

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de un ambiente virtual para uso didáctico
con énfasis en la aplicación de conocimiento en una
planta de ensamblaje automotriz**

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto tecnológico
presentado por
Martín Amado Girón (19020), Alejandra Gudiel García (19232), Martín
Eduardo España Rivera (19258), Laura María Leví Tamath Pérez
(19365), Diego Alberto Alvarez Molina (19498), Luis Diego Romero
Casasola (20087), Luis Carlos Rosenberg Ligorria (20155)

Guatemala
2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería





**Desarrollo de un ambiente virtual para uso didáctico
con énfasis en la aplicación de conocimiento en una
planta de ensamblaje automotriz**

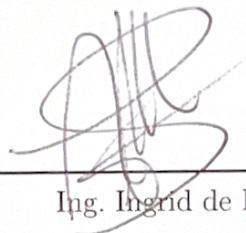
Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto tecnológico
presentado por
Martín Amado Girón (19020), Alejandra Gudiel García (19232), Martín
Eduardo España Rivera (19258), Laura María Leví Tamath Pérez
(19365), Diego Alberto Alvarez Molina (19498), Luis Diego Romero
Casasola (20087), Luis Carlos Rosenberg Ligorria (20155)

Guatemala, 4 de enero de 2024

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Dulce Chacón

(f) 
Ing. Douglas Barrios

(f) 
Ing. Ingrid de León

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de febrero de 2024

Índice

Lista de figuras	XV
Lista de cuadros	XIX
Resumen	XX
Abstract	XXI
I Introducción	1
II Justificación	2
III Objetivos	4
A Objetivo general	4
B Objetivos específicos	4
IV Diseño de dos escenarios de estudio de capacidad productiva y rentabilidad financiera	5
A Marco Teórico	5
1 Industria Automotriz y la Línea de Ensamble	5
2 Línea de Ensamble Semi Automatizada	6
a 2.1 Definición	6
b 2.2 Tipos de Semi automatización	6
c 2.3 Ventajas de la Semi automatización	7
3 Generalidades de la Planta	7
B Metodología	11
1 Delimitación del Proceso y Supuestos del Proceso	11
2 Supuestos y Restricciones	12
3 Máquinas Automatizadas Implementadas en el Proceso	13
4 Operaciones Escenario Automatizado con Soldadura Automatizada (Escenario 1)	14
5 Operaciones Escenario Automatizado con Ensamble Final Automatizado(Escenario 2)	15
6 Estudio de tiempos de Proceso	16
7 Comparación de Tiempos de Ciclo	21
8 Diagramas de proceso	21
9 Análisis Productivo	27
a 9.6 Planificación de Requerimientos de Materia Prima	42
10 Planos finales de áreas de producción	47
11 Análisis Financiero	49
C Resultados	59
D Hallazgos	60

V	Diseño de dos escenarios de un ensamble automotriz que compare procesos de producción tradicionales y automatizados	61
A	Marco teórico	61
1	La ingeniería industrial y su aplicación en la industria	61
2	La planificación de la producción y sus herramientas	62
3	La industria automotriz en Latinoamérica y Guatemala	62
4	Industria 4.0 y las nuevas herramientas utilizadas en el diseño de plantas	63
5	Costo de Producción	64
B	Metodología	64
1	Diseño del proceso	64
2	<i>Bill Of Materials</i>	64
3	Diagrama de operaciones preliminar (DOP)	65
4	Investigación de maquinaria a utilizar e información de la misma	66
5	Elaboración de plano preliminar	67
6	Toma de Tiempos	68
7	Distribuciones estadísticas	76
8	Simulación preliminar	77
9	Tiempo de ciclo	78
10	Plano de área de producción y simulación final	79
11	MRP	80
12	Análisis de Costos	80
C	Resultados	82
1	<i>Bill of Materials</i>	82
2	Diagrama de Operaciones	84
3	Planos	86
4	Simulación	88
5	<i>Material Requierement Planning</i> (MRP)	92
6	Análisis de costos	100
a	Costo de mano de obra	104
7	Análisis de costo de producción	113
D	Discusión	114
E	Hallazgos	115
VI	Diseño de nivel, modelación y animaciones	117
A	Marco teórico	118
1	Realidad virtual	118
2	Diseño de nivel	118
3	Modelado 3D	119
4	<i>Shaders</i>	119
a	<i>Universal render pipeline</i> y materiales <i>PBR</i>	120
5	<i>GameObjects</i> y <i>prefabs</i>	120
a	<i>Hooks</i>	120
6	<i>Colliders, triggers</i> y <i>rigidbody</i>	121
7	Animación	121
a	Componentes básicos de animación y control en realidad virtual	122
B	Metodología	122
1	Planeación del proyecto	122
2	Herramientas utilizadas	123
a	Blender	123
b	Unity	123
c	Mixamo	123
3	Futuras implementaciones	124
C	Resultados	124

1	Toma de decisiones	124
2	Primera iteración	125
3	Segunda iteración	129
D	Análisis de resultados	133
1	Primera iteración	133
2	Segunda iteración	135
VII Animaciones 3D con cinemática inversa en VR		137
A	Marco teórico	137
1	Lineas de ensamblaje	137
2	Automóviles	138
3	Educación con realidad virtual	138
4	Videojuegos	138
5	Motores	138
6	Blender	139
a	Armadura	139
b	Cinemática Inversa	139
7	Unity	140
a	Cuerpos rígidos	140
b	Colisionadores	140
c	Controlador de animaciones	140
d	Prefabricados	141
B	Metodología	141
1	Diseño en blender	144
a	Máquina de soldadura	145
b	Máquinas de movimiento de piezas	146
c	Carros de transporte de piezas	147
d	Creación de animaciones	147
e	Armadura	147
2	Integración con Unity	148
a	Animaciones	148
b	Máquinas de soldadura	149
c	Máquinas de movimiento de piezas	150
d	Controlador de animaciones	150
e	Estaciones	150
f	Automóvil	150
g	<i>Prefabs</i> de piezas	152
h	Movimiento carros de transporte	153
i	Manejador de línea de ensamblaje	153
C	Resultados	154
1	Máquinas modeladas	154
2	Línea de ensamblaje implementada	155
3	Optimización de la implementación de animaciones	157
4	Retroalimentación realizada por docente	161
VIII Experiencia de usuario (UX)		165
A	Marco teórico	166
1	Estado del arte	166
2	Educación	167
3	Hardware	168
a	Sistemas totalmente inmersivos	168
b	Sistemas no inmersivos	169
c	Sistemas semi-inmersivos	169
d	Oculus Quest 2	169

	e	Virtualizer ELITE 2	169
4	Software		169
	a	Unity	169
	b	XR Interaction Toolkit	170
	c	Cyberith SDK	170
5	Principios de diseño		170
	a	Conocimiento del mundo y de la mente	170
	b	Simplificar la estructura de las tareas	171
	c	Hacer las interacciones obvias	171
	d	Mapear correctamente	171
	e	Explotar las restricciones naturales y artificiales	172
	f	Diseñar para errores	172
	g	Cuando todo falle: estandarizar	172
6	Diseño de nivel		172
7	Diseño de interfaz		173
8	Experiencia de usuario		173
9	Procesos industriales en la producción de automóviles		174
B	Metodología		174
	1	Planeación	174
		a Flujo	174
		b Herramientas	176
	2	Equipo de desarrollo	177
	3	Implementación	178
		a Integración con realidad virtual	178
		b Interacción con objetos	178
		c Interacción con interfaz	179
		d Tutorial	181
	4	Pruebas de usuario	182
	5	Futuras implementaciones	184
C	Resultados		185
	1	Prototipo 1	185
	2	Prototipo 2	187
	3	Prototipo final	190
	4	Prueba con catedrática	192
D	Análisis de resultados		195
IX	Desarrollo del <i>character controller</i>, UI/UX, ventas y monetización		197
A	Marco Teórico		198
	1	Industria automotriz	198
		a Ensamble de carros	198
		b ¿Cómo ensamblan carros empresas multinacionales?	199
		c ¿Existen ensamblajes de carros en Latinoamérica?	199
		d ¿Qué se conoce de la fabricación de carros a nivel nacional?	199
		e ¿Se da algún proceso de ensamblado en Guatemala?	200
	2	Industria 4.0	200
	3	Videojuegos	201
		a ¿Qué es?	201
		b ¿Qué pasos se usan para crear un videojuego?	202
		c Diferencias entre un videojuego y una simulación	202
	4	Motor de videojuegos	203
		a Unity	203
		b ¿Cómo son los scripts?	203
		c Componentes y herramientas	204
		d Otras herramientas de Unity	204

	e	Controlador de personaje	204
5	Realidad virtual		205
	a	Realidad virtual vs. simulación	205
	b	Cyberith	205
	c	Virtualizer 2	205
	d	Meta	205
	e	Oculus Quest 2	206
	f	Componentes de Unity para VR	206
6	UI/UX		206
	a	¿Qué es UI?	206
	b	¿Qué es UX?	206
	c	Cibermareo	206
	d	Tipos de interacciones en VR	207
	e	Cuidados	207
7	Monetización		207
B	Metodología		208
1	Formación del Equipo de Desarrollo:		208
	a	Roles y Distribución de Tareas:	209
	b	Colaboración y Comunicación:	209
2	Creación de la idea		210
	a	Definición de tecnologías	210
	b	Búsqueda de literatura	210
	c	Observación en el campo	210
	d	Integración de tecnologías	211
	e	Oculus Quest 2	213
3	Diseño y desarrollo de la aplicación		213
	a	Diseño de la Aplicación	213
	b	Herramientas y Tecnología	214
	c	Diseño de Controles	214
	d	Diseño de Interfaz de Usuario (UI) y Experiencia de Usuario (UX)	214
	e	Desarrollo de Contenido	214
	f	Pruebas y Optimización	214
	g	Iteración y Mejora	214
4	Análisis de datos y recolección de retroalimentación		215
	a	Iteración 1: Pruebas de Movimiento y Controles Básicos	215
	b	Iteración 2: Pruebas en la Fábrica de Ensamble	216
	c	Iteración 3: Producto Final	216
C	Resultados		217
1	Iteración I: prototipo inicial		217
	a	Análisis cualitativo	220
	b	Análisis cuantitativo	221
2	Iteración II: prototipo intermedio		224
	a	Análisis cualitativo	228
	b	Análisis cuantitativo	228
3	Iteración III: prototipo final		233
	a	Análisis cualitativo	240
	b	Análisis cuantitativo	240
4	Iteración con un catedrático		244
	a	Análisis cualitativo	245
	b	Análisis cuantitativo	246
5	Monetización		249
	a	Simulaciones o juegos comparables	249
	b	Planificación a futuro	250

X	Implementación de una Experiencia Asimétrica para Grupos	251
A	Marco teórico	252
1	Asimetría en juegos	252
a	¿Qué es la asimetría en los juegos?	252
b	Tipos de asimetría en juegos	252
2	Cooperación y comunicación	255
a	El rol social en los juegos	255
b	La realidad virtual y el trabajo cooperativo	255
3	Comunicación no verbal	255
4	Ensamblaje de automóviles	256
a	Gestión de la cadena de suministro	256
b	El rol del ensamblaje automotriz en las cadenas de suministro	257
c	Las imperfecciones de las cadenas de suministro	257
B	Metodología	259
1	Integrantes	259
a	Módulos	260
2	Mecánicas	260
a	Metodología	260
b	Desarrollo de <i>briefs</i>	261
3	Implementación	261
a	Fase 1. Documentación	261
b	Fase 2. Experiencia individual en PC	262
c	Fase 3. Experiencia asimétrica	262
C	Resultados	262
1	Definición de características	262
2	Primera fase	263
a	Desarrollo de <i>briefs</i>	263
b	Evaluación de los <i>briefs</i>	264
3	Segunda fase	268
a	Desarrollo del tutorial	268
b	Evaluación del tutorial	269
4	Tercera fase	273
a	Desarrollo de la implementación	273
b	Evaluación del escenario asimétrico real	274
XI	Conclusiones	279
XII	Recomendaciones	283
XIII	Referencias	287
	Referencias	287
XIV	Anexos	293
A	Diseño de dos escenarios de estudio de línea de ensamblaje automotriz semiautomatizada	293
B	Diseño de nivel, modelación y animación	300
C	Próximas funcionalidades	304
1	Nuevos robots	304
2	Audio	305
3	Seguridad industrial	305
D	Observaciones y comentarios	306
E	Pruebas de usuario	306
F	<i>Brief</i> de <i>tooltips</i>	319
G	<i>Brief</i> de <i>click and drag</i>	320
H	<i>Brief</i> de <i>waypoints</i>	321
I	Estructura de <i>assets</i>	322

J	Estructura elementos	322
K	Respuestas preguntas libres	325
1	Fase 1	325
	a <i>Waypoints</i>	325
	b <i>Click and drag</i>	325
	c <i>Tooltips</i>	325
2	Fase 2 y 3	325
	a <i>Waypoints</i>	325
	b <i>Tooltips</i>	326
	c <i>Click and drag</i>	327
Glosario		328

Índice de figuras

1	<i>Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 1</i>	22
2	<i>Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 1 Parte2</i>	23
3	<i>Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 1 Parte 3</i>	24
4	<i>Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 2</i>	25
5	<i>Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 2 Parte 2</i>	26
6	<i>Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 2 Parte 3</i>	27
7	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 2</i>	28
8	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 2</i>	29
9	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 3</i>	30
10	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 4</i>	30
11	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 2 Parte 1</i>	31
12	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 2 Parte 2</i>	32
13	<i>Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 2 Parte 3</i>	33
14	<i>Vista en planta de Simulación Semi Automatizada 1</i>	34
15	<i>Vista en 3D de Simulación Semi Automatizada 1</i>	34
16	<i>Vista de planta de Simulación Semi Automatizada 2</i>	35
17	<i>Vista en 3D de Simulación Semi Automatizada 2</i>	36
18	<i>Nuevo tiempo en preparación de materia prima para Simulación Semi Automatizado 1 visto en SIMIO</i>	37
19	<i>Simulación Semi Automatizado 1 con nuevo tiempo en preparación de materia prima</i>	37
20	<i>Nuevo tiempo en preparación de materia prima para Simulación Semi Automatizado 2 visto en SIMIO</i>	38
21	<i>Simulación Semi Automatizado 2 con nuevo tiempo en preparación de materia prima</i>	39
22	<i>Bill of Materials para la fabricación de un carro</i>	41
23	<i>Plano de Escenario Semi Automatizado 1 en cm</i>	48
24	<i>Plano de Escenario Semi Automatizado 2 en cm</i>	49
25	<i>Diagrama de operaciones preliminar</i>	66
26	<i>Plano de área de producción preliminar</i>	68
27	<i>Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automotriz con proceso manual</i>	72
28	<i>Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automotriz con proceso automatizado</i>	73
29	<i>Simulación manual preliminar</i>	78
30	<i>Simulación automatizada preliminar</i>	78
31	<i>Bill of materials</i>	83
32	<i>Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automotriz con proceso automatizado y tiempo de ciclo implementado (preparación de materia prima)</i>	84
33	<i>Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automotriz con proceso manual y tiempo de ciclo implementado (preparación materia prima)</i>	85
34	<i>Diagrama relacional de actividades</i>	86
35	<i>Plano área de producción de escenario manual</i>	87
36	<i>Plano de área de escenario automatizado</i>	88
37	<i>Diagrama relacional de actividades</i>	90
38	<i>Perspectiva 2 de simulación automatizada</i>	90
39	<i>Perspectiva 3 de simulación automatizada</i>	90

40	<i>Perspectiva 1 de simulación manual</i>	91
41	<i>Perspectiva 2 de simulación manual</i>	91
42	<i>Perspectiva 3 de simulación manual</i>	91
43	<i>Perspectiva 4 de simulación manual</i>	92
44	Distribución de la experiencia previa con realidad virtual	125
45	Opiniones sobre una planta de ensamblaje de automóviles en realidad virtual	125
46	Aspectos importantes en una planta de realidad virtual para ensamblar automóviles	126
47	Opiniones sobre la representación en 3D de las piezas de automóviles en la planta de realidad virtual	126
48	Opiniones sobre la inclusión de animaciones de operarios en la planta de realidad virtual	126
49	Principales beneficios de utilizar realidad virtual en la fabricación de automóviles	127
50	Puntuación de la apariencia general del modelo de auto modelado en realidad virtual	127
51	Impresión del modelo de carro en realidad virtual	127
52	Aspectos destacados del realismo en la experiencia de realidad virtual	128
53	Impresiones de la representación en 3D de la estación de pintura del carro	128
54	Comprensión de la estación de pintura en el modelo 3D	129
55	Perspectivas del carro ensamblado	129
56	Valoración del corte de materia prima	130
57	Evaluación de similitud del casco con uno real	130
58	Evaluación de similitud de la máquina de soldadura con una real	130
59	Evaluación del movimiento de los operadores soldadores	131
60	Valoración general de la estación de soldadura	131
61	Evaluación del movimiento de los operadores de ensamblaje de puertas	131
62	Valoración de la estación de colocación de puertas basada en el video	132
63	Evaluación del movimiento de los operadores en la estación de ensamblaje	132
64	Evaluación de la estación según el video	132
65	Evaluación de la estación de pintura a partir del video	133
66	Evaluación del desempeño del movimiento de los operadores en la colocación de llantas	133
67	Análisis general de la estación de llantas basado en el vídeo	133
68	Diseño final de la línea de ensamblaje	137
69	Máquina de soldadura.	142
70	Máquina de colocación de piezas.	143
71	Carro de transporte de piezas.	143
72	Robots con su propia animación.	144
73	Ejes de movimiento en brazos de máquinas.	144
74	Representación de zonas de soldadura.	145
75	Límites de máquina de soldadura.	145
76	Límites de máquina de movimiento.	146
77	Módelos integrados.	146
78	Carro transporte de piezas.	147
79	Implementación ' <i>PickUpSetParent</i> '.	148
80	Implementación ' <i>PickUpAndActivate</i> '.	149
81	Automóvil.	151
82	Colocación.	151
83	Secuencia realizada por la máquina de movimiento de piezas al colocar el baúl.	152
84	<i>Prefab</i> de dos componentes ' <i>Box Collider</i> '.	153
85	Máquina de soldadura.	154
86	Máquina de movimiento de piezas.	154
87	Carro de transporte.	155
88	Estación corte de piezas.	155
89	Línea de ensamblaje.	156
90	Línea de ensamblaje en acción.	156

91	Percepción de realismo en la primera animación.	157
92	Percepción de fluidez en la primera animación.	157
93	Precisión en la colocación de piezas en la primera animación.	158
94	Percepción de realismo en la segunda animación.	158
95	Percepción de fluidez en la segunda animación.	158
96	Precisión en la colocación de piezas en la segunda animación.	159
97	Resultado animación más realista.	159
98	Resultado animación más fluida.	159
99	Resultado animación más precisa.	160
100	Resultado animación que mejor ensambla el carro.	160
101	Comentarios adicionales.	161
102	Resultado de semejanza entre modelo original y el diseñado del robot soldadura. . .	161
103	Resultado de semejanza entre modelo original y el diseñado del robot de movimiento.	162
104	Calificación de la precisión en los movimientos de todas las máquinas.	162
105	Calificación de la precisión en los movimientos de las máquinas de soldadura.	162
106	Calificación de la precisión en los movimientos para colocar las puertas en el automóvil.	163
107	Calificación de la precisión en los movimientos para colocar el bumper en el automóvil.	163
108	Calificación de la precisión en los movimientos para colocar el capo en el automóvil.	163
109	Calificación de la precisión en los movimientos para colocar el maletero en el automóvil.	164
110	Calificación de la precisión en los movimientos para colocar las llantas en el automóvil.	164
111	Primer diagrama de flujo de la aplicación	175
112	Segundo diagrama de flujo de la aplicación	175
113	Diagrama de flujo final de la aplicación	176
114	Headset y controles Oculus Quest 2 utilizados en una prueba de usuario	176
115	Caminadora Virtualizer Elite 2	177
116	Interacción con objetos en tutorial	179
117	Interacción con interfaz del tutorial	180
118	Interacción con menú principal	180
119	Interacción con tableta en tutorial	181
120	Nivel de tutorial	182
121	Prueba de usuario del prototipo 2	183
122	Prueba de usuario del prototipo final	184
123	Simulación de la línea de ensamblaje	185
124	Resultado de la primera pregunta del prototipo 1	185
125	Resultado de la segunda pregunta del prototipo 1	186
126	Resultado de la tercera pregunta del prototipo 1	186
127	Resultado de la cuarta pregunta del prototipo 1	186
128	Resultado de la quinta pregunta del prototipo 1	187
129	Resultado de la sexta pregunta del prototipo 1	187
130	Resultado de la primera pregunta del prototipo 2	188
131	Resultado de la segunda pregunta del prototipo 2	188
132	Resultado de la tercera pregunta del prototipo 2	188
133	Resultado de la cuarta pregunta del prototipo 2	189
134	Resultado de la quinta pregunta del prototipo 2	189
135	Resultado de la sexta pregunta del prototipo 2	189
136	Resultado de la primera pregunta del prototipo final	190
137	Resultado de la segunda pregunta del prototipo final	190
138	Resultado de la tercera pregunta del prototipo final	191
139	Resultado de la cuarta pregunta del prototipo final	191
140	Resultado de la quinta pregunta del prototipo final	191
141	Resultado de la sexta pregunta del prototipo final	192
142	Resultado de la primera pregunta de la prueba con catedrática	193
143	Resultado de la segunda pregunta de la prueba con catedrática	193

144	Resultado de la tercera pregunta de la prueba con catedrática	193
145	Resultado de la cuarta pregunta de la prueba con catedrática	194
146	Resultado de la quinta pregunta de la prueba con catedrática	194
147	Resultado de la sexta pregunta de la prueba con catedrática	194
148	Código ejemplo de un uso básico del controlador de personaje	205
149	Biblioteca de programas en C# para inicializar y ejecutar el funcionamiento de la caminadora.	211
150	Código base para detectar la conectividad de la caminadora en la computadora . . .	212
151	Estaciones de procesos a visualizar en el programa	217
152	Diagrama de flujo no. 1 - primer prototipo	218
153	Vista aérea de la primera iteración del nivel	219
154	Prueba con controles para seleccionar objetos interactivables	219
155	Prueba con controles para agarrar objetos	220
156	Prueba con controles para lanzar objetos	220
157	Pregunta no. 1 del primer prototipo	221
158	Pregunta no. 2 del primer prototipo	222
159	Pregunta no. 3 del primer prototipo	222
160	Pregunta no. 4 del primer prototipo	223
161	Pregunta no. 5 del primer prototipo	223
162	Pregunta no. 6 del primer prototipo	224
163	Diagrama de flujo no. 2 - segundo prototipo	226
164	Mejora en el UI, creación de flechas para señalar qué tipo de botones se deben presionar	227
165	Explicación de texto y ampliación de instrucciones en UI	227
166	Implementación de la tablet y señalación de botones a utilizar	228
167	Pregunta no. 1 del segundo prototipo	229
168	Pregunta no. 2 del segundo prototipo	229
169	Pregunta no. 3 del segundo prototipo	230
170	Pregunta no. 4 del segundo prototipo	230
171	Pregunta no. 5 del segundo prototipo	231
172	Pregunta no. 6 del segundo prototipo	231
173	Pregunta no. 7 del segundo prototipo	232
174	Pregunta no. 8 del segundo prototipo	232
175	Diagrama de flujo no. 3 - prototipo final, versión 1	234
176	Diagrama de flujo no. 4 - prototipo final, versión 2	236
177	Vista del usuario a una nueva sección de interacción	237
178	Interacción del usuario con botones en el tutorial	237
179	Vista del tablet desde la pantalla del tutorial para iniciar alguna simulación	238
180	Vista hacia las máquinas de ensamble	238
181	Implementación de botón para iniciar la ensamblación	239
182	Implementación de los datos de en una sección de la ensamblación	239
183	Pregunta no. 1 del prototipo final	240
184	Pregunta no. 2 del prototipo final	241
185	Pregunta no. 3 del prototipo final	241
186	Pregunta no. 4 del prototipo final	242
187	Pregunta no. 5 del prototipo final	242
188	Pregunta no. 6 del prototipo final	243
189	Pregunta no. 7 del prototipo final	243
190	Pregunta no. 8 del prototipo final	244
191	Pregunta no. 1 de la experiencia del catedrático	245
192	Pregunta no. 2 de la experiencia del catedrático	245
193	Pregunta no. 3 de la experiencia del catedrático	245
194	Pregunta no. 4 de la experiencia del catedrático	245
195	Pregunta no. 1 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	246

196	Pregunta no. 2 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	246
197	Pregunta no. 3 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	247
198	Pregunta no. 4 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	247
199	Pregunta no. 5 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	247
200	Pregunta no. 6 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	248
201	Pregunta no. 7 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	248
202	Pregunta no. 8 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final	248
203	Asimetría de información	253
204	Asimetría de interfaz	254
205	Resultado de la primera pregunta de la primera fase	264
206	Resultado de la segunda pregunta de la primera fase	264
207	Resultado de la tercera pregunta de la primera fase	265
208	Resultado de la cuarta pregunta de la primera fase	265
209	Resultado de la quinta pregunta de la primera fase	266
210	Resultado de la sexta pregunta de la primera fase	266
211	Resultado de la séptima pregunta de la primera fase	267
212	Resultado de la octava pregunta de la primera fase	267
213	Vista general de la interfaz del tutorial	268
214	Vista del <i>tooltip</i> abierto	269
215	Vista superior del <i>Waypoint</i>	269
216	Vista del <i>Waypoint</i> en escena	269
217	Resultado de la primera pregunta de la segunda fase	270
218	Resultado de la segunda pregunta de la segunda fase	270
219	Resultado de la tercera pregunta de la segunda fase	271
220	Resultado de la cuarta pregunta de la segunda fase	271
221	Resultado de la quinta pregunta de la segunda fase	272
222	Escenario de gameplay	273
223	<i>Tooltip</i> con información real de la simulación	274
224	Indicador de posición jugador	274
225	Resultado de la primera pregunta de la tercera fase	275
226	Resultado de la segunda pregunta de la tercera fase	275
227	Resultado de la tercera pregunta de la tercera fase	276
228	Resultado de la cuarta pregunta de la tercera fase	276
229	Resultado de la quinta pregunta de la tercera fase	277
230	Planificación de Materia Prima mensual para Armazón Escenario 1	293
231	Planificación de Materia Prima mensual para Baúl Escenario 1	294
232	Planificación de Materia Prima mensual para Capó Escenario 1	294
233	Planificación de Materia Prima mensual para Guardafangos y Costados Escenario 1	294
234	Planificación de Materia Prima mensual para Bómperes Escenario 1	295
235	Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Delanteras Escenario 1	295
236	Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Traseras Escenario 1	296
237	Planificación de Materia Prima mensual para Interior Escenario 1	296
238	Planificación de Materia Prima mensual para Motor Escenario 1	296
239	Planificación de Materia Prima mensual para Armazón Escenario 2	297
240	Planificación de Materia Prima mensual para Baúl Escenario 2	297
241	Planificación de Materia Prima mensual para Capó Escenario 2	298
242	Planificación de Materia Prima mensual para Guardafangos y Costados Escenario 2	298
243	Planificación de Materia Prima mensual para Bómperes Escenario 2	298
244	Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Delanteras Escenario 2	299
245	Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Traseras Escenario 2	299
246	Planificación de Materia Prima mensual para Interior Escenario 2	299
247	Planificación de Materia Prima mensual para Motor Escenario 2	300

248	Animación para mecánico inspector	300
249	Textura de reja	300
250	Modelo de mecánico realista	301
251	Modelo de automóvil completo	301
252	Textura del cinturón de una cinta transportadora	301
253	Animación para mecánico soldador 1	302
254	Animación para mecánico soldador 2	302
255	Animación para mecánico que coloca las llantas	303
256	Animación para mecánico que carga	303
257	Animación que muestra a un mecánico aplicando fuerza para ensamblar componentes	304
258	Prueba de usuario no. 1	306
259	Prueba de usuario no. 2	307
260	Prueba de usuario no. 3	308
261	Prueba de usuario no. 4	309
262	Prueba de usuario no. 5	310
263	Prueba de usuario no. 6	311
264	Prueba de usuario no. 7	312
265	Prueba de usuario no. 8	313
266	Prueba de usuario no. 9	314
267	Prueba de usuario no. 10	315
268	Prueba de usuario no. 11	316
269	Prueba de usuario no. 12	317
270	Prueba de usuario no. 12 - catedrático	318
271	Estructura de <i>prefabs</i> de elementos asimétricos	322
272	Estructura de <i>scripts</i> de elementos asimétricos	322
273	Ubicación del <i>asset</i> utilizado para el <i>waypoint</i>	322
274	Estructura del <i>tooltip</i>	323
275	Estructura del indicador de jugador	323
276	Configuración de la cámara <i>eagle eye</i>	324

Lista de cuadros

1	<i>Maquinaria Automatizada utilizada en los procesos a simular</i>	13
2	<i>Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 1 Parte 1</i>	14
3	<i>Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 1 Parte 2</i>	14
4	<i>Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 2 Parte 1</i>	15
5	<i>Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 2 Parte 2</i>	15
6	<i>Videos utilizados en tomas tiempo</i>	16
7	<i>Tomas de tiempos 1 a 8 de operación de Escenario Semi Automatizado 1 en segundos</i>	17
8	<i>Tomas de tiempos 9 a 17 de operación de Escenario Semi Automatizado 1 en segundos</i>	17
9	<i>Tomas de tiempos 18 a 25 de operación de Escenario Semi Automatizado 1 en segundos</i>	18
10	<i>Cuadro resumen de promedios de tiempo por operación Escenario Semi Automatizado 1 en segundos</i>	18
11	<i>Tomas de tiempos 1 a 8 de operación de Escenario Semi Automatizado 2 en segundos</i>	19
12	<i>Tomas de tiempos 9 a 17 de operación de Escenario Semi Automatizado 2 en segundos</i>	19
13	<i>Tomas de tiempos 18 a 25 de operación de Escenario Semi Automatizado 2 en segundos</i>	20
14	<i>Cuadro resumen de promedios de tiempo por operación Escenario Semi Automatizado 2 en segundos</i>	20
15	<i>Tiempo de Ciclo y Capacidad Productiva Escenario 1</i>	21
16	<i>Tiempo de Ciclo y Capacidad Productiva Escenario 2</i>	21
17	<i>Cuadro resumen de DOP 1</i>	24
18	<i>Cuadro resumen de DOP 2</i>	27
19	<i>Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 1.</i>	35
20	<i>Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 2.</i>	36
21	<i>Resumen de SIMIO de Porcentajes de utilización de operaciones Escenario 1.</i>	38
22	<i>Resumen de SIMIO de Porcentajes de utilización de operaciones Escenario 2.</i>	39
23	<i>Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 1.</i>	40
24	<i>Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 2.</i>	40
25	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Armazón</i> . .	42
26	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Baúl</i>	42
27	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Capó</i>	43
28	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Guardafangos y Costados</i>	43
29	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Bómperes</i> . .	43
30	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Puertas Delanteras</i>	43
31	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Puertas Traseras</i>	44
32	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Interior</i> . . .	44
33	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Motor</i>	44
34	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Armazón</i> . .	45
35	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Baúl</i>	45
36	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Capó</i>	45

37	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Guardafangos y Costados</i>	46
38	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Bómperes</i> . .	46
39	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Puertas Delanteras</i>	46
40	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Puertas Traseras</i>	47
41	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Interior</i> . . .	47
42	<i>Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Motor</i>	47
43	<i>Costos de compra de materia prima importada</i>	50
44	<i>Costos de compra de materia prima local</i>	50
45	<i>Cálculo de Tarifa eléctrica de corte</i>	51
46	<i>Cálculo de tarifa de mano de obra para corte</i>	51
47	<i>Cálculo de costo de piezas de aluminio</i>	51
48	<i>Costo Total de Materia Prima</i>	52
49	<i>Precio de la hora en un mes de 22 días</i>	52
50	<i>Calculo del Valor de mano obra y distribución de personal para Escenario Semi Automatizado 1</i>	53
51	<i>Resumen de personal de trabajo de planta del Escenario semi automatizado 1</i>	53
52	<i>Resumen de Gastos de operación mensuales de planta del Escenario semi automatizado 1</i>	53
53	<i>Resumen de Mano de Obra mensual de planta del Escenario semi automatizado 1</i> .	53
54	<i>Resumen de Gastos de operación anuales de planta del Escenario semi automatizado 1</i>	53
55	<i>Resumen de Mano de obra anuales de planta del Escenario semi automatizado 1</i> . .	54
56	<i>Calculo del Valor de mano obra y distribución de personal para Escenario Semi Automatizado 2</i>	54
57	<i>Resumen de personal de trabajo de planta del Escenario semi automatizado 2</i>	54
58	<i>Resumen de Gastos de operación mensuales de planta del Escenario semi automatizado 2</i>	54
59	<i>Resumen de Mano de Obra mensual de planta del Escenario semi automatizado 2</i> .	54
60	<i>Resumen de Mano de obra anuales de planta del Escenario semi automatizado 2</i> . .	55
61	<i>Resumen de Gastos de operación anuales de planta del Escenario semi automatizado 2</i>	55
62	<i>Resumen de Mano de obra anuales de planta del Escenario semi automatizado 2</i> . .	55
63	<i>Resumen de consumo energético escenario 1</i>	56
64	<i>Resumen de consumo energético escenario 2</i>	56
65	<i>Detalle de Mantenimiento</i>	56
66	<i>Detalle de Maquinaria y Equipos</i>	57
67	<i>Estimación de Terreno</i>	57
68	<i>Estimación de Depreciaciones del Escenario 1</i>	57
69	<i>Estimación de Depreciaciones del Escenario 2</i>	58
70	<i>Estado de Costo de Producción Escenario Semi Automatizado 1</i>	58
71	<i>Estado de Costo de Producción Escenario Semi Automatizado 2</i>	58
72	<i>Comparación de costos unitarios entre escenarios</i>	59
73	<i>Descripción del Escenario y Procesos Asociados</i>	64
74	<i>Precio y voltaje de maquinaria y servicios auxiliares</i>	67
75	<i>Material audiovisual utilizado para las tomas de tiempo del proceso manual</i>	69
76	<i>Material audiovisual utilizado para las tomas de tiempo del proceso automatizado</i> . .	69
77	<i>Promedio de las 25 tomas de tiempo del proceso manual</i>	70
78	<i>Promedio de las 25 tomas de tiempo del proceso automatizado</i>	71
79	<i>Cantidad de operarios en escenario manual</i>	74
80	<i>Cantidad de operarios en escenario automatizado</i>	75
81	<i>Cantidad de máquina por escenario</i>	75
82	<i>Cantidad de Servicios Auxiliares por escenario</i>	75
83	<i>Distribución probabilística de escenario manual</i>	76

84	<i>Distribución probabilística de escenario automatizado</i>	77
85	<i>Proceso diseñado final</i>	79
86	<i>Materia prima y piezas necesarias</i>	81
87	<i>Modelos de maquinaria y servicios auxiliares seleccionados para la planta automotriz</i>	85
88	<i>Tabla con código/simbología utilizada en el diagrama relacional de actividades</i>	86
89	<i>Simulación preliminar vs. Final comparación de unidades generadas y terminadas / escenario automatizado</i>	89
90	<i>Simulación preliminar vs. Final comparación de unidades generadas y terminadas / escenario manual</i>	89
91	<i>Tiempos de ciclo utilizados para la simulación final de cada escenario</i>	89
92	<i>MRP Escenario manual pieza armazón</i>	93
93	<i>MRP escenario manual pieza baúl</i>	94
94	<i>MRP Escenario manual pieza capó</i>	94
95	<i>MRP Escenario manual piezas guardafangos y costados</i>	94
96	<i>MRP Escenario manual pieza bumper</i>	94
97	<i>MRP Escenario manual piezas puertas delanteras</i>	95
98	<i>MRP Escenario manual piezas puertas traseras</i>	95
99	<i>MRP Escenario manual piezas del interior</i>	96
100	<i>MRP Escenario manual piezas motor</i>	96
101	<i>MRP Escenario automatizado pieza armazón</i>	97
102	<i>MRP Escenario automatizado pieza baúl</i>	98
103	<i>MRP Escenario automatizado pieza capó</i>	98
104	<i>MRP Escenario automatizado pieza guardafangos y costados</i>	98
105	<i>MRP Escenario automatizado pieza bómper</i>	98
106	<i>MRP Escenario automatizado pieza puertas delanteras</i>	99
107	<i>MRP Escenario automatizado pieza puertas traseras</i>	99
108	<i>MRP Escenario automatizado pieza interior</i>	100
109	<i>MRP Escenario automatizado pieza motor</i>	100
110	<i>Costo de piezas compradas en el extranjero</i>	101
111	<i>Costo de piezas compradas en Guatemala</i>	102
112	<i>Costo elaboración de una pieza</i>	103
113	<i>Costo de Compra</i>	104
114	<i>costo de mano de obra de escenario manual</i>	105
115	<i>salario mínimo de operarios y supervisores</i>	105
116	<i>Datos de trabajadores en área de producción del escenario manual</i>	105
117	<i>Gastos de operación mensual (inspectores) del escenario manual</i>	106
118	<i>Pago mano de obra mensual (operarios) del escenario manual</i>	106
119	<i>Gastos de operación anual (inspectores) del escenario manual</i>	106
120	<i>Pago de mano de obra anual (operarios) del escenario manual</i>	106
121	<i>Datos de trabajadores en área de producción del escenario manual escenario automotriz</i>	107
122	<i>Datos de trabajadores en área de producción del escenario manual</i>	107
123	<i>Gastos de operación mensual (inspectores) del escenario automotriz</i>	107
124	<i>Pago de mano de obra mensual (operarios) del escenario automotriz</i>	107
125	<i>Gastos de operación anual (inspectores) del escenario automotriz</i>	108
126	<i>Pago mano de obra anual (operarios) del escenario automotriz</i>	108
127	<i>Comparativo pago de mano de obra y gastos de operación mensual</i>	108
128	<i>Calculo de costo de terreno</i>	108
129	<i>Inversión en maquinaria y servicios y depreciación de escenario manual</i>	109
130	<i>Inversión en maquinaria, servicios, terreno y depreciación de escenario automatizado</i>	110
131	<i>Costo de consumo eléctrico de maquinarias a utilizar en el escenario manual</i>	111
132	<i>Costo de consumo eléctrico de maquinarias a utilizar en el escenario automatizado</i> .	112
133	<i>Costo de mantenimiento</i>	113
134	<i>Costo de producción de escenario manual</i>	113
135	<i>Costo de producción de escenario automatizado</i>	114

136	<i>Comparativo costo de producción de un vehículo</i>	114
137	Módulos para la creación de la línea de ensamblaje con sus responsables	141
138	Estaciones en la línea de ensamblaje	142
139	Integrantes del equipo	177
140	Comentarios prototipo 1	187
141	Comentarios prototipo 2	190
142	Comentarios prototipo final	192
143	Comparativa entre UI vs. UX	207
144	Visualización de actividades y tareas	210
145	Comentarios de las pruebas de usuario	306

Este trabajo de graduación tiene como objetivo diseñar y comparar dos escenarios de ensamblaje automotriz: uno tradicional y otro automatizado. Para ello, se emplearán herramientas de producción y análisis financiero para evaluar su capacidad productiva. Estos escenarios se modelarán e implementarán en una aplicación de realidad virtual (VR). Esta herramienta de realidad virtual servirá como demostración de la modernización de la industria sin necesidad de contar con maquinaria de última generación. De esta manera, se empodera a los países en vías de desarrollo para proyectar, generar y visualizar conceptos de diseño de producción y análisis financiero en un programa de realidad virtual. Esto elimina la necesidad de prototipos físicos y permite una herramienta educativa más accesible. La aplicación de realidad virtual en sí misma fue desarrollada para simular el proceso de ensamblaje de automóviles, sirviendo principalmente como una herramienta educativa. Los objetivos secundarios incluyeron la creación de un controlador de personajes, mejoras en la interfaz de usuario y la experiencia de usuario (UI/UX), así como la definición de una estrategia de monetización a largo plazo.

