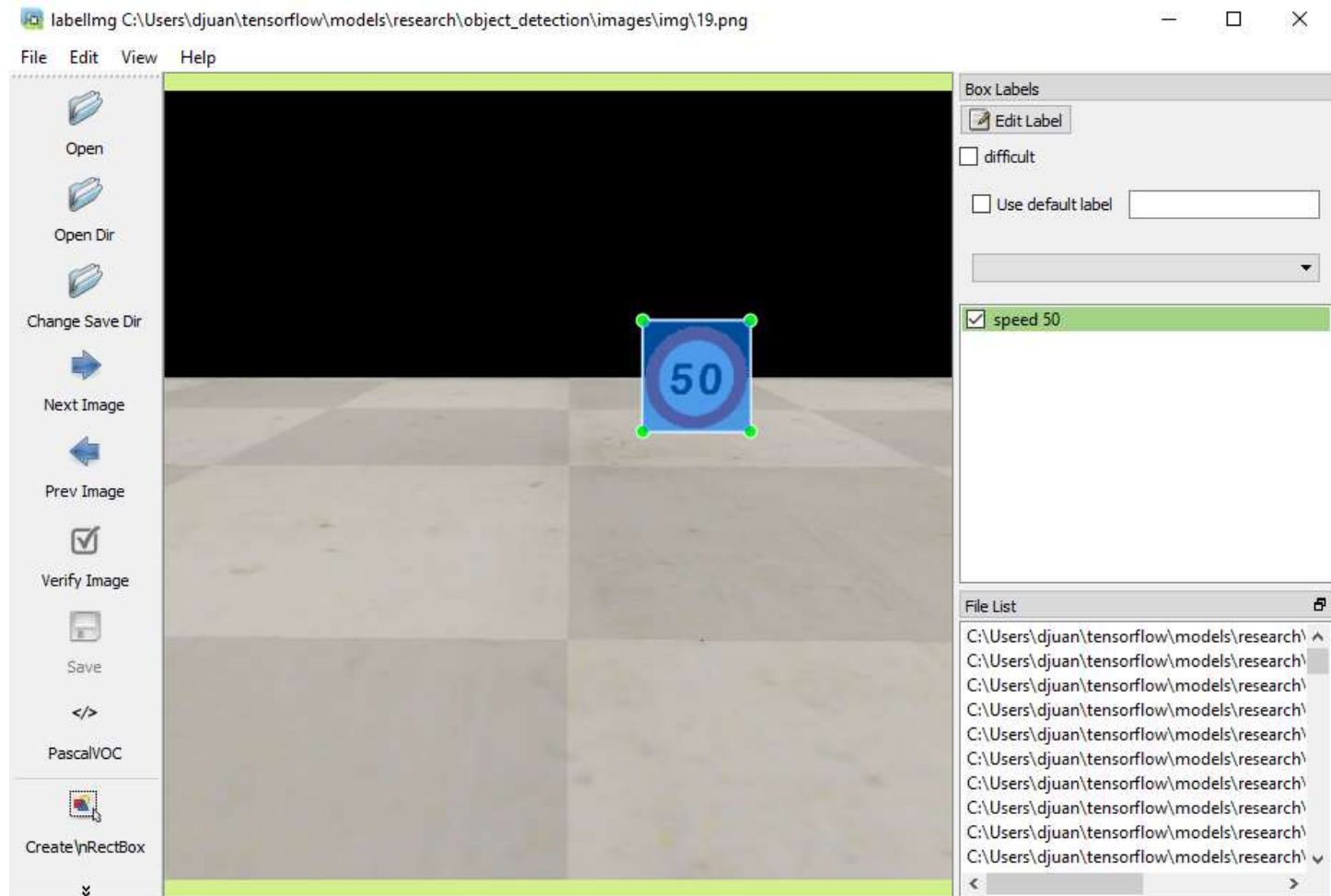


Implementación del sistema

Detección de objetos

Entrenamiento

Etiquetado

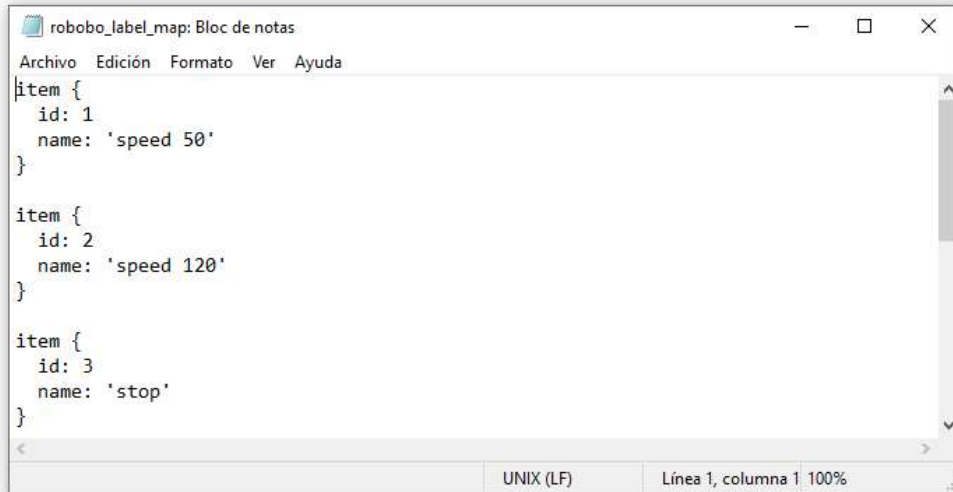


Introducción Objetivos Especificaciones Diseño **Implementación** Pruebas Resultados Aplicabilidad Presupuesto