Abstract

This graduation project aims to design and compare two automotive assembly scenarios: a traditional and an automated one. Production and financial analysis tools will be employed to assess their production capacity. These scenarios will be modeled and implemented within a virtual reality (VR) application. This VR tool will serve as a demonstration of modernizing the industry without requiring access to cutting-edge machinery. It empowers developing countries to project, generate, and visualize production design and financial analysis concepts within a VR program. This eliminates the need for physical prototypes and allows for a more accessible educational tool. The VR application itself was developed to simulate the automobile assembly process, serving primarily as an educational tool. Secondary objectives included the creation of a character controller, user interface/user experience (UI/UX) improvements, and the definition of a long-term monetization strategy.

La realidad virtual (RV) se consolidó como una tecnología crucial en el desarrollo de software y videojuegos. Según Statista (Alsop, 2023), el mercado mundial de RV experimentó un crecimiento exponencial, pasando de menos de 12 mil millones de dólares en 2022 a más de 22 mil millones en 2025. En este contexto, surgió un proyecto particularmente destacado: la creación de una aplicación de RV que simulaba el ensamblaje de automóviles, ofreciendo una experiencia inmersiva a través de un controlador de personaje que permitía caminar, agarrar objetos y visualizar información relevante.

Este trabajo detalla el proceso de desarrollo de la aplicación, desde su concepción hasta su lanzamiento al mercado. Se exploró el uso del controlador de personaje en el entorno virtual y se describió la planificación de la experiencia de usuario (UX/UI) para brindar una experiencia instructiva. Además, se analizó la estrategia de ventas y monetización para garantizar la sostenibilidad y rentabilidad de la aplicación a largo plazo.

La realidad virtual evolucionó, liderada principalmente por los videojuegos, gracias a la inmersión que proporcionaban los headsets de RV. Esta tecnología no solo transformó los juegos, sino también la educación, con implementaciones en aulas virtuales y entornos educativos más personalizados. La visualización en tres dimensiones tuvo un impacto en campos comerciales y de investigación, aunque su uso doméstico enfrentó desafíos.

En el ámbito de la ingeniería, la RV demostró ser valiosa, especialmente en la industria automotriz. Los simuladores de línea de ensamblaje en RV se convirtieron en herramientas esenciales para mejorar la eficiencia y calidad en la producción de automóviles. Este trabajo se enfocó en el desarrollo de un simulador de línea de ensamblaje en RV, con énfasis en el modelado 3D, la animación y el diseño de nivel para proporcionar una experiencia realista. Se esperaba que este simulador contribuyera a la capacitación eficiente de operarios y fomentara mejoras en el diseño de la línea de ensamblaje.

En última instancia, el uso de RV en la educación y la capacitación ofreció beneficios significativos, como un aprendizaje más efectivo y un ahorro de tiempo y recursos. Este enfoque innovador no solo mejoró la calidad de la formación, sino que también preparó a los estudiantes de manera más efectiva para el competitivo ámbito industrial, contribuyendo así al avance de la educación y la preparación profesional.

La realidad virtual (RV) es una tecnología emergente que tiene el potencial de revolucionar la educación. Al proporcionar una experiencia inmersiva y realista, la RV puede ayudar a los estudiantes a comprender mejor los conceptos teóricos y a desarrollar habilidades prácticas.

En el contexto de la ingeniería industrial, puede ser utilizada para enseñar una variedad de temas, por ejemplo:

- Diseño de plantas industriales.
- Simulación de procesos.
- Análisis de datos.
- Toma de decisiones.

El proyecto propuesto consiste en el desarrollo de una aplicación de RV para la enseñanza de la ingeniería industrial. La aplicación se centrará en el diseño de plantas industriales y permitirá a los estudiantes experimentar de primera mano los conceptos y las técnicas involucradas en este proceso.

El principal problema que se resuelve con este proyecto es la falta de experiencias inmersivas en el aprendizaje de la ingeniería industrial. Las clases tradicionales suelen ser teóricas y abstractas, lo que dificulta que los estudiantes comprendan y apliquen los conceptos aprendidos.

La RV proporciona una solución a este problema al ofrecer una experiencia de aprendizaje más realista y atractiva. Al permitir a los estudiantes experimentar de primera mano los conceptos que están aprendiendo, la RV puede ayudar a mejorar su comprensión y retención del conocimiento.

Esto también puede lograr que el aprendizaje sea más atractivo y eficaz, que a su vez, puede transformar la educación y los modelos de clase convencionales. Al resolver este problema, se ganarían los siguientes beneficios:

- Se inspiraría a otros estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Computación a crear nuevas herramientas de trabajo para mejorar la educación que reciben.
- La universidad se posicionaría como un líder en la adopción de tecnologías innovadoras en la educación.

Este proyecto se relaciona con otros que buscan utilizar la realidad virtual para mejorar la educación. Por ejemplo, hay proyectos que utilizan la realidad virtual para enseñar anatomía, ingeniería civil y otras materias.

Los videojuegos educativos han tomado gran auge en los últimos años, en especial las simulaciones. Estas combinan lo mejor de ambos mundos (el juego y la educación) lo que permite crear una experiencia controlada para el usuario.

A. Objetivo general

Desarrollar una simulación de una línea de ensamblaje de automóviles en realidad virtual que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial comparar las capacidades productivas de dos escenarios (tradicional y automatizado) y aprender sobre el proceso de ensamblaje, medidas de seguridad y reglas de interacción con maquinaria.

B. Objetivos específicos

- Diseñar y generar planos de planta de los procesos de producción automotriz tradicional, semiautomatizado, y completamente automatizado.
- Desarrollar una plataforma de realidad virtual para el aprendizaje del ensamblaje de automóviles. Esta debe ser realista y precisa, y debe permitir a los usuarios interactuar con el entorno de manera natural y fluida.
- Evaluar el impacto de la automatización en los procesos de ensamblaje automotriz, comparando tiempos de producción, procesos productivos y costos de producción, de manera tradicional, semiautomatizada y completamente automatizada.
- Crear un mundo hipotético por medio de objetos, definiendo las relaciones entre ellos y la forma de interacción entre los mismos utilizando herramientas de modelado 3D.
- Identificar las necesidades de los usuarios de la plataforma de realidad virtual, realizando entrevistas y encuestas con estudiantes y catedráticos de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Definir el potencial comercial de la plataforma de realidad virtual analizando datos de un análisis de mercado para evaluar el potencial comercial a futuro.
- Definir e implementar uno o diferentes tipos de asimetría para que los usuarios en realidad virtual puedan tener apoyo por parte de los alumnos en computadora.

Diseño de dos escenarios de estudio de capacidad productiva y rentabilidad financiera

Esta sección se enfoca en el diseño y planificación de dos escenarios de trabajo semi-automatizados para el desarrollo de la aplicación de realidad virtual, con el objetivo de mejorar la enseñanza en Ingeniería Industrial en la Universidad del Valle de Guatemala. A lo largo de esta sección, será posible visualizar el desarrollo del diseño, análisis de capacidad productiva, análisis de costos y simulaciones con SIMIO para un proceso de ensamblaje semi-automatizado de carrocerías de vehículos. Esto está inspirado en el modelo de producción de la fábrica de Nissan en Aguascalientes, México. A continuación, se presentarán el marco teórico, la metodología, los resultados, discusión y hallazgos del proyecto, ofreciendo una visión integral de qué tipo de información se presentará en las simulaciones de realidad virtual, para ser implementadas como una herramienta didáctica esencial para los estudiantes de la Universidad del Valle.

A. Marco Teórico

1. Industria Automotriz y la Línea de Ensamble

La historia del sector automotriz se remonta a la época del siglo XIX con el surgimiento de la combustión interna y el surgimiento del primer carruaje motorizado. Con el paso del tiempo y la llegada del nuevo siglo XX, lo que fue la producción de automóviles se convirtió en una amplia industria, donde múltiples compañías se establecieron a lo largo del mundo. Una de las más importantes, conocida por innovar en la producción de vehículos, Ford Motor Company que introdujo masificación de sus productos lo que trajo la producción en serié. Lo que permitió a Ford posicionarse por sobre varios de sus competidores, fue la introducción del modelo de línea de ensamble estandarizado de piezas o mejor conocido como la línea de montaje; En ella se establece una serie de actividades productivas que ocurren en un orden específico y pueden realizarse ya sea en conjunto o secuencialmente, donde por lo general se asigna a un trabajador a realizar una actividad individual del proceso y posteriormente estas se unen en un punto determinado del proceso para unir el producto final(*La historia Ford*, s. f.).

Con la introducción de esta metodología, las diversas compañías obtuvieron la capacidad de producir cientos de automóviles en cuestión de horas, obteniendo así rápida expansión de los mercados

automotrices a lo largo del mundo. Por ello y para poder cumplir con las nuevas demandas, fue necesaria la creación de múltiples plantas de producción. Aun así, la industria automotriz tuvo múltiples desafíos conforme el paso del siglo, haciendo que se generarán nuevas ideas innovadoras. Ejemplo de esto fue la crisis de los combustibles como el petróleo, en donde las compañías automotrices introdujeron nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia del combustible y la seguridad de los pasajeros. Actualmente, este representa uno de los sectores con más relevancia y es una industria que cada día trae nuevas tecnologías (8X7Cu, 2021; Estudio Global del Consumidor Automotriz 2023, 2023).

En el caso Guatemala, el sector automotriz ha experimentado un crecimiento en su desarrollo dentro del país, principalmente en la actualidad. Durante el periodo de 2005 a 2014 surgió un incremento en la compra y venta de vehículos nuevos en el país, llegando a un incremento en el mercado de más 2.7 millones de unidades vendidas por todo el país. Y con la llegada de la pandemia de COVID 19 en el año 2020, el mercado automotriz fue capaz de mantenerse con una tendencia positiva, la cual involucra las importaciones tanto de vehículos como de la carrocería de estos. En lo que respecta a la distribución de compras e importaciones de vehículos en el país, los automóviles tipo sedán han sido de los más importados, representando un 23.2% de las ventas; seguido por los pick-up 19.9%; y seguido por las camionetas y paneles representado 10.8%. (Eco Abg, 2014 ; Vi, 2022)

A pesar de estos incrementos en el sector automotriz del país, cabe resaltar que Guatemala no cuenta con una amplia producción de vehículos, por lo que la mayoría de estos son importados de otros países. A pesar de esto, el sector automotriz y de ensamblaje de carrocería sigue siendo importante para la economía del país. Por tanto, este entorno creciente en Guatemala tiene la posibilidad de ser aprovechado para la implementación de fábricas de ensamble más modernas y especializadas para suplir con las demandas del mercado de automóviles (Central America Data, s. f.), (Gerencia, 2021).

2. Línea de Ensamble Semi Automatizada

a. 2.1 Definición

Se le conoce a una línea de ensamble semi automatizada como una línea de montaje de productos que incorpora en sus operaciones tecnologías de tipo automático como robots o maquinarias, a la vez que se incluyen operaciones que requieren la intervención del ser humano. Estos modelos de trabajo son implementados hoy en día con el fin de facilitar la realización de procesos que requieren de mucha precisión, fuerza, o velocidad, de esta manera reducir el tiempo ciclo necesario para poder generar valor en la producción. Además, con la intervención de estas herramientas se hacen reducido algunos riesgos que puedan afectar la salud de los operarios al momento de trabajar.

Con la tecnología moderna, algunas de estas líneas únicamente requieren de la intervención de los operarios al momento de calibrar las maquinas, o al momento de programar parámetros productivos, sin embargo, es común aun hoy en día que algunos pasos que requieren mayor maniobrabilidad y destreza sean realizados por los operarios con el apoyo de máquinas. Por esto mismo se realizan estudios por parte de las empresas para seleccionar las operaciones donde sea rentable colocar maquinaria automatiza para generar valor en el proceso y no incidir en un aumento considerable en el costo de compra y mantenimiento de los equipos (¿Qué es la Automatización de la Línea de Montaje? | JR Automation, n.d.).

b. 2.2 Tipos de Semi automatización

Dentro de la automatización existen diversos modelos de aplicación para los sistemas automáticos que se desean aplicar. Principalmente estos varían dependiendo de la complejidad de lo que se va a

producir y el volumen de productos que se planifica producir.

Los tipos que destacan son

- Automatización fija: esta se implementa para la realización de un alto volumen de productos, esta involucra a maquinarias programadas para hacer una tarea específica sin ningún tipo de variabilidad tanto en la tarea como en el producto. Esta metodología hace que una vez iniciadas las operaciones no se pueda realizar ningún cambio en el proceso, la cual la vuelve un proceso más eficiente y con un menor costo al no permitir cambios y variabilidad. Aun así, si eventualmente surgen cambios en el proceso, se deberá reemplazar los equipos para mantener la línea en buen estado lo que supondría costos extras(Administrador,2022).
- Automatización ajustada o programable: esta principalmente se utiliza cuando hay equipos y sistemas que deben producir cierto volumen de productos con condiciones variables entre lotes de producción. Esto añade cierto nivel de complejidad a los sistemas debido a que se tienen límites de que tan diferentes pueden ser los lotes por producir y las condiciones que requieran los productos. Este tipo de automatización también incluye a todos los equipos sistemas automatizados que regulan condiciones de los productos como pueden ser condiciones de temperatura, almacenaje, transporte etc.(Administrador,2022).
- Automatización flexible: con respecto a este tipo de automatización, este corresponde a equipos que pueden adaptarse a distintos parámetros o sean capaces de realizar más de una tarea al mismo tiempo sin necesidad de realizar un alto en la producción. Este tipo de automatización requiere equipos más sofisticados y de una mayor inversión para la instalación de sistemas más complejos de control, aun así, estos permiten una mayor adaptabilidad para producción de lotes.(Administrador,2022).

c. 2.3 Ventajas de la Semi automatización

La semi automatización de procesos a diferencia de la automatización total, es una manera de poder aumentar la eficiencia de los procesos sin la necesidad de realizar una inversión mayor en la reestructuración de todos los procesos a procesos automáticos. Si bien es posible volver más eficiente los procesos, si no se evalúa adecuadamente procesos a los cuales se les implementaran sistemas, es posible que no se tenga el impacto deseado y únicamente se incurra en mayores gastos. Al diseñar un proceso semi automatizado adecuado es posible volver más rentable un proceso al mantener un nivel de calidad constante de los productos realizados, reducir tanto los costos como los gastos que la empresa posee, reducir parte de la dependencia en la mano de obra y generar plazas de trabajo más especializado para los operarios(Administrador, 2022).

3. Generalidades de la Planta

3.1 Distribución de Fábrica y Diseño de Proceso

Para la realización de una planta es necesario tomar en cuenta una serie de factores principales los cuales determinarán como el diseño de planta y como las actividades productivas se desarrollará para mantener la eficiencia y la efectividad. Los siguientes factores se deben evaluar para realizar un diseño adecuado de planta.

3.1.1 Capacidad productiva y Flujo de Proceso

Se requiere definir adecuadamente las capacidades necesarias de la planta con relación al proceso productivo para establecer adecuadamente las dimensiones de la planta. Dependiendo de la cobertura de demanda a la que la planta quiera llegar, junto con el tipo de flujo las operaciones, y la capacidad que cada una de las operaciones tendrán que cubrir para satisfacer las necesidades de los clientes, es posible determinar un área de planta adecuado para llevar a cabo una producción eficiente. Para ello también se requiere definir las estrategias de inventario y almacenamiento tanto de materias primas como de productos terminados para poder combinarlas con los procesos de producción, de esta manera establecer el modelo requerido por la planta (Staff, 2023).

En el caso de una fábrica de ensamble automotriz, es posible adoptar una metodología de Ensamble contra pedido en donde la planta deberá contar con las piezas necesarias para la realización del ensamble al momento de arribar una orden específica. Esta metodología optimiza tanto los procesos como la gestión de inventarios (Gus,2022b).

Por otra parte, la capacidad productiva del proceso deberá ser determinada en base a la información de la demanda y los recursos productivos disponibles. Para definir dicha capacidad es necesario determinar los siguientes parámetros:

- Tiempo de procesamiento: tiempo total que se requiere para poder producir una sola unidad de producto terminado. Este se obtiene al realizar mediciones de tiempos estandarizados de las operaciones de planta, junto con las especificaciones de qué recursos fueron empleados para obtener esos tiempos (Gus,2022d).
- Tiempo de flujo o tiempo total: se le conoce como el tiempo total que le toma al producto recorrer todas las áreas productivas de la producción junto con los tiempos de demoras que afecten al cumplimiento del proceso. Este tiempo permite determinar la capacidad que el proceso tiene para adaptarse a cambios o situaciones específicas (Gus,2022d).
- Tiempo de ciclo: es el tiempo en el cual se pueden producir múltiples productos en secuencia. Este se utiliza como indicador de la rapidez que tiene el proceso para producir de manera secuencial (Gus,2022d).
- Utilización de sistema y factor de carga: se presenta como la capacidad que tiene verdaderamente el sistema u operación al momento de operar. Este porcentaje no tiene que ser del 100 %, sin embargo, este valor indicara que tanto se utilizando a una capacidad adecuada. En cuanto al factor de carga, este se encarga de analizar la capacidad productiva del proceso a razón de la demanda establecida para el proceso. Por medio de este dato se puede determinar el porcentaje de cobertura de demanda que el proceso productivo puede realizar (Gus,2022d).
- *Bill of Materials (BOM)*: lista en la cual se presentan los materiales requeridos para formar un producto que se quiere producir, esta detalla cada uno de los componentes y la cantidad de estos. Para la realización de esta se requiere tener en cuenta las especificaciones de cada parte individualmente, desde el precio de la parte, dimensiones de la parte, colocación de la parte etc. Para su mejor comprensión se utiliza un diagrama de árbol enseñando el orden de los componentes y cómo convergen a un producto final (Team,2023).
- *Planificación de requerimientos de material (MRP I)*: esta se refiere a la planificación de materiales que un proceso requiere para funcionar de manera adecuada. Esta herramienta permite hacer la gestión adecuada de las materias primas que se le deben abastecer a la producción y el tiempo en el que deben ser solicitadas para que el proceso se mantenga funcionando correctamente. Este se hace con base en la demanda que el proceso debe cumplir en un periodo de tiempo adecuado a la misma. Para generar un MRP son necesarios los tiempos de producción del proceso, junto con la capacidad productiva del proceso, esto para determinar la cantidad de unidades que se pueden producir y si se deberá manejar un inventario (Pola,2021).

3.1.2 Determinación de áreas de planta

Al momento de contar con una distribución adecuada del proceso productivo, es posible diseñar las distintas áreas de trabajo que la planta tendrá al momento de ser realizada. Una buena distribución en la fábrica le permite tanto a los operarios, como a los directivos, realizar sus operaciones de forma rápida y eficiente, y permite que la adaptabilidad de los mismos a cualquier cambio que surja dentro de la planta. Para desarrollar dicha área de trabajo es imprescindible delimitar adecuadamente el proceso productivo con especificaciones de producción, trabajadores, maquinaria y equipo, distancias ergonómicas, requerimientos de mantenimiento etc. Dentro de este proceso se busca principalmente delimitar todas aquellas áreas que tendrán un impacto en la producción, así como las áreas de administración y gestión. El diseño de planta en general abarca desde el punto de llegada de materia prima, las áreas de proceso productivo, almacenamiento de producto terminado, las áreas administrativas, mantenimiento y servicios auxiliares. Sin embargo, dependiendo del tipo de fábrica que se realice se pueden diseñar áreas de inspección, mantenimiento, tratamiento de desechos, áreas de desinfección, laboratorios de investigación etc. (Baena, s. f.;Diego,2019).

En el caso de la delimitación del área de entrada de materia prima y el área de producto terminado, esta será delimitadas y definidas por el volumen de materia empleada, el tipo de embarque requerido el dependerá del peso de producto, y sus requerimientos de material los cuales variarán según el tipo de material dependiendo si este es duro o frágil, si necesita calor o frío. Además de esto, para poder definir las áreas de almacenamiento es necesario tomar en cuenta los niveles de inventario que la planta debe manejar para mantener sus operaciones funcionales. Considerando también que se debe aplicar la teoría de inventarios para conciliar un modelo de manejo de inventarios, el cual permitirá establecer un área eficiente de bodega.(Baena, s. f.)

Por otra parte, para el área de producción, esta será definida en base a los requerimientos y distribución del proceso productivo; en función con el espacio disponible del terreno seleccionado. Esta área deberá contar con un espacio suficiente para permitir tanto el ingreso de materias primas como espacio para la línea de ensamble y producción, así como áreas de control de calidad para mantener el control de los productos salientes en el proceso. Para ello se deberá tomar en cuenta el espacio disponible para la maquinaria empleada y espacio para que el operario la pueda utilizar de manera adecuada, así como realizar su mantenimiento debido. Incluso se busca delimitar espacio suficiente para que el operario pueda pasar realizar cualquier trabajo manual al producto y que de ser necesario se tenga espacio para reprocesar el producto terminado (Baena, s. f.;Quiroa, 2023).

4. Análisis Económico

Para la realización de proyectos de diversa índole, la parte económica del proyecto es un factor determinante para identificar el nivel de riesgo de llevar a cabo las operaciones de un proyecto. La factibilidad financiera involucra distintos análisis para determinar si un proyecto es viable desde el punto de vista económico y financiero. Este tipo de estudios se llevan a cabo para evaluar la capacidad financiera del proyecto en un periodo determinado, aunque se busca realizarlos previamente a la ejecución del propio proyecto para prevenir riesgos financieros (Ortega, 2023).

4.1 Presupuestos operativos

Con el fin de presentar información financiera de forma resumida, es necesario la realización de presupuestos que determinen cuánto cuesta cada operación en base a lo que se compra en materia prima y se paga en mano de obra, esto para las operaciones que se quieren llevar a cabo. Estas herramientas son necesarias para la planificación de operaciones que tendrá el proyecto general, dependiendo de estos puede ser que sea o no factible realizar el proyecto con recursos presentes. (Rodríguez,2023).

4.2 Análisis de costo de producción

En este tipo de estudios, se analizan aspectos como los costos del proyecto como lo son la materia prima, mano de obra, gastos de eléctricos, costo de mantenimiento etc. y son comparados con los ingresos por ventas potenciales que tendrá la empresa. Todo esto con el fin de poder determinar si el proceso puede proporcionar beneficios económicos (Velázquez,2023).

Para la realización de este tipo de estudios es necesario comprender el estado del proyecto y la capacidad que este tendrá de generar algún beneficio al vender las unidades generadas por el proceso de producción establecido. Además, se deben tomar en cuenta los distintos tipos de costos que tendrá el proyecto dependiendo de los recursos que consume y la forma en que los consume (Fao,2022).

Para llevar a cabo este tipo de análisis, primeramente, se debe establecer la capacidad productiva con la que se cuenta y los recursos que se requieren para llevar a cabo dicha producción. Posteriormente se recopilan los costos directos e indirectos para determinar el costo total de producción y ser comparado con los ingresos por ventas y determinar si se generan utilidades. De esta manera mantener la rentabilidad y garantizar que el proyecto sea autosuficiente (Rodríguez,2023;Uzurietta,2019).

5. Generalidades de la Simulación

5.1 Análisis de Datos

El análisis de datos consiste en la recopilación de información con el propósito de interpretarlo para determinar posibles tendencias y frecuencias o facilitar la toma de decisiones con información más acertada. Por medio de distribuciones estadísticas, es posible generar modelos que se adapten al comportamiento de una situación y sirvan como medios para reflejar futuras situaciones. La realización de dichos modelos proporciona a empresas e investigadores la oportunidad de anticiparse a problemáticas y medir los riesgos que conllevan las mismas sin necesidad de que estos se lleguen a dar, y en el caso estos se den, estos puedan ser mitigados rápidamente con el fin de mantener un control (Análisis de Datos QuestionPro, s. f.).

5.2 Importancia de las Simulaciones

Dentro del análisis de datos y con el desarrollo de la tecnología, surgen las simulaciones las cuales permiten el desarrollo de escenarios ficticios mediante la estadística, para recabar información diversa y que esta pueda ser interpretada. Además de que permiten realizar múltiples experimentos, con una gran cantidad de muestras sin necesidad de llevarlos a la realidad. Actualmente los simuladores son implementados en todo tipo de ámbito empresarial ya que permiten realizar mejoras a las mismas como lo son las siguientes: (Corporativa, s. f.).

- Optimización de áreas y recursos.
- Predicciones de riesgo para inversión.
- Generación de escenarios ficticios.
- Control de calidad.
- Evaluación de diseños.
- Análisis de cuellos de botella.
- Aprendizaje y capacitación de personal.

Por todo lo anterior muchas empresas se han ahorrado tiempo y dinero al aplicar simulaciones para la prevención de contratiempos y han aumentado sus ingresos al realizar diversos estudios que permiten mantener controles de calidad y productividad de manera constante.

5.3 Simulaciones en Realidad Virtual

Una de las herramientas más utilizadas para la simulación es la realidad virtual, en donde esta funciona como una herramienta de visualización inmersiva e interactiva para poder analizar los datos obtenidos. Estos equipos constan de un casco con gafas integradas, una serie de mandos para controlar las acciones dentro de la simulación y equipos auxiliares como caminadoras o controles de vehículos, entre otras, para volver brindar una experiencia más inmersiva y realista. Comúnmente estos equipos son implementados para ejemplificar escenarios con visuales tridimensionales que se asemejan a la realidad y que permiten a la persona encargada apreciar las condiciones del escenario y recolectar información sin la necesidad de ponerse en riesgo (González y González, 2021).

B. Metodología

1. Delimitación del Proceso y Supuestos del Proceso

1.1 Proceso de Nissan

Hoy en día, en Latinoamérica, los países de Brasil, Argentina y México son los países líderes en producción de vehículos con la utilización de procesos automatizados, siendo la fábrica de la compañía Nissan con sede en Aguascalientes México la más moderna del resto de fábricas de Latinoamérica. Esta está formada por un complejo con múltiples líneas de producción con un proceso semi automatizado de tipo flexible debido a la variedad de modelos y la demanda variable de los mismos. La fábrica cuenta con alrededor de 10 edificios en los cuales se realizan etapas distintas del proceso, desde un edificio de estampado de piezas que fabrica alrededor de 2.5 millones de auto partes al mes para abastecer a los complejos de Aguascalientes 1 y 2, un edificio entero destinado a la fabricación de motores, y múltiples áreas de ensamble con capacidad de 30 vehículos por hora en el caso de A1 y 95 en el caso de A2, contando con alrededor de 190 robots y 70 % de procesos automatizados (León, 2020; Nyvus, s.f.; Marcos Bureau, 2016).

Por todo lo anterior este proceso es un ejemplo de un proceso semi automatizados que sirve como una buena base para el diseño de la simulación en realidad virtual. El proceso general de la fábrica de Nissan aplica para la construcción de todos sus modelos actualmente en producción. Este consta de 5 etapas principales para el ensamble de vehículos:

1. Etapa de Recepción de Materia Prima: los departamentos de logística y compras buscan abastecer a la fábrica con toneladas de acero para ser distribuidas dentro de la fábrica, en específico al área de estampado para la manufactura de las piezas de sus vehículos.
2. Etapa de Corte por Estampado: Nissan utiliza las toneladas de acero para ser procesadas en naves industriales con múltiples máquinas de estampado. En estas se realizan todas las piezas que van desde las que forman el marco del vehículo, puertas, baúl, capo, bómperes, cotados, guardafangos, techo, piezas de motor etc. Estas luego son colocadas en carros de transporte para ser llevadas al área de ensamble.
3. Etapa de Ensamble Armazón: en el área de ensamble, se colocan las piezas que conforman el armazón y el chasis, y se utiliza maquinaria automatizada, como brazos robóticos y brazos robot de soldadura, para unir las piezas mientras el vehículo es trasladado en bandas transportadoras

a lo largo de la fábrica. Eventualmente, la línea lleva el armazón ya soldado y ensamblado, junto con el resto de las piezas, al área de pintura general.

4. Etapa de Pintura: en esta área el armazón y el resto de las piezas pasa por un baño de químicos y anticorrosivos para tratar el acero y que este obtenga más resistencia a las condiciones ambientales. Este tratamiento ayuda a poder aplicar adecuadamente las capas de pintura y que estas puedan secar a un ritmo mas acelerado. Tras la aplicación de los químicos, el carro avanza a una cabina de pintura automatizada donde se le aplican varias capas de pintura de un mismo color mientras el vehículo sigue avanzando. Una vez pintadas y secadas todas las piezas del vehículo avanzan a la parte del ensamble final.
5. Etapa de Ensamble Final: durante esta etapa final se une el armazón completado junto al chasis y transmisión, y el motor es instalado con el cableado eléctrico. Operarios al mismo tiempo colocan el resto de los componentes interiores del vehículo, igual que comprueban el estado los componentes internos y que estos estén bien instalados. El resto de las piezas de la carrocería son colocadas y unidas al armazón mientras todos los componentes avanzan por la línea hacia el área de inspección. Se le instalan las llantas, luces y vidrios, para finalmente realizar las inspecciones de los sistemas internos y el estado de la carrocería exterior. Con esto se le da finalización al ensamble del vehículo y procede a trasladarlo a la bodega de producto terminado.

En base a todas estas etapas y las disposiciones generales de la planta se planteó la realización de los 2 procesos semi automatizados presentados a continuación.

2. Supuestos y Restricciones

Para poder realizar los diseños de la simulación con procesos semi automatizados y que estos sean los mas apegados a la realidad de los procesos de ensamble automotriz, se tomaron en cuenta los siguientes supuestos y restricciones con respecto al proceso general de ambos escenarios y respecto a la obtención de los datos implementados en los análisis presentados en el trabajo.

- Se tomo como base el modelo de línea de ensamble para la carrocería de un vehículo Nissan (en específico el nuevo modelo versa) para hacer un modelo de una sola línea de producción semi automatizada de tipo fijo para manejar altos volúmenes de producción del vehículo.
- Para hacer la simulación se asume que la etapa de corte por estampado se realiza en otra área de planta, al igual que la construcción de cableado y motor, y no se encuentran en el interior del área de ensamble por lo que el proceso diseñado y el que se ve reflejado en las simulaciones no incorpora estas etapas de maquilado de piezas y da inicio desde la etapa de recepción de las piezas ya cortadas y listas para entrar a la línea de montaje hasta la etapa final de inspección del vehículo ya armado. En el caso del motor y el cableado eléctrico se incorporan al proceso como piezas ya armadas listas para colocar.
- Se asume que los tiempos de procesamiento de las operaciones al ser medidos a base de videos y de otros procesos similares, son idénticos al modelo automatizado implementado por Nissan en su fábrica.
- Se asume que la capacidad que los procesos para producir los vehículos serán cercana a la capacidad que posee una línea de producción de vehículo en la fábrica de Nissan A2, contando con una capacidad de 6 vehículos en 1 hora de producción en un periodo de trabajo de 24 horas estándares con turnos de trabajo de 8 horas por un mes de trabajo estándar de 22 días.
- Se asume que ambos diseños proceso contarán con los mismos modelos de maquinaria y varían en cuanto a la cantidad de operarios, tiempo de procesamiento y la distribución de operaciones automatizadas entre procesos y la cantidad total de maquinarias automatizadas .

- Se asume que la maquinaria seleccionada para los diseños de proceso tiene un tiempo de procesamiento, capacidad y vida útil como las maquinas presentes en los videos utilizados en las tomas de tiempo y en proceso base de Nissan Aguascalientes A2, por lo que el modelo no tiene un efecto en el resultado final de la simulación en realidad virtual .
- La recopilación de resultados se realiza para un año entero de producción para poder visualizar los efectos financieros y los efectos en la capacidad productiva mes a mes.

3. Máquinas Automatizadas Implementadas en el Proceso

En base a las operaciones investigadas, se buscó incorporar las maquinarias automatizadas a los procesos semi automatizados planteados para la planta. La siguiente tabla muestra las maquinas a implementar en el proceso.

Tabla 1

Maquinaria Automatizada utilizada en los procesos a simular

Maquinaria	Etapas en la que se utiliza	Descripción General
Brazo Robot de Ensamble Pesado	Ensamble de Amazon	Utilizado para la carga de las piezas que conforman el armazón y chasis del vehículo.
Brazo Robot de Ensamble Ligero	Ensamble de piezas	Utilizado para la carga de las piezas más pequeñas que se añaden al vehículo como las puertas, capó, maletero, parachoques, etc.
Brazos Robot de Soldadura	Operaciones de soldadura	Utilizado para la unión del armazón con sus piezas por medio de la soldadura por puntos.
Grúas de piezas	Movilización y posicionamiento de piezas	Grúas necesarias en la fase de ensamble para mover y posicionar piezas con intervención del operario, incluido el motor. Se requieren entre
Montadoras de llantas	Colocación de llantas	Máquina para mover y posicionar la llanta armada en el aro del chasis.
Bandas Transportadoras	Proceso General	Bandas en alto que transportan el vehículo asegurado encima.

Con base en los procesos y en las maquinas mencionadas en la previamente mencionados, se determinaron 4 etapas clave para el desarrollo del proceso general de ensamble de carrocería, delimitando el proceso desde la entrada de materia prima hasta el ensamble preliminar, donde se forma el piso y se añaden las armazones laterales junto con el techo. Posteriormente, se da paso a la etapa de pintura y secado de las piezas, y luego a la etapa de ensamble final y la unión con el motor.

Al ser este el proceso general, se buscaron 2 distribuciones con fases automatizadas alternativas. Tomando en cuenta los equipos previamente vistos, se determinó realizar un proceso semiautomatizado con una fase de soldadura completamente automatizada en la etapa inicial del proceso; el cual es un proceso similar al proceso moderno para el ensamble de vehículos. En cuanto al segundo escenario, se optó por diseñar un proceso con una etapa de ensamble final automatizada y soldadura con operarios.

4. Operaciones Escenario Automatizado con Soldadura Automatizada (Escenario 1)

En la siguientes tablas, es posible apreciar el listado de las operaciones realizadas en este proceso con de ensamble automotriz con soldadura automatizada.

Tabla 2

Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 1 Parte 1

No.	Operación	Etapas	Personal/Equipo
0	Corte de piezas	Corte	La máquina corta y saca las piezas
1	Preparación de materia prima	Corte	1 operario coloca la materia prima en los carritos
2	Revisión de materia prima	Corte	1 inspector revisa la materia prima antes de ser enviada
3	Traslado a área de ensamble	Corte	1 inspector lleva el lote de piezas para armar un carro
4	Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	Soldadura	2 brazos de Ensamble Pesado y 2 brazos de soldadura
5	Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	Soldadura	2 brazos de Ensamble Pesado y 2 brazos de soldadura
6	Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	Soldadura	2 brazos de Ensamble Pesado y 2 brazos de soldadura
7	Colocación de armazones laterales (Marcos de puerta)	Soldadura	2 brazos de Ensamble Pesado
8	Colocación de techo	Soldadura	1 brazo de Ensamble Ligero
9	Soldadura completa de armazón	Soldadura	6 Brazos de Soldadura
10	Soldadura y colocación de costados y guardafangos	Soldadura	2 Brazos de Ensamble Ligero, 1 de lado izquierdo y otro de lado derecho
11	Pintura General	Pintura	Máquinas de pintura detrás de cortina (solo se modelan las cortinas)
12	Salida y Secado	Pintura	Se pasa el vehículo por luces a alta temperatura para secar la pintura (no se modelan)
13	Colocación de llantas	Ensamble	4 operarios con montadoras de llantas
14	Colocación de cableado eléctrico	Motor	1 operario que conecte los cables
15	Colocación y atornillado de motor	Motor	1 grúa de puente que traslade el motor y 1 operario que lo fije
16	Colocación de tablero e interior con operarios	Ensamble	4 operarios con grúas de puente que muevan el tablero y lo atornillen junto con los asientos
17	Colocación de maletero y capo con operarios	Ensamble	4 operarios, 2 al frente y 2 atrás, que muevan el maletero y capo con grúas y lo fijen al armazón
18	Colocación de puertas delanteras con operarios	Ensamble	2 operarios, 1 en cada lado, que trasladen las puertas delanteras con grúas y las coloquen con las bisagras

Nota. La **Tabla 2** representa las operaciones desde el corte de piezas hasta la etapa de ensamble de las puertas delanteras del proceso realizado con maquinas automatizadas en las etapas de soldadura

Tabla 3

Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 1 Parte 2

No.	Operación	Etapas	Personal/Equipo
19	Colocación de puertas traseras con operarios	Ensamble	2 operarios, 1 en cada lado que trasladen las puertas delanteras con grúas y colocación con las bisagras
20	Colocación de bómper trasero y delantero con operarios	Ensamble	2 operarios con grúas que posicionen el bómper delantero y el bómper trasero
21	Colocación de luces con operarios	Ensamble	2 operarios que fijen las luces en la parte delantera y trasera
22	Colocación de parabrisas con operarios	Ensamble	2 operarios que fijen los parabrisas
23	Inspección Final		1 Inspector

Nota. La **Tabla 3** representa las operaciones desde la colocación de las puertas traseras hasta la etapa de inspección final del proceso realizado con maquinas automatizadas en las etapas de soldadura

5. Operaciones Escenario Automatizado con Ensamble Final Automatizado(Escenario 2)

En la siguientes figuras, se puede apreciar las operaciones realizadas en este proceso con el ensamble final automatizado:

Tabla 4

Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 2 Parte 1

No.	Operación	Etapas	Personal/Equipo
0	Corte de piezas	Corte	La máquina de corta y saca las piezas
1	Preparación de materia prima	Corte	1 Operario coloca la materia prima en los carritos
2	Revisión de Materia prima	Corte	1 inspector revisa a la materia prima antes de ser enviada
3	Traslado a área de ensamble	Corte	1 inspector lleva el lote de piezas para armar un carro
4	Unión por soldadura manual de parte trasera y delantera de piso	Soldadura	2 operarios que trasladen y suelden la pieza
5	Unión por soldadura manual de estructura delantera y tablero con el piso	Soldadura	2 operarios que trasladen y suelden la pieza
6	Unión por soldadura manual de la estructura trasera con el piso y tablero	Soldadura	2 operarios que trasladen y suelden la pieza
7	Colocación de armazones laterales (Marcos de puerta)	Soldadura	4 operarios, 2 por cada lateral que coloquen y fijen la pieza
8	Colocación de techo	Soldadura	2 operarios que suban y fijen el techo
9	Soldadura manual completa de armazón	Soldadura	4 operarios que fijen las piezas con pistolas de soldadura
10	Soldadura manual y Colocación de costados y guardafangos	Soldadura	2 operarios que trasladen y suelden las piezas
11	Pintura General	Pintura	Máquinas de pintura detrás de cortina (solo se modelan las cortinas)
12	Salida y Secado	Pintura	Se pasa el vehículo por luces a alta temperatura para secar la pintura (no se modelan)
13	Colocación de llantas con brazos robot	Ensamble	4 Brazos de ensamble automatizado
14	Colocación de cableado eléctrico	Motor	1 operario que conecte los cables
15	Colocación y atornillado de motor	Motor	1 grúa de puente que traslade el motor y 1 operario que lo fije
16	Colocación de tablero e interior con grúas y operarios	Ensamble	4 operarios con grúas de puente que muevan el tablero y lo atornillen junto con los asientos
17	Colocación de maletero y capo con brazos robot	Ensamble	2 Brazos de ensamble ligero que coloquen el maletero y capo
18	Colocación de puertas delanteras con brazos robot	Ensamble	2 Brazos de ensamble ligero que coloquen las puertas en las bisagras

Nota. La **Tabla 4** representa las operaciones desde el corte de piezas hasta la etapa de ensamble de las puertas delanteras del proceso realizado con maquinas automatizadas en la etapa del ensamble final

Tabla 5

Listado de Operaciones de Escenario Automatizado 2 Parte 2

No.	Operación	Etapas	Personal/Equipo
19	Colocación de puertas traseras con brazo robot	Ensamble	2 Brazos de ensamble ligero que coloquen las puertas en las bisagras
20	Colocación de bómper trasero y delantero	Ensamble	2 Brazos de ensamble ligero que coloquen los bómperes
21	Colocación de luces	Ensamble	2 operarios que fijen las luces en la parte delantera y trasera
22	Colocación de Parabrisas	Ensamble	1 Brazo robot que coloque los vidrios delanteros y traseros
23	Inspección Final		1 inspector

Nota. La **Tabla 5** representa las operaciones desde la colocación de las puertas traseras hasta la etapa de inspección final del proceso realizado con maquinas automatizadas en la etapa del ensamble final

6. Estudio de tiempos de Proceso

Como se mencionó, al no contar con datos concretos de los tiempos de procesamiento de las operaciones, se buscó realizar tomas de tiempos a través de vídeos del proceso general de ensamble automotriz. Dichos vídeos fueron seleccionados principalmente por la facilidad de ver la operación en el vídeo y la duración del mismo; permitiendo de esa forma tener mediciones un poco más detalladas del tiempo toma llevar a cabo la operación. La Tabla 6 presentada a continuación contiene los vídeos utilizados para la toma de tiempos de ambos procesos junto con la descripción general de lo presentado en el vídeo.