Implementación del sistema

Detección de objetos

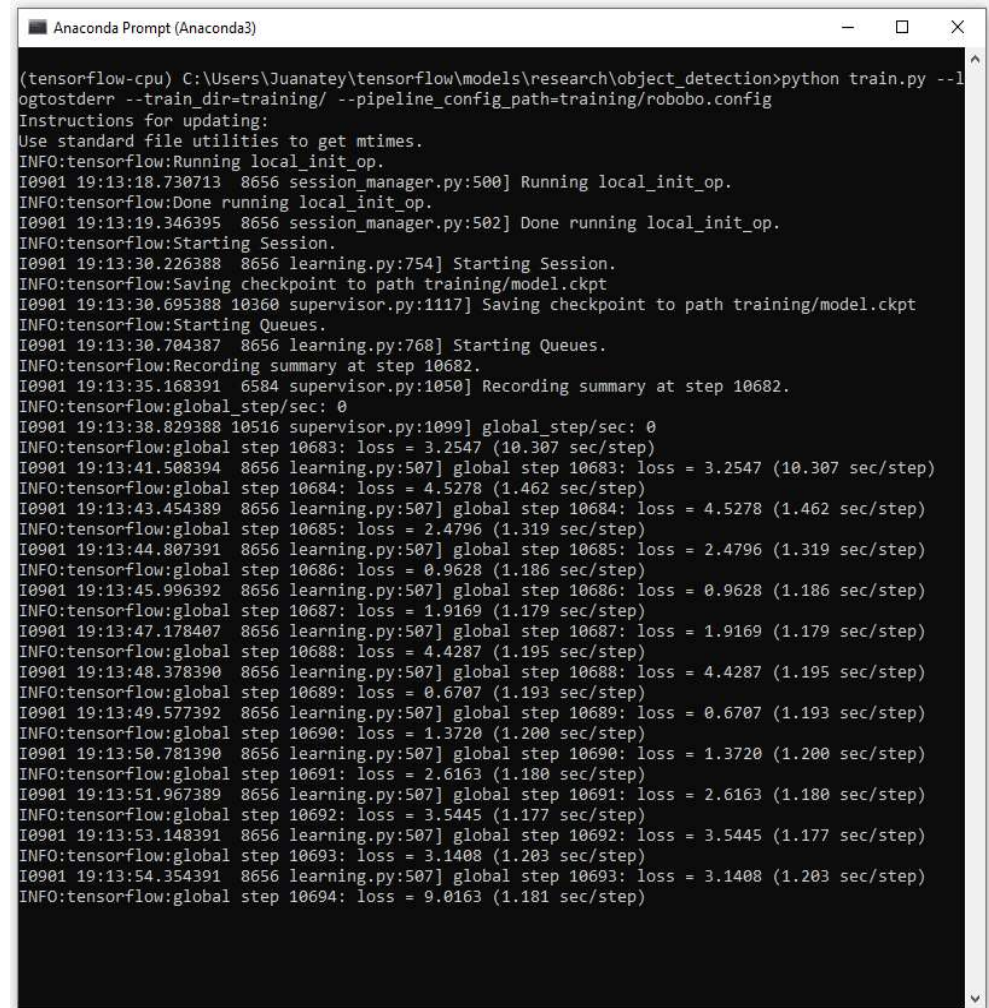
Entrenamiento



```
item {
  id: 1
  name: 'speed 50'
}

item {
  id: 2
  name: 'speed 120'
}

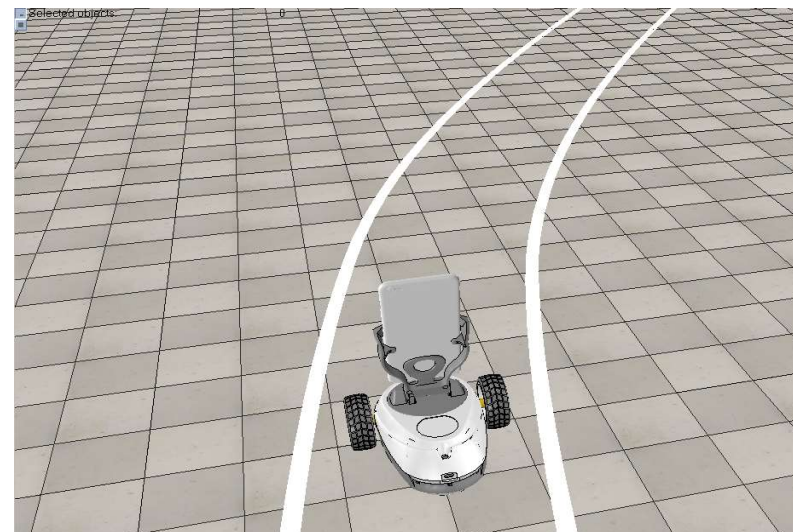
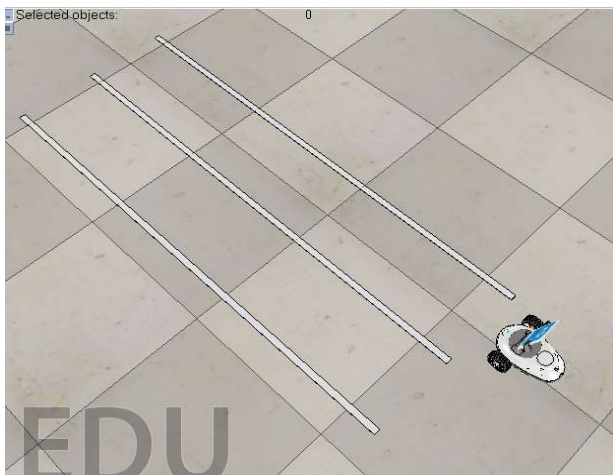
item {
  id: 3
  name: 'stop'
}
```



```
(tensorflow-cpu) C:\Users\Juanatey\tensorflow\models\research\object_detection>python train.py --logtostderr --train_dir=training/ --pipeline_config_path=training/robobo.config
Instructions for updating:
Use standard file utilities to get mtimes.
INFO:tensorflow:Running local_init_op.
I0901 19:13:18.730713 8656 session_manager.py:500] Running local_init_op.
INFO:tensorflow:Done running local_init_op.
I0901 19:13:19.346395 8656 session_manager.py:502] Done running local_init_op.
INFO:tensorflow:Starting Session.
I0901 19:13:30.226388 8656 learning.py:754] Starting Session.
INFO:tensorflow:Saving checkpoint to path training/model.ckpt
I0901 19:13:30.695388 10360 supervisor.py:1117] Saving checkpoint to path training/model.ckpt
INFO:tensorflow:Starting Queues.
I0901 19:13:30.704387 8656 learning.py:768] Starting Queues.
INFO:tensorflow:Recording summary at step 10682.
I0901 19:13:35.168391 6584 supervisor.py:1050] Recording summary at step 10682.
INFO:tensorflow:global_step/sec: 0
I0901 19:13:38.829388 10516 supervisor.py:1099] global_step/sec: 0
INFO:tensorflow:global step 10683: loss = 3.2547 (10.307 sec/step)
I0901 19:13:41.508394 8656 learning.py:507] global step 10683: loss = 3.2547 (10.307 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10684: loss = 4.5278 (1.462 sec/step)
I0901 19:13:43.454389 8656 learning.py:507] global step 10684: loss = 4.5278 (1.462 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10685: loss = 2.4796 (1.319 sec/step)
I0901 19:13:44.807391 8656 learning.py:507] global step 10685: loss = 2.4796 (1.319 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10686: loss = 0.9628 (1.186 sec/step)
I0901 19:13:45.996392 8656 learning.py:507] global step 10686: loss = 0.9628 (1.186 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10687: loss = 1.9169 (1.179 sec/step)
I0901 19:13:47.178407 8656 learning.py:507] global step 10687: loss = 1.9169 (1.179 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10688: loss = 4.4287 (1.195 sec/step)
I0901 19:13:48.378390 8656 learning.py:507] global step 10688: loss = 4.4287 (1.195 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10689: loss = 0.6707 (1.193 sec/step)
I0901 19:13:49.577392 8656 learning.py:507] global step 10689: loss = 0.6707 (1.193 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10690: loss = 1.3720 (1.200 sec/step)
I0901 19:13:50.781390 8656 learning.py:507] global step 10690: loss = 1.3720 (1.200 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10691: loss = 2.6163 (1.180 sec/step)
I0901 19:13:51.967389 8656 learning.py:507] global step 10691: loss = 2.6163 (1.180 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10692: loss = 3.5445 (1.177 sec/step)
I0901 19:13:53.148391 8656 learning.py:507] global step 10692: loss = 3.5445 (1.177 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10693: loss = 3.1408 (1.203 sec/step)
I0901 19:13:54.354391 8656 learning.py:507] global step 10693: loss = 3.1408 (1.203 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10694: loss = 9.0163 (1.181 sec/step)
```