Tabla 6

Videos utilizados en tomas tiempo

Título del Video	Descripción General
Nissan Producción in the United States	En el vídeo se muestra distintas plantas de la marca Nissan con su modelo de producción en Estados Unidos. De este vídeo se obtuvieron los tiempos de las etapas manuales como colocación de llantas, puertas, interiores, colocación manual capó, bómperes, etc.
Chevrolet Sail, así se hace el carro más vendido en Colombia	En el caso de este vídeo se tomó un ejemplo del proceso de soldadura manual y la colocación de piezas para las operaciones de soldadura.
Así se Ensambla un MAZDA en JAPON	En este vídeo se tomó como referencia más operaciones automatizadas como la colocación de puertas, armazones, maletero y capó.
Nissan Production in Japan	A partir de este vídeo, se toman principalmente los tiempos de ensamble de más partes de la carrocería desde los bómperes hasta el techo.
Ford Production in the United States	Se muestran distintas plantas de Ford Motor Company en Estados Unidos, en donde se puede apreciar la construcción de piso con operarios junto al ensamble manual de carrocerías y el motor.
Como se Fabrica un Auto. Explicado	Se muestra el proceso general de ensamble automatizado y operaciones como la soldadura de piso.
132-Fabricando Made in Spain-Carrocerías para coches	En el vídeo se muestra una planta de ensamble en donde se muestra los procesos de soldadura automatizada, seguido de las etapas de pintura por sumergido y ensamble manual. En este se puede apreciar las operaciones automáticas desde el ensamble del piso hasta la soldadura del techo.

En estos vídeos, se pueden apreciar las operaciones y su duración aproximada en segundos. Con dichos vídeos se realizaron 25 tomas de tiempo de cada una de las operaciones previamente definidas, con el fin de determinar un tiempo promedio para el procesamiento estándar de las operaciones de la planta y el tiempo de ciclo. Sin embargo, en el caso de la operación de preparación de materia prima o la operación número 1 como se vio en las listas de la Tabla 2 y la Tabla 4, se optó por determinar su duración a través de las simulaciones en Simio, para obtener el tiempo permisible de envío de materia primas en donde se maximice las unidades producidas. Por otra parte, en cuanto al tiempo visto en los vídeos para la operación 0 de corte de piezas, serviría principalmente como un medio de referencia para la realización del cálculo de los costos de producción de las piezas. Dato cuyo valor forma parte para el desarrollo del cálculo del costo de materia prima en el estado financiero de costo de producción del vehículo. Con esto en mente, se presenta en las tablas a continuación los tiempos estándar de producción de las operaciones de ambos procesos que se obtuvieron en las tomas de tiempo de los vídeos, además se presentan los cuadros resumen con los promedios por operación.

Tabla 9

Tomas de tiempos 18 a 25 de operación de Escenario Semi Automatizado 1 en segundos

Corrida 18	Corrida 19	Corrida 20	Corrida 21	Corrida 22	Corrida 23	Corrida 24	Corrida 25
3.07	1.85	2.73	2.92	1.08	2.57	2.92	2.03
4.90	4.88	4.60	4.40	3.97	5.00	4.87	4.77
60	60	60	60	60	60	60	60
56.33	57.47	57.74	57.62	56.73	57.88	57.93	56.81
21	34	28	36	27	39	34	27
25	50	57	23	34	23	43	41
28.9	28.92	28.89	29.2	29.32	28.28	29.13	28.36
36.27	36.16	35.91	36.1	35.82	36.08	37.32	35.28
35.28	35.12	34.8	34.77	35.2	35.88	35.83	34.7
25	6	25	5	11	23	21	4
123.24	123.18	123.16	124.46	123.14	124.44	123.5	123.12
48	46	42	33	40	45	49	37
210.88	222.84	216.16	220.92	205.04	213.28	217.12	216.92
16	20	12	16	14	20	16	11
28.82	29.47	29.58	29.9	29.29	30.17	29.13	29.46
231.66	231.78	230.56	231.94	232.8	234.06	231.42	230.04
52.51	53.54	56.27	52.85	53.1	52.06	52.19	52.13
16	29	26	33	22	10	24	27
29	30	17	24	16	27	26	17
72.64	73.65	72.18	74.68	71.57	74.97	71.99	72.26
32	47	56	69	40	63	48	56
60	34	49	51	41	53	33	53
60	60	60	60	60	60	60	60

Tabla 10

Cuadro resumen de promedios de tiempo por operación Escenario Semi Automatizado 1 en segundos

Operación	Promedios	Unidades
0	3	Segundos
2	5	Segundos
3	60	Segundos
4	58	Segundos
5	29	Segundos
6	40	Segundos
7	29	Segundos
8	36	Segundos
9	35	Segundos
10	11	Segundos
11	124	Segundos
12	38	Segundos
13	218	Segundos
14	17	Segundos
15	30	Segundos
16	232	Segundos
17	53	Segundos
18	20	Segundos
19	19	Segundos
20	73	Segundos
21	45	Segundos
22	46	Segundos
23	60	Segundos

Nota. La **Tabla 10** representa el promedio de en segundos de cada una de las operaciones presentes en el escenarios. Dichos promedios servirán como tiempos base para poder determinar el tiempo de ciclo del

Tabla 13

Tomas de tiempos 18 a 25 de operación de Escenario Semi Automatizado 2 en segundos

Corrida 18	Corrida 19	Corrida 20	Corrida 21	Corrida 22	Corrida 23	Corrida 24	Corrida 25
3.07	1.85	2.73	2.92	1.08	2.57	2.92	2.03
4.9	4.88	4.6	4.4	3.97	5	4.87	4.77
60	60	60	60	60	60	60	60
694.16	694.28	695.29	694.16	694.13	694.2	694.18	694.18
155.12	155.2	155.15	155.6	155.3	156.72	155.86	156.9
150	144	134	147	112	138	138	117
77	68	148	75	150	155	92	127
102.54	102.2	102.5	103.23	103.72	101.58	102.31	102.11
226	194	219	275	265	297	261	288
29.18	29.54	28.46	28.46	27.34	28.45	29.56	28.33
123.24	123.18	123.16	124.46	123.14	124.44	123.5	123.12
35	43	40	41	45	47	45	38
44.44	45.08	45.72	45.68	43.84	43.92	44.4	45.32
16	20	12	16	14	20	16	11
28.82	29.47	29.58	29.9	29.29	30.17	29.13	29.46
231.66	231.78	230.56	231.94	232.8	234.06	231.42	230.04
46.4	46.56	46.19	47.67	46.99	47.26	47.01	46.52
21	10	26	12	26	13	22	12
18	19	11	27	21	30	12	30
18.36	18.33	18.35	18.12	18.28	18.15	18.2	18.18
32	36	47	20	22	50	30	35
26	25	28	21	29	29	42	44
60	60	60	60	60	60	60	60

Tabla 14

Cuadro resumen de promedios de tiempo por operación Escenario Semi Automatizado 2 en segundos

No. de operación	Promedio	Unidades
0	3	Segundos
2	5	Segundos
3	60	Segundos
4	694	Segundos
5	156	Segundos
6	130	Segundos
7	106	Segundos
8	102	Segundos
9	212	Segundos
10	29	Segundos
11	124	Segundos
12	37	Segundos
13	45	Segundos
14	17	Segundos
15	30	Segundos
16	232	Segundos
17	47	Segundos
18	18	Segundos
19	20	Segundos
20	18	Segundos
21	34	Segundos
22	37	Segundos
23	60	Segundos

Nota. La **Tabla 14** representa el promedio de en segundos de cada una de las operaciones presentes en el escenario 2. Dichos promedios servirán como tiempos base para poder determinar el tiempo de ciclo del escenario. La operación 1 (que no aparece en el estudio de tiempos) será medida por medio de estimaciones con la simulación construida.

7. Comparación de Tiempos de Ciclo

Por medio de los promedios de tiempo fue posible determinar 2 tiempos totales de procesamiento distintos, 1 para cada escenario. Junto con esto fue posible calcular la cantidad de unidades que el proceso es capaz de producir en una hora de trabajo con cada proceso y el total de producción en 24 de horas de trabajo dividido en 3 turnos de 8 horas. A continuación se presentan las tablas conteniendo los datos de tiempo de ciclo y capacidad productiva.

Tabla 15

Tiempo de Ciclo y Capacidad Productiva Escenario 1

Dimensional	Valor
Tiempo total (Segundos)	1279.92
Tiempo de Ciclo en Minutos	21.33
Unidades la Hora	3
Unidades en turno de 8 horas	23
Unidades al día	68

Tabla 16

Tiempo de Ciclo y Capacidad Productiva Escenario 2

Dimensional	Valor
Tiempo total en (Segundos)	2216.53
Tiempo de Ciclo en Minutos	36.94
Unidades la Hora	2
Unidades en turno de 8 horas	13
Unidades en un día	39

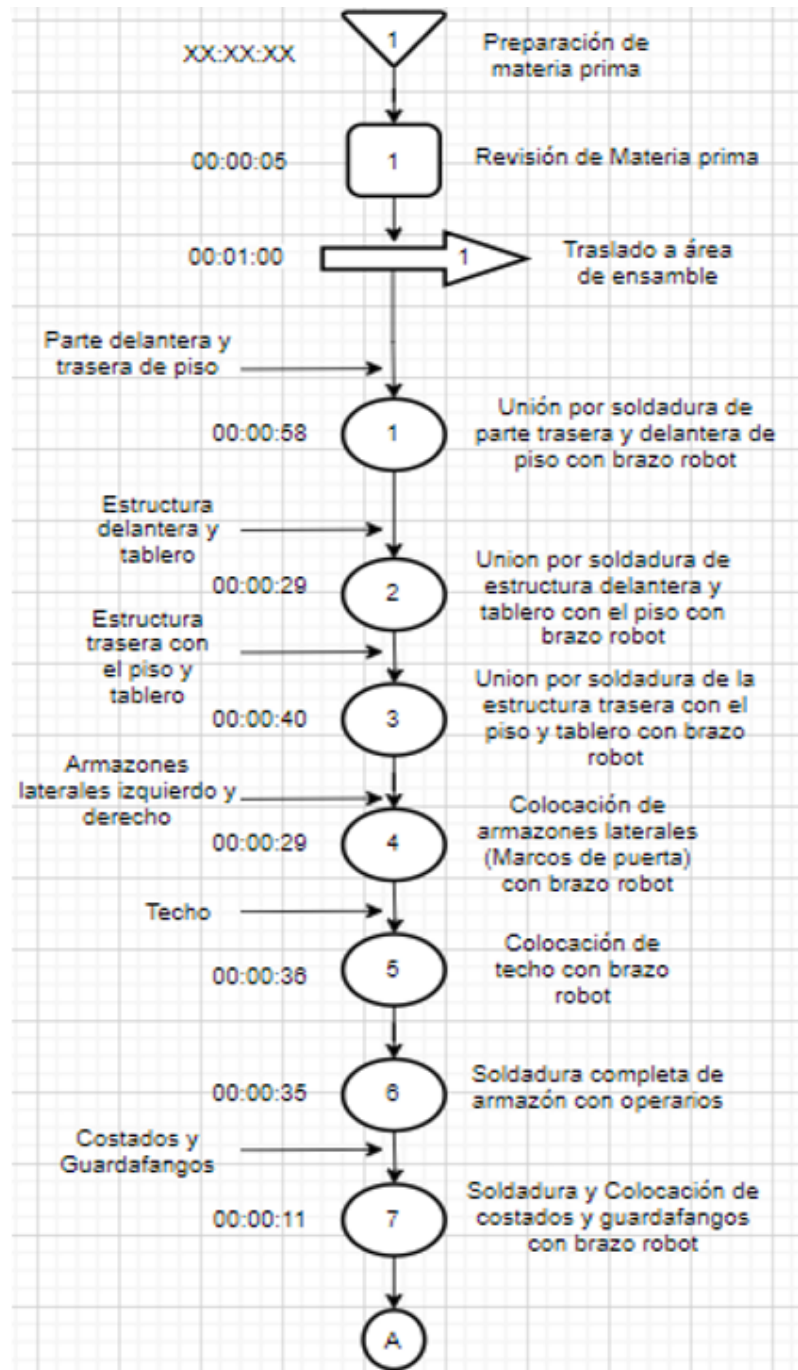
Con estos datos obtenidos a partir del análisis de las tomas de tiempo, se planifico que estos sirviesen principalmente como un marco de referencia al momento de ingresar la información en las simulaciones de SIMIO. Si el proceso simulado produce las unidades determinadas previamente, entonces el proceso se encontraría ingresado de forma correcta en la aplicación y se procedería a realizar el resto de los análisis con la simulación.

Cabe resaltar que estos tiempos de ciclo, presentes en la Tabla 15 y Tabla 16, no son los tiempos finales para los procesos. Por medio de las simulaciones se realizaría un análisis de estrés en la operación 1 de preparación de materia prima en la simulación, cuyo resultado delimitaría el tiempo mínimo para la misma. De esta forma agilizar los procesos de envíos de piezas y maximizar el total de vehículos producidos en los procesos diseñados. Con esto indicar la capacidad de las operaciones y los cuellos de botella al momento de someter a los procesos a periodos de alta demanda. Una vez obtenido el dato para la operación, se recalcularía el nuevo tiempo de ciclo, así como la nueva capacidad productiva del proceso para su posterior análisis y su traslado a un indicador en la aplicación de realidad virtual.

8. Diagramas de proceso

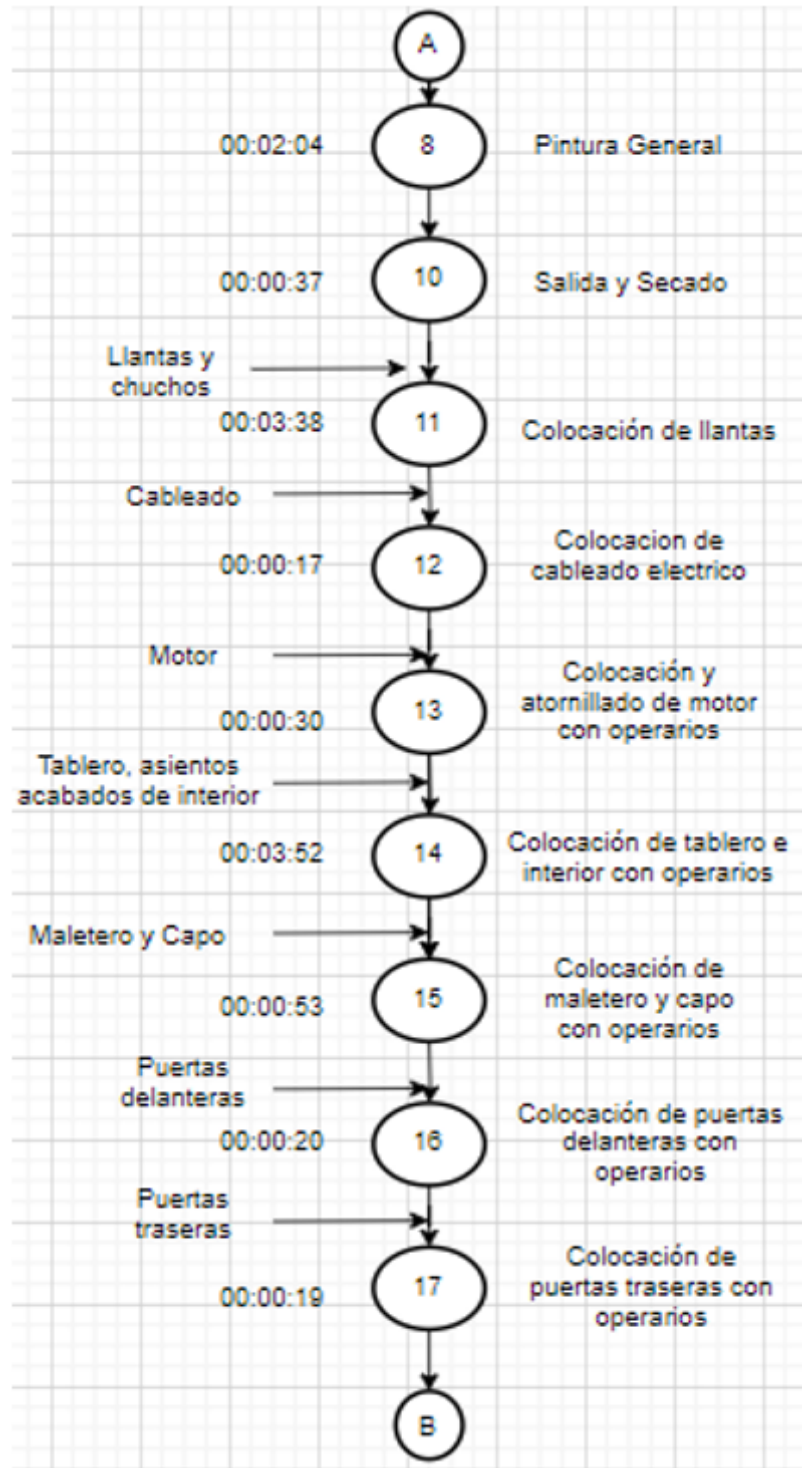
Contando con los promedios de tiempo de operación para ambos escenarios, se realizaron los diagramas de proceso contando con los tiempos determinados, salvo por el de la etapa de la preparación de materia prima. Estos iniciando en desde esa misma etapa hasta el traslado de los vehículos ya terminados al área de inspección para su posterior traslado a la bodega de producto terminado. Junto con ellos se realizaron las tablas 17 y 18 cuyo fin es resumir los tiempos por la cantidad de actividades realizadas en el proceso, de esta manera brindar una idea de cuanto tiempo se esta utilizando en cada escenario.

Figura 1
 Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 1



Nota. La **Figura 1** Representa una parte del Diagrama de Operaciones elaborado por Luis Carlos Rosenberg, con fecha: 17/09/2023. Este toma en cuenta desde la entrada de piezas cortadas hasta el traslado a bodega de producto terminado. Como unidad de Bacheo: Un vehículo ensamblado. Esta es la parte 1 conteniendo 1 entrada de materia prima, 1 inspección, 1 traslado y 7 operaciones.

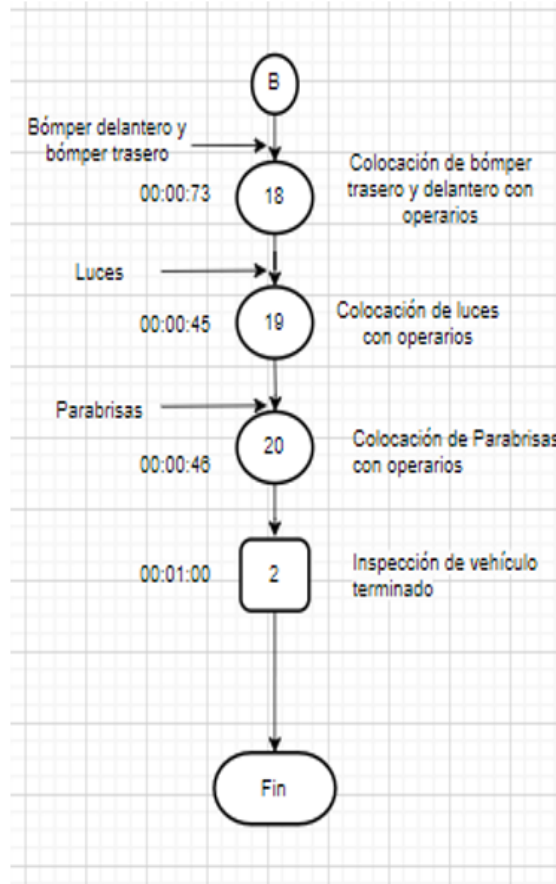
Figura 2
 Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 1 Parte2



Nota. La Figura 2 Representa la parte 2 del DOP conteniendo las operaciones 8 a 17.

Figura 3

Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 1 Parte 3



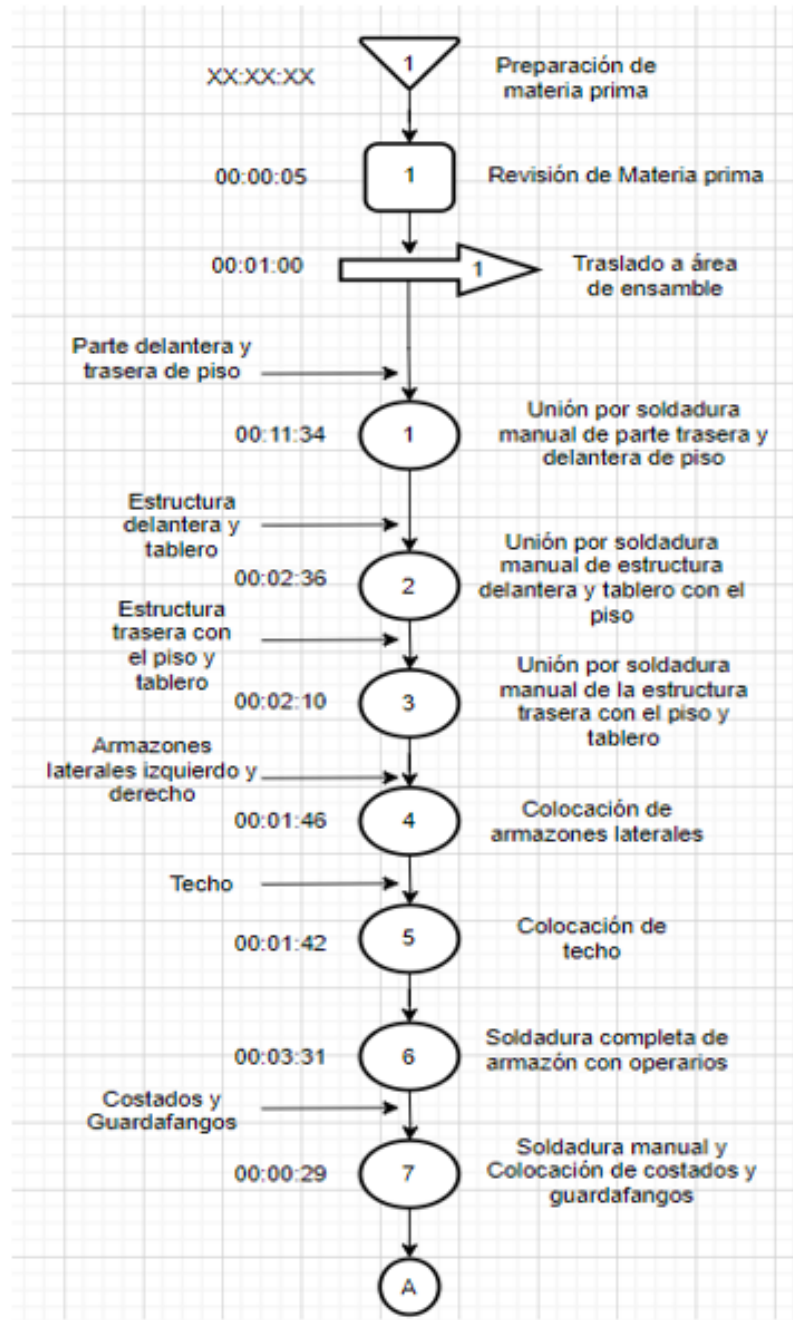
Nota. La **Figura 3** Representa la parte 3 del DOP conteniendo las operaciones 18 a 20 y la inspección final.

Tabla 17

Cuadro resumen de DOP 1

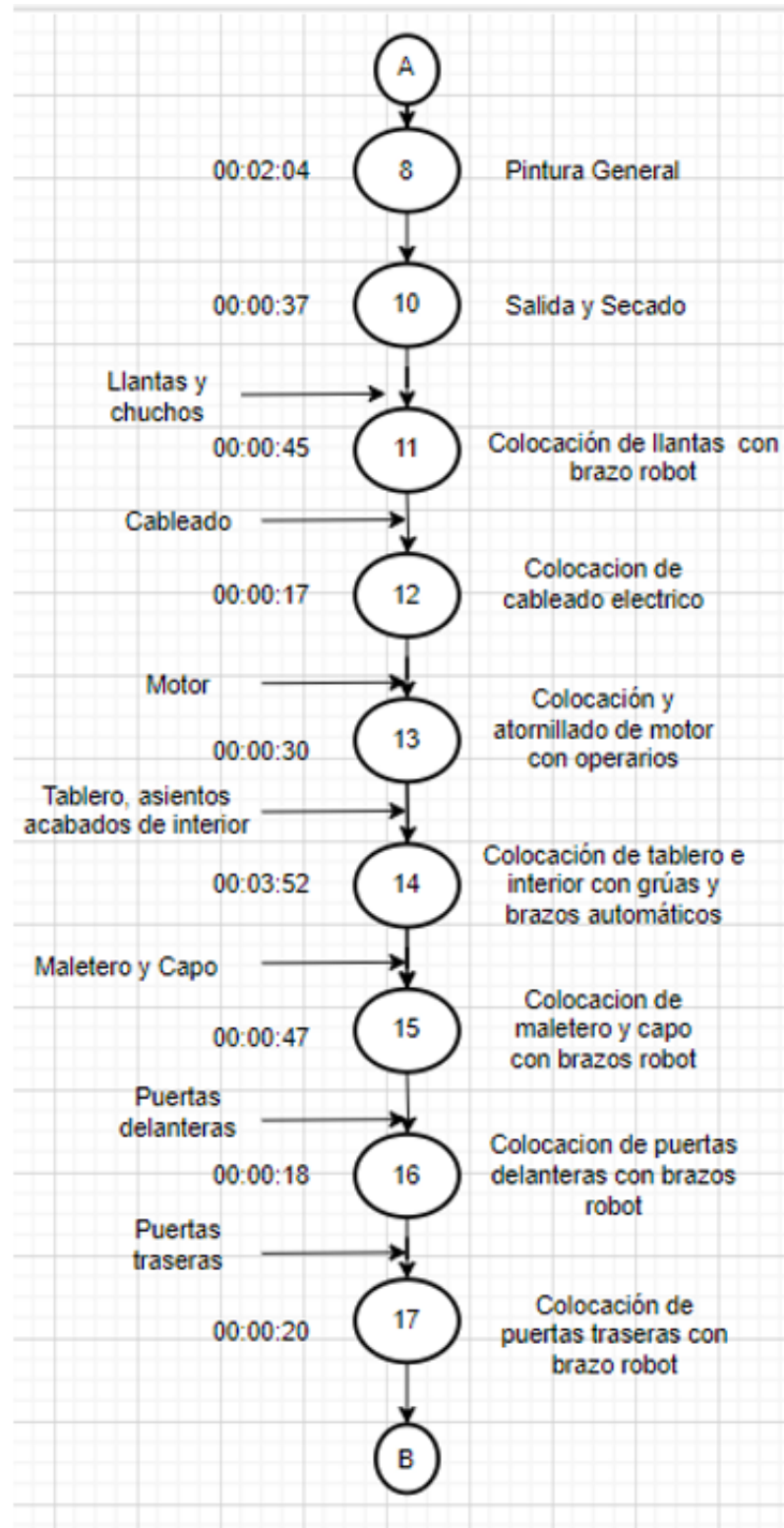
Actividad	Cantidad	Tiempo
Operación	20	00:19:28
Inspección	2	00:01:05
Traslado	1	00:01:00
Total	23	00:21:33

Figura 4
 Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 2



Nota. La **Figura 4** Representa una parte del Diagrama de Operaciones 2 elaborado por Luis Carlos Rosenberg, con fecha: 23/09/2023. Este toma en cuenta desde la entrada de piezas cortadas hasta el traslado a bodega de producto terminado. Como unidad de Bacheo: Un vehículo ensamblado. Esta es la parte 1 conteniendo 1 entrada de materia prima, 1 inspección, 1 traslado y 7 operaciones.

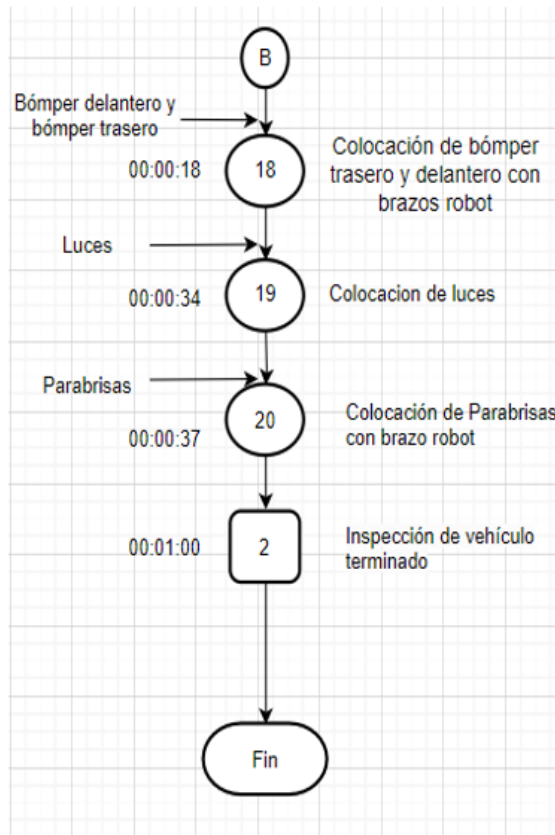
Figura 5
 Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 2 Parte 2



Nota. La **Figura 5** Representa la parte 2 del DOP 2 conteniendo las operaciones 8 a 17.

Figura 6

Diagrama de Proceso de Escenario Semi Automatizado 2 Parte 3



Nota. La **Figura 6** Representa la parte 3 del DOP 2 conteniendo las operaciones 18 a 20 y la inspección final.

Tabla 18

Cuadro resumen de DOP 2

Actividad	Cantidad	Tiempo
Operación	20	00:34:51
Inspección	2	00:01:05
Traslado	1	00:01:00
Total	23	00:36:56

9. Análisis Productivo

9.1 Desarrollo de Simulaciones en SIMIO

Una vez determinados las operaciones y sus tiempos de procesamiento, se procedió a realizar la elaboración de las simulaciones de proceso en el software de simulación de SIMIO, para determinar las capacidades que el proceso tiene para llevar a cabo su producción. En este software, se armó la estructura de las 23 operaciones colocándolas una después de la otra conectada por *paths* o caminos que conectan las operaciones entre si en SIMIO; Esto sobre un bosquejo preliminar del área de planta contando un área estimada de 75 metros por 50 metros. Junto a esto se instaló un *source* o el generador de entidades en SIMIO, en donde cada cierto tiempo este desplegaría una entidad que para que representaría un carro terminado.

Posteriormente para programar los servidores, los cuales simulan la realización de la operación en SIMIO, se utilizó la herramienta conocida como *Input Analyzer* para generar distribuciones de datos aleatorios dentro de cada uno de los servidores. Al incorporar estas distribuciones, se buscó que la operación representada por el servidor siguiera los parámetros de los tiempos conseguidos a lo largo del periodo visto en el estudio de tiempos. Aun así, algunos de los tiempos determinados, no tienen un comportamiento variable, por lo que únicamente se ingresaron como tiempos fijos en SIMIO. En el caso de las operaciones de revisión, pintura y secado, tienen la misma distribución de tiempo en ambos escenarios. En las siguientes figuras se muestran las distribuciones obtenidas en *Input Analyzer* para ser ingresadas en el SIMIO

Figura 7

Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 2


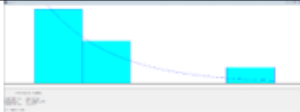

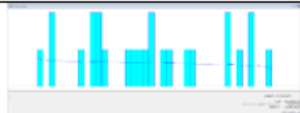


Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Revisión de Materia prima	$3.61+1,6*\text{Random.Beta}(1.68;0.747)$	 "Gráfico Revisión de Materia Prima"
Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	$56 + \text{Random.Exponencial}(1.67)$	 "Gráfico Soldadura parte trasera y delantera de piso"
Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	$19.5 + 20*\text{Random.Beta}(1.14, 1.3)$	 "Gráfico Soldadura estructura delantera y tablero con piso"
Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	$19.4+ 40*\text{Random.Beta}(1.05,0.968)$	 "Gráfico Soldadura estructura trasera con piso y tablero"
Colocación de armazones laterales (Marcos de puerta)	$26.4+3.59*\text{Random.Beta}(3.76, 1.47)$	 "Gráfico Colocación de armazones laterales"
Colocación de techo	$\text{Random.Normal}(36.1,0.436)$	 "Gráfico Colocación de techo"

Figura 8
Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 2


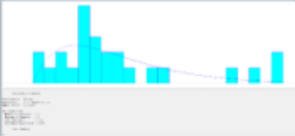
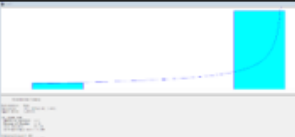


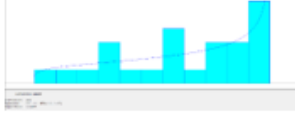
Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Soldadura completa de armazón	$24+12*\text{RANDOM.BETA}(3.55,0.563)$	 "Gráfico Soldadura parte trasera y delantera de piso"
Soldadura y Colocación de costados y guardafangos	$3.5+ \text{Random.Erlang}(3.77,2)$	 "Gráfico Soldadura y Colocación de costados y Guardafangos"
Pintura General	$132*\text{Random.Beta}(1.05,0.388)$	 "Gráfico Pintura General"
Salida y Secado	$29.5+21*\text{Random.Beta}(0.413,0.598)$	 "Gráfico Salida y Secado"
Colocación de llantas	$\text{Random.Normal}(218,9.76)$	 "Gráfico Colocación de Llantas"
Colocación de cableado eléctrico	$9.5 + 11 * \text{Random.Beta}(1.16, 0.657)$	 "Gráfico Colocación de Cableado eléctrico"

Figura 9
Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 3

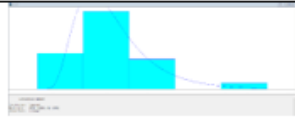



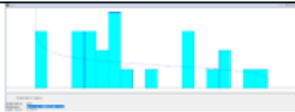


Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Colocación y atornillado de motor	$28.5 + \text{Random.Lognormal}(1.5, 0.573)$	 "Gráfico Colocación y atornillado de motor"
Colocación de tablero e interior con operarios	$\text{Random.Triangular}(230, 231, 234)$	 "Gráfico Colocación de tablero e interior"
Colocación de maletero y capo con operarios	$50.1 + \text{Random.Lognormal}(2.65, 1.58)$	 "Gráfico Colocación de maletero y capo"
Colocación de puertas delanteras con operarios	$9.5 + 25 * \text{Random.Beta}(1.06, 1.28)$	 "Gráfico Colocación de puertas delanteras"
Colocación de puertas traseras con operarios	$11.5 + 19 * \text{Random.Beta}(0.829, 1.16)$	 "Gráfico Colocación de puertas traseras "
Colocación de bómper trasero y delantero con operarios	$\text{Rando.Triangular}(71, 72.2, 75)$	 "Gráfico Colocación de bómperes"
Colocación de luces con operarios	$\text{Random.Triangular}(23.5, 40, 69.5)$	 "Gráfico Colocación de Luces"

Figura 10
Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 1 Parte 4


Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Colocación de Parabrisas con operarios	$29.5 + \text{Random.Weibull}(18.6, 1.54)$	 "Gráfico Colocación de parabrisas"

Figura 11
Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 2 Parte 1

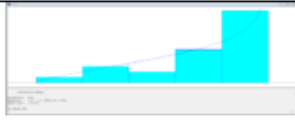
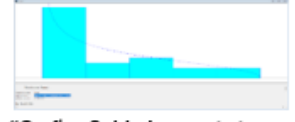


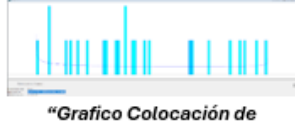

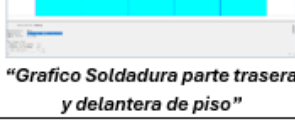
Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Revisión de Materia prima	$3.61 + 1,6 * \text{Random.Beta}(1.68; 0.747)$	 "Gráfico Revisión de Materia Prima"
Unión por soldadura automática de parte trasera y delantera de piso	$694 + 1.42 * \text{Random.Beta}(0.659, 1.43)$	 "Gráfico Soldadura parte trasera y delantera de piso"
Unión por soldadura automática de estructura delantera y tablero con el piso	$155 + \text{Random.Erlang}(0.502, 2)$	 "Gráfico Soldadura estructura delantera y tablero con piso"
Unión por soldadura automática de la estructura trasera con el piso y tablero	$112 + 39 * \text{Random.Beta}(0.524, 0.583)$	 "Gráfico Soldadura estructura trasera con piso y tablero"
Colocación de armazones laterales (Marcos de puerta)	$62.5 + 97 * \text{Random.Beta}(0.803, 0.905)$	 "Gráfico Colocación de armazones laterales"
Colocación de techo	$\text{Random.Normal}(102, 0.621)$	 "Gráfico Colocación de techo"
Soldadura completa de armazón	$132 + 165 * \text{Random.Beta}(1.02, 1.08)$	 "Gráfico Soldadura parte trasera y delantera de piso"

Figura 12

Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 2 Parte 2

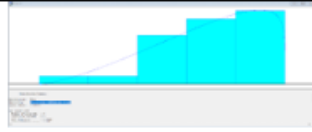


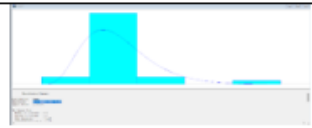

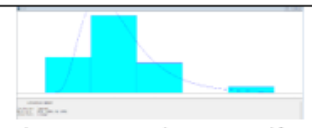





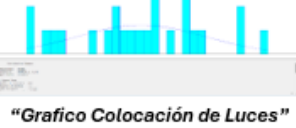

Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Soldadura y Colocación de costados y guardafangos	$27.1 + 2.91 * \text{Random.Beta}(2.42, 1.16)$	 "Gráfico Soldadura y Colocación de costados y Guardafangos"
Pintura General	$132 * \text{Random.Beta}(1.05, 0.388)$	 "Gráfico Pintura General"
Salida y Secado	$29.5 + 21 * \text{Random.Beta}(0.413, 0.598)$	 "Gráfico Salida y Secado"
Colocación de llantas	$40 + \text{Random.Gamma}(0.989, 5.16)$	 Figura# 33: "Gráfico Colocación de Llantas"
Colocación de cableado eléctrico	$9.5 + 11 * \text{Random.Beta}(1.16, 0.657)$	 Figura# 34: "Gráfico Colocación de Cableado eléctrico"
Colocación y atornillado de motor	$28.5 + \text{Random.Lognormal}(1.5, 0.573)$	 Figura# 35: "Gráfico Colocación y atornillado de motor"

Figura 13
Distribuciones Estadísticas Implementadas en Simulación de Escenario 2 Parte 3

Operación	Distribución Estadística	Gráfico de Input Analyzer
Colocación de tablero e interior con grúas y operarios	Random.Triangular(230, 231, 234)	 "Gráfico Colocación de tablero e interior"
Colocación de maletero y capo con brazos robot	$45.5 + 2.81 * \text{Random.Beta}(1.98, 1.86)$	 "Gráfico Colocación de maletero y capo"
Colocación de puertas delanteras con brazos robot	$9.5 + 21 * \text{Random.Beta}(0.817, 1.26)$	 "Gráfico Colocación de puertas delanteras"
Colocación de puertas traseras con brazo robot	Random.Uniform(10.5, 30.5)	 "Gráfico Colocación de puertas traseras "
Colocación de bómper trasero y delantero	$17.6 + \text{Random.Lognormal}(0.747, 0.427)$	 "Gráfico Colocación de bómperes"
Colocación de luces	Random.Normal(34.2, 8.18)	 "Gráfico Colocación de Luces"
Colocación de Parabrisas	$20.5 + 29 * \text{Rando.Beta}(1.19, 0.95)$	 "Gráfico Colocación de parabrisas"

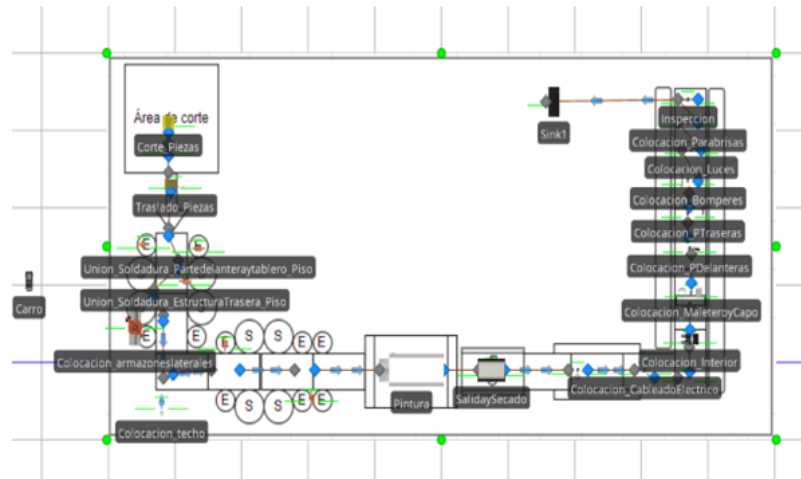
Con los datos ingresados en los servidores de operación en SIMIO, se colocó el punto de terminación de la simulación o *Sink* tras la inspección final del carro terminado. A estas simulaciones se les dio un tiempo de corrida de un día de trabajo, y se dejó correr para poder medir su capacidad. Además de esto, se buscó verificar que los tiempos de ciclo de la simulación sean los mismos que los calculados al realizar corridas preliminares. De esta forma garantizar que el proceso se encuentra simulado de forma correcta.