Protocolo de pruebas y validación

Validación de la detección de carriles



Velocidad	Línea	Valor moda				Desviación absoluta máx.			
		x1	y1	x2	y2	x1	y1	x2	y2
0	izq	20	512	113	362	3	0	3	0
	der	455	512	376	362	6	0	4	0
20	izq	26	512	115	362	1	0	1	0
	der	453	512	374	362	15	0	9	0
50	izq	61	512	143	362	6	0	6	0
	der	488	512	400	362	4	0	4	0
90	izq	71	512	150	362	7	0	5	0
	der	499	512	409	362	7	0	6	0

Tipo de tramo	Línea	Valor moda				Desviación absoluta máx.			
		x1	y1	x2	y2	x1	y1	x2	y2
curva suave derecha	izq	6	512	116	362	6	0	7	0
	der	462	512	390	362	1	0	1	0
curva pronunciada derecha	izq	58	512	165	362	6	0	3	0
	der	0	0	0	0	0	0	0	0
curva suave izquierda	izq	38	512	122	362	9	0	4	0
	der	643	512	464	362	6	0	4	0
curva pronunciada izquierda	izq	0	0	0	0	0	0	0	0
	der	473	512	357	362	9	0	3	0

Introducción Objetivos Especificaciones Diseño Implementación **Pruebas** Resultados Aplicabilidad Presupuesto

Protocolo de pruebas y validación

Validación de la detección de objetos

Robobo						
Distancia	Vista frontal		Vista lateral		Vista posterior	
cm	Clase	Confianza	Clase	Confianza	Clase	Confianza
15	robobo	85%	robobo	47%	robobo	86%
25	robobo	90%	robobo	88%	robobo	89%
35	robobo	90%	robobo	86%	robobo	89%
45	robobo	87%	robobo	83%	robobo	84%
55	robobo	86%	robobo	81%	robobo	82%
65	robobo	85%	robobo	64%	robobo	40%
75	robobo	72%	robobo	63%	robobo	37%
85	robobo	67%	robobo	65%	robobo	45%
95	robobo	69%	robobo	58%	robobo	39%
105	robobo	74%	robobo	49%	robobo	69%
115	robobo	74%	robobo	40%	robobo	63%
125	robobo	65%	robobo	40%	robobo	62%
135	robobo	58%	robobo	35%	robobo	45%
145	robobo	54%	robobo	30%	robobo	44%
155	robobo	38%	robobo	32%	robobo	38%
165	robobo	32%	robobo	32%	robobo	31%
175	robobo	30%	bicicleta	36%	robobo	30%
185	-	-	bicicleta	40%	robobo	30%
195	-	-	bicicleta	50%	botella	31%

Introducción Objetivos Especificaciones Diseño Implementación **Pruebas** Resultados Aplicabilidad Presupuesto

Protocolo de pruebas y validación

Validación de la detección de objetos

Semáforo						
Distancia	Rojo		Amarillo		Verde	
cm	Clase	Confianza	Clase	Confianza	Clase	Confianza
15	<u>sem. rojo</u>	99%	<u>sem. amarill</u>	99%	<u>sem. verde</u>	99%
25	<u>sem. rojo</u>	98%	<u>sem. amarill</u>	98%	<u>sem. verde</u>	98%
35	<u>sem. rojo</u>	99%	<u>sem. amarill</u>	99%	<u>sem. verde</u>	98%
45	<u>sem. rojo</u>	99%	<u>sem. amarill</u>	99%	<u>sem. verde</u>	99%
55	<u>sem. rojo</u>	77%	<u>sem. amarill</u>	54%	<u>sem. verde</u>	84%
65	<u>sem. rojo</u>	31%	<u>sem. amarill</u>	30%	<u>sem. verde</u>	76%
75	-	-	<u>sem. amarill</u>	78%	<u>sem. verde</u>	87%
85	-	-	<u>sem. amarill</u>	77%	<u>sem. verde</u>	95%
95	STOP	40%	<u>sem. amarill</u>	45%	<u>sem. verde</u>	92%
105	STOP	51%	-	-	<u>sem. verde</u>	55%
115	STOP	69%	<u>sem. amarill</u>	30%	<u>sem. verde</u>	75%
125	STOP	81%	<u>sem. amarill</u>	30%	<u>sem. verde</u>	85%
135	STOP	75%	-	-	<u>sem. verde</u>	88%
145	STOP	58%	-	-	<u>sem. verde</u>	86%
155	-	-	-	-	<u>sem. verde</u>	72%
165	-	-	-	-	<u>sem. verde</u>	50%
175	velocidad 50	57%	velocidad 50	31%	-	-
185	velocidad 50	34%	-	-	-	-
195	velocidad 50	32%	-	-	-	-