9.2 Simulación: Proceso Semi Automatizado 1 Soldadura Automatizada

En el caso de la simulación con soldadura automatizada, se le colocó modelos ejemplificando cómo están colocados brazos robóticos de soldadura junto con el resto de las operaciones manuales dentro de las zonas del área de producción. Con esto la simulación se distribuyó de la siguiente manera:

Figura 14

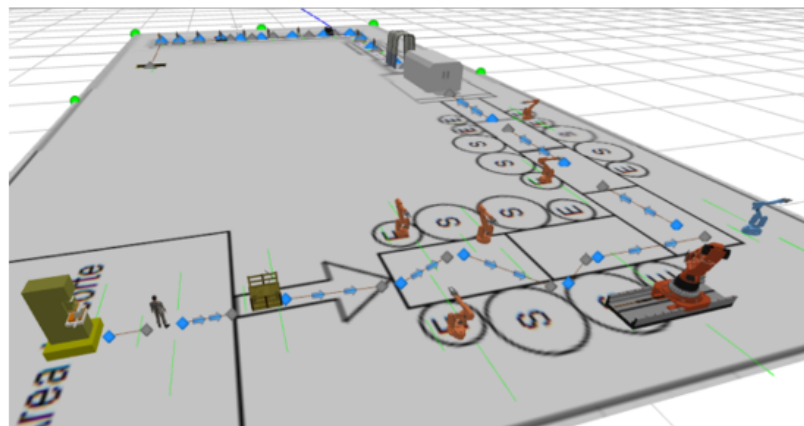
Vista en planta de Simulación Semi Automatizada 1



Nota. La **Figura 14** Representa la vista en planta del bosquejo de la planta colocado en SIMIO, junto con los parámetros de SIMIO ya colocados y conectados.

Figura 15

Vista en 3D de Simulación Semi Automatizada 1



Nota. La **Figura 15** Representa la vista 3D de SIMIO en donde se colocaron modelos en tres dimensiones en las ubicaciones de las operaciones.

Tabla 19

Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 1.

Object Type	Data Item	Statistic Type	Value
Sink	NumberEntered	Total	68
Sink	NumberExited	Total	68

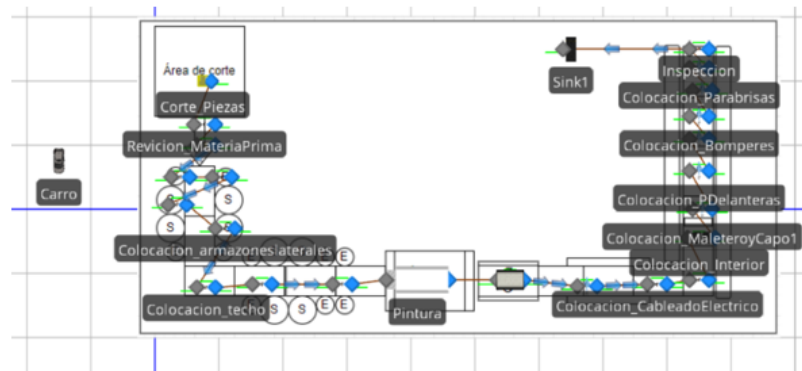
Como se aprecia en la TABLA 19, obtenida a través de la aplicación SIMIO, al final de la simulación se están produciendo un total de 68 carros diarios en la fase final o *sink*. Esto indica que la prueba de simulación realizada en SIMIO cumple adecuadamente con los tiempos ingresados y los tiempos de ciclo calculados. Con esto en mente es posible llevar a cabo el resto de simulaciones para determinar finalmente los parámetros de producción totales del proceso.

9.3 Simulación: Proceso Semi Automatizado 2 Ensamble Automatizado

En el caso del segundo escenario, este centra en el ensamblaje automatizado, donde se emplean modelos de máquinas automáticas para el ensamblaje final, como brazos automáticos. Con esto en mente, la simulación se distribuyó de la siguiente manera:

Figura 16

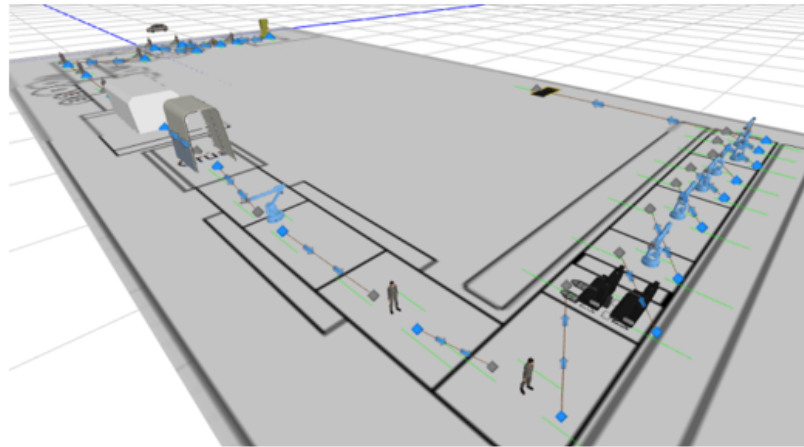
Vista de planta de Simulación Semi Automatizada 2



Nota. La **Figura 16** Representa la vista en planta del bosquejo del escenario 2 de la planta colocado en SIMIO, junto con los parámetros de SIMIO ya colocados y conectados.

Figura 17

Vista en 3D de Simulación Semi Automatizada 2



Nota. La **Figura 17** Representa la vista 3D de SIMIO en donde se colocaron modelos en tres dimensiones en las ubicaciones de las operaciones. En este caso se utilizaron mas modelos de personas representando las operaciones realizadas por operarios.

Tabla 20

Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 2.

Object Type	Data Item	Statistic Type	Value
Sink	NumberEntered	Total	38
Sink	NumberExited	Total	38

Para el caso de la simulación del Escenario 2, como se puede ver en la Tabla 20, esta se comporta de la misma forma que el resultado de unidades del Escenario 1, donde se puede apreciar que la simulación sí cumple con el tiempo de ciclo previamente establecido con los estudios de tiempo. Como se puede apreciar en el caso del Escenario 2, este se encuentra produciendo 38 unidades en 24 horas de producción.

9.4 Parámetros de Producción

Una vez confirmado que las simulaciones se ajustan al proceso, se procuró establecer un tiempo adecuado para la operación 1 de preparación de materia prima, el cual debía variar para ambos escenarios. Inicialmente, en la construcción de la simulación, se configuró que esta operación tuviera la duración total del ciclo de las 23 operaciones del proceso para verificar su funcionalidad y que las unidades simuladas atravesaran todas las fases del proceso. Sin embargo, era necesario determinar un tiempo de preparación de materia prima diferente que reflejara las condiciones de una mayor demanda de vehículos para ser modelados en la aplicación de realidad virtual y presentarse como un proceso más realista.

Para determinar el tiempo mínimo de operación que la etapa de preparación debería tener con el fin de maximizar la producción total de carros, se optó por reducir los tiempos de ciclo de poco en poco hasta llegar a un punto donde la simulación refleje una mayor producción de carros, junto con un nivel de cola en operaciones. Se continuó reduciendo el tiempo hasta el momento en que la simulación mostrara colas en las operaciones y la utilización de algunas de estas operaciones estuviese cerca del 100 % de utilización pero que no lo sobrepasara. Por medio de este método se obtuvieron los resultados presentes en las siguientes figuras y tablas.

Figura 18

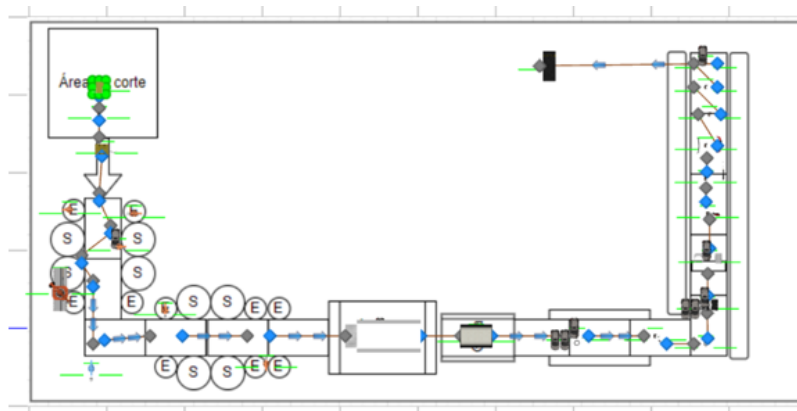
Nuevo tiempo en preparación de materia prima para Simulación Semi Automatizado 1 visto en SIMIO

Entity Arrival Logic	
Entity Type	Carro
Arrival Mode	Interarrival Time
▶ Time Offset	0.0
◀ Interarrival Time	180
Units	Seconds
Entities Per Arrival	1

Nota. La **Figura 18** Representa la tabla obtenida en el programa de SIMIO con el dato específico de la operación de materia prima. Este dato es ingresado nuevamente a SIMIO para completar la simulación final del Escenario 1

Figura 19

Simulación Semi Automatizado 1 con nuevo tiempo en preparación de materia prima



Nota. La **Figura 19** Representa la vista en plata de la simulación final del escenario 1

Tabla 21

Resumen de SIMIO de Porcentajes de utilización de operaciones Escenario 1.

Object Name	Data Item	Statistic Type	Value
Colocacion_armazoneslaterales	ScheduledUtilization	Percent	16.05
Colocacion_Bomperes	ScheduledUtilization	Percent	30.98
Colocacion_CableadoElectrico	ScheduledUtilization	Percent	7.63
Colocacion_Interior	ScheduledUtilization	Percent	99.05
Colocacion_Llantas	ScheduledUtilization	Percent	99.39
Colocacion_Luces	ScheduledUtilization	Percent	19.09
Colocacion_MaleteroyCapo	ScheduledUtilization	Percent	42.18
Colocacion_Motor	ScheduledUtilization	Percent	15.49
Colocacion_Parabrisas	ScheduledUtilization	Percent	13.20
Colocacion_PDelanteras	ScheduledUtilization	Percent	8.67
Colocacion_PTraseras	ScheduledUtilization	Percent	8.43
Colocacion_techo	ScheduledUtilization	Percent	20.02
Inspección	ScheduledUtilization	Percent	25.54
Pintura	ScheduledUtilization	Percent	53.79
Revision_MateriaPrima	ScheduledUtilization	Percent	2.62
SalidaySecado	ScheduledUtilization	Percent	20.97
SoldaduraCompleta_Armazon	ScheduledUtilization	Percent	19.08
SoldaduraColocacion_CostadosyGuardafangos	ScheduledUtilization	Percent	4.04
Traslado_Piezas	ScheduledUtilization	Percent	33.33
Union_Soldadura_EstructuraTrasera_Piso	ScheduledUtilization	Percent	22.32
Union_Soldadura_Partedelanteraytablero_Piso	ScheduledUtilization	Percent	16.24
Union_Soldadura_PartetraserayDelantera_Piso	ScheduledUtilization	Percent	32.13

Nota. La **Tabla 21** obtenida de SIMIO contiene la información de cuanto se usa cada una de las operaciones de la simulación del Escenario 1. Esto con el fin analizar los cuellos de botella y las operaciones que son las más tardadas en el proceso diseñado. Mientras más alto el valor más se usa la operación.

Figura 20

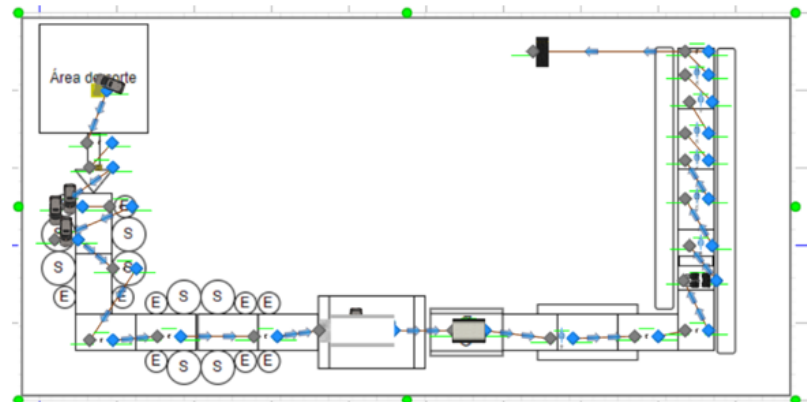
Nuevo tiempo en preparación de materia prima para Simulación Semi Automatizado 2 visto en SIMIO

Entity Arrival Logic	
Entity Type	Carro
Arrival Mode	Interarrival Time
Time Offset	0.0
Interarrival Time	540
Units	Seconds
Entities Per Arrival	1

Nota. La **Figura 20** Representa la tabla obtenida en el programa de SIMIO con el dato específico de la operación de materia prima. Este dato es ingresado nuevamente a SIMIO para completar la simulación final del Escenario 2

Figura 21

Simulación Semi Automatizado 2 con nuevo tiempo en preparación de materia prima



Nota. La **Figura 21** Representa la vista en plata de la simulación final del Escenario 2

Tabla 22

Resumen de SIMIO de Porcentajes de utilización de operaciones Escenario 2.

Object Name	Data Item	Statistic Type	Value
Colocacion_armazonelaterales	ScheduledUtilization	Percent	15.41
Colocacion_Bomperes	ScheduledUtilization	Percent	2.83
Colocacion_CableadoElectrico	ScheduledUtilization	Percent	2.342
Colocacion_Interior	ScheduledUtilization	Percent	32.72
Colocacion_Llantas	ScheduledUtilization	Percent	6.28
Colocacion_Luces	ScheduledUtilization	Percent	4.73
Colocacion_MaleteroyCapo1	ScheduledUtilization	Percent	6.64
Colocacion_Motor	ScheduledUtilization	Percent	4.70
Colocacion_Parabrisas	ScheduledUtilization	Percent	5.13
Colocacion_PDelanteras	ScheduledUtilization	Percent	2.45
Colocacion_PTraseras	ScheduledUtilization	Percent	2.85
Colocacion_techo	ScheduledUtilization	Percent	14.53
Inspección	ScheduledUtilization	Percent	8.47
Pintura	ScheduledUtilization	Percent	13.48
Revicion_MateriaPrima	ScheduledUtilization	Percent	0.87
SalidaySecado	ScheduledUtilization	Percent	5.45
SoldaduraCompleta_Armazon	ScheduledUtilization	Percent	29.35
SoldadurayColocacion_CostadosyGuardafangos	ScheduledUtilization	Percent	4.15
Traslado_Piezas	ScheduledUtilization	Percent	11.11
Union_Soldadura_EstructuraTrasera_Piso	ScheduledUtilization	Percent	18.56
Union_Soldadura_Partedelanteraytablero_Piso	ScheduledUtilization	Percent	22.32
Union_Soldadura_PartetraserayDelantera_Piso	ScheduledUtilization	Percent	99.91

Nota. La **Tabla 22** obtenida de SIMIO contiene la información de cuanto se usa cada una de las operaciones de la simulación del Escenario 2. Esto con el fin analizar los cuellos de botella y las operaciones que son las mas tardadas en el proceso diseñado. Mientras mas alto el valor mas se usa la operación.

En el caso del primer escenario semi-automatizado, se fue reduciendo progresivamente su tiempo en intervalos de 3 minutos, hasta que en la simulación se visualizó el inicio de las colas cuando el tiempo de preparación de materia prima alcanzó los 3 minutos de procesamiento. Al evaluar los porcentajes de utilización de las operaciones, como se muestra en la Tabla 21, se observó que ninguna superaba el 100 % de utilización, identificando así los cuellos de botella como las operaciones con los porcentajes más altos, específicamente la colocación de interiores y la instalación de llantas con operarios, lo cual tiene sentido al ser estas las primeras operaciones manuales dentro del proceso.

Por otro lado, en el segundo escenario semi-automatizado, también se redujo el tiempo de preparación en intervalos de 3 minutos, sin embargo, a diferencia del primer escenario, solo pudo reducirse hasta los 9 minutos de operación. Según la Tabla 22, se observa una mayor utilización de las operaciones, casi alcanzando el 100 %, especialmente en las etapas de soldadura de la parte trasera y delantera del piso, lo que indica que no es factible reducir aún más el tiempo de entrada de materia prima. De manera similar al primer escenario, se identifica un cuello de botella entre las primeras operaciones manuales, aunque en este caso se encuentra al inicio del proceso.

Al determinar el tiempo de operación de la entrada de materia prima y sumarlo a los tiempos de ciclo originales, se obtiene un total de 24 minutos con 20 segundos para el primer escenario y 46 minutos con 56 segundos para el segundo.

Todos estos factores, desde los cuellos de botella hasta la utilización y el nuevo tiempo de ciclo, son variables fundamentales para implementar en la aplicación de realidad virtual y deben reflejarse de manera precisa en la aplicación, junto con la nueva capacidad de producción de los escenarios.

9.4 Nueva Capacidad Productiva

Con los cambios realizados a las simulaciones finales de ambos escenarios, se obtuvo en SIMIO la capacidad productiva final de ambos casos con el fin de compararlas. A continuación se muestran las tablas de la capacidad de producción de las simulaciones.

Tabla 23

Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 1.

Object Name	Data Item	Statistic Type	Value
Sink1	NumberEntered	Total	367
Sink1	NumberExited	Total	367

Tabla 24

Cuadro de resultado de SIMIO del total de unidades producidas de Simulación Semi Automatizado 2.

Object Name	Data Item	Statistic Type	Value
Sink1	NumberEntered	Total	122
Sink1	NumberExited	Total	122

Con todo lo anterior, el cambio en la operación de preparación de la materia prima permitió que se diera un incremento considerable de las unidades producidas en un día de trabajo, de esta forma aumentando la capacidad productiva. En el caso del escenario 1 se puede apreciar en la Tabla 23, como de 68 unidades que se tenían en la Tabla 19 se da un incremento a 299 unidades, dando como resultado un total de 367 vehículos producidos en 1 día de trabajo. En el escenario 2 en el Tabla 24 se puede apreciar un incremento a 84 unidades, pasando de 38 unidades de la Tabla 20 a 122. Con este hecho se puede ver que el escenario 2 tiene una menor capacidad para producir, principalmente debido al cuello de botella que se encuentra al principio en el área de soldadura manual, lo cual causa que el tiempo se vuelva mayor. El impacto de esto se verá reflejado en los costos de producción.

9.5 Bill of Materials

Con el fin de llevar tener una referencia para el análisis de costo producción, se diseñó una lista de las partes y piezas que componen la carrocería del vehículo para ambos procesos de ensamble automotriz. Con esta lista se pretendió estimar la cantidad de piezas necesarias para poder formar un vehículo completo y con esto posteriormente determinar los costos que representan las materias primas al momento de producir un vehículo para la producción en un periodo de un mes, y posteriormente de forma anual con la cantidad de unidades producidas en cada uno de los escenarios. El siguiente *Bill of materials* cuenta con un total de 211 componentes requeridos para poder armar un vehículo.

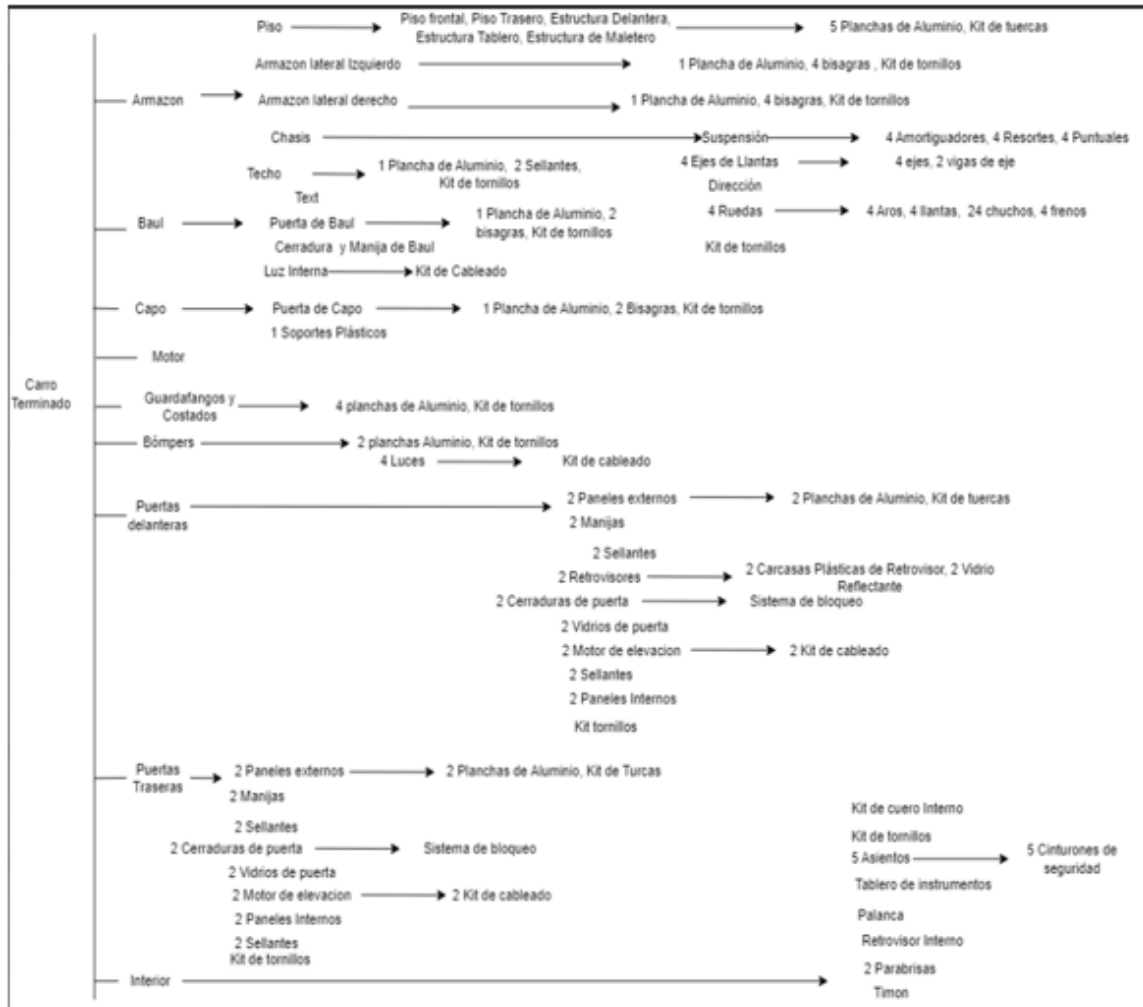


Figura 22: *Bill of Materials* para la fabricación de un carro

Se buscó principalmente segmentar el vehículo en sus partes principales que se trabajarían en cada etapa del proceso de ensamblaje. Estas partes incluyen el armazón, seguido del baúl, capó, guarda fangos, costados, motor, parachoques, interiores, puertas delanteras y traseras. Con esta información, se elaboró un formato para la planificación de los requerimientos de materia prima (MRP), que contempla el total de materias primas necesarias para un mes de trabajo de 22 días en ambos escenarios, y posteriormente para el transcurso de un año.

a. 9.6 Planificación de Requerimientos de Materia Prima

Con la cantidad de piezas requeridas para poder producir un carro y la capacidad productiva de cada escenario, se delimito la planificación para un año de producción. Esta establece lo que el área de producción deberá producir durante los 22 días del mes por los 12 meses del año, lo cual es un indicador para verificar en la aplicación en realidad virtual y proporciona información para desarrollar los costos de producción. En los siguientes cuadros se muestra el resumen de la planificación de la cantidad de piezas mensuales y anuales totales de los MRP por cada parte principal del carro.

Tabla 25

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Armazón

Armazón				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Piso Frontal	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Piso Trasero	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Estructura Delantera	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Estructura Tablero	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Estructura Maletero	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de Tuercas	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Armazón Lateral Izquierdo	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Bisagras	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Armazón Lateral Derecho	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Bisagras	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Chasis	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Suspensión	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Amortiguadores	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Resortes	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Puntuales	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Ejes de llantas	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Ejes	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Vigas de Ejes	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Dirección	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Ruedas	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Aros	4	366.96	8,073.12	96,877.44
Llantas	4	366.96	8,073.12	96,877.44
Frenos	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Chuchos	24	8,807.04	193,754.88	2,325,058.56
Techo	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Sellador	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 26

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Baúl

Baúl				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Puerta Baúl	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Bisagras	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Cerradura	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Manija de Baúl	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Luz Interna	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de Cableado	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 27

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Capó

Capó				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Puerta Capó	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Bisagras	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Soportes plásticos	2	733.92	16,146.24	193,754.88

Tabla 28

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Guardafangos y Costados

Guardafangos y Costados				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Guardafangos Derecho	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Guardafangos Izquierdo	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Costado Izquierdo	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Costado Derecho	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 29

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Bómperes

Bómperes				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Bómpere Delantero	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Luces	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Bómpere Trasero	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Planchas de Aluminio	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Luces	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de Cableado	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 30

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Puertas Delanteras

Puertas Delanteras				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Paneles Externos	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Planchas de Aluminio	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Kit de Tuercas	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Manijas	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Sellantes	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Retrovisores	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Carcasas Plástica de Retrovisor	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Vidrio Reflectante de Retrovisor	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Cerradura de Puerta	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Sistema de Bloqueo	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Ventanas	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Vidrio	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Motor de Elevacion	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Kit de Cableado	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Paneles Internos	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Planchas de Aluminio	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 31

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Puertas Traseras

Puertas Traseras				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Paneles Externos	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Planchas de Aluminio	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Kit de Tuercas	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Manijas	4	1,467.84	32,292.48	387,509.76
Sellantes	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Cerradura de Puerta	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Sistema de Bloqueo	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Ventanas	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Vidrio	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Motor de Elevacion	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Cableado	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Paneles Internos	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Planchas de Aluminio	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 32

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Interior

Interior				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Timón	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Parabrisas	2	733.92	16,146.24	193,754.88
Retrovisor Interno	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Palanca	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Asientos	5	1,834.80	40,365.60	484,387.20
Cinturones de Seguridad	5	1,834.80	40,365.60	484,387.20
Tablero de Instrumentos	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de Cuero Interno	1	366.96	8,073.12	96,877.44
Kit de tornillos	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 33

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 1 para Motor

Motor				
Pieza	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Motor	1	366.96	8,073.12	96,877.44

Tabla 34

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Armazón

Armazón				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Piso Frontal	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Piso Trasero	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Estructura Delantera	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Estructura Tablero	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Estructura Maletero	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de Tuercas	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Armazón Lateral Izquierdo	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Bisagras	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Armazón Lateral Derecho	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Bisagras	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Chasis	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Suspensión	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Amortiguadores	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Resortes	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Puntuales	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Ejes de llantas	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Ejes	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Vigas de Ejes	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Dirección	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Ruedas	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Aros	4	122.00	2,684.00	32,208.00
Llantas	4	122.00	2,684.00	32,208.00
Frenos	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Chuchos	24	2,928.00	64,416.00	772,992.00
Techo	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Sellador	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 35

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Baúl

Baúl				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Puerta Baúl	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Bisagras	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Cerradura	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Manija de Baúl	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Luz Interna	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de Cableado	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 36

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Capó

Capó				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Puerta Capó	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Bisagras	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Soportes plásticos	2	244.00	5,368.00	64,416.00

Tabla 37

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Guardafangos y Costados

Guardafangos y Costados				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Guardafangos Derecho	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Guardafangos Izquierdo	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Costado Izquierdo	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Costado Derecho	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 38

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Bómperes

Bómperes				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Bómpere Delantero	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Luces	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Bómpere Trasero	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Planchas de Aluminio	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Luces	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de Cableado	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 39

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Puertas Delanteras

Puertas Delanteras				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Paneles Externos	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Planchas de Aluminio	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Kit de Tuercas	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Manijas	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Sellantes	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Retrovisores	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Carcasas Plástica de Retrovisor	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Vidrio Reflectante de Retrovisor	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Cerradura de Puerta	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Sistema de Bloqueo	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Ventanas	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Vidrio	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Motor de Elevacion	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Kit de Cableado	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Paneles Internos	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Planchas de Aluminio	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 40

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Puertas Traseras

Puertas Traseras				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Paneles Externos	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Planchas de Aluminio	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Kit de Tuercas	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Manijas	4	488.00	10,736.00	128,832.00
Sellantes	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Cerradura de Puerta	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Sistema de Bloqueo	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Ventanas	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Vidrio	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Motor de Elevacion	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Cableado	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Paneles Internos	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Planchas de Aluminio	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 41

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Interior

Interior				
Piezas de Componente	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Timón	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Parabrisas	2	244.00	5,368.00	64,416.00
Retrovisor Interno	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Palanca	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Asientos	5	610.00	13,420.00	161,040.00
Cinturones de Seguridad	5	610.00	13,420.00	161,040.00
Tablero de Instrumentos	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de Cuero Interno	1	122.00	2,684.00	32,208.00
Kit de tornillos	1	122.00	2,684.00	32,208.00

Tabla 42

Resumen Planificación de Requerimientos de Materia Escenario 2 para Motor

Motor				
Pieza	Cantidad de MP	Total Diario	Total Mensual	Total Anual
Motor	1	122.00	2,684.00	32,208.00

10. Planos finales de áreas de producción

Tomando en cuenta los requerimientos de producción, junto con la cantidad de maquinaria y equipo requerida para cumplir con las operaciones del proceso a simular se diseñaron los planos del área de producción para la línea de ensamble de ambos escenarios. En ambos planos se muestra la distribución óptima de las operaciones y la maquinaria automatizada puedan funcionar de forma adecuada. El espacio diseñado cuenta con 3787.59 metros cuadrados, simulando el espacio que tendría una bodega tipo industrial. El diseño de los utilizará como una base para el desarrollo de la simulación final de la planta en realidad virtual. A continuación se presentan ambos planos.

Figura 23
 Plano de Escenario Semi Automatizado 1 en cm

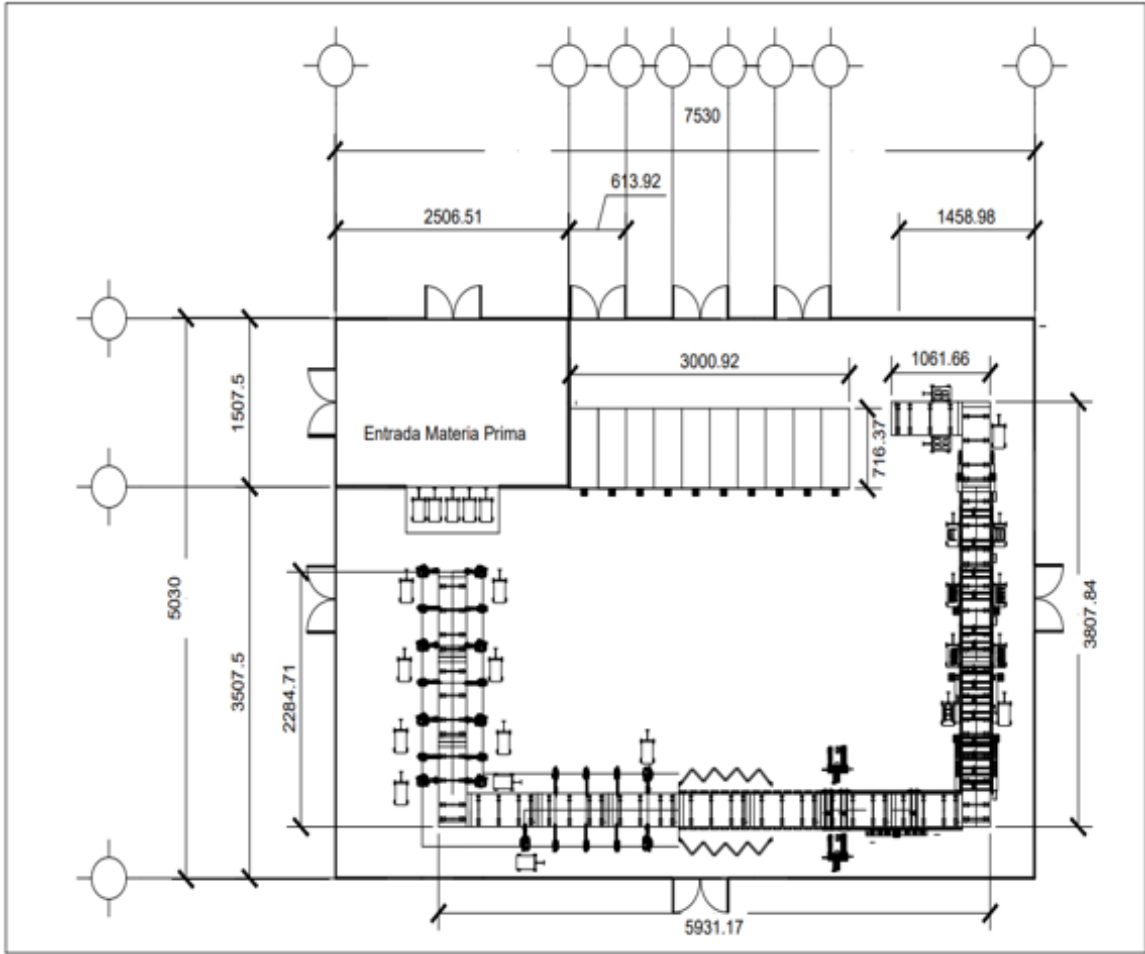
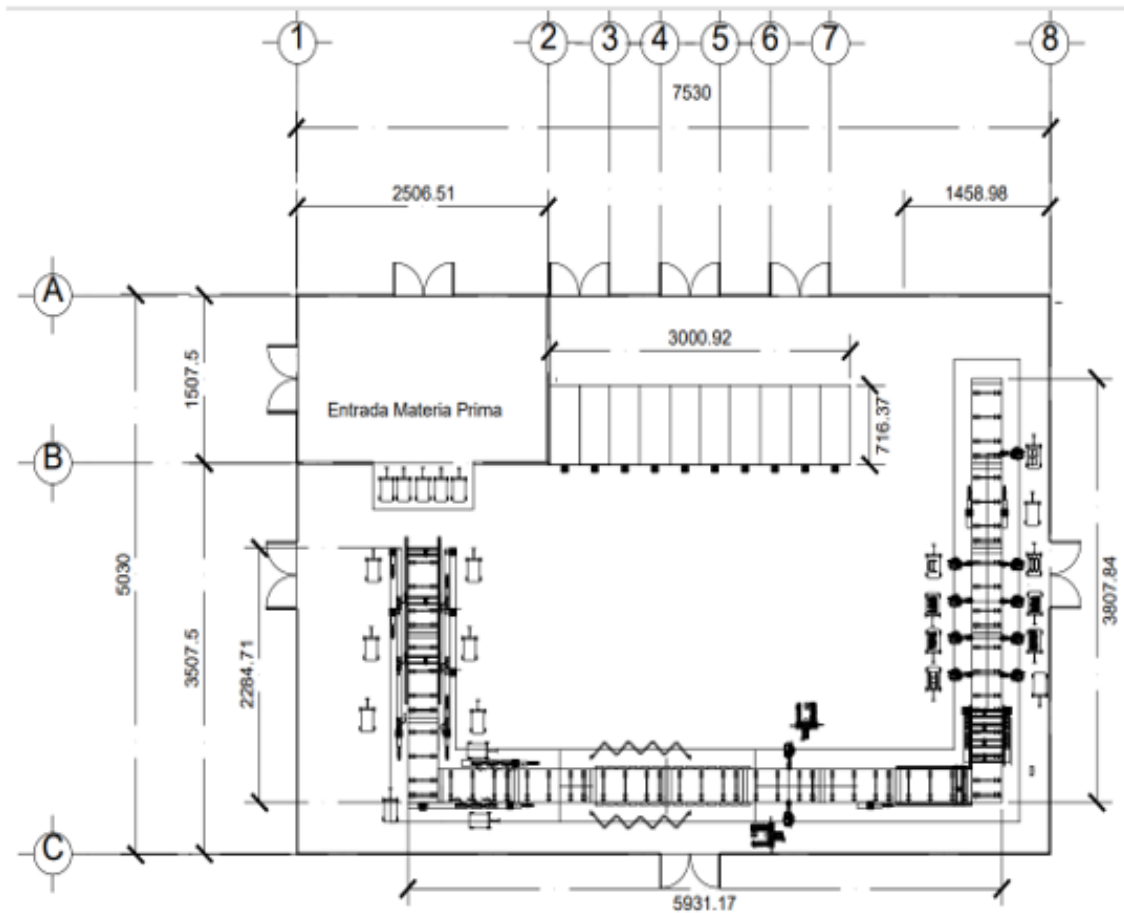


Figura 24
Plano de Escenario Semi Automatizado 2 en cm



11. Análisis Financiero

En cuanto al análisis financiero, este sirve para el desarrollo de indicadores financieros dentro de la aplicación de realidad virtual. Por esto mismo se realizó un análisis de costo de producción para cada escenario con el fin de ver el impacto económico que tiene la automatización de procesos en los costos. Para desarrollar el costo de producción, se obtuvo los costos de materia, mano de obra, servicios, depreciaciones y gastos de personal de esta manera formar el estado de costo de producción. Posteriormente este se evaluó en un periodo mensual con el fin de ver el impacto real de llevar acabo las producciones diseñadas.

11.1 Materia Prima

Para determinar la materia prima, se optó por obtener el costo de compra de esta y el costo de fabricar las piezas de principales de la carrocería. Con base en la cantidad de materiales de *Bill of materials* se buscó los precios de compra de los componentes, algunos de estos siendo materiales importados y otros obtenidos con proveedores locales. Además de esto se tomó en cuenta el costo de compra con impuestos de importación siendo estimado con la suma del Impuesto sobre el Valor Agregado (IVA) y el Derecho Arancelario sobre la Importación (DAI) de 10% aplicado a los productos automotrices y sus partes. En el caso de los productos nacionales únicamente el IVA para de esta forma determinar el costo total de compra. A continuación se presenta la Tabla 43 y 44 conteniendo el resumen de las materias primas compradas de forma local e importada. (Ministerio de Comercio Exterior, 2019)

Tabla 43
Costos de compra de materia prima importada

Materias Primas de Importación							
Pieza	Presentación	Cantidad	Costo Total (Q)	Porcentaje	DAI	IVA (Q)	Costo Total
Motor	1 Kit de motor	1	Q6,110.32	10 %	Q611.03	Q806.56	Q7,527.91
Luces	Kit de 4 luces	1	Q2,608.51	10 %	Q260.85	Q344.32	Q3,213.68
Tuercas	Kit de tuercas (16-24)	3	Q360.48	10 %	Q36.05	Q47.58	Q444.11
Bisagras	Bisagra de vehículo	12	Q1,043.16	10 %	Q104.32	Q137.70	Q1,285.17
Manijas	Paquete de 4 manijas	1	Q408.40	10 %	Q40.84	Q53.91	Q503.15
Cerraduras	Kit de 4 cerraduras	1	Q232.62	10 %	Q23.26	Q30.71	Q286.59
Soportes Plásticos	Soporte individual	1	Q146.24	10 %	Q14.62	Q19.30	Q180.17
Vidrios	Vidrios individuales	4	Q3,157.12	10 %	Q315.71	Q416.74	Q3,889.57
Parabrisas	1 individual	2	Q2,984.38	10 %	Q298.44	Q393.94	Q3,676.76
Amortiguadores	Kit de 4	1	Q1,352.38	10 %	Q135.24	Q178.51	Q1,666.13
Resortes	Kit de 2 resortes	2	Q616.00	10 %	Q61.60	Q81.31	Q758.91
Puntuales	Kit de 4 puntuales	1	Q588.86	10 %	Q58.89	Q77.73	Q725.48
Ejes de llantas	Kit de 4 ejes	1	Q1,684.28	10 %	Q168.43	Q222.32	Q2,075.03
Vigas de ejes	Vigas individuales	2	Q2,393.20	10 %	Q239.32	Q315.90	Q2,948.42
Dirección	Dirección individual	1	Q1,688.13	10 %	Q168.81	Q222.83	Q2,079.78
Aros	Kit de 4 aros	1	Q705.53	10 %	Q70.55	Q93.13	Q869.21
Frenos	Kit de 4 frenos	1	Q416.83	10 %	Q41.68	Q55.02	Q513.53
Carcasas	Set de 2 carcasas	1	Q459.82	10 %	Q45.98	Q60.70	Q566.50
Vidrio retrovisor	Set de 2 vidrios	1	Q96.18	10 %	Q9.62	Q12.70	Q118.49
Retrovisor interno	1 Vidrio	1	Q281.87	10 %	Q28.19	Q37.21	Q347.26
Motor de elevación	1 Motor de elevación	4	Q680.12	10 %	Q68.01	Q89.78	Q837.91
Cuero interno	Kit de cuero	1	Q77.59	10 %	Q7.76	Q10.24	Q95.59
Timón	Timón individual	1	Q1,300.40	10 %	Q130.04	Q171.65	Q1,602.09
Palanca	Palanca individual	1	Q1,609.99	10 %	Q161.00	Q212.52	Q1,983.51
Tablero	1 Tablero	1	Q1,195.96	10 %	Q119.60	Q157.87	Q1,473.42
Asientos	Kit de 5 asientos	1	Q2,168.25	10 %	Q216.83	Q286.21	Q2,671.28
Luz interna	1 Luz interna	1	Q439.60	10 %	Q43.96	Q58.03	Q541.59
Manija baúl	Manija individual	1	Q101.80	10 %	Q10.18	Q13.44	Q125.42
Cinturones	Kit de 5 cinturones	1	Q1,235.90	10 %	Q123.59	Q163.14	Q1,522.63
Total	29 presentaciones	51 Kits	Q36,143.92	10 %	Q3,614.39	Q4,771.00	Q44,529.31

Tabla 44
Costos de compra de materia prima local

Materias primas compradas en Guatemala					
Pieza	Presentación	Cantidad para un vehículo	Costo (Q)	IVA	Costo Total
Tornillos	Kit de tornillos	11	Q1,309.00	Q157.08	Q1,466.08
Cables	Kit de cables	6	Q450.00	Q54.00	Q504.00
Llantas	Llantas individuales	4	Q1,839.80	Q220.78	Q2,060.58
Chuchos	Paquetes de 6 chuchos	4	Q237.00	Q28.44	Q265.44
Sellantes	Sellantes individuales	6	Q401.94	Q48.23	Q450.17
Total	5 presentaciones	31 Kits	Q4,237.74	Q508.53	Q4,746.27

Como se puede apreciar en la Tabla 43 el costo de la materia prima en portada de Q44,529.31 tomando en cuenta todos sus impuestos. Mientras que la materia prima local tendrá un costo Q4,746. Esto se sumará a los costos de la materia prima para la fabricación de los componentes principales del carro. Para componentes a fabricar se buscó calcular el precio en base al precio del aluminio sumado a la tarifa de cuánto cuesta la mano de obra para poder fabricar las piezas y la tarifa energía consumida por la máquina de corte que realiza las piezas. Por medio de la investigación se encontró a un proveedor de aluminio, el cual suministra planchas de aluminio a Q806.20 de forma local ya con impuestos (TDM Importaciones, 2023).

En el caso de la tarifa energética para la producción de las piezas, se buscó un modelo de prensa de corte y se obtuvo la potencia en kw y los kwh en un día de trabajo. Con esto se le agregó el tiempo promedio de la operación de corte y se multiplicó por el precio por kwh en Guatemala de Q0.98 (2500T Prensa de formación de placas metálicas hidráulicas, s. f., Energuate, s. f.).

Tabla 45
Cálculo de Tarifa eléctrica de corte

Modelo DG400-Máquina de corte	
Potencia Promedio	130
Kwh al día	3120
Tiempo operación de Corte en horas	0.00071
Kwh*horas trabajadas	2.22
Precio del kwh* kwh utilizados	Q 2.19

Finalmente, es necesario agregar el costo que tienen los operarios para trabajar las piezas. Por lo que se hizo una planilla de trabajadores para el área de corte, junto con los tiempos de operación de los operarios para trasladar las piezas salientes de la máquina y armar las piezas conjuntas. A esto se le multiplica el valor de una hora de trabajo utilizando salario mínimo en Guatemala para operarios de manufactura. Siendo este valor de aproximadamente Q3165 en mes de trabajo, convertido a Q5.99 la hora de trabajo (Computrabaja Guatemala, s.f.).

Tabla 46
Cálculo de tarifa de mano de obra para corte

Operarios	Tiempo de ensamble en horas	Precio por hora	Tarifa Operarios
2	0.02	Q 5.99	Q 0.20
2	0.02	Q 5.99	Q 0.20
2	0.02	Q 5.99	Q 0.20
2	0.02	Q 5.99	Q 0.20
2	0.02	Q 5.99	Q 0.20
2	0.02	Q 5.99	Q 0.20
4	0.08	Q 5.99	Q 2.00
1	0.01	Q 5.99	Q 0.05
1	0.01	Q 5.99	Q 0.05
2	0.01	Q 5.99	Q 0.10
2	0.01	Q 5.99	Q 0.10
2	0.01	Q 5.99	Q 0.10
2	0.01	Q 5.99	Q 0.10
3	0.08	Q 5.99	Q 1.50
3	0.08	Q 5.99	Q 1.50

Tomando en cuenta la planilla representada en la Tabla 46, el cálculo de la Tarifa eléctrica de la máquina en la Tabla 45 y el valor del aluminio, se presenta a continuación la tabla con el costo de fabricación de las piezas producidas en la planta.

Tabla 47
Cálculo de costo de piezas de aluminio

Piezas	Cantidad Planchas	Precio por Plancha	Tarifa eléctrica	Mano de Obra
Piso Frontal	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.20
Piso Trasero	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.20
Estructura Delantera	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.20
Estructura Maletero	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.20
Estructura Tablero	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.20
Lateral Derecho	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.20
Lateral Izquierdo	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q2.00
Techo	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.05
Baúl	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.05
Capó	1 Plancha	Q806.20	Q2.19	Q0.10
Guardafangos	2 Planchas	Q1,612.40	Q2.19	Q0.10
Costados	2 Planchas	Q1,612.40	Q2.19	Q0.10
Bómperes	2 Planchas	Q1,612.40	Q2.19	Q0.10
Puerta Delantera	2 Planchas	Q1,612.40	Q2.19	Q1.50
Puerta Trasera	2 Planchas	Q1,612.40	Q2.19	Q1.50
TOTAL	20 por carro	Q16,124.00	Q32.92	Q6.69

De acuerdo con la Tabla 47 se tiene un costo de materia prima de las piezas fabricadas de Q16,124.00. Este costo junto con el de las piezas compradas representa el costo total de la materia prima. Este se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 48

Costo Total de Materia Prima

Costo de Materia Prima	
Piezas compradas	Q49,275.58
Costo de Fabricar Piezas	Q16,163.61
TOTAL	Q65,439.19

Tomando en cuenta todos los costos presentes en la Tabla 48 es posible apreciar que la materia prima para un vehículo es de Q65,439.19. Este costo aplica para ambos escenarios ya que ambos utilizan la misma materia prima.

11.2 Mano de Obra y Gastos de operación

En cuanto a la mano de obra, esta varía según el escenario debido a la introducción de maquinaria automatizada en lugar del trabajo manual. Por este motivo, se decidió establecer una tarifa de mano de obra general para la planta en cada escenario, siendo esta tarifa equivalente al salario mínimo para un operario de manufactura en el caso de los trabajadores. Respecto a los inspectores, se fijó otra tarifa basada en el promedio de lo que un inspector de planta debería ganar en un mes. Estos salarios de inspección se consideraron como gastos de operación en el estado de costo de producción.

Para calcular la mano de obra total, se emplearon como referencia los salarios mínimos para operarios e inspectores en Guatemala. Estos salarios se multiplicaron por el tiempo de las operaciones en horas, y este resultado se utilizó para calcular el precio por operación, dividiendo las 528 horas disponibles al mes entre el valor calculado. Con el precio por operación determinado, se multiplicó este valor por la cantidad de personal en cada etapa del proceso, obteniendo así el valor total que representa el costo de la mano de obra para la producción del escenario. (Computrabajo Guatemala, s.f.)

Tabla 49

Precio de la hora en un mes de 22 días

Plaza	Salarios
Operario	Q 3,157.00
Inspector	Q 4,165.00

En las siguientes tablas se muestra la planificación del personal que conformaría de la planta para cada uno de los escenarios, junto con el total de operarios requeridos para cumplir con las funciones de producción de la planta y los precios de las operaciones. Además de esto se presentan los cuadros de costos de mano de obra y gastos de fabricación de ambos escenarios de forma mensual y anual con el fin de ver el efecto los costos adicionales como el aguinaldo, IGGS, bono 14, e incentivos en la mano de obra.

Tabla 50

Calculo del Valor de mano obra y distribución de personal para Escenario Semi Automatizado 1

Operación	Personal	Horas de Operacion	Salarios	Horas al mes	Costo 1 operario	Mano de obra
1	1 Inspector	0.15	Q 4,165.00	528.00	Q 1.18	Q 1.18
2	1 Inspector	0.0013	Q 4,165.00	528.00	Q 0.01	Q 0.01
3	1 Inspector	0.02	Q 4,165.00	528.00	Q 0.13	Q 0.13
11	4	0.06	Q 3,165.00	528.00	Q 0.36	Q 1.45
14	1	0.00	Q 3,165.00	528.00	Q 0.03	Q 0.03
15	3	0.01	Q 3,165.00	528.00	Q 0.05	Q 0.15
16	4	0.06	Q 3,165.00	528.00	Q 0.39	Q 1.55
17	4	0.01	Q 3,165.00	528.00	Q 0.09	Q 0.35
18	2	0.01	Q 3,165.00	528.00	Q 0.03	Q 0.07
19	2	0.01	Q 3,165.00	528.00	Q 0.03	Q 0.06
21	2	0.01	Q 3,165.00	528.00	Q 0.07	Q 0.15
22	2	0.01	Q 3,165.00	528.00	Q 0.08	Q 0.15
23	1 Inspector	0.02	Q 4,165.00	528.00	Q 0.13	Q 0.13
Total	28	0.37	Q 45,145.00	528.00	Q 2.59	Q 5.42

Tabla 51

Resumen de personal de trabajo de planta del Escenario semi automatizado 1

Personal de planta y tiempo disponible	Total
Total de Tiempo producción de operarios para un vehículo (en minutos)	22.41
Horas Disponibles de trabajo en el mes	528
Operarios en un turno de trabajo (8 horas)	56
Operarios Totales (tres turnos de trabajo)	168
Inspectores por turno de trabajo (8 horas)	4
Inspectores Totales (tres turnos de trabajo)	12

Tabla 52

Resumen de Gastos de operación mensuales de planta del Escenario semi automatizado 1

Gastos de operación mensuales	Total
Salario de Inspectores	Q4,165.00
IGSS mensual	Q2,748.90
Incentivos de Inspectores (Q250 mensuales)	Q3,000.00
Aguinaldo y Bono 14 (Visto de forma mensual)	Q8,330.00
Total de gastos de operación al mes	Q64,058.90

Tabla 53

Resumen de Mano de Obra mensual de planta del Escenario semi automatizado 1

Mano de obra mensual	Total
Tarifa de Mano de obra al mes	Q3,165.00
IGSS mensual	Q29,244.60
Incentivos (250Q) mensuales	Q42,000.00
Aguinaldo y Bono 14 (Visto de forma mensual)	Q88,620.00
Total pago de Mano Obra al mes	Q691,584.60

Tabla 54

Resumen de Gastos de operación anuales de planta del Escenario semi automatizado 1

Gastos de operación anuales	Total
Gastos de operación mensual	Q55,728.90
Aguinaldos	Q49,980.00
Bono 14	Q49,980.00
Total de Gatos de operación anuales	Q768,706.80

Tabla 55

Resumen de Mano de obra anuales de planta del Escenario semi automatizado 1

Pago de mano de obra anual	Total
Total pago de Mano Obra al mes	Q602,964.60
Aguinaldos	Q531,720.00
Bono 14	Q531,720.00
Total de Mano de Obra Anual	Q8,299,015.20

Tabla 56

Calculo del Valor de mano obra y distribución de personal para Escenario Semi Automatizado 2

Operación	Personal	Horas de Operación	Salarios	Horas al mes	Costo 1 operario	Mano de obra
1	1 Inspector	0.15	Q4,165.00	528.00	Q1.18	Q1.18
2	1 Inspector	0.00	Q4,165.00	528.00	Q0.01	Q0.01
3	1 Inspector	0.02	Q4,165.00	528.00	Q0.13	Q0.13
4	2	0.19	Q3,165.00	528.00	Q1.16	Q2.31
5	2	0.04	Q3,165.00	528.00	Q0.26	Q0.52
6	2	0.04	Q3,165.00	528.00	Q0.22	Q0.43
7	4	0.03	Q3,165.00	528.00	Q0.18	Q0.71
8	2	0.03	Q3,165.00	528.00	Q0.17	Q0.34
9	4	0.06	Q3,165.00	528.00	Q0.35	Q1.41
10	2	0.01	Q3,165.00	528.00	Q0.05	Q0.10
14	1	0.00	Q3,165.00	528.00	Q0.03	Q0.03
15	3	0.01	Q3,165.00	528.00	Q0.05	Q0.15
16	4	0.06	Q3,165.00	529.00	Q0.39	Q1.55
21	2	0.01	Q3,165.00	530.00	Q0.06	Q0.11
23	1 Inspector	0.02	Q4,165.00	528.00	Q0.13	Q0.13
Total	32	0.67	Q51,475.00	528.00	Q4.36	Q9.12

Tabla 57

Resumen de personal de trabajo de planta del Escenario semi automatizado 2

Personal de planta y tiempo disponible	Total
Total de Tiempo producción de operarios para un vehículo (en minutos)	40.13
Horas Disponibles de trabajo en el mes	528
Operarios en un turno de trabajo (8 horas)	60
Operarios Totales (tres turnos de trabajo)	180
Inspectores por turno de trabajo (8 horas)	4
Inspectores Totales (tres turnos de trabajo)	12

Tabla 58

Resumen de Gastos de operación mensuales de planta del Escenario semi automatizado 2

Gastos de operación mensuales	Total
Salario de Inspectores	Q4,165.00
IGSS mensual	Q2,748.90
Incentivos de Inspectores (Q250 mensuales)	Q3,000.00
Aguinaldo y Bono 14 (Visto de forma mensual)	Q8,330.00
Total de gastos de operación al mes	Q64,058.90

Tabla 59

Resumen de Mano de Obra mensual de planta del Escenario semi automatizado 2

Pago de mano de obra mensual	Total
Tarifa de Mano de obra al mes	Q3,165.00
IGSS mensual	Q31,333.50
Incentivos (250Q) mensuales	Q45,000.00
Aguinaldo y Bono 14 (Visto de forma mensual)	Q94,950.00
Total pago de Mano Obra al mes	Q740,983.50

Tabla 60

Resumen de Mano de obra anuales de planta del Escenario semi automatizado 2

Pago de mano de obra anual	Total
Total pago de Mano Obra al mes	Q646,033.50
Aguinaldos	Q569,700.00
Bono 14	Q569,700.00
Total de Mano de Obra Anual	Q8,891,802.00

Tabla 61

Resumen de Gastos de operación anuales de planta del Escenario semi automatizado 2

Gastos de operación anuales	Total
Gastos de operación mensual	Q55,728.90
Aguinaldos	Q49,980.00
Bono 14	Q49,980.00
Total de Gastos de operación anuales	Q768,706.80

Tabla 62

Resumen de Mano de obra anuales de planta del Escenario semi automatizado 2

Pago de mano de obra anual	Total
Total pago de Mano Obra al mes	Q646,033.50
Aguinaldos	Q569,700.00
Bono 14	Q569,700.00
Total de Mano de Obra Anual	Q8,891,802.00

En ambos escenarios se determinó la distribución de los operarios en cada una de las operaciones. Como referencia, se calculó el costo de cada operación en términos de lo que se le debe pagar al operario durante las 528 horas del mes. En el caso de la mano de obra, se puede observar que en el escenario 2 hay un mayor costo debido a la mayor cantidad de operaciones manuales en los tres turnos de trabajo. En la Tabla 59 del resumen de mano de obra del escenario 2, se puede apreciar que el costo de la mano de obra asciende a Q740,983.50 mensuales para 28 operarios en producción y 32 operarios en corte distribuidos en tres turnos de trabajo, lo que suma un total de 180 trabajadores necesarios para cumplir con las operaciones de la fábrica.

Por el contrario en el cuadro 53 del resumen de mano de obra del escenario 1, se tiene un menor costo, siendo este de Q691,584.60 para un total de 24 operarios de producción y 32 de corte por 3 turnos de trabajo, siendo estos un total de 168 trabajadores. En términos de mano de obra se puede apreciar que en el escenario uno es mucho más barato producir un vehículo a diferencia del escenario dos. Por otra parte en ambos escenarios, al utilizar 4 inspectores se puede apreciar que se tiene un total de Q64,058.90 de gastos de operación mensuales. De igual forma viendo los costos anuales se puede apreciar que aun al añadir el bono 14 y el pago de aguinaldos, el escenario 1 es menos costoso en cuanto a mano de obra, siendo este costo de Q8,299,015.20, mientras que para el escenario 2 se tiene un costo de Q8,891,802.00.

11.3 Servicios

En cuanto a los servicios, se tomó principalmente en cuenta los costos por el consumo energético de las máquinas y el mantenimiento de las maquinas. En el caso del consumo eléctrico se tomó la cantidad máquinas por escenario y el consumo en kwh que estas tienen un periodo de 24 horas por 22 días. Estos datos se multiplicaron por el precio del kwh en Guatemala de Q0.98 para determinar el costo mensual de la energía eléctrica consumida en el área de producción. A continuación se muestran las Tablas conteniendo el costo del consumo energético mensual

Tabla 63

Resumen de consumo energético escenario 1

Maquinarias	Cantidad	Voltaje	KWH	En 24 horas	22 Días	Precio Kwh
Brazo soldadura	12	3.00 KW	3	72	1584	Q18,808.42
Brazo ensamble ligero	3	1.2 KW	1.2	28.8	633.6	Q1,880.84
Brazo ensamble pesado	8	8.6 KW	8.6	206.4	4540.8	Q35,944.97
Máquina pintura	1	15 KW	15	360	7920	Q7,836.84
Banda transportadora	16	15 KW	15	360	7920	Q125,389.44
Máquina soldadora manual	0	0.8 KW	0.8	19.2	422.4	Q0.00
Compresor de 0.8	19	0.85 KW	0.85	20.4	448.8	Q8,437.66
Total	59	-	44.45	1066.8	23469.6	Q198,298.17

Tabla 64

Resumen de consumo energético escenario 2

Maquinaria	Cantidad	Voltaje	KWH	En 24 horas	22 Días	Precio Kwh
Brazo soldadura	0	3.00 KW	3	72	1584	Q0.00
Brazo ensamble ligero	11	1.2 KW	1.2	28.8	633.6	Q6,896.42
Brazo ensamble pesado	0	8.6 KW	8.6	206.4	4540.8	Q0.00
Máquina pintura	1	15 KW	15	360	7920	Q7,836.84
Banda transportadora	16	15 KW	15	360	7920	Q125,389.44
Máquina soldadora manual	12	0.8 KW	0.8	19.2	422.4	Q5,015.58
Compresor de 0.8	5	0.85 KW	0.85	20.4	448.8	Q2,220.44
Total	45	-	44.45	1066.8	23469.6	Q147,358.71

Para la parte de los mantenimientos, se consultó al taller Spectra de enderezado y pintura, en particular al ingeniero de producción y gerente general Biceldo Quezada, quien proporcionó una estimación del gasto mensual en mantenimiento de maquinaria. Con esta información, se buscó obtener una idea general de los costos de mantenimiento de las maquinarias automáticas y los equipos de planta.

En el caso de los equipos de ensamble manual y soldadura, se realiza un mantenimiento mensual de Q1800 para toda el área, que incluye tareas correctivas como limpieza y revisión general de los equipos. En el área de pintura, se invierten Q10500 mensuales, que abarcan el mantenimiento del área general y la mano de obra para realizar los mantenimientos. Por otra parte, para las máquinas automatizadas se destina un total de Q25000 para llevar a cabo todos los mantenimientos preventivos para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas de las máquinas. Finalmente, se realiza una revisión completa anual a los compresores, con una inversión de Q12500 (Biceldo Quezada, 2023).

Tabla 65

Detalle de Mantenimiento

Área	Mantenimiento	Mano de obra Involucrada	Periodo	Empresa
Mantenimiento en pintura	Q8,000.00	Q2,500.00	Mensual	Espanezi
Mantenimiento Compresores	Q10,000.00	Q2,500.00	Anual	Kaeser
Mantenimiento correctivo (Ensamble y soldadura)	Q1,800.00	Q0	Mensual	Espanezi
Mantenimiento de máquinas automatizadas	Q25,000.00	Q0	Mensual	Espanezi

Teniendo en cuenta todos los costos energéticos en las Tablas 63 y 64, así como los costos de mantenimiento en la Tabla 65, se determinó que el costo total de servicios para el escenario 1 es de Q236,639.84, mientras que para el escenario 2 es de Q185,700.38.

11.4 Depreciaciones

Finalmente se hizo el cálculo de las depreciaciones de los equipos implementados en cada escenario, esto al utilizar precios estimados de modelos similares, debido a la falta de información de las maquinarias y el carecimiento de cotizaciones de proveedores. Se estableció los supuestos de que el valor de salvamento se vería representado por un 20% de la inversión inicial y todas la máquinas tienen una vida útil de 10 años.

Tabla 66
Detalle de Maquinaria y Equipos

Máquina	Precio de la máquina	Fuente
Brazo soldadura	Q140,354.60	(Brazo robótico de soldadura por arco automático, brazo de robot industrial de 6 ejes, Aliexpress; s.f)
Brazo ensamble ligero	Q134,643.45	Buy Servo Motor Robot Arm, Stepper Motor Robot Arm, Xyz Axis Robot Arm Product - Alibaba.com. (s. f.).
Brazo ensamble pesado	Q313,124.29	(Pruce, 2023)
Transporte	Q547,967.51	(Torin-Rollo de acero plegable SWK1009, Almacenamiento de piezas de Automóviles, Contenedor, Carro, Jaula - Alibaba.com, s. f.)
Máquina de pintura	Q62,624.86	(Cabinas de pintura para Coche, Cabinas de Pulverización, Cabinas de pintura - Alibaba.com, s. f.)
Banda transportadora	Q1,012,150.79	(Hongsbelt Anti Slip Plastic Modular Conveyor belt HS-1800D for car assembly line - Alibaba.com, s. f.)
Máquina Soldadora manual	Q2,979.33	(Máquina de soldadura manual Soldadoras de Arco - AliExpress; s. f.)
Grúas de piezas	Q93,992.44	(Mobile Power-assisted Manipulator Industrial Pick And Place Lifting Robotic Arm Pneumatic Manipulator For Heavy Product - Alibaba.com, s. f.)
Compresor	Q1,109.70	(12 / 30 / 60 Litros 0,8 Mpa Silencioso Mini Compresor De Aire Sin Aceite Mejor Compresor De Aire Para Pintura De Máquina - Alibaba.com, s. f.)
Montador de llantas	Q660.10	(Llave Impacto Neumática Encastre 1/2 - 320 Nm Rotake 5230, s. f.)

Además, se tomó en cuenta las dimensiones del terreno de la bodega de producción para calcular el valor estimado del terreno y agregarlo a la depreciación total de la planta. Para esto, se determinó el valor de la vara cuadrada al promediarlo y multiplicarlo por los metros cuadrados (convertidos en varas) de la bodega (Compuservice, s. f.).

Tabla 67
Estimación de Terreno

Metros cuadrados	Varas Cuadradas	Precio promedio de la vara (\$)	Precio de la vara (Q)	Valor del Terreno
3787.59	5421	\$132.50	Q1,037.48	Q5,624,151.98

Tomando en cuenta estos datos de las máquinas y el terreno, se presenta a continuación los siguientes cuadros con las depreciaciones estimadas para cada escenario.

Tabla 68
Estimación de Depreciaciones del Escenario 1

Máquina	Cantidad	Unitario (Q)	Costo Total (Q)	VS (Q)	Vida útil	Anual	Mensual
Brazo soldadura	12	Q140,354.	Q1,684,255	Q336,851	10	Q134,740	Q11,228
Brazo ensamble ligero	3	Q134,643	Q403,930	Q80,786	10	Q32,314	Q2,692
Brazo ensamble pesado	8	Q313,124	Q2,504,994	Q500,998	10	Q200,399	Q16,699
Transporte	26	Q3,119	Q81,117	Q16,223	10	Q6,489	Q540
Máquina de pintura	1	Q 62,624	Q62,624	Q12,524	10	Q5,009	Q417
Banda Transportadora	16	Q 5,600	Q89,604	Q17,920	10	Q7,168	Q597
Soldadora manual	0	Q2,979	-	-	10	-	-
Grúas de piezas	15	Q93,992	Q1,409,886	Q281,977	10	Q112,790	Q9,399
Compresor	19	Q1,109	Q21,084	Q4,216	10	Q1,686	Q140
Montador de llantas	4	Q660	Q2,640	Q528	10	Q211	Q17
Terreno	1	Q5,624,151	Q5,624,151.	Q1,124,830	10	Q449,932	Q37,494
Total	104	Q6,382,360	Q11,884,290	Q2,376,858	10	Q950,743	Q79,228

Tabla 69
Estimación de Depreciaciones del Escenario 2

Máquina	Cantidad	Unitario (Q)	Costo Total (Q)	VS (Q)	Vida útil	Anual	Mensual
Brazo soldadura	0	Q140,354	-	-	10	-	-
Brazo ensamble ligero	11	Q134,643	Q1,481,077	Q296,215	10	Q118,486	Q9,873
Brazo ensamble pesado	0	Q313,124	-	-	10	-	-
Transporte	26	Q3,119	Q81,117	Q16,223	10	Q6,489	Q540
Máquina de pintura	1	Q62,624	Q62,624	Q12,524	10	Q5,009	Q417
Banda transportadora	16	Q5,600	Q89,604	Q17,920	10	Q7,168	Q597
Maquina soldadora manual	12	Q2,979	Q35,751	Q7,150	10	Q2,860	Q238
Grúas de piezas	5	Q93,992	Q469,962	Q93,992	10	Q37,596	Q3,133
Compresor	5	Q1,109	Q5,548	Q1,109	10	Q443	Q36
Montador de llantas	0	Q660	-	-	10	-	-
Terreno	1	Q5,624,151	Q5,624,151	Q1,124,830	10	Q449,932	Q37,494
Total	76	Q6,382,360	Q7,849,839	Q1,569,967	10	Q627,987	Q52,332

11.5 Costo de Producción

A continuación se muestra el resultado de la unión de todos los costos evaluados, formando los estados de costos de producción para cada escenario

Tabla 70
Estado de Costo de Producción Escenario Semi Automatizado 1

Estado de costo de producción	
Producción Mensual	8074
Materia Prima	Q529,047,622.14
Mano de Obra	Q691,584.60
Servicios	Q236,639.84
Depreciación	Q281,034.24
Gastos de personal	Q64,058.90
Aguinaldo y bono 14	Q96,950.00
Costo de producción mensual	Q530,320,939.72
Costo de producción con aguinaldo y bono 14	Q530,417,889.72

Tabla 71
Estado de Costo de Producción Escenario Semi Automatizado 2

Estado de costo de producción	
Producción Mensual	2684
Materia Prima	Q175,885,113.26
Mano de Obra	Q740,983.50
Servicios	Q185,700.38
Depreciación	Q254,137.90
Gastos de personal	Q64,058.90
Aguinaldo y bono 14	Q103,280.00
Costo de producción mensual	Q177,129,993.94
Costo de producción con aguinaldo y bono 14	Q177,233,273.94

Tabla 72
Comparación de costos unitarios entre escenarios

Costos	Semi Automatizado 1	Semi Automatizado 2	Diferencia entre escenarios
Materia Prima	Q65,524.85	Q65,530.97	Q6.12
Mano de Obra	Q85.66	Q276.07	Q190.42
Servicios	Q29.31	Q69.19	Q39.88
Depreciación	Q34.81	Q94.69	Q59.88
Gastos de personal	Q7.93	Q23.87	Q15.93
Aguinaldo y bono 14	Q12.01	Q38.48	Q26.47
Costo unitario del vehículo	Q65,694.56	Q66,033.26	Q338.70

Con el análisis de costos de producción es posible apreciar los efectos que se tienen al momento de automatizar los procesos y cómo este hecho puede mejorar los costos o, en algunos casos, no tener un impacto significativo. Como se puede apreciar de forma macro en los Cuadros 70 y 71, el Escenario 2 tiene un menor costo de producción mensual, siendo este de Q177,233,273.94; sin embargo, esto se logra a costa de tener una menor producción mensual. Mientras que el Escenario 1 posee un costo de producción de Q530,417,889.72.

Al comparar ambos costos finales de producir un carro, se puede visualizar en el Cuadro 72 que estos únicamente varían por únicamente Q338.70 entre ambos procesos de los escenarios, donde el mayor costo lo tiene el Escenario 2 de Q66,033.26 para un vehículo, denotando que en el proceso 1 resulta más barato producir un vehículo por la mayor capacidad de producción que tiene, lo que a la larga permitiría incrementar el nivel de cobertura del mercado.

Por otra parte, en el Escenario 2 resulta mucho más caro producir un carro, principalmente debido a la cantidad de operarios que se ven involucrados en las operaciones y al consumo de materias primas. Esto nos indica que no hay mucha diferencia en los costos al momento de automatizar procesos; sin embargo, a la larga, esto permite que exista una mayor capacidad de producción como es el caso del Escenario 1, lo que puede significar que este tenga un mayor impacto en generar mayores utilidades. Sin embargo, esto genera que se deba invertir más en materia prima para poder mantener a la planta produciendo y satisfacer la capacidad productiva. Por lo tanto, en términos de costos y mantenibilidad, el Escenario 2 resulta una opción más accesible y más barata al mes, al no tener la capacidad de producir tantas unidades.

C. Resultados

Para este proyecto, se buscó principalmente delimitar el diseño y planificación de una planta de ensamblaje automatizada, implementando 2 distintos procesos semi-automatizados para su traslado como escenarios en una aplicación de realidad virtual que servirá como herramienta didáctica para reflejar los efectos de la automatización de procesos en la industria.

Estos diseños se conformarían por el diseño y flujo de procesos, maquinaria, tiempos de ciclo, planificación y análisis productivo, planos de planta y análisis financiero. En la etapa de diseño, se implementarían maquinarias automatizadas para las etapas de soldadura en el caso del Escenario 1 y en el ensamblaje en el caso del Escenario 2. Con esto mismo, se tomaron las mediciones de las máquinas y la cantidad de operaciones para llevar a cabo una serie de planos en AutoCAD para los escenarios, donde se definió un área de 3787m² para llevar a cabo la línea de ensamblaje.

Utilizando tomas de tiempo, fue posible determinar los tiempos de operación y el tiempo de ciclo total, donde se apreciaba que el Escenario 1 tenía un tiempo más corto, siendo este originalmente de 21 minutos, a diferencia del segundo, con un tiempo de 36 minutos.

Para determinar sus capacidades y el tiempo de preparación de materia prima, se utilizó el software de SIMIO, donde se simuló la producción de 24 horas. Se identificó que el principal motivo por el cual el Escenario 2 era más lento se debía a que, al ser sometido a altas demandas, se formaba un cuello de botella en las primeras operaciones, las cuales se realizaban de forma manual, haciendo que el proceso se alargara más.

En el caso del Escenario 1, la soldadura automática agilizaba el proceso hasta llegar a un cuello de botella en la etapa de ensamblaje de llantas e interiores, que también eran las primeras operaciones manuales. No

obstante, se determinaron las capacidades de producción de cada proceso, resultando en un total de 367 unidades procesadas en 24 horas, con un tiempo final de ciclo de 24 minutos para el primer escenario, y 122 unidades procesadas en 24 horas, con un tiempo final de ciclo de 46 minutos para el segundo.

Por otra parte, utilizando las herramientas de Bill of Materials y MRP, junto con la capacidad productiva, fue posible realizar un análisis de costo de producción para ambos escenarios. Con las piezas determinadas en el Bill of Materials y la cantidad determinada en el MRP, se obtuvo el costo de la materia prima. Además, se obtuvo la tarifa de mano de obra, gastos de personal, depreciaciones y servicios para calcular el costo de producción mensual y anual de los escenarios. Al compararlos, se pudo apreciar que el costo del Escenario 1 para producir un carro era el más bajo, siendo este de Q65,694.56, a diferencia del Escenario 2, que tuvo un costo de Q66,033.26, indicando una diferencia de Q338.70 entre ambos escenarios. Visto de forma mensual, los escenarios tienen un costo de producción de Q530,417,889.72 y Q177,233,273.94, respectivamente, indicando a la larga que el proceso del Escenario 2 es menos costoso y más accesible para llevar a cabo. Sin embargo, este tiene la menor capacidad, lo que significa que tiene una menor cobertura y habilidad para generar un incremento de utilidades.