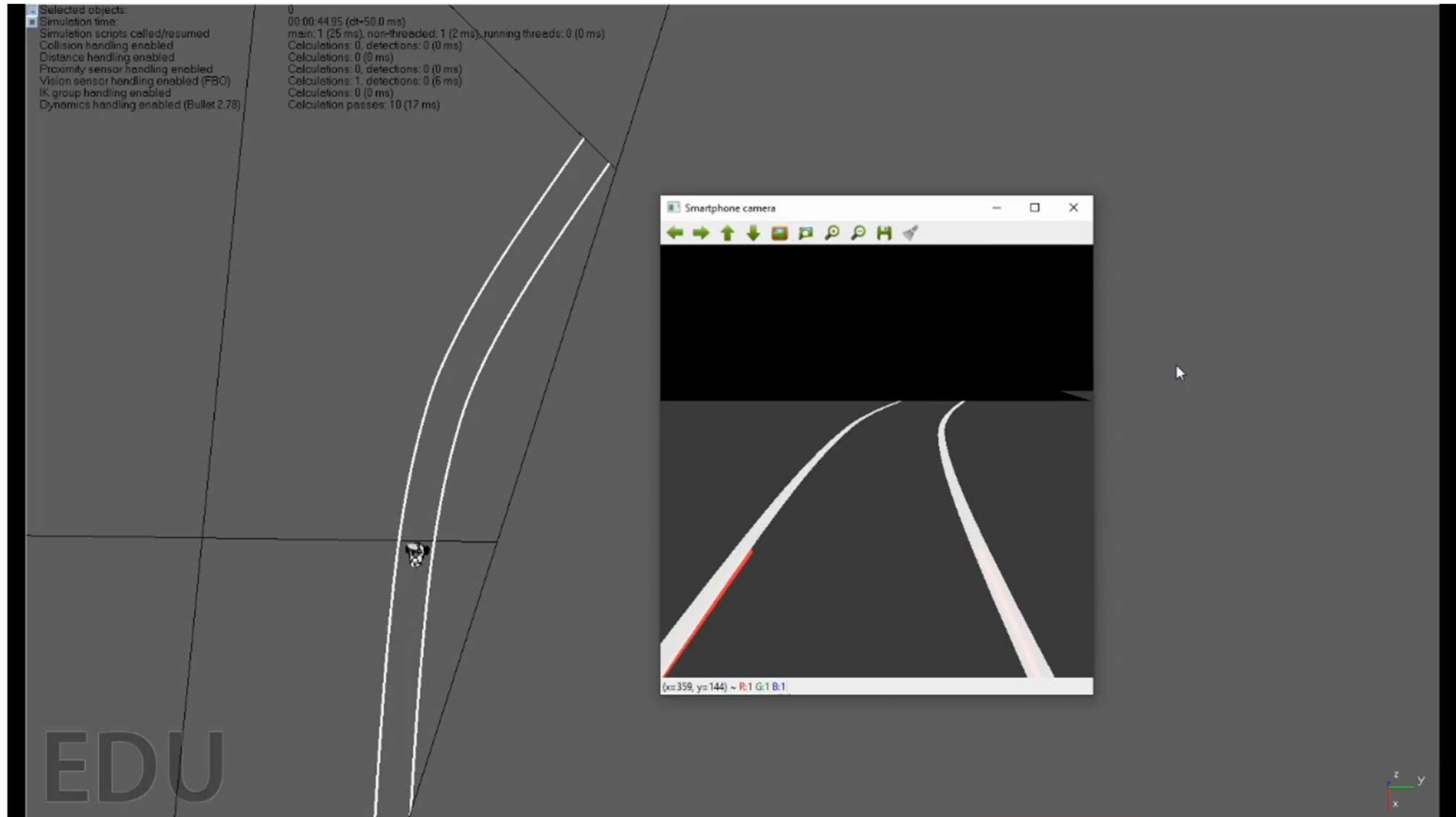
Protocolo de pruebas y validación

Validación de la detección de objetos

Señales						
Distancia	Velocidad 50		Velocidad 120		STOP	
cm	Clase	Confianza	Clase	Confianza	Clase	Confianza
15	velocidad 50	89%	velocidad 120	87%	STOP	99%
25	velocidad 50	88%	velocidad 120	36%	STOP	99%
35	velocidad 50	85%	velocidad 50	92%	STOP	99%
45	velocidad 50	82%	velocidad 50	89%	STOP	94%
55	velocidad 50	31%	velocidad 50	81%	STOP	91%
65	velocidad 50	50%	velocidad 50	31%	STOP	85%
75	velocidad 50	42%	velocidad 50	62%	STOP	99%
85	velocidad 50	46%	velocidad 120	31%	STOP	97%
95	-	-	velocidad 50	52%	STOP	40%
105	velocidad 50	30%	-	-	STOP	71%
115	velocidad 50	67%	-	-	STOP	32%
125	velocidad 50	74%	velocidad 50	34%	velocidad 50	51%
135	velocidad 50	76%	velocidad 50	32%	velocidad 50	34%
145	velocidad 50	68%	velocidad 50	31%	velocidad 50	40%
155	velocidad 50	63%	velocidad 50	33%	velocidad 50	51%
165	velocidad 50	61%	velocidad 50	67%	velocidad 50	84%
175	velocidad 50	58%	velocidad 50	60%	velocidad 50	81%
185	velocidad 50	55%	velocidad 50	52%	velocidad 50	76%
195	velocidad 50	55%	velocidad 50	50%	velocidad 50	74%

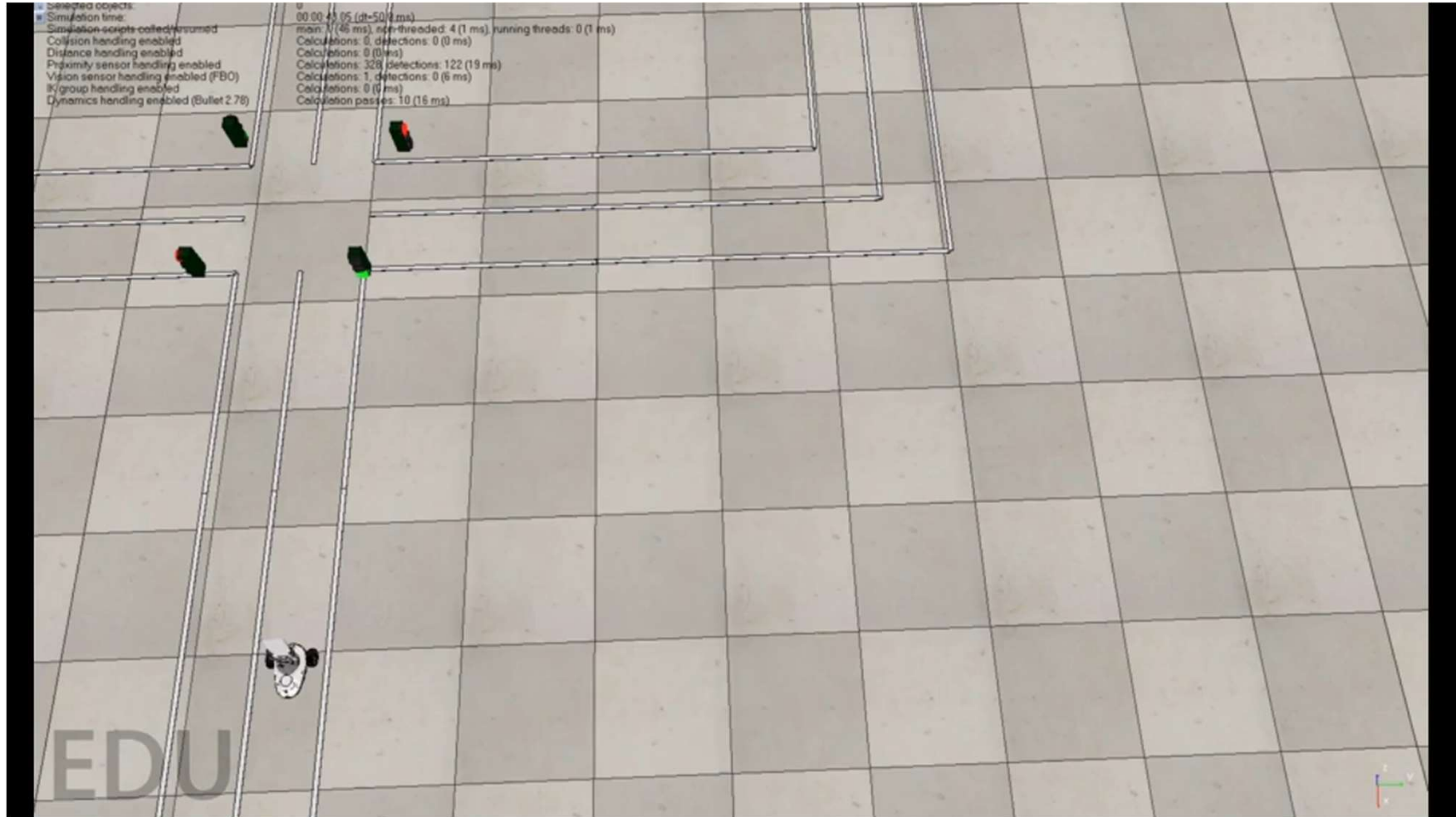
Resultados obtenidos

Desempeño en curvas



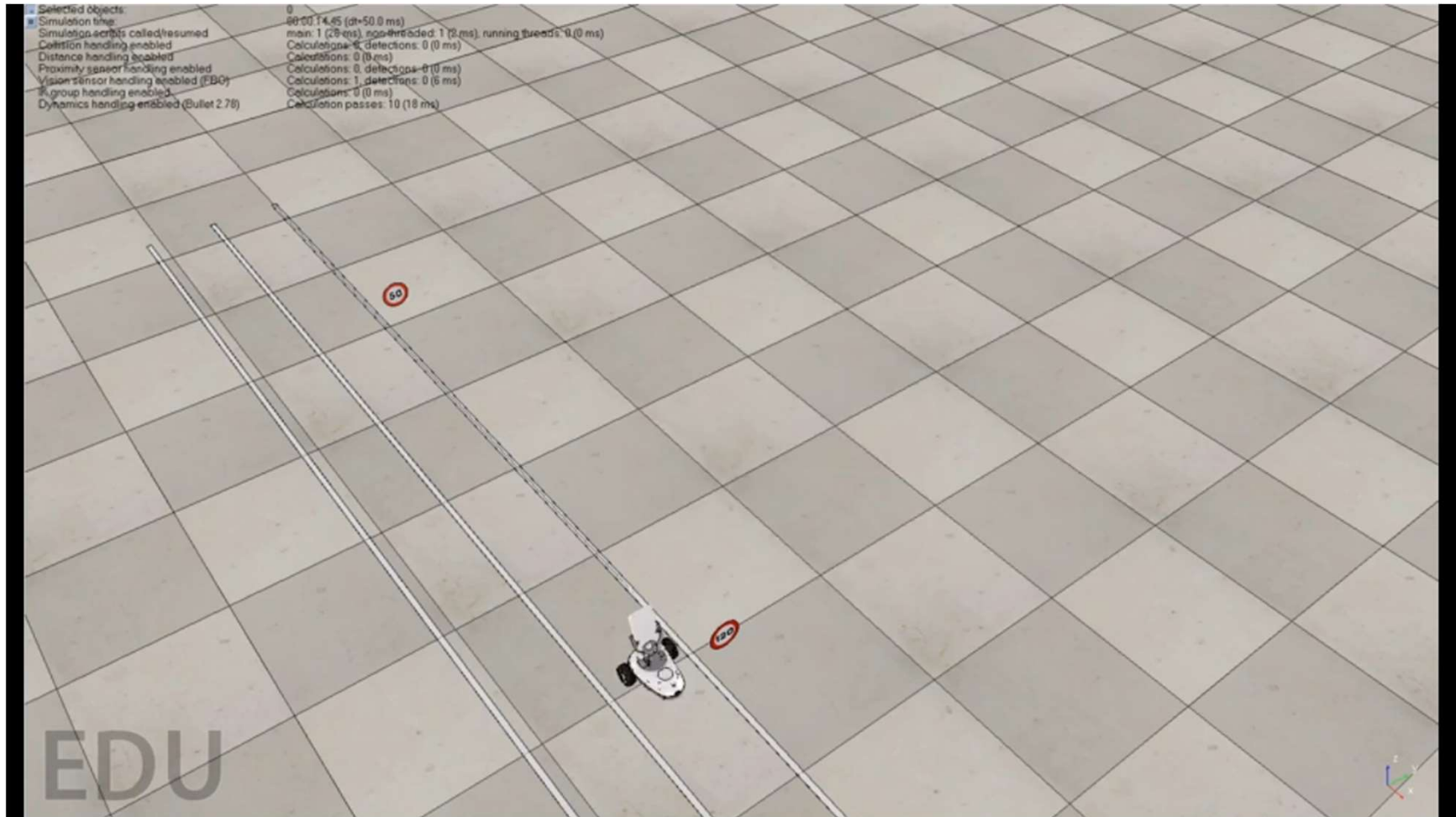
Resultados obtenidos

Obediencia de semáforos



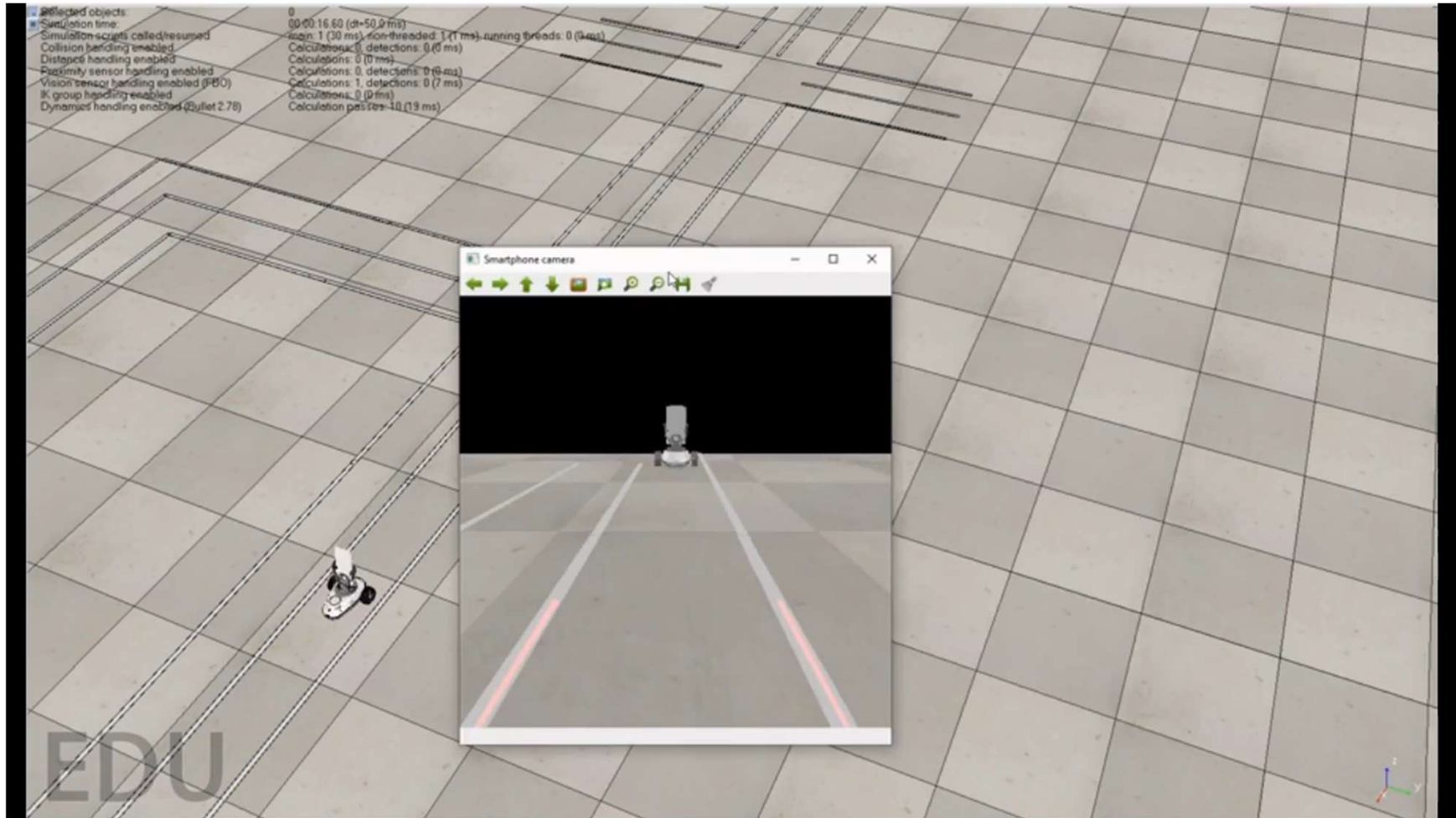
Resultados obtenidos

Obediencia de señales



Resultados obtenidos

Frenado automático



Estudio de aplicabilidad

- Mejora del modelo de simulación del Robobo ✓
- Modelado de un entorno de simulación ✓
- Desarrollo e implementación de librerías de detección ✓

Aplicación en sustitución de la plataforma robótica real para algunas labores de docencia e investigación

Presupuesto

C.I CAPÍTULO I. MATERIALES					
N/P	CONCEPTO	Uds.	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
1.1	Ordenador de sobremesa con Intel Core i5-2500 y 8 GB de RAM		1	500,00 €	500,00 €
1.2	Disco duro SSD de 480 GB		1	50,00 €	50,00 €