Tomando todo esto en cuenta es posible apreciar que los procesos diseñados difieren considerablemente, a pesar de contar con operaciones y maquinaria similares. Al momento de compararse tanto en SIMIO, como solo al ver los tiempos de procesamiento y de ciclo, y ver los costos; se denota como al aplicar la semi automatización en la etapa de soldadura agiliza completamente el proceso y permite que la capacidad productiva del proceso sea mucho mayor, a diferencia de aplicarla en la etapa de ensamble y generar cuellos de botella desde el principio.

Por este mismo hecho, es posible afirmar que para optar por implementar un proceso automatizado, es necesario evaluar adecuadamente en qué operaciones vale la pena aplicar estas máquinas para genuinamente lograr una mejora, ya sea en tiempos, capacidades o costos. Esta habilidad para evaluar la automatización de procesos resulta indispensable para todo ingeniero, ya que les permite llevar a cabo la optimización de estos y avanzar hacia la mejora continua.

D. Hallazgos

- El diseño y planificación de 2 escenarios de ensamble automatizado fue completado, junto con su capacidad productiva, selección de maquinaria, planos de planta y análisis de costos, y se realizó su traslado al equipo de sistemas para la fase de desarrollo de la aplicación de realidad virtual.
- Al incorporar maquinaria moderna y automatizada, como lo son brazos robóticos, grúas automáticas, montadoras de llantas y bandas transportadoras, se comprobaron los efectos de la automatización de procesos, denotando que el efecto de la automatización puede ser mínimo si no se determinan adecuadamente las operaciones a automatizar. Como se puede ver, al tener un mejor tiempo de procesamiento de 24 minutos al momento de realizar una producción con soldadura automática, a diferencia de un proceso de ensamble final automático con 46 minutos de procesamiento.
- En base a las 2 simulaciones de proceso semi-automatizado, se pudo visualizar las capacidades de cada proceso diseñado, junto con sus respectivos cuellos de botella. Resultando en la capacidad del proceso semi-automatizado 1 como un total de 367 unidades de producción, con un tiempo de ciclo de 24 minutos, y en el caso del semi-automatizado 2, una capacidad de 122 unidades, con un tiempo de 46 minutos. Indicando un incremento en la capacidad productiva al automatizar el proceso de soldadura.
- En cuanto a los planos del área de planta de producción, utilizando las medidas de las máquinas seleccionadas junto con las distribuciones de operaciones determinadas en las simulaciones se definió un área de trabajo de 3787m² para la simulación en realidad virtual.
- Por medio del estado de costo de producción de ambos escenarios, compuestos por los costos de materia prima, mano de obra, servicios, depreciaciones y gastos de personal, se determinó que el costo de producción del escenario 1 es de Q65,694.56 y el costo en el escenario 2 es de Q66,033.26, indicando una diferencia de Q338.70 entre ambos escenarios. Esto muestra que resulta más barato semi-automatizar la soldadura para conseguir una mayor capacidad productiva.

Diseño de dos escenarios de un ensamble automotriz que compare procesos de producción tradicionales y automatizados

Esta sección aborda la ingeniería automotriz, destacando el diseño y el análisis, con un enfoque especial en la comparativa entre dos escenarios de ensamblaje: uno tradicional y otro automatizado. Se explorarán los procesos y áreas de trabajo, además de realizarse simulaciones y evaluaciones financieras para examinar cómo la automatización influye en la eficiencia operativa y la viabilidad económica. Los resultados obtenidos revelarán las principales diferencias entre los escenarios manual y automatizado. Además, se proporcionará una explicación detallada sobre la generación de datos, que ayudaran en el desarrollo del programa de realidad virtual que el equipo de licenciatura en computación utilizará con el fin de simular ambos escenarios de ensamblaje.

A. Marco teórico

1. La ingeniería industrial y su aplicación en la industria

Una planta industrial es un medio que consta de infraestructura y maquinaria, en donde operarios se encargan de la elaboración de un bien o producto. La definición de fábrica y planta son diferentes, por su parte la fábrica es el espacio físico en donde se realiza la producción del artículo; la planta es el sitio en el que se lleva a cabo un proceso específico.

La ingeniería industrial se encarga del diseño, análisis y control de operaciones, así como de sistemas de producción y servicios. Estos profesionales laboraban en plantas de fabricación, velando por la eficiencia operativa de los trabajadores y la maquinaria (Columbia Engineering, 2021). Hoy en día, los ingenieros industriales gestionan la productividad y resuelven problemas técnicos relacionados con la organización y control de la producción. El campo de esta ingeniería es amplio, permitiendo especializaciones en áreas como manufactura, distribución, transporte y comercio. Un ingeniero industrial puede diseñar desde operaciones individuales, hasta sistemas completos de producción, incluyendo aspectos como la infraestructura, finanzas y distribución de mano de obra.

Un proceso es fundamental para la industria y puede involucrar operaciones químicas, físicas, electrónicas o mecánicas, todas orientadas a la fabricación de productos. Además, existe una actividad compuesta que emplea una amplia variedad de maquinaria, herramientas y equipos. Asimismo,

se emplean múltiples capas de automatización que pueden incluir computadoras, robots y otras tecnologías (Simmons, 2022).

Las empresas están constantemente buscando soluciones a problemas de manera rápida y eficiente. La mejora continua es un enfoque cuyo objetivo es optimizar los procesos operativos. Esto requiere un análisis y evaluación constantes de las tareas para identificar problemas, reducir costos de producción y otros factores que contribuyan a la mejora del proceso (HEFLO ES, s.f.).

Al diseñar y administrar una planta, se consideran múltiples factores, incluyendo procesos, rentabilidad, entorno, maquinaria, espacio y transporte. El diseño siempre busca maximizar el uso efectivo del espacio, asegurar accesibilidad y permitir la flexibilidad para un crecimiento futuro.

2. La planificación de la producción y sus herramientas

La planificación de producción es crucial para el éxito de cualquier planta, donde se desarrollan estrategias para la elaboración de productos o servicios. La frecuente adopción de este concepto se debe a la implementación de tecnologías avanzadas, que facilitan el seguimiento de cada proceso y operación. Esto permite considerar aspectos clave como la previsión de la demanda, la selección de materias primas, la mano de obra, los equipos y los pasos de fabricación. El plan de producción define los objetivos, los recursos necesarios, el cronograma, los pasos y las dependencias. Un plan efectivo garantiza la entrega oportuna de productos, la reducción de costos y la resolución de problemas (Jenkins, 2022).

Varias herramientas son esenciales para la planificación de producción, incluyendo el MRP (*Material Requirements Planning*), el BOM (*Bill of Materials*) y el *LayOut*. El MRP permite calcular la cantidad de material, sub ensambles y ensambles necesarios para la elaboración de un producto, en un determinado período de tiempo, con el objetivo de reducir costos. Esta herramienta gestiona las operaciones de producción, almacén, distribución y entrega, considerando la necesidad del mercado. Un aspecto clave del MRP es que permite satisfacer la demanda de productos del inventario, ofreciendo un plan maestro que detalla la cantidad de bienes y plazos de entrega (DispatchTrack, s.f.). Por otro lado, el BOM es una lista específica de todos los elementos requeridos para fabricar un producto, incluyendo materias primas y componentes, y muestra la relación entre estos elementos (GrupoGaratu, s.f). Finalmente, el *LayOut* organiza los recursos dentro de un plano, facilitando un orden más efectivo en la producción y proporcionando una clara visión del proceso (Gordon, 2022).

3. La industria automotriz en Latinoamérica y Guatemala

La industria automotriz es aquella que se enfoca en el diseño, manufactura, marketing y ventas de automóviles. Entre este sector también están incluidas todas aquellas empresas que se enfocan en la reparación de vehículos, como lo son agencias, talleres, entre otros (GBM, 2022). En la actualidad, esta industria es una de las más importantes a nivel económico en muchos países, ya que esta es fundamental para el desarrollo regional, generación de empleo, entre otras razones. En 2019 México fue considerado el sexto lugar a nivel mundial como productor de vehículos y en Latinoamérica es poseedor del primer lugar (Expansión & Corona, 2019). Este sector es acreedor de aportar con el 6% del PIB y el 18% de la producción de manufactura (Miranda, 2007).

Kaldor-Verdoorn sostiene que el desarrollo económico está ligado al desempeño de la eficiencia laboral en la manufactura. Esta normativa resalta una conexión significativa entre el aumento en la producción de bienes y la eficiencia en el sector industrial; en consecuencia, el incremento en los niveles de producción lleva a una mejora de la eficiencia laboral en la misma área (Romero, s. f.).

Un proceso de manufactura enfocado en ensamble consta de las siguientes cinco etapas: recepción y clasificación de piezas, corte de componentes mecánicos, ensamblaje de chasis y carrocería, pintura, y verificación y preparación final. En la primera etapa, el departamento de compras, logística y almacén analiza el proceso para mantener el inventario necesario. Las piezas son adquiridas de distintas plantas que se especializan en materia prima. Una vez obtenido el material, este se distribuye a diversas estaciones de trabajo. Durante la fase de corte de componentes mecánicos, se manipulan las piezas metálicas que después se utilizarán en el ensamble del armazón: se colocan las láminas, se elimina el exceso de metal, se aplican coberturas y se perforan los orificios necesarios. En la fase de ensamblaje, mediante un proceso de soldadura, las piezas se unen para formar la estructura del vehículo. En la cuarta fase, este conjunto se sumerge en soluciones químicas que preparan el acero para la aplicación de pintura en su respectiva máquina. Finalmente, en la última etapa, se combinan los procesos de soldadura, manuales y robóticos, así como los ajustes necesarios, antes de iniciar el montaje del sistema de interiores y la instalación del motor mediante un elevador dentro de la estructura. Para concluir, se verifica la calidad del producto antes de enviarlo a la siguiente estación.

En Guatemala en el año 2022 la empresa japonesa productora de arneses y partes automotrices Yazaki North America Inc. tenía deseos de instalar una planta automotriz en Ayutla, San Marcos (Prensalibre, 2023). La fábrica abrió sus puertas en enero del año 2023, su ingreso a Centroamérica fue posible mediante una inversión de \$10 millones y en Guatemala generó alrededor de mil plazas nuevas de trabajo; la expansión en otros departamentos del país es una posibilidad (Win, 2022).

4. Industria 4.0 y las nuevas herramientas utilizadas en el diseño de plantas

Conforme avanza el tiempo transcurrido surgen nuevas tecnologías que se han podido implementar en el medio industrial, las cuales han dado paso a la fase Industria 4.0. Son innovaciones que conectan el mundo físico y digital, implementan sistemas inteligentes y automatizados. Entre los pilares que conforman esta etapa, se encuentran: Big data, integración horizontal y vertical, computación en la nube, internet aplicado en la industria, fabricación aditiva/impresión 3D, automatización, simulación, ciberseguridad y realidad virtual.

La realidad virtual, por su parte es una herramienta que se está convirtiendo en un campo con gran proyección hacia el futuro, específicamente en el mundo de la construcción y diseño. La importación de escenas y recorridos virtuales permiten que proyectos puedan ser simulados y verificados antes de ser ejecutados, además que permiten al usuario tener una experiencia de otro mundo, en donde también se puede interactuar con los entornos.

Por lo que al momento de diseñar una planta también puede ser utilizada esta tecnología con el fin de simular el recorrido de una fábrica de primer mundo implementada en un país en vías de desarrollo, como lo es Guatemala.

Una simulación es la creación y manejo de modelos diseñados para representar un sistema, ya sea existente o hipotético, que permite su manipulación para verificar resultados, identificar problemas potenciales, probar implementaciones o cambios operativos, entre otras funciones (TWI, s. f.). Para llevar a cabo una simulación se utilizan diversos programas como USIM PAC, INVENTEO, BILCO, SIMIO, ECHANT y FLUIDFLOW. La simulación precisa de un sistema requiere el uso de dos herramientas esenciales e interrelacionadas: las distribuciones probabilísticas y la toma de tiempos. La toma de tiempos, una técnica basada en medir la duración de cada operación, sirve para varios propósitos, como establecer tiempos estándar o, en simulaciones, determinar la distribución probabilística de cada proceso (López, 2020). Una distribución probabilística describe la variabilidad de los valores en un conjunto de datos, indicando cuáles son comunes y cuáles son raros (IBM Documentation, 2023). En simulaciones, estas distribuciones, junto con las probabilidades y la des-

viación estándar, son fundamentales para representar operaciones de manera que reflejen fielmente la realidad de la maquinaria o el operario involucrado.

5. Costo de Producción

El costo de producción se define como el gasto esencial para fabricar un bien o prestar un servicio. En cualquier proyecto, la diferencia entre el ingreso y el costo de producción determina el beneficio bruto. Hay tres componentes clave en el costo de producción: la materia prima y los aprovisionamientos, la mano de obra directa, y los costos indirectos de producción. La materia prima incluye todos los materiales necesarios que se transforman durante el proceso productivo. Los aprovisionamientos son recursos esenciales que, aunque no se transforman, son fundamentales en el proceso. La mano de obra directa abarca a todos los empleados que participan directamente en la producción. Los costos indirectos de producción incluyen la mano de obra indirecta, que consiste en personas no directamente implicadas en el proceso productivo pero cuya labor, como el mantenimiento de la maquinaria, es crucial (Rus, 2020).

B. Metodología

1. Diseño del proceso

Para el diseño del proceso de ensamble automotriz que será utilizado para los escenarios, automatizado y manual, se realizó una investigación enfocada en la industria de vehículos, procesos tradicionales y modernos, herramientas y máquinas utilizadas, secuencias de operaciones, operaciones que se pueden automatizar, operaciones fundamentales del proceso, entre otros aspectos importantes para lograr el entendimiento del contexto y requisitos específicos que se debían contemplar para diseñar el proceso.

A partir del entendimiento del funcionamiento de una planta automotriz se estableció un proceso base, con el equipo de mega proyecto, para permitir a los compañeros de licenciatura en computación entender el funcionamiento de la industria de vehículos y a su vez, establecer de manera general, las partes del proceso de cada uno de los escenarios. El proceso base establecía que se debía tener un área de soldadura, debería manejar el proceso de pintura, colocación de motor y un área de ensamble para los dos escenarios, como se ve en la Tabla 73. También se establecía que para la elaboración del proceso tradicional, las operaciones del área de soldadura y ensamble serían manuales. Para el proceso automatizado, el área de soldadura y ensamble manejarían únicamente componentes automáticos. El proceso de pintura sería automático y el proceso de colocación de motor sería con operarios haciendo uso de maquinaria auxiliar para los dos escenarios.

Tabla 73

Descripción del Escenario y Procesos Asociados

Escenario	Corte	Soldadura	Sumergir en pintura	Motor	Ensamble
Manual	Cinemática	Proceso manual	Cinemática	Cinemática	Proceso manual
Automatizado	Cinemática	Proceso automatizado	Cinemática	Cinemática	Automatizado

2. *Bill Of Materials*

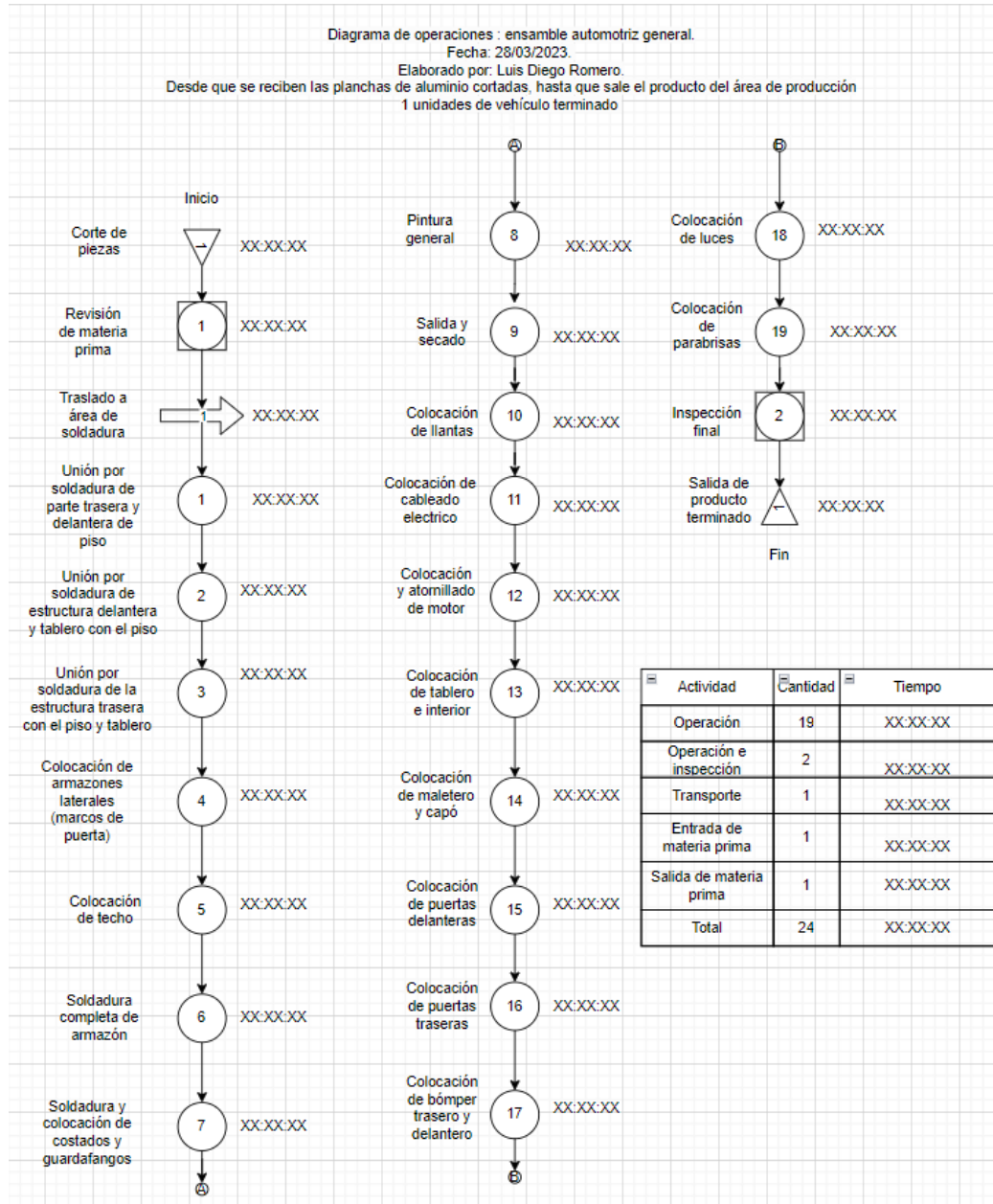
Se utilizó la herramienta *Bill Of Material* (BOM) para identificar la lista de materiales requeridos en la fabricación de un automóvil. Este análisis contribuye al desarrollo del diseño del proceso y a

comprender las grandes cantidades de inventario que una planta automotriz necesita. Asimismo, este método facilitó la identificación de alternativas para la obtención de piezas, ya sea mediante su producción a partir de materias primas o la compra de kits. El diagrama fue elaborado utilizando el software de diseño Draw.io.

3. Diagrama de operaciones preliminar (DOP)

Utilizando un conocimiento base sobre el funcionamiento de una planta automotriz y una lista de materiales necesarios para la fabricación de un vehículo, se creó un diagrama de operaciones preliminar, véase Figura 25. Este diagrama tenía como objetivo servir de guía para los pasos a seguir en el proceso que se implementaría en un programa de realidad virtual. El diagrama preliminar también se usó para identificar las actividades clave del proceso. Más adelante, se emplearía como base para realizar mediciones de tiempo de los procedimientos manuales y automatizados. Estas mediciones permitirían elaborar un diagrama de operaciones definitivo para ambos tipos de procesos, facilitando la comparación e identificación de las diferencias en los tiempos de operación. El diagrama fue desarrollado utilizando el software de diseño Draw.io.

Figura 25
Diagrama de operaciones preliminar



4. Investigación de maquinaria a utilizar e información de la misma

Al tener claridad de las actividades que operarían en la planta, bases con especificaciones del escenario automatizado y áreas de operación automatizadas, se realizó una investigación de modelos de maquinaria capaces de atender las necesidades, inversión y voltaje del equipo. Las maquinas establecidas se pueden observar en la Tabla 74.

Tabla 74*Precio y voltaje de maquinaria y servicios auxiliares*

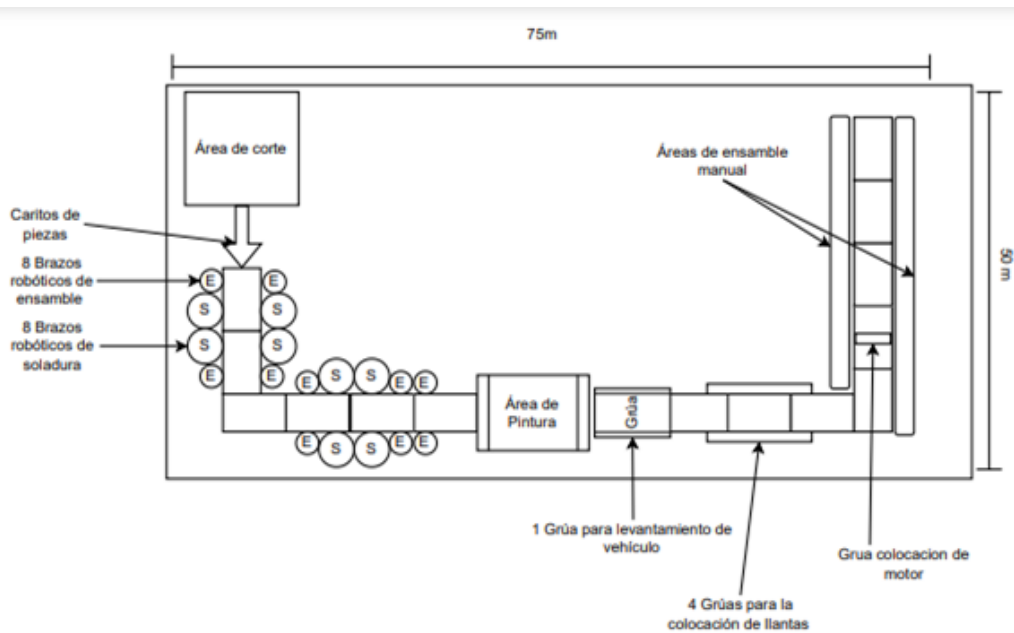
Clasificación	Máquina o equipo	Precio (Q)	Voltaje (KW)
Maquinaria	Brazo soldadura	140,354.60	3.00
Maquinaria	Brazo ensamble ligero	134,643.45	1.2
Maquinaria	Brazo ensamble pesado	313,124.29	8.6
Servicio Auxiliar	Transporte	547,967.51	N/A
Maquinaria	Máquina pintura	62,624.86	15
Servicio auxiliar	Banda transportadora	1,012,150.79	15
Servicio auxiliar	Máquina soldadora manual	2,979.33	0.8
Servicio auxiliar	Grúas de piezas	93,992.44	Uso de compresor
Servicio auxiliar	Montador de llantas	660.10	Uso de compresor
Servicio auxiliar	Compresor de 0.8 Mpa	1,109.70	0.85

Para la soldadura automática, se optó por utilizar un brazo soldador, mientras que para el ensamble automático se empleará un brazo de ensamble, seleccionando modelos pesados o ligeros según el peso de la pieza a manipular. Adicionalmente, se identificaron varias máquinas auxiliares para el proceso manual, incluyendo grúas movilizadoras de piezas de operación manual y montadores de llantas que funcionan tanto con baterías como con compresores, los cuales también se catalogaron por su precio y voltaje. Además, se consideró el costo de la carretilla que transportará las piezas.

5. Elaboración de plano preliminar

Se utilizaron todas las áreas de trabajo que conforman el proceso en un cuadro organizado, con el fin de relacionar todas las operaciones. Se evaluó la importancia de la proximidad de operaciones. Se enlistaron todas las áreas de trabajo en un formato en el que cada una de ellas se relacionaba entre sí. Cada área tiene asignada una letra con un valor, que representa la importancia que tiene la interacción entre los espacios de trabajo, con el fin de identificar cuáles tienen la necesidad de estar juntos. El diagrama Muther se realizó en el software de diseño Lucidchart.

Tras identificar qué áreas de trabajo tienen necesidad de estar relacionadas entre sí, se estableció un plano preliminar, el cual fue diseñado en el software de diseño AutoCAD, en donde se seguiría un orden basado en los resultados del diagrama Muther. Este primer plano no contempla medidas, ni cantidad de operarios y maquinaria, como se puede observar en la figura 26.

Figura 26*Plano de área de producción preliminar*

6. Toma de Tiempos

Para la recopilación de datos de tiempo se utilizó el programa Microsoft Excel. Los tiempos fueron cronometrados a partir de videos y material audiovisual encontrados en sitios de internet que se encuentran en la Tabla 75 y 76, que documentan el trabajo de las máquinas y el proceso realizado por los operarios en la fabricación de un vehículo. Entre el contenido audiovisual, destaca el video “BMW production in Germany”, el cual muestra en detalle muchas de las operaciones manuales y automáticas. Se realizaron 25 tomas de tiempo por operación (ver Tabla 76), las cuales fueron registradas en un documento de Microsoft Excel. Se tomaron tiempos tanto de las operaciones automatizadas como de las tradicionales. Los documentos de Excel con los tiempos registrados fueron convertidos al formato “.txt” para poder ser ingresados posteriormente en InputAnalyzer. A partir de estas 25 tomas de tiempo, se calculó un promedio (véase Tabla 77 y 78), y fue este valor el que se proporcionó a los estudiantes de licenciatura en computación que forman parte del equipo del megaproyecto y que están encargados de desarrollar la aplicación de realidad virtual.

Tabla 75*Material audiovisual utilizado para las tomas de tiempo del proceso manual*

Operación	Operación	Origen de la toma de tiempo
1	Corte de piezas	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
2	Revisión de Materia prima	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
3	Traslado a área de ensamble	Supuesto
4	Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	https://www.youtube.com/watch?v=u6FinqiPKmk&t=368s
5	Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	https://www.youtube.com/watch?v=u6FinqiPKmk&t=368s
6	Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	https://www.youtube.com/watch?v=DFbF85r1h5I
7	Colocación de armazones laterales (Marcos de puerta)	https://www.youtube.com/watch?v=DFbF85r1h5I
8	Colocación de techo	https://www.youtube.com/watch?v=LXRoiFXw2ms
9	Soldadura completa de armazón	https://www.youtube.com/watch?v=DFbF85r1h5I
10	Soldadura y Colocación de costados y guardafangos	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
11	Pintura General	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s

Tabla 76*Material audiovisual utilizado para las tomas de tiempo del proceso automatizado*

Operación	Operación	Origen de la toma de tiempo
12	Salida y secado	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ
13	Colocación de llantas	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
14	Colocación de cableado eléctrico	https://www.youtube.com/watch?v=MfPzQDXVj5w
15	Colocación y atornillado de motor	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
16	Colocación de tablero e interior	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
17	Colocación de maletero y capo	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
18	Colocación de puertas delanteras	https://www.youtube.com/watch?v=MfPzQDXVj5w
19	Colocación de puertas traseras	https://www.youtube.com/watch?v=MfPzQDXVj5w
20	Colocación de bumper trasero y delantero	https://www.youtube.com/watch?v=e3rZp2dUqzQ&t=2456s
21	Colocación de luces	https://www.youtube.com/watch?v=MfPzQDXVj5w
22	Colocación de Parabrisas	https://www.youtube.com/watch?v=MfPzQDXVj5w
23	Inspección final	Supuesto

Para la operación No. 3 y No. 23, se estableció un supuesto de que el transporte de materia prima a área de soldadura sería de un minuto, al igual que la inspección final. Por lo que no se utilizó ningún video para obtener los tiempos de las dos operaciones.

Tabla 77

Promedio de las 25 tomas de tiempo del proceso manual

No. de operación	Operación	Tiempo promedio (s)
1	Corte de piezas	3
2	Revisión de materia prima	5
3	Traslado a área de ensamble	60
4	Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	694
5	Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	156
6	Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	130
7	Colocación de armazones laterales (marcos de puerta)	106
8	Colocación de techo	102
9	Soldadura completa de armazón	212
10	Soldadura y colocación de costados y guardafangos	29
11	Pintura general	124
12	Salida y secado	33
13	Colocación de llantas	218
14	Colocación de cableado eléctrico	17
15	Colocación y atornillado de motor	30
16	Colocación de tablero e interior	232
17	Colocación de maletero y capo	53
18	Colocación de puertas delanteras	20
19	Colocación de puertas traseras	19
20	Colocación de bumper trasero y delantero	73
21	Colocación de luces	45
22	Colocación de Parabrisas	46
23	Inspección Final	60

Tabla 78*Promedio de las 25 tomas de tiempo del proceso automatizado*

No. de operación	Operación	Tiempo promedio (s)
1	Corte de piezas	3
2	Revisión de materia prima	5
3	Traslado a área de ensamble	60
4	Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	58
5	Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	29
6	Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	40
7	Colocación de armazones laterales (Marcos de puerta)	29
8	Colocación de techo	36
9	Soldadura completa de armazón	35
10	Soldadura y colocación de costados y guardafangos	11
11	Pintura general	124
12	Salida y secado	38
13	Colocación de llantas	45
14	Colocación de cableado eléctrico	17
15	Colocación y atornillado de motor	30
16	Colocación de tablero e interior	232
17	Colocación de maletero y capo	47
18	Colocación de puertas delanteras	18
19	Colocación de puertas traseras	20
20	Colocación de bumper trasero y delantero	18
21	Colocación de luces	34
22	Colocación de Parabrisas	37
23	Inspección final	60

Realizadas las tomas de tiempo se utilizó el formato realizado con anterioridad para la elaboración del diagrama de operaciones manual y automatizado, con sus respectivos tiempos de operaciones, como se ve en la Figura 27 y 28.

Figura 27

Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automatiz con proceso manual

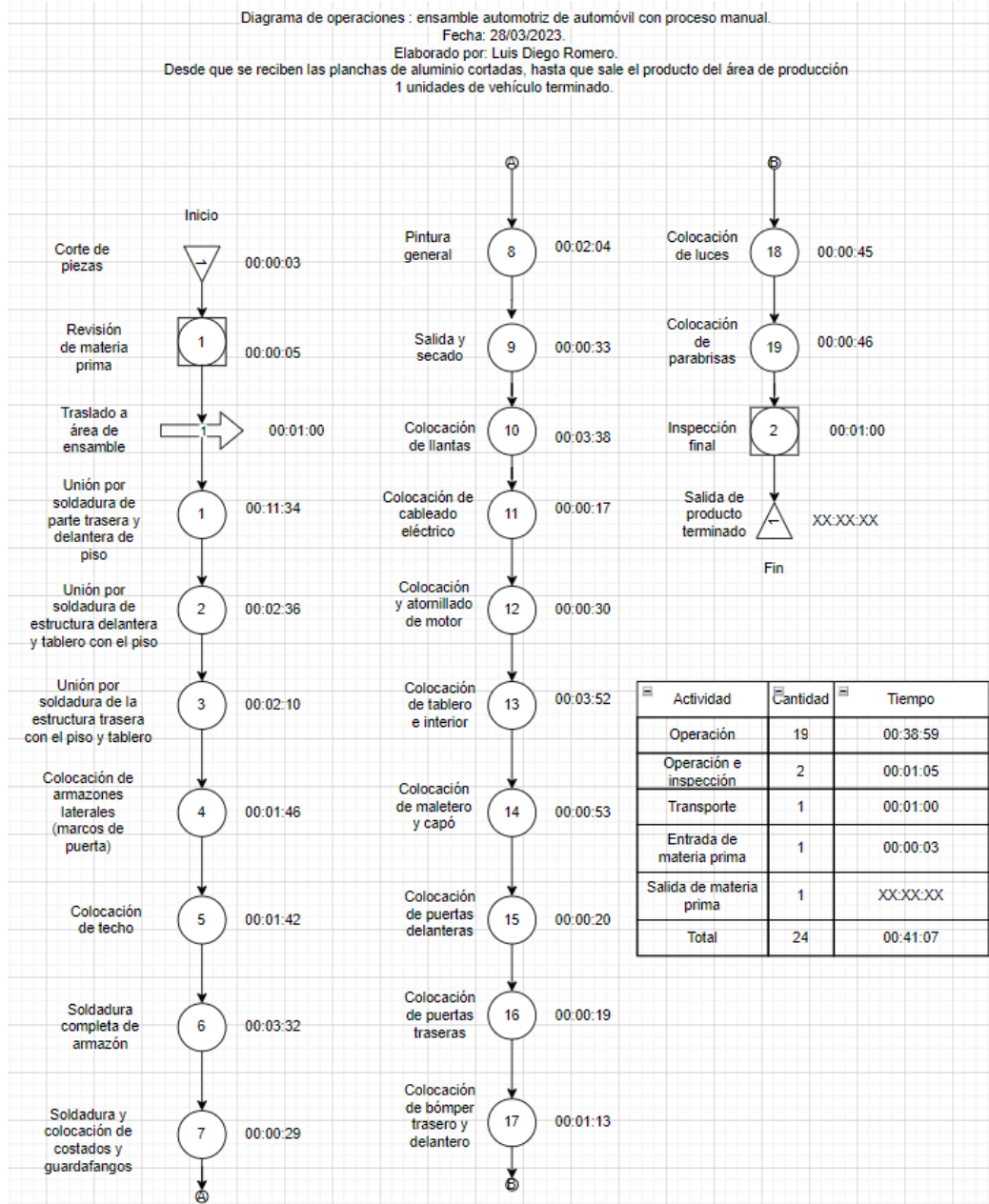
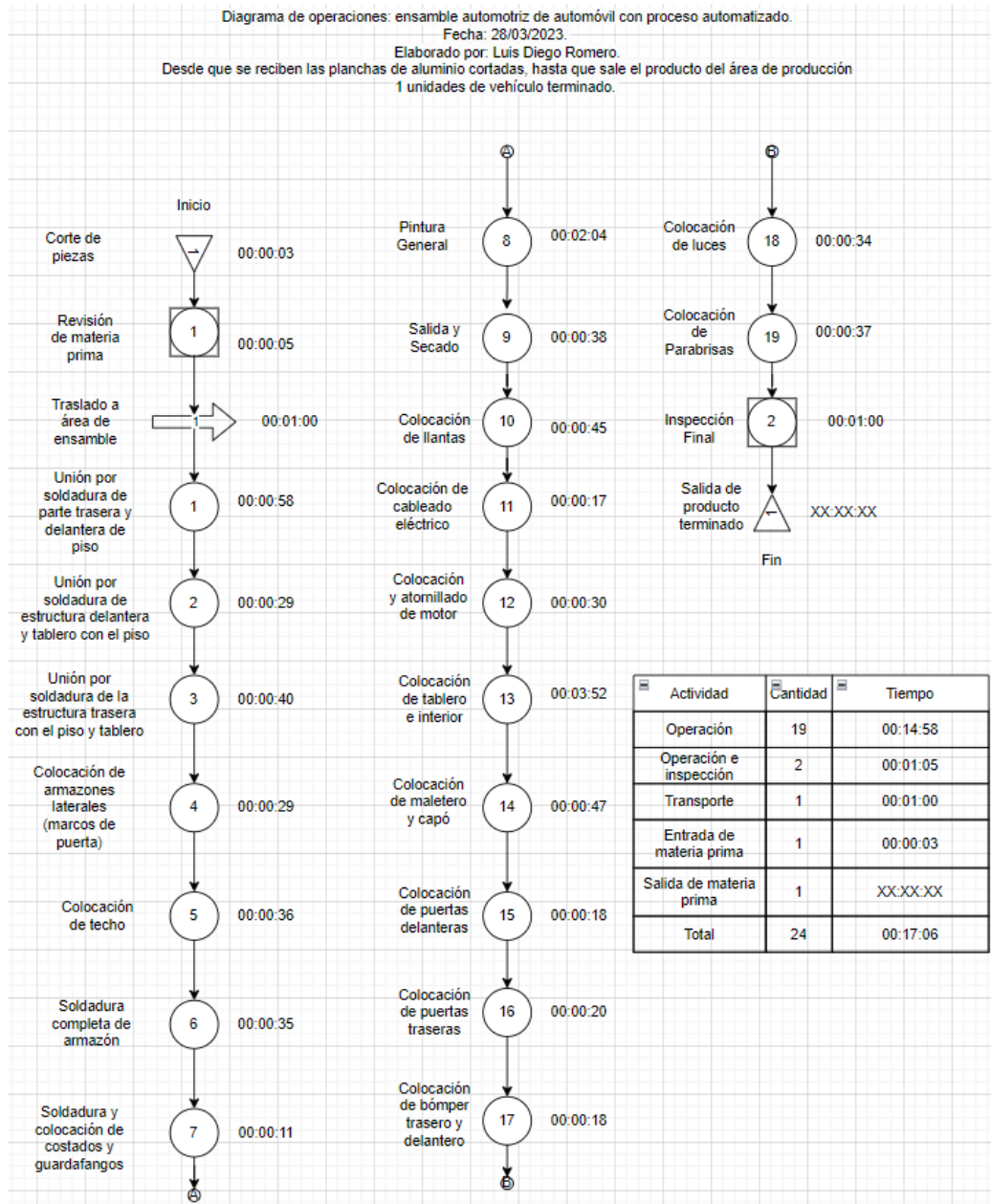


Figura 28

Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automotriz con proceso automatizado



A partir del material audiovisual, también fue posible identificar y establecer en el proceso diseñado la cantidad de operarios que se muestran en la Tabla 79 y Tabla 80, servicios auxiliares y maquinaria utilizada en los escenarios manual y automatizado, que se pueden observar en la Tabla 81 y Tabla 82. Todo esto a partir de ver y analizar la interacción de operarios y uso de servicios y máquinas en el proceso.

Tabla 79*Cantidad de operarios en escenario manual*

Operación	No. operarios
Corte de piezas	32
Revisión de materia prima	1
Traslado a área de ensamble	1
Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	2
Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	2
Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	2
Colocación de armazones laterales (marcos de puerta)	4
Colocación de techo	2
Soldadura completa de armazón	4
Soldadura y colocación de costados y guardafangos	2
Pintura general	0
Salida y secado	0
Colocación de llantas	4
Colocación de cableado eléctrico	1
Colocación y atornillado de motor	1
Colocación de tablero e interior	4
Colocación de maletero y capo	4
Colocación de puertas delanteras	2
Colocación de puertas traseras	2
Colocación de bómper trasero y delantero	2
Colocación de luces	2
Colocación de Parabrisas	2
Inspección Final	1
TOTAL	77

Tabla 80*Cantidad de operarios en escenario automatizado*

Operación	No. operarios
Corte de piezas	32
Revisión de materia prima	1
Traslado a área de ensamble	1
Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	0
Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	0
Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	0
Colocación de armazones laterales (marcos de puerta)	0
Colocación de techo	0
Soldadura completa de armazón	0
Soldadura y colocación de costados y guardafangos	0
Pintura general	0
Salida y secado	0
Colocación de llantas	0
Colocación de cableado eléctrico	1
Colocación y atornillado de motor	1
Colocación de tablero e interior	4
Colocación de maletero y capo	0
Colocación de puertas delanteras	0
Colocación de puertas traseras	0
Colocación de bómper trasero y delantero	0
Colocación de luces	2
Colocación de Parabrisas	0
Inspección final	1
TOTAL	43

Tabla 81*Cantidad de máquina por escenario*

Máquina	Cant. en Proceso Manual	Cant. en Proceso Automatizado
Brazo soldadura	0	12
Brazo ensamble ligero	0	16
Brazo ensamble pesado	0	8
Máquina pintura	1	1

Tabla 82*Cantidad de Servicios Auxiliares por escenario*

Servicio auxiliar	Cant. en Proceso Manual	Cant. en Proceso Automatizado
Transporte	26	26
Banda transportadora	16	16
Máquina soldadora manual	12	0
Grúas de piezas	15	5
Montador de llantas	4	0
Compresor	19	5

7. Distribuciones estadísticas

Se utilizó el programa InputAnalyzer para convertir las bases de datos con las 25 tomas de tiempo por operación en distribuciones probabilísticas, que se muestran en la Tabla 83 y 84. Haciendo uso del programa, se obtuvieron desviaciones estándar, medias, moda, dato más alto y dato más bajo, entre otros datos estadísticos que pueden llegar a ser necesarias para la simulación. El proceso de obtener distribuciones probabilísticas fue repetido para cada operación de cada escenario. Estas distribuciones fueron posteriormente utilizadas en las simulaciones que se realizaron en la herramienta de ingeniería llamada “SIMIO”.