1.3	Tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti		1	145,00 €	145,00 €
IMPORTE TOTAL CAPÍTULO I					695,00 €

C.II CAPÍTULO II. SOFTWARE					
N/P	CONCEPTO	Uds.	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
2.1	Licencia CoppeliaSim Edu (gratuita para uso educativo)		1	0,00 €	0,00 €
IMPORTE TOTAL CAPÍTULO II					0,00 €

C.III CAPÍTULO III. MANO DE OBRA					
N/P	CONCEPTO	Uds.	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
3.1	Desarrollo del modelo	Horas	360 h	40,00 €/h	14 400,00 €
IMPORTE TOTAL CAPÍTULO III					14 400,00 €

Presupuesto

Resumen por capítulos	
Capítulo I. Materiales	695,00 €
Capítulo II. Software	0,00 €
Capítulo III. Mano de obra	14 400,00 €
IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	15 095,00 €

IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	15 095,00 €
13% de Gastos Generales	1 962,35 €
6% de Beneficio Industrial	905,70 €
IMPORTE DE EJECUCION	17 963,05 €
21% de IVA	3 772,24 €
IMPORTE DE CONTRATA	21 735,29 €

El importe de contrata asciende a la cantidad de **VEINTIÚN MIL SETECIENTOS TREINTA Y CINCO EUROS CON VEINTINUEVE CÉNTIMOS**

Selected objects: 0
Simulation time: 00:00:22.45 (dt=50.0 ms)
Simulation scripts called/resumed: main: 1 (28 ms), non-threaded: 1 (2 ms), running threads: 0 (0 ms)
Collision handling enabled: Calculations: 0, detections: 0 (0 ms)
Distance handling enabled: Calculations: 0 (0 ms)
Proximity sensor handling enabled: Calculations: 0, detections: 0 (0 ms)
Vision sensor handling enabled (FBO): Calculations: 1, detections: 0 (7 ms)
R-group handling enabled: Calculations: 0 (0 ms)
Dynamics handling enabled (Bullet 2.78): Calculation passes: 10 (19 ms)



Gracias por su atención

EDU