Tabla 83

Distribución probabilística de escenario manual

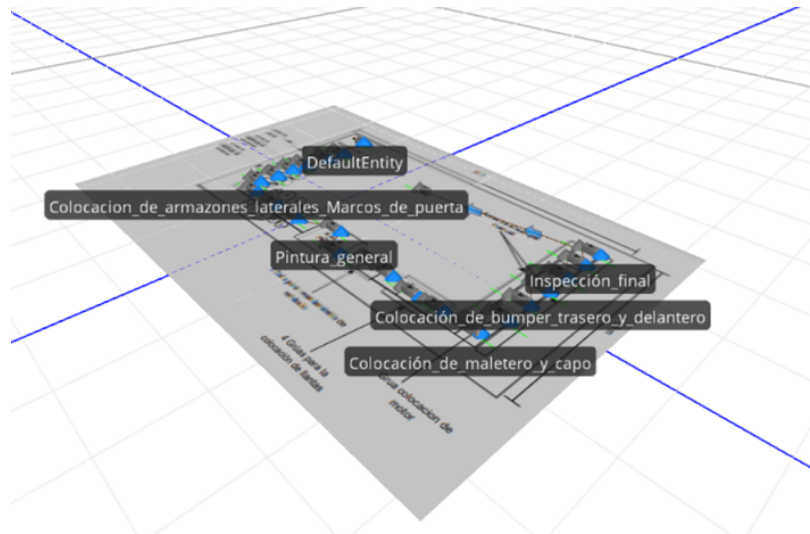
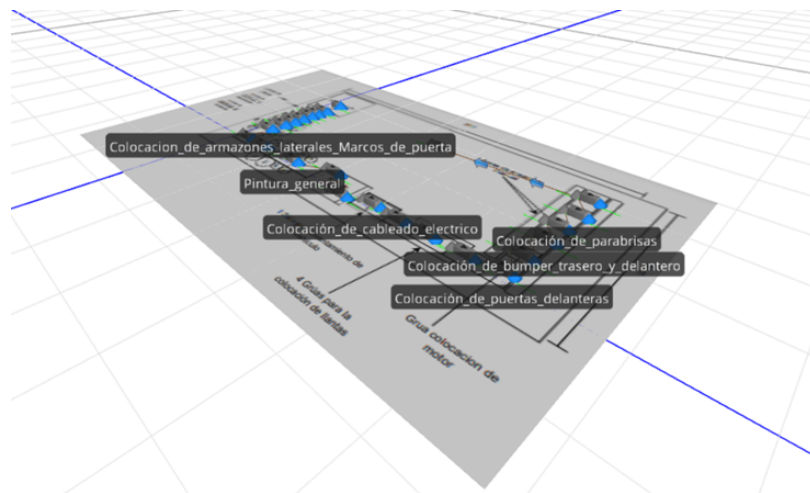
Operación	Proceso manual
Corte de piezas	$1+2.39*\text{Random.Beta}(3.11, 1.66)$
Revisión de materia prima	$3.61+1.6*\text{Random.Beta}(1.68, 0.747)$
Traslado a área de ensamble	60 s
Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	$694 + 1.42 * \text{Random.Beta}(0.659, 1.43)$
Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	$155 + \text{Random.Erlang}(0.502, 2)$
Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	$112 + 39 * \text{Random.Beta}(0.524, 0.583)$
Colocación de armazones laterales (marcos de puerta)	$62.5 + 97 * \text{Random.Beta}(0.803, 0.905)$
Colocación de techo	$\text{Random.Normal}(102, 0.621)$
Soldadura completa de armazón	$132 + 165 * \text{Random.Beta}(1.02, 1.08)$
Soldadura y colocación de costados y guardafangos	$27.1 + 2.91 * \text{Random.Beta}(2.42, 1.16)$
Pintura General	$132*\text{Random.Beta}(1.05,0.388)$
Salida y secado	$29.5+21*\text{Random.Beta}(0.413,0.598)$
Colocación de llantas	$\text{Random.Normal}(218,9.76)$
Colocación de cableado eléctrico	$9.5 + 11 * \text{Random.Beta}(1.16, 0.657)$
Colocación y atornillado de motor	$28.5 + \text{Random.Lognormal}(1.5,0.573)$
Colocación de tablero e interior	$\text{Random.Triangular}(230, 231, 234)$
Colocación de maletero y capo	$50.1 + \text{Random.Lognormal}(2.65, 1.58)$
Colocación de puertas delanteras	$9.5 + 25 * \text{Random.Beta}(1.06, 1.28)$
Colocación de puertas traseras	$11.5 + 19 * \text{Random.Beta}(0.829, 1.16)$
Colocación de bumper trasero y delantero	$\text{Random.Triangular}(71, 72.2, 75)$
Colocación de luces	$\text{Random.Triangular}(23.5, 40, 69.5)$
Colocación de parabrisas	$29.5 + \text{Random.Weibull}(18.6, 1.54)$
Inspección final	60 s

Tabla 84*Distribución probabilística de escenario automatizado*

Operación	Proceso automatizado
Corte de piezas	$1+2.39*\text{Random.Beta}(3.11, 1.66)$
Revisión de materia prima	$3.61+1.6*\text{Random.Beta}(1.68, 0.747)$
Traslado a área de ensamble	60 s
Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso	$56 + \text{Random.Exponecial}(1.67)$
Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso	$19.5 + 20*\text{Random.Beta}(1.14,1.3)$
Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero	$19.4+ 40*\text{Random.Beta}(1.05,0.968)$
Colocación de armazones laterales (marcos de puerta)	$26.4+3.59*\text{Random.Beta}(3.76,1.47)$
Colocación de techo	$\text{Random.Normal}(36.1,0.436)$
Soldadura completa de armazón	$24+12*\text{Random.Beta}(3.55,0.563)$
Soldadura y colocación de costados y guardafangos	$3.5+ \text{Random.Erlang}(3.77,2)$
Pintura general	$132*\text{Random.Beta}(1.05,0.388)$
Salida y secado	$29.5+21*\text{Random.Beta}(0.413,0.598)$
Colocación de llantas	$40 + \text{Random.Gamma}(0.989, 5.16)$
Colocación de cableado eléctrico	$9.5 + 11 * \text{Random.Beta}(1.16, 0.657)$
Colocación y atornillado de motor	$28.5 + \text{Random.Lognormal}(1.5,0.573)$
Colocación de tablero e interior	$\text{Random.Triangular}(230, 231, 234)$
Colocación de maletero y capo	$45.5 + 2.81 * \text{Random.Beta}(1.98, 1.86)$
Colocación de puertas delanteras	$9.5 + 21 * \text{Random.Beta}(0.817, 1.26)$
Colocación de puertas traseras	$\text{Random.Uniform}(10.5, 30.5)$
Colocación de bumper trasero y delantero	$17.6 + \text{Random.Lognormal}(0.747, 0.427)$
Colocación de luces	$\text{Random.Normal}(34.2, 8.18)$
Colocación de Parabrisas	$20.5 + 29 * \text{Random.Beta}(1.19, 0.95)$
Inspección final	60 s

8. Simulación preliminar

A partir de las distribuciones obtenidas se realizó una simulación de cada escenario en el Software SIMIO. Se hizo uso del plano preliminar y los procesos establecidos en los diagramas de operaciones para colocar, conectar y ordenar los objetos necesarios para las simulaciones en SIMIO (sinks, server, combiners, paths, source, entre otros). Al ordenar los dos procesos de cada escenario en su respectivo documento de SIMIO, a cada objeto se le realizó una programación en donde se adjuntaron las distribuciones probabilísticas brindadas por InputAnalyzer, como se ilustra en las figuras 29 y 30. Esto permitió que cada operación trabajara en tiempo real y a partir de esta simulación observar factores que provoquen problemas en la planta y la capacidad de producción de cada escenario. Como lo fueron los cuellos de botella; por lo que se tuvo que modificar el tiempo de ciclo de la simulación.

Figura 29*Simulación manual preliminar***Figura 30***Simulación automatizada preliminar*

9. Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo es un método crucial en la gestión de procesos, especialmente cuando se enfrentan cuellos de botella. Este método busca ajustar el flujo de material dentro del proceso para prevenir acumulaciones que puedan afectar la eficiencia operativa.

Para establecer un tiempo de ciclo adecuado, se realizó una toma de tiempos, analizando el tiempo total de producción de un vehículo, la cantidad de unidades producidas por hora y por día, y el tiempo de ciclo de una simulación preliminar. Incrementamos gradualmente el tiempo de suministro de material hasta reducir significativamente el cuello de botella, estableciendo así un nuevo tiempo de ciclo.

Con el nuevo tiempo de ciclo definido, se introdujo una operación denominada “preparación

de materia prima”, como se observa en la Tabla 85. El tiempo de ciclo determinado fue aplicado en esta nueva etapa, en la cual un operario se encarga de preparar la materia prima antes de su envío al área de soldadura. A pesar de que la operación de corte sigue siendo parte del proceso, su tiempo no se ha alterado en la simulación debido a las incertidumbres sobre la capacidad de reducción de velocidad de la prensa hidráulica. Por lo tanto, esta operación no se modifica, pero sí se añade la de preparación de materia prima, utilizando el nuevo tiempo de ciclo calculado. Es importante destacar que, aunque la operación de corte ya no se considera en la simulación, los 32 trabajadores anteriormente asignados a esta tarea siguen siendo incluidos en el análisis financiero del proceso.

Tabla 85*Proceso diseñado final*

No. De operación	Operación
0	Corte de piezas
1	Preparación de materia prima
2	Revisión de materia prima
3	Traslado a área de ensamble
4	Unión por soldadura de parte trasera y delantera de piso
5	Unión por soldadura de estructura delantera y tablero con el piso
6	Unión por soldadura de la estructura trasera con el piso y tablero
7	Colocación de armazones laterales (marcos de puerta)
8	Colocación de techo
9	Soldadura completa de armazón
10	Soldadura y colocación de costados y guardafangos
11	Pintura general
12	Salida y Secado
13	Colocación de llantas
14	Colocación de cableado eléctrico
15	Colocación y atornillado de motor
16	Colocación de tablero e interior
17	Colocación de maletero y capo
18	Colocación de puertas delanteras
19	Colocación de puertas traseras
20	Colocación de bumper trasero y delantero
21	Colocación de luces
22	Colocación de Parabrisas
23	Inspección final

Nota. Esta tabla cuenta con todas las operaciones del proceso, pero se agregó una operación que ocupa el tiempo de ciclo, llamada preparación de materia prima.

10. Plano de área de producción y simulación final

A partir de la investigación, que incluyó el análisis de la relación entre áreas de trabajo, la disposición de maquinarias, el número de operarios, los modelos de máquinas y los servicios auxiliares, se desarrollaron dos nuevos planos, uno para cada escenario propuesto. El objetivo principal de estos planos es facilitar su uso por parte del equipo encargado de la simulación dentro del megaproyecto, creando así un ambiente didáctico para los estudiantes que interactúen con el programa. Estos planos también fueron esenciales en la simulación final, permitiendo visualizar cómo se configuraría la planta en la realidad, con todas las medidas y maquinarias específicamente definidas para cada escenario.

11. MRP

El MRP tuvo como fin tener un control de inventario y de igual forma planifica la producción a partir de la cantidad producida. Se utilizó el *Bill of Materials* para identificar cuantas piezas, kits y materias primas son necesarias para la elaboración de un carro, la demanda diaria de la empresa y la demanda mensual. La planta se diseñó para que trabajase 22 días del mes, con tres turnos de 8 horas diarios. Se identificó la capacidad de producción del escenario tradicional y automatizado durante un día, y a partir de esta capacidad se identificaron las piezas necesarias para lograr cumplir con la producción diaria. Al identificar las piezas necesarias durante un día de trabajo, se realizó una planificación para los 22 días de trabajo de ambos escenarios.

12. Análisis de Costos

Para el análisis de costos se analizó el costo de materia prima, costo en mano de obra, costo del terreno, costo de maquinaria, depreciaciones, costo de servicios y mantenimiento.

Para obtener el costo de materia prima se hizo uso del BOM, en donde se dividieron los materiales en dos: materia prima necesaria para producir piezas y kits de piezas necesarias para la producción. La lista de materia prima y kits de piezas necesarias para producir un vehpiculo se encuentran en la Tabla 86.

Tabla 86*Materia prima y piezas necesarias*

Materia prima necesaria	Kits/piezas necesarias
1 Plancha de aluminio	1 Kit de motor
1 Plancha de aluminio	4 Luces
1 Plancha de aluminio	3 Kit de tuercas
1 Plancha de aluminio	12 Bisagras
1 Plancha de aluminio	4 Manijas
1 Plancha de aluminio	1 Kit de tornillos
1 Plancha de aluminio	4 Kit de cables
1 Plancha de aluminio	4 Cerraduras
1 Plancha de aluminio	6 Sellantes
1 Plancha de aluminio	2 Soportes
2 Planchas de aluminio	5 Vidrios
2 Planchas de aluminio	2 Parabrisas
2 Planchas de aluminio	1 Suspensión
2 Planchas de aluminio	1 Dirección
2 Planchas de aluminio	4 Aros
	4 Llantas
	24 Chuchos
	4 Frenos
	2 Carcasas
	1 Vidrio reflectante
	1 Vidrio
	1 Vidrio
	4 Motores
	1 Kit de cuero
	4 Sistemas
	1 Sistema
	1 Timón
	1 Palanca
	1 Tablero de instrumentos
	5 Asientos
	1 Luz
	1 Manija

Para determinar los costos de las piezas a adquirir, se investigaron los precios unitarios. A estos precios se les aplicó el Derecho Arancelario a la Importación (DAI) para aquellos productos que provenían del extranjero y el Impuesto al Valor Agregado (IVA) a todos los materiales comprados en Guatemala. La suma total nos proporciona el costo completo de compra de kits y piezas.

Para las planchas de aluminio, también se investigó el costo, pero a diferencia del producto comprado, se estableció una tarifa de consumo eléctrico al momento que en la fábrica se realiza el corte. Por lo que se estableció el supuesto de que la cortadora de las planchas era un modelo DG400. Con la potencia de la maquinaria y los tres turnos de 8 horas, se pudo obtener el consumo diario de la máquina por las 20 piezas. Con el consumo diario y el tiempo de corte se pudo establecer el consumo por pieza, que con el precio de electricidad industrial permitió identificar una tarifa por producción de pieza. El precio de la plancha, con la tarifa de la pieza, más una tarifa fija de mano de obra establecida por cada corte de 1 plancha, se obtuvo el costo de la pieza. El costo de piezas compradas y materia prima comprada permitieron identificar un costo total de compra.

Para calcular el costo de la mano de obra, se consideró el número de operarios y supervisores que trabajan en cada escenario. Se investigó y encontró que el salario mínimo en Guatemala para un operario de fábrica es de Q3,157.00 y para un supervisor es de Q4,165.00. A partir de esta información, se elaboró una nómina que incluye las horas de trabajo disponibles al mes, el total de operarios en los tres turnos, el bono 14, el aguinaldo, las contribuciones al Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), un incentivo de Q250 y el total pagado en mano de obra por mes.

Para el precio del terreno se manejaron los planos diseñados durante este trabajo y en conjunto con el precio de la vara, se pudo obtener el costo del terreno.

Para el costo de maquinaria y servicios auxiliares, se investigó el precio de cada uno de los equipos y se obtuvo el costo por cantidad de maquinarias en el proceso de producción. Se asumió un valor de salvamento del 20% del costo por cantidad de maquinarias en el proceso de producción. Y se realizó el supuesto de que la vida útil de todas las máquinas y servicios es de 10 años. Con esto se realizó la depreciación de maquinaria y servicios de manera mensual y anual. Para calcular el costo de mantenimiento se consultó con el ingeniero de producción del taller Spectra, quien cotizó a empresa Espanezi y Kaese, en donde brindaron precios del mantenimiento en pintura mensual, compresores anuales, correctivo mensual y de máquinas automatizadas mensual.

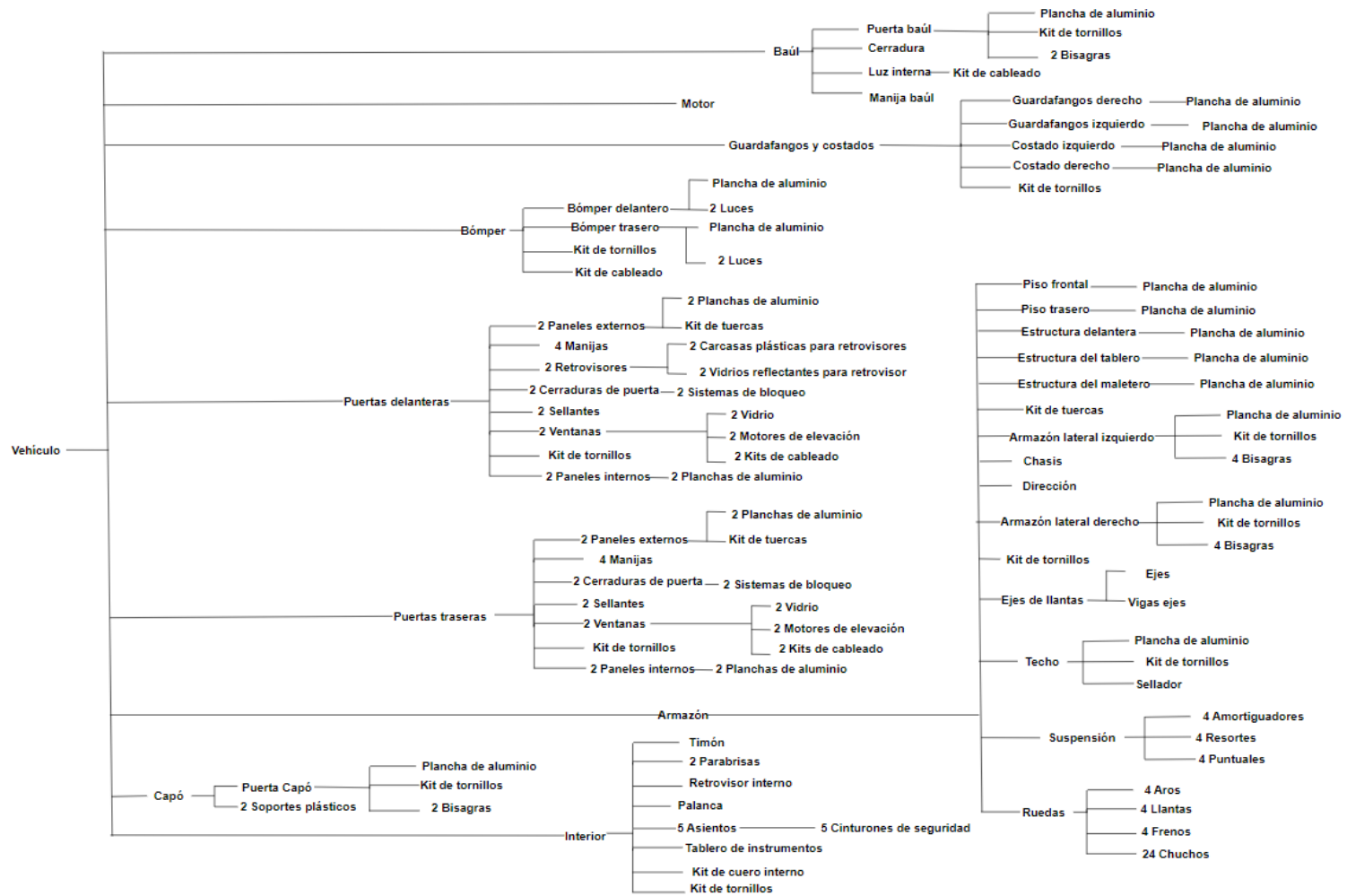
Para finalizar, se realizó un estado de costo de producción para las unidades producidas al mes, en donde se tomó en cuenta el costo de materia prima, mano de obra, servicios, depreciación y gastos de personal. El costo es comparado entre los dos escenarios y evidenciar cual tiene un mayor y menor costos y analizar las razones de los resultados.

C. Resultados

1. *Bill of Materials*

El diseño de los dos escenarios consta de la misma lista de materiales para producir un vehículo, la cual se ilustra en la Figura 31. Realizada la investigación de componentes de un vehículo, se elaboró el BOM para ordenar las piezas necesarias. El BOM diseñado no es la lista más específica, pero es bastante completa. Al no contar con el dato exacto de la cantidad de piezas pequeñas, como lo son: cables, tornillos y tuercas, se optó por trabajar con kits.

Figura 31
Bill of materials



2. Diagrama de Operaciones

Se realizaron dos diagramas de operaciones, uno para cada escenario diseñado, los cuales se observan en la figura 32 y 33. Ambos cuentan con 20 operaciones, 2 operación e inspección, 1 transporte, 1 entrada de material y 1 salida de producto terminado. El tiempo de producción de un carro en el escenario manual es de 50 minutos y 7 segundos y el tiempo de producción de un carro en el escenario automatizado de 20 minutos y 42 segundos. Siendo notoria la diferencia y reducción de tiempo de producción en el proceso automatizado.

Figura 32

Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automotriz con proceso automatizado y tiempo de ciclo implementado (preparación de materia prima)

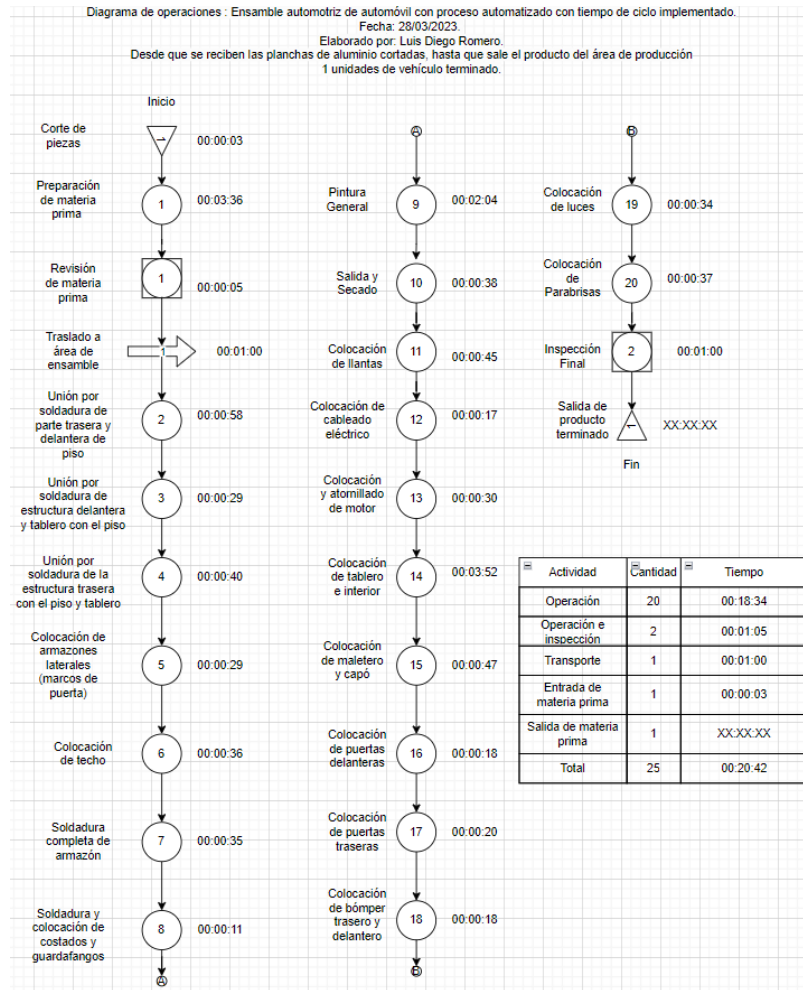


Figura 33

Diagrama de operaciones de proceso de ensamble automatizado con proceso manual y tiempo de ciclo implementado (preparación materia prima)

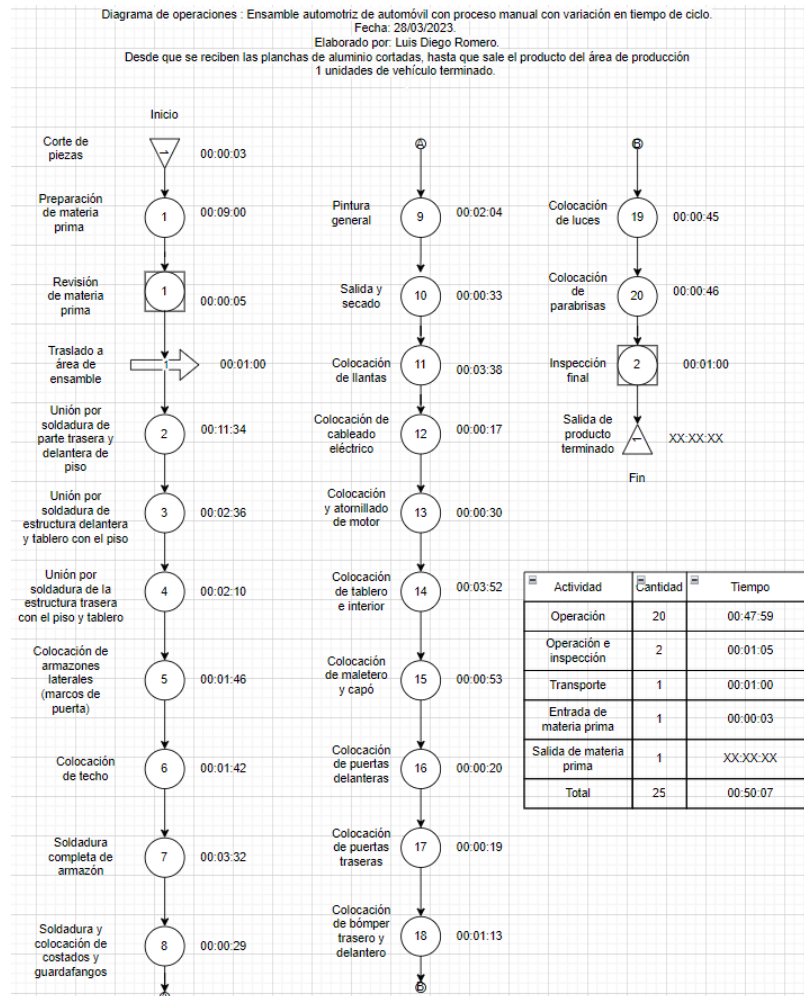


Tabla 87

Modelos de maquinaria y servicios auxiliares seleccionados para la planta automatizada

Máquina	Modelo
Brazo para soldar	CRP-RH14-10-W
Brazo de ensamble ligero	KUKA-KR 1000 TITAN
Brazo de ensamble pesado	BRAZO ROBOT KUKA-KR 700 PA
Máquina de pintura	Target TG-70B
Banda transportadora	HONG'S BELT HS-1800G
Máquina soldadora manual	Indextop HHW-14
Grúa manipuladora de piezas	Yisite YST-ZL502
Montador de llantas	Nm Rotake 5230
Compresor	12L/30L/60L Oil free silent

Tras la investigación estas fueron las maquinarias y servicios auxiliares con los que se diseñaron los dos escenarios.

3. Planos

Se realizaron los planos del escenario manual y automatizado, a partir del diagrama de Mutter, que se ve en la figura 34, donde se relacionaron las distintas áreas de trabajo. Además, se utilizó un código para el diagrama de Mutter que simbolizaba desde la relación de proximidad completamente necesaria hasta la no deseable, el cual se encuentra en la tabla 88. Con las áreas de proximidad necesarias identificadas, se plasmó el plano del escenario manual y automatizado, con sus respectivas maquinarias a utilizar en el proceso, véase Figura 35 y 36.

Figura 34

Diagrama relacional de actividades

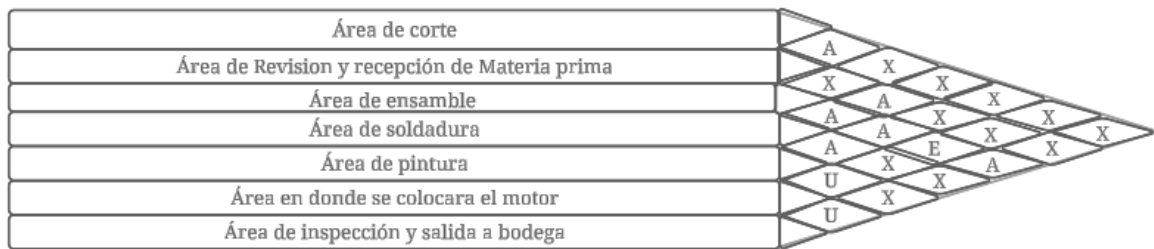


Tabla 88

Tabla con código/simbología utilizada en el diagrama relacional de actividades

Código	Definición
A	Completamente necesario que estén juntos
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinariamente importante
U	Sin importancia
X	No deseable

Figura 35
Plano área de producción de escenario manual

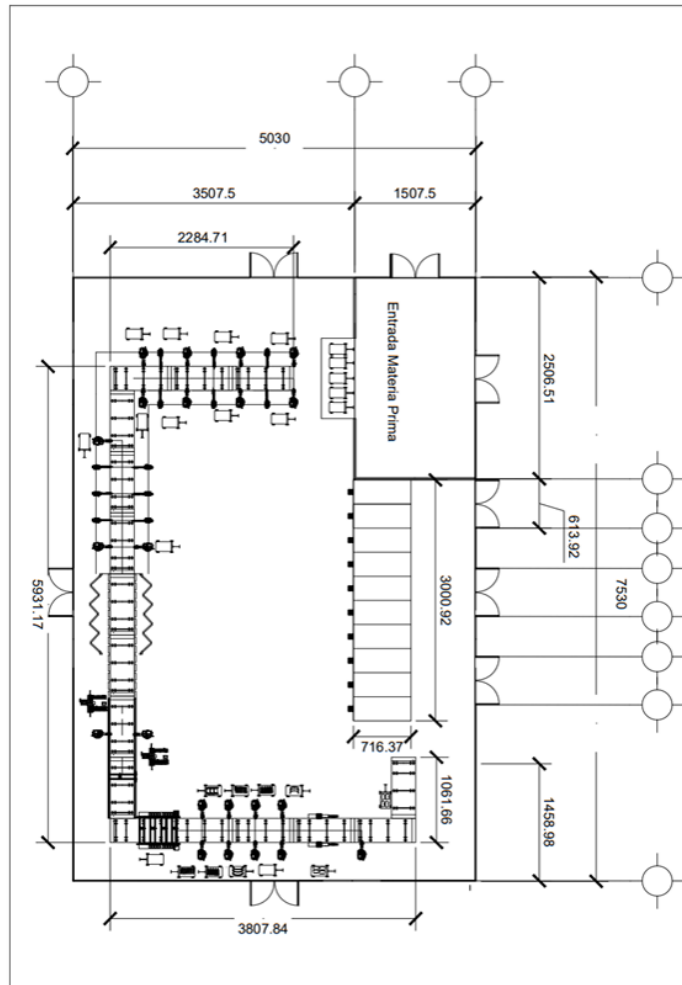
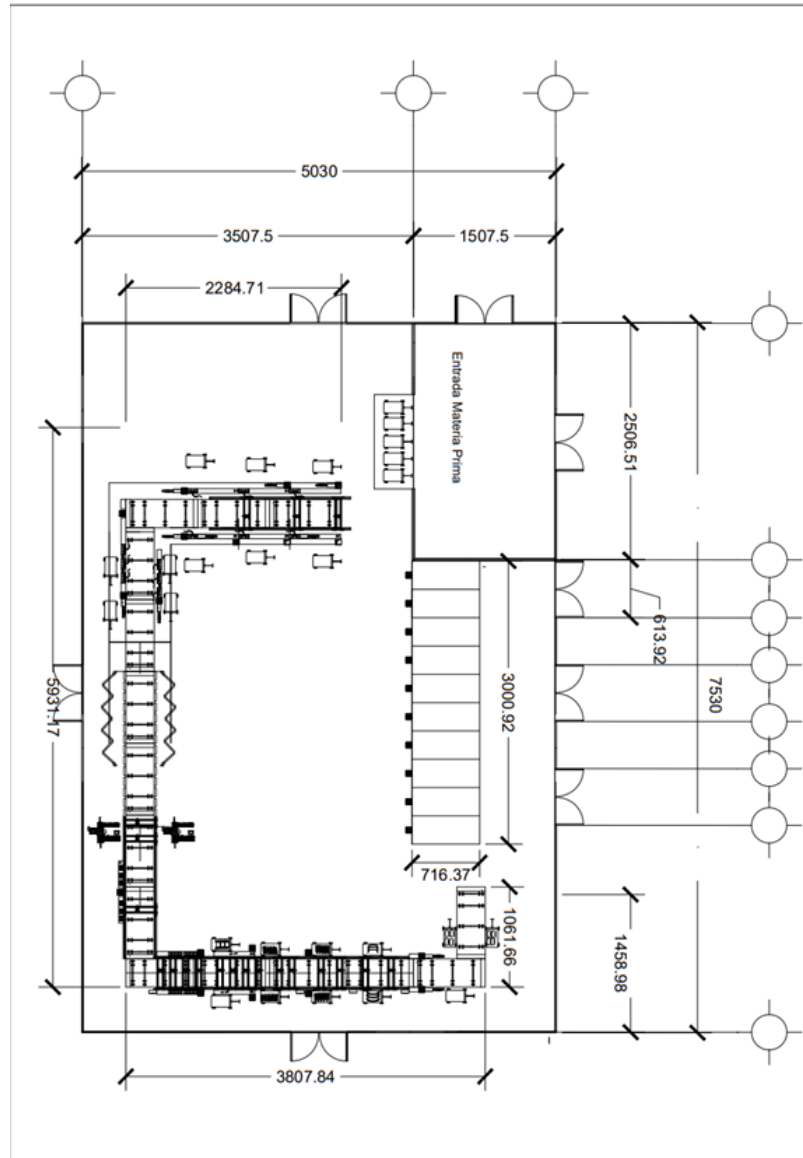


Figura 36

Plano de área de escenario automatizado



También se planteó que dentro del área de producción hubiese suficiente espacio para acomodar todas las maquinarias, servicios y operarios. Los dos planos cuentan con un área de corte, desde donde se transporta la materia prima al área de soldadura, después se moviliza al área de pintura y, por último, al área de ensamble, donde también se coloca el motor.

4. Simulación

Se realizaron dos series de dos simulaciones, una sin ajustar el tiempo de ciclo y en la otra ajustando el tiempo de ciclo. Los resultados de las simulaciones preliminares y de la simulación final fueron:

Tabla 89

Simulación preliminar vs. Final comparación de unidades generadas y terminadas / escenario automatizado

	Sin ajuste en tiempo de ciclo	Con ajuste en tiempo de ciclo
Unidades generadas	33771	401
Unidades terminadas	368	368

Tabla 90

Simulación preliminar vs. Final comparación de unidades generadas y terminadas / escenario manual

	Sin ajuste en tiempo de ciclo	Con ajuste en tiempo de ciclo
Unidades generadas	33794	161
Unidades terminadas	121	121

Tabla 91

Tiempos de ciclo utilizados para la simulación final de cada escenario

	Simulación manual	Simulación automatizada
Tiempo de ciclo	540	216

Fueron modificados los tiempos de ciclo de ambas simulaciones preliminares, dando paso a las simulaciones finales en las cuales se reducen significativamente los cuellos de botella, como se puede ver en la Tabla 91. En las tablas 89 y 90 se observa que, sin ajustes, el proceso se sobrecarga de materia prima. Las unidades que terminan comparadas con las que se generan son significativamente más, lo que indica grandes cuellos de botella y mucho material sin utilizar. Además, se constata que a medida que las entidades entran al proceso, las unidades generadas disminuyen. Cabe destacar que gracias a estas simulaciones se determinó la capacidad de producción diaria de los dos escenarios: 121 vehículos para el escenario manual y 368 vehículos para el escenario automático.

Como se muestra en las Figuras 37 a 43, en las simulaciones finales se ambientó la simulación con objetos en forma de máquinas similares a las especificadas en el diseño del área de producción, lo cual no solo mejora la estética sino que también ayuda a visualizar cómo se implementará lo diseñado en esta investigación.

Figura 37
 Diagrama relacional de actividades

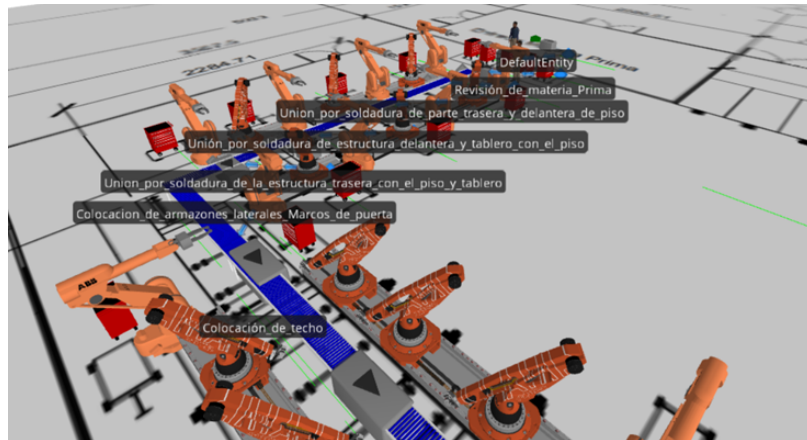


Figura 38
 Perspectiva 2 de simulación automatizada

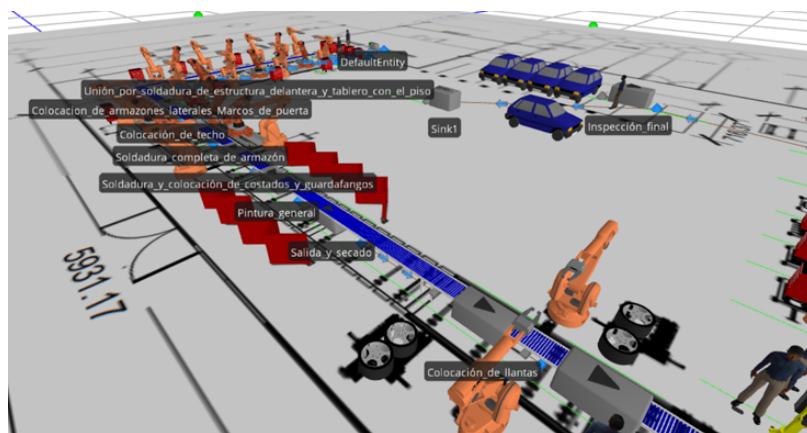


Figura 39
 Perspectiva 3 de simulación automatizada

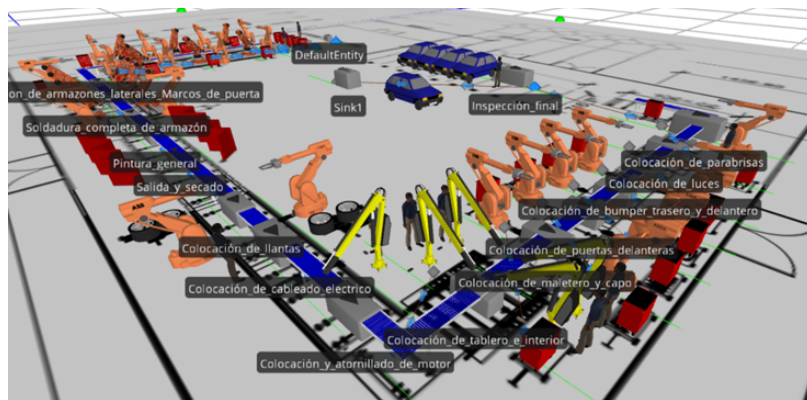


Figura 40
Perspectiva 1 de simulación manual

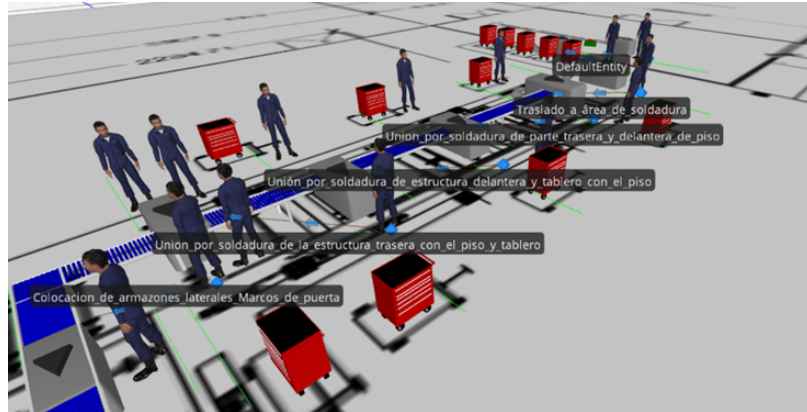


Figura 41
Perspectiva 2 de simulación manual

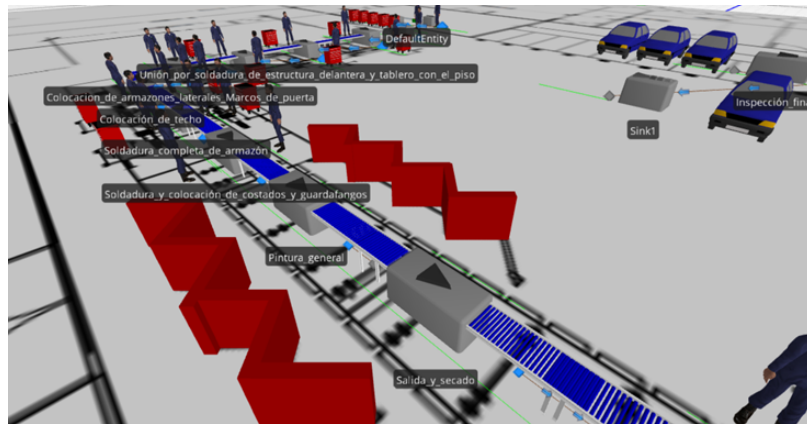


Figura 42
Perspectiva 3 de simulación manual

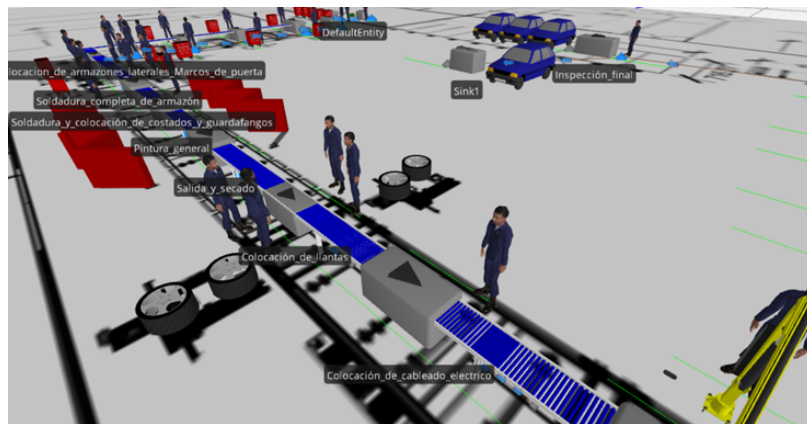


Figura 43*Perspectiva 4 de simulación manual*

5. *Material Requirement Planning (MRP)*

El vehículo está conformado por 9 estructuras fundamentales: armazón, vahul, capó, guardafangos y costados, bumper, puertas delanteras, puertas traseras, interior y motor. En el Bill of Materials se desglosaron las piezas que conforman dichas estructuras. Al no contar con un estudio de demanda, se estableció una planificación mensual según la capacidad de cada escenario obtenida en las simulaciones: 121 vehículos en el escenario manual y 368 en el automatizado, asumiendo que la producción diaria del mes será constante. De esta forma, en las Figuras 92 a 100 se puede observar el MRP del escenario manual, y en las Tablas 101 a 109, el MRP del escenario automatizado.

Tabla 92*MRP Escenario manual pieza armazón*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Piso frontal	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Piso trasero	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Estructura delantera	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Estructura tablero	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Estructura maletero	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Kit de tuercas	1	121	2,662
Armazón lateral izquierdo	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Kit de tornillos	1	121	2,662
Bisagras	4	484	10,648
Armazón lateral derecho	1	121	2,662
Planchas de Aluminio	1	121	2,662
Kit de tornillos	1	121	2,662
Bisagras	4	484	10,648
Chasis	1	121	2,662
Suspensión	1	121	2,662
Amortiguadores	4	484	10,648
Resortes	4	484	10,648
Puntuales	4	484	10,648
Ejes de llantas	4	484	10,648
Ejes	4	484	10,648
Vigas de ejes	2	242	5,324
dirección	1	121	2,662
Kit de tornillos	1	121	2,662
Ruedas	4	484	10,648
Aros	4	121	2,662
Llantas	4	121	2,662
Frenos	4	484	10,648
Chuchos	24	2,904	63,888
Techo	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Kit de tornillos	1	121	2,662
Sellador	1	121	2,662

Tabla 93*MRP escenario manual pieza baúl*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Puerta baúl	1	121	2,662
Planchas de aluminio	1	121	2,662
Kit de tornillos	1	121	2,662
Bisagras	2	242	5,324
Cerradura	1	121	2,662
Manija de baúl	1	121	2,662
Luz interna	1	121	2,662
Kit de cableado	1	121	2,662

Tabla 94*MRP Escenario manual pieza capó*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Puerta capó	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Kit de tornillos	1	121	2662
Bisagras	2	242	5324
Soportes plásticos	2	242	5324

Tabla 95*MRP Escenario manual piezas guardafangos y costados*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Guardafangos derecho	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Guardafangos izquierdo	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Costado izquierdo	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Costado derecho	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Kit de tornillos	1	121	2662

Tabla 96*MRP Escenario manual pieza bumper*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Bómpers delantero	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Luces	2	242	5324
Bómpers trasero	1	121	2662
Planchas de aluminio	1	121	2662
Luces	2	242	5324
Kit de tornillos	1	121	2662
Kit de cableado	1	121	2662

Tabla 97*MRP Escenario manual piezas puertas delanteras*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Paneles externos	2	242	5324
Planchas de aluminio	2	242	5324
Kit de tuercas	1	121	2662
Manijas	4	484	10648
Sellantes	2	242	5324
Retrovisores	2	242	5324
Carcasas plástica de retrovisor	2	242	5324
Vidrio reflectante de retrovisor	2	242	5324
Cerradura de puerta	2	242	5324
Sistema de bloqueo	2	242	5324
Ventanas	2	242	5324
Vidrio	2	242	5324
Motor de elevación	2	242	5324
Kit de cableado	2	242	5324
Paneles internos	2	242	5324
Planchas de aluminio	2	242	5324
Kit de tornillos	1	121	2662

Tabla 98*MRP Escenario manual piezas puertas traseras*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Paneles externos	2	242	5324
Planchas de aluminio	2	242	5324
Kit de tuercas	1	121	2662
Manijas	4	484	10648
Sellantes	2	242	5324
Cerradura de puerta	2	242	5324
Sistema de bloqueo	2	242	5324
Ventanas	2	242	5324
Vidrio	2	242	5324
Motor de elevación	2	242	5324
Cableado	2	242	5324
Paneles internos	2	242	5324
Planchas de aluminio	2	242	5324
Kit de tornillos	1	121	2662

Tabla 99*MRP Escenario manual piezas del interior*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Timón	1	121	2662
Parabrisas	2	242	5324
Retrovisor interno	1	121	2662
Palanca	1	121	2662
Asientos	5	605	13310
Cinturones de seguridad	5	605	13310
Tablero de instrumentos	1	121	2662
Kit de cuero interno	1	121	2662
Kit de tornillos	1	121	2662

Tabla 100*MRP Escenario manual piezas motor*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Motor	1	121	2662

Tabla 101*MRP Escenario automatizado pieza armazón*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Piso frontal	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Piso trasero	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Estructura delantera	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Estructura tablero	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Estructura maletero	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tuercas	1	368	8,096
Armazón lateral izquierdo	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096
Bisagras	4	1,472	32,384
Armazón lateral derecho	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096
Bisagras	4	1,472	32,384
Chasis	1	368	8,096
Suspensión	1	368	8,096
Amortiguadores	4	1,472	32,384
Resortes	4	1,472	32,384
Puntuales	4	1,472	32,384
Ejes de llantas	4	1,472	32,384
Ejes	4	1,472	32,384
Vigas de ejes	2	736	16,192
Dirección	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096
Ruedas	4	1,472	32,384
Aros	4	368	8,096
Llantas	4	368	8,096
Frenos	4	1,472	32,384
Chuchos	24	8,832	194,304
Techo	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096
Sellador	1	368	8,096

Tabla 102*MRP Escenario automatizado pieza baúl*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Puerta baúl	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096
Bisagras	2	736	16,192
Cerradura	1	368	8,096
Manija de baúl	1	368	8,096
Luz interna	1	368	8,096
Kit de cableado	1	368	8,096

Tabla 103*MRP Escenario automatizado pieza capó*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Puerta capó	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096
Bisagras	2	736	16,192
Soportes plásticos	2	736	16,192

Tabla 104*MRP Escenario automatizado pieza guardafangos y costados*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Guardafangos derecho	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Guardafangos izquierdo	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Costado izquierdo	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Costado derecho	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096

Tabla 105*MRP Escenario automatizado pieza bómper*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Bómper delantero	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Luces	2	736	16,192
Bómper trasero	1	368	8,096
Planchas de aluminio	1	368	8,096
Luces	2	736	16,192
Kit de tornillos	1	368	8,096
Kit de cableado	1	368	8,096

Tabla 106*MRP Escenario automatizado pieza puertas delanteras*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Paneles externos	2	736	16,192
Planchas de aluminio	2	736	16,192
Kit de tuercas	1	368	8,096
Manijas	4	1,472	32,384
Sellantes	2	736	16,192
Retrovisores	2	736	16,192
Carcasas plásticas de retrovisor	2	736	16,192
Vidrio reflectante de retrovisor	2	736	16,192
Cerradura de puerta	2	736	16,192
Sistema de bloqueo	2	736	16,192
Ventanas	2	736	16,192
Vidrio	2	736	16,192
Motor de elevación	2	736	16,192
Kit de cableado	2	736	16,192
Paneles internos	2	736	16,192
Planchas de aluminio	2	736	16,192
Kit de tornillos	1	368	8,096

Tabla 107*MRP Escenario automatizado pieza puertas traseras*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Paneles externos	2	736	16,192
Planchas de aluminio	2	736	16,192
Kit de tuercas	1	368	8,096
Manijas	4	1,472	32,384
Sellantes	2	736	16,192
Cerradura de puerta	2	736	16,192
Sistema de bloqueo	2	736	16,192
Ventanas	2	736	16,192
Vidrio	2	736	16,192
Motor de elevación	2	736	16,192
Cableado	2	736	16,192
Paneles internos	2	736	16,192
Planchas de aluminio	2	736	16,192
Kit de tornillos	1	368	8,096

Tabla 108*MRP Escenario automatizado pieza interior*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Timón	1	368	8,096
Parabrisas	2	736	16,192
Retrovisor interno	1	368	8,096
Palanca	1	368	8,096
Asientos	5	1,840	40,480
Cinturones de seguridad	5	1,840	40,480
Tablero de instrumentos	1	368	8,096
Kit de cuero interno	1	368	8,096
Kit de tornillos	1	368	8,096

Tabla 109*MRP Escenario automatizado pieza motor*

Componente	Cantidad de material	Piezas necesarias diarias	Total mensual
Motor	1	368	8,096

La principal diferencia entre ambos MRP radica en que requieren cantidades de piezas distintas, debido a las diferentes capacidades de producción de cada escenario. El plan de producción se elaboró para 22 días laborables, equivalente a un mes sin contar los fines de semana. Así, la planificación de producción detalla las piezas necesarias para fabricar 2,662 vehículos en el escenario manual y 8,096 vehículos en el escenario automatizado, ambos calculados sobre un período de 22 días.

Cada plan de producción contaba con 9 tablas, correspondientes a las piezas: armazón, baúl, capó, guardafangos y costados, bómperes, puertas delanteras y traseras, interior y motor; las cuales especificaban los componentes que lo conformaban y su cantidad para la elaboración de un vehículo.

6. Análisis de costos

Para verificar los costos se realizaron distintos análisis que serían conjuntados en un análisis de costos:

Se elaboraron dos tablas para los costos de materiales, las cuales muestran los materiales cotizados para la fabricación del vehículo, tanto en Guatemala como en el extranjero, como se demuestra en la Tabla 110 y 111.

Tabla 110*Costo de piezas compradas en el extranjero*

Pieza	Presentación	Costo total (Q)	Porcentaje de arancel(%)	DAI (Q)	IVA (Q)	Costo total con impuestos (Q)
Motor	1 Kit de motor	6110.32	10	611.03	806.56	7527.91
Luces	1 kit de 4 luces	2608.51	10	260.85	344.32	3213.68
Tuercas	3 Kits de tuercas (16-24)	360.48	10	36.05	47.58	444.11
Bisagras	12 Bisagra de vehículo	1043.16	10	104.32	137.70	1285.17
Manijas	1 Paquete de 4 manijas	408.40	10	40.84	53.91	503.15
Cerraduras de puerta	1 Kit de 4 cerraduras	232.62	10	23.26	30.71	286.59
Soportes plásticos	1 Soporte individual	146.24	10	14.62	19.30	180.17
Vidrios	4 Vidrios individuales	3157.12	10	315.71	416.74	3889.57
Parabrisas	2 Parabrisas individuales	2984.38	10	298.44	393.94	3676.76
Amortiguadores	1 Kit de 4 amortiguadores	1352.38	10	135.24	178.51	1666.13
Resortes	2 Kit de 2 resortes	616.00	10	61.60	81.31	758.91
Puntuales	1 Kit de 4 puntuales	588.86	10	58.89	77.73	725.48
Ejes de llantas	1 kit de 4 ejes	1684.28	10	168.43	222.32	2075.03
Vigas de ejes	2 Vigas individuales	2393.20	10	239.32	315.90	2948.42
Dirección	1 Dirección individual	1688.13	10	168.81	222.83	2079.78
Aros	1 Kit de 4 aros	705.53	10	70.55	93.13	869.21
Frenos	1 Kit de 4 frenos	416.83	10	41.68	55.02	513.53
Carcasas plásticas retrovisor	1 Set de 2 Carcasas	459.82	10	45.98	60.70	566.50
Vidrio reflectante retrovisor	1 Set de 2 vidrio reflectante	96.18	10	9.62	12.70	118.49
Retrovisor interno	1 Vidrio de retrovisor interno	281.87	10	28.19	37.21	347.26
Motor de elevación	4 Motores de elevación individual	680.12	10	68.01	89.78	837.91
Cuero interno	1 Kit de cuero	77.59	10	7.76	10.24	95.59
Timón	1 Timón individual	1300.40	10	130.04	171.65	1602.09
Palanca	1 Palanca individual	1609.99	10	161.00	212.52	1983.51
Tablero de instrumentos	1 Tablero de instrumentos	1195.96	10	119.60	157.87	1473.42
Asientos	1 Kit de 5 asientos	2168.25	10	216.83	286.21	2671.28
Luz interna	1 Luz interna individual	439.60	10	43.96	58.03	541.59
Manija baúl	1 Manija individual	101.80	10	10.18	13.44	125.42
Cinturones de seguridad	1 Kit de 5 cinturones	1235.90	10	123.59	163.14	1522.63
		36143.92		3614.39	4771.00	44529.31

Nota: 10% de arancel para productos relacionados con vehículos.

Tabla 111*Costo de piezas compradas en Guatemala*

Pieza	Presentación	Costo (Q)	IVA	Costo Total
Tornillos	11 Kit de tornillos	1309.00	157.08	1466.08
Cables	6 Kit de cables	450.00	54.00	504.00
Llantas	4 Llantas individuales	1839.80	220.78	2060.58
Chuchos	4 Paquetes de 6 chuchos	237.00	28.44	265.44
Sellantes	6 Sellantes individuales	401.94	48.23	450.17
				4746.27

Se investigaron fuentes en donde comprar las materias primas para la elaboración de los vehículos en ambos escenarios. Se identificaron producto en Guatemala y producto en otros países. Para el producto de Guatemala, al costo de cada materia prima se el aplico el IVA. Para el producto del extranjero, a cada materia prima se le aplico el IVA y el DAI, con 10% de arancel para productos relacionado con vehículos automovilísticos (ICC Logistic, 2023.).

Tabla 112*Costo elaboración de una pieza*

Pieza	Cantidad de planchas	Precio de la plancha	Tarifa pieza	Tarifa de mano de obra	Costo de Pieza
Piso frontal	1	Q806.20	Q2.19	Q0.20	Q808.59
Piso trasero	1	Q806.20	Q2.19	Q0.20	Q808.59
Estructura delantera	1	Q806.20	Q2.19	Q0.20	Q808.59
Estructura maletero	1	Q806.20	Q2.19	Q0.20	Q808.59
Estructura tablero	1	Q806.20	Q2.19	Q0.20	Q808.59
Armazón lateral derecho	1	Q806.20	Q2.19	Q0.20	Q808.59
Armazón lateral izquierdo	1	Q806.20	Q2.19	Q2.00	Q810.39
Techo	1	Q806.20	Q2.19	Q0.05	Q808.44
Baúl	1	Q806.20	Q2.19	Q0.05	Q808.44
Capó	1	Q806.20	Q2.19	Q0.10	Q808.49
Guardafangos	2	Q1612.40	Q2.19	Q0.10	Q1614.69
Costados	2	Q1612.40	Q2.19	Q0.10	Q1614.69
Bómperes	2	Q1612.40	Q2.19	Q0.10	Q1614.69
Panel externo puerta delantera	2	1612.40	2.19	1.50	1616.09
Panel externo puerta trasera	2 Planchas de aluminio	1612.40	2.19	1.50v	1616.09
TOTAL		16124.00			16163.61

El costo de elaboración de una pieza se se puede verificar en la tabla 112. Los datos se obtuvieron a partir de la cantidad de planchas de aluminio necesarias para la elaboración de una pieza, el precio de la plancha con IVA incluido, la tarifa de pieza y la tarifa de mano de obra.

Para calcular la tarifa de pieza, se obtuvo potencia la prensa hidráulica Diguang DG40 durante 24 h (3120 KWh), el tiempo de corte de (0.0007h) y el cargo por energía se obtuvo Q2.19. El cálculo de tarifa de mano de obra surgió a partir del precio de tiempos de ensambles estimados.

Tabla 113

Costo de Compra

Costo de compra (Q)	
Piezas compradas	49,275.58
Materia prima comprada	16,163.62
TOTAL	65,439.20

El costo de materia prima, unificando las piezas compradas y la materia prima comprada es de Q65,439.20, como se demuestra en la Tabla 113.

a. Costo de mano de obra

El costo de mano de obra se calculó a partir de la cantidad de operarios y supervisores por área, los salarios mínimos de sus respectivas labores y las bonificaciones, incentivos y otros pagos establecidos por la ley, como se puede observar en las Tablas de la 114 a la 127.

Es importante hacer el recordatorio que la operación de corte (operación 0), a pesar de no ser utilizada en la simulación, si se utilizara en el análisis de costos, como se mencionó en el apartado de “tiempo de ciclo” de metodología.

La operación de corte cuenta con 32 operarios, los cuales se tomarán en cuenta al momento de trabajar con operarios en un turno de trabajo de 8 horas.

Tabla 114*costo de mano de obra de escenario manual*

Operación	No. de operarios	Tiempo de operación (horas)	Precio por operación (Q)	Valor de obra (Q)
1	1 (Supervisor)	0.15	1.18	1.18
2	1 (Supervisor)	0.0013	0.01	0.01
3	1 (Supervisor)	0.02	0.13	0.13
4	2	0.19	1.16	2.31
5	2	0.04	0.26	0.52
6	2	0.04	0.22	0.43
7	4	0.03	0.18	0.71
8	2	0.03	0.17	0.34
9	4	0.06	0.35	1.41
10	2	0.01	0.05	0.10
13	4	0.60	0.36	1.45
14	1	0.00	0.03	0.03
15	1	0.01	0.05	0.05
16	4	0.06	0.39	1.55
17	4	0.01	0.09	0.35
18	2	0.01	0.03	0.07
19	2	0.01	0.03	0.06
20	2	0.02	0.12	0.24
21	2	0.01	0.07	0.15
22	2 (Supervisor)	0.01	0.08	0.16
23	1 (Supervisor)	0.02	0.13	0.13
Total	46	0.788	Costo total	Q11.39

Tabla 115*salario mínimo de operarios y supervisores*

Tipo de trabajador	Salario mínimo (Q)
Operario en una industria	3157
Supervisor	4165

Es importante tener en cuenta el salario mínimo en Guatemala de operarios y supervisores, ya que fueron de fundamental importancia para la estimación y cálculo de planillas de ambos escenarios.

Tabla 116*Datos de trabajadores en área de producción del escenario manual*

Descripción	Total
Total de tiempo de trabajo de operarios en minutos	47.28
Horas disponibles de trabajo en el mes	528.00
Operarios en un turno de trabajo (8 horas) + 32 Operarios de corte	72
Operarios totales (tres turnos de trabajo)	216
Inspectores en un turno de 8 Horas	6
Inspectores totales (tres turnos de trabajo)	18

Tabla 117*Gastos de operación mensual (inspectores) del escenario manual*

Descripción	(Q)
Salario de un inspector	4,165
IGS mensual	4,123.35
Incentivos mensuales (Q250)	4,500
Segmentación mensual de aguinaldo y bono 14	12,495
Total de gastos de operación al mes	96,088.35

Tabla 118*Pago mano de obra mensual (operarios) del escenario manual*

Descripción	Q
Salario de un operario	3,165
IGS mensual	37,600.2
Incentivos mensuales (Q250)	54,000
Segmentación mensual de aguinaldo y bono 14	113,940
Total de gastos de operación al mes	889,180.2

Tabla 119*Gastos de operación anual (inspectores) del escenario manual*

Descripción	Q
Mano de obra al mes (con IGS e incentivos)	83,593.35
Aguinaldo	74,970
Bono 14	74,970
Total de gastos de operaciones anuales	1,153,060.2

Tabla 120*Pago de mano de obra anual (operarios) del escenario manual*

Descripción	Q
Mano de obra al mes (con IGS e incentivos)	775,240.2
Aguinaldo	683,640
Bono 14	683,640
Total de gastos de operaciones anuales	10,670,162.4

Tabla 121

Datos de trabajadores en área de producción del escenario manual escenario automotriz

Operación	Automatizado	Tiempo de operación (horas)	Precio por operación (Q)	Valor de obra (Q)
1	1	0.15	Q1.18	Q1.18
2	1	0.0013	Q0.01	Q0.01
3	1	0.017	Q0.13	Q0.13
14	1	0.005	Q0.03	Q0.03
15	1	0.008	Q0.05	Q0.05
16	4	0.064	Q0.39	Q1.54
21	2	0.010	Q0.06	Q0.11
23	1	0.02	Q0.13	Q0.13
Total	12	0.271416444	Costo total	Q3.19

Tabla 122

Datos de trabajadores en área de producción del escenario manual

Planilla	Total
Total, de tiempo de trabajo de operarios en minutos en la producción de un carro	22.41
Horas disponibles de trabajo en el mes	528
Operarios en un turno de trabajo (8 horas)	40
Operarios totales (tres turnos de trabajo)	120
Inspectores en un turno de trabajo (8 horas)	4
Inspectores totales (tres turnos de trabajo)	12

Tabla 123

Gastos de operación mensual (inspectores) del escenario automotriz

Gastos de operación mensual (inspectores)	Q
Salario de un inspector	4,165
IGS mensual	2,748.9
Incentivos mensuales (Q250)	3,000
Segmentación mensual de aguinaldo y bono 14	8,330
Total de gastos de operación al mes	64,058.9

Tabla 124

Pago de mano de obra mensual (operarios) del escenario automotriz

Pago de mano de obra mensual (operarios)	Q
Salario de un operario	3,165
IGS mensual	20,889
Incentivos mensuales (Q250)	30,000
Segmentación mensual de aguinaldo y bono 14	63,300
Total de gastos de operación al mes	493,989

Tabla 125*Gastos de operación anual (inspectores) del escenario automatizado*

Gastos de operación anual (inspectores)	Q
Mano de obra al mes (con IGS e incentivos)	55,728.9
Aguinaldo	49,980
Bono 14	49,980
Total de gastos de operaciones anuales	768,706.8

Tabla 126*Pago de mano de obra anual (operarios) del escenario automatizado*

Pago de mano de obra anual (operarios)	Q
Mano de obra al mes (con IGS e incentivos)	430,689
Aguinaldo	379,800
Bono 14	379,800
Total de gastos de operaciones anuales	5,927,868

Tabla 127*Comparativo pago de mano de obra y gastos de operación mensual*

	Gastos de operación al mes (Q)	Pago de mano de obra al mes (Q)
Escenario manual	96,088.35	889,180.2
Escenario automatizado	64,058.9	493,989

Tanto los gastos de operación al mes, como el pago de mano de obra al mes son mayores para el escenario manual que el escenario automatizado. El proceso manual cuenta con un mayor número de operarios e inspectores que el escenario automatizado.

El costo del terreno, se obtuvo cotizando un terreno ubicado en la ciudad de Guatemala, como se observa en la tabla 128.

Tabla 128*Calculo de costo de terreno*

Varas cuadradas de terreno	Precio de la vara (Q)	Costo de terreno (Q)
5421	1,037.48	5,624,151.98

En las tablas 129 y 130 se detallaron todas las maquinarias que se utilizarán en ambos escenarios, incluyendo su precio unitario y total, el valor de salvamento, la vida útil y la depreciación correspondiente.

Tabla 129

Inversión en maquinaria y servicios y depreciación de escenario manual

Máquina	Cantidad de máquinas	Precio unitario (Q)	Costo por cantidad de maquinarias (Q)	Valor de salvamento (Q)	Vida útil (años)	Depreciación anual (Q)	Depreciación mensual (Q)
Brazo soldadura	0.00	140354.60	0.00	0.00	10	0.00	0.00
Brazo ensamble ligero	0.00	134643.45	0.00	0.00	10	0.00	0.00
Brazo ensamble pesado	0.00	313124.29	0.00	0.00	10	0.00	0.00
Transporte	26.00	3119.92	81117.92	16223.58	10	6489.43	540.79
Máquina pintura	1.00	62624.86	62624.86	12524.97	10	5009.99	417.50
Banda transportadora	16.00	5600.26	89604.16	17920.83	10	7168.33	597.36
Máquina soldadora manual	12.00	2979.33	35751.96	7150.39	10	2860.16	238.35
Grúas de piezas	15.00	93992.44	1409886.60	281977.32	10	112790.93	9399.24
Compresor	19.00	1109.70	21084.30	4216.86	10	1686.74	140.56
Montador de llantas	4.00	660.10	2640.40	528.08	10	211.23	17.60
Terreno/instalación	1.00	5624151.98	5624151.98	1124830.40	10	449932.16	37494.35
Total			7326862.18			586762.76	48845.75

Tabla 130*Inversión en maquinaria, servicios, terreno y depreciación de escenario automatizado*

Máquina	Cantidad de máquinas	Precio unitario (Q)	Costo por cantidad de maquinarias (Q)	Valor de salvamento (Q)	Vida útil (años)	Depreciación anual (Q)	Depreciación mensual (Q)
Brazo soldadura	12	140354.60	1684255.20	336851.04	10	134740.416	11228.368
Brazo ensamble ligero	16	134643.45	2154295.20	430859.04	10	172343.616	14361.968
Brazo ensamble pesado	8	313124.29	2504994.32	500998.86	10	200399.5456	16699.96213
Transporte	26	3119.92	81117.92	16223.58	10	6489.43	540.79
Maquina pintura	1	62624.86	62624.86	12524.97	10	5009.9888	417.4990667
Banda transportadora	16	5600.26	89604.16	17920.83	10	7168.33	597.36
Maquina soldadora manual	0	2979.33	0.00	0.00	10	0	0
Compresor	5	1109.70	5548.50	1109.70	10	443.88	36.99
Grúas de piezas	5	93992.44	469962.20	93992.44	10	37596.976	3133.081333
Montador de llantas	0	660.10	0.00	0.00	10	0	0
Terreno	1	5624151.98	1124830.40	1124830.40	10	449932.16	37494.35
Total			12676554.34			1014124.347	84510.36

Los costos de los servicios de consumo eléctrico se obtuvieron a partir de la cantidad de maquinaria, su voltaje en kW, la potencia en kWh, el consumo total por los 22 días laborales al mes y el precio en quetzales (Q) del consumo por maquinaria. Este cálculo se puede confirmar en las tablas 132 y 133.

Tabla 131

Costo de consumo eléctrico de maquinarias a utilizar en el escenario manual

Manual	Máquina utilizada	Voltaje KW	KWH	KWH/día	KWH/22 Días	Precio por KWh de Maquinarias utilizadas (Q)
Brazo soldadura	0	3.00	3	72	1,584	0.00
Brazo ensamble ligero	0	1.2	1.2	28.8	633.6	0.00
Brazo ensamble pesado	0	8.6	8.6	206.4	4540.8	0.00
Maquina pintura	1		15	360	7920	7836.84
Banda transportadora	16	15	15	360	7920	125389.44
Máquina soldadora manual	12	0.8	0.8	19.2	422.4	5015.58
Compresor de 0.8	19	0.85	0.85	20.4	448.8	8437.66
				1066.8	23469.6	146679.52

Tabla 132*Costo de consumo eléctrico de maquinarias a utilizar en el escenario automatizado*

Automatizado	Máquina utilizada	Potencia	KWH	KWH/día	KWH/22 Días	Precio por KWh de maquinarias utilizadas (Q)
Brazo soldadura	12	3.00	3	72	1584	18808.42
Brazo ensamble ligero	16	1.2	1.2	28.8	633.6	10031.16
Brazo ensamble pesado	8	8.6	8.6	206.4	4540.8	35944.97
Máquina pintura	1	15	15	360	7920	7836.84
Banda transportadora	16	15	15	360	7920	125389.44
Máquina soldadora manual	0	0.8	0.8	19.2	422.4	0.00
Compresor de 0.8	5	0.85	0.85	20.4	448.8	2220.44
				1066.8	23469.6	200231.26

El costo de mantenimiento, que se observa en la tabla 133, se obtuvo cotizando el precio de mantenimiento del equipo considerado dentro de cada escenario

Tabla 133

Costo de mantenimiento

Área	Mantenimiento	Mano de obra involucrada	Periodo	Empresa
Mantenimiento en pintura	Q 8000.00	Q 2500.00	Mensual	Espanezi
Mantenimiento compresores	Q 1041.67		Mensual	Kaeser
Mantenimiento correctivo (ensamble y soldadura)	Q 1800.00		Mensual	Espanezi
Mantenimiento de máquinas automatizadas	Q 25 000.00		Mensual	

Nota. Precio de servicio de mantenimiento a maquinarias de distintas empresas.

7. Análisis de costo de producción

Todos los costos están adjuntados en los análisis de costos de producción, que se pueden observar en las Tablas 134 y 135. Aquí se verifica que el costo de producción en un mes para el escenario manual es de Q176,282,462.12 y para el escenario automatizado es de Q531,170,871.32. Se observa que el escenario manual, debido a su menor capacidad de producción, incurre en costos de materia prima menores que el automatizado por Q355,201,413.50. A pesar de su menor capacidad de producción, el escenario manual tiene un costo de mano de obra mayor al escenario automatizado, por Q395,191.20. Los servicios de maquinaria y la depreciación de las mismas son mayores en el escenario automatizado, debido a su uso significativamente mayor de máquinas. Los gastos de personal, que incluyen el pago a supervisores, son mayores en el escenario manual por una diferencia de Q32,029.45. Aunque el escenario automatizado posee más de tres veces los costos totales del escenario manual, también maneja una mayor capacidad de producción. Con los costos de producción mensual, se calculó el costo de elaboración de un vehículo, siendo en el escenario tradicional de Q66,221.81 y en el escenario automatizado de Q65,609.05, como se puede observar en la tabla 136.

Tabla 134

Costo de producción de escenario manual

Costos directos	
Materia prima	Q175,088,326.63
Mano de obra	Q889,180.20
Gastos indirectos	
Servicios	Q160,021.19
Depreciación	Q48,845.75
Gastos de personal	Q96,088.35
Costo de producción del período	Q176,282,462.12

Tabla 135*Costo de producción de escenario automatizado*

Costos directos	
Materia prima	Q530,289,740.13
Mano de obra	Q493,989.00
Gastos indirectos	
Servicios	Q238,572.93
Depreciación	Q84,510.36
Gastos de personal	Q64,058.90
Costo de producción del período	Q531,170,871.32

Tabla 136*Comparativo costo de producción de un vehículo*

Escenario	Costo (Q)
Tradicional	66,221.81
Automatizado	65,609.05

D. Discusión

Toda empresa desea producir y generar dinero, manteniendo un negocio rentable. Conforme la tecnología evoluciona, se crean nuevas estrategias que ayudan a generar ingresos. Una de estas herramientas es la automatización. El uso de robots para la realización de tareas repetitivas ha sido de gran ayuda en la evolución de la industria.

El objetivo de este trabajo de graduación es diseñar dos escenarios, tradicional y automatizado, de un ensamble automotriz para comparar las capacidades productivas, empleando herramientas de producción y análisis financieros que faciliten su simulación en Realidad Virtual para ser utilizada en el Laboratorio de Diseño de Procesos de la Universidad Del Valle de Guatemala. Para buscar lograr el cumplimiento del objetivo general, se establecieron cuatro objetivos específicos: diseño del proceso, generación de planos, elaboración de simulaciones y análisis de costos de producción; de ser cumplidos, definirían el éxito del proyecto.

Ambos procesos, el automatizado y manual, manejan una misma base para la elaboración del producto. Hacen uso de las mismas operaciones a diferencia de que un escenario hace el menor uso de operarios, mientras que el otro hace el menor uso de maquinaria. La lista de materiales de los dos escenarios es el mismo también. En donde se empiezan a ver las primeras diferencias notorias es en la toma de tiempos. El proceso manual para la producción de un vehículo es de 50:07 minutos, y el del proceso automatizado es de 20:42 minutos. El tiempo, haciendo uso de maquinaria se reduce más del 50%. La elaboración de planos también cambia, por el tamaño de maquinaria; por lo que se recomienda un espacio grande que puede llegar a expandirse.

Tras realizar la simulación, se obtuvo la capacidad de producción de cada escenario, el escenario manual tiene una capacidad de producción de 121 carros al día y el escenario automatizado una capacidad de 368 vehículos al día. Produciendo más del doble del escenario manual.

El tiempo de ciclo fue una herramienta fundamental para la reducción de cuellos de botella en su mínimo estado. En el proceso automatizado se generaban 33,771 unidades, de las cuales, solo se terminaban 368. Con la colocación de tiempo de ciclo, se redujeron las unidades producidas de 33,771 a 401. Siendo tan solo 33 unidades las que no terminan el proceso en un día. Para el escenario

manual se redujeron las unidades producidas de 33,794 a 161.

Otro punto relevante es la inversión de la compra de maquinaria y/o servicios auxiliares. El proceso manual invierte Q7,326,862.18 y el automatizado Q12,676,554.34. La diferencia entre la inversión del escenario manual y automatizado se esperaba mayor, sin embargo, esto no fue así debido a que los operarios no pueden realizar todas las operaciones por si solos, las piezas son tan pesadas que es necesario que un escenario manual maneje grúas manipuladoras de piezas. Es por esto que los costos de inversión en maquinaria crecen para el escenario manual. Al manejarse 15 grúas manipuladoras y 19 compresores en el proceso manual, esto hace que los costos de consumo eléctrico del escenario manual también se eleven, siendo el manual de Q146,679.52 y automatizado Q200,231.26. Con relación a la mano de obra, se utilizó el salario mínimo establecido en Guatemala, de operarios y supervisores de una planta industrial. El pago a mano de obra (operarios) y personal (supervisores) en el escenario manual fue mayor por ser un proceso tradicional, en donde la mayoría de operaciones se hacen con operarios. El escenario automatizado llega a necesitar de operarios para algunas operaciones, pero al utilizar maquinaria automatizada para la mayoría de operaciones, reduce la cantidad de personal.

Los costos se elevan en el proceso automatizado debido a la materia prima, ya que la capacidad de producción es tan alta que genera una mayor rotación de inventario. Esto requiere la compra de más material en comparación con el escenario manual. Así, los costos de producción en el escenario manual ascienden a Q176,282,462.12, mientras que en el automatizado alcanzan los Q531,170,871.32.

El costo de la producción de un vehículo en el escenario tradicional es de Q66,221.81 y el costo de producción de un vehículo en el escenario automatizado es de Q65,609.05. Es más caro el escenario tradicional por una diferencia de Q612.76. Esto demuestra que, a pesar de contar con mayores costos de producción, el hecho de que el escenario automatizado produzca 5,434 vehículos más que el escenario tradicional, hace que sea mas barato.

Ambos procesos manejan gran capacidad de producción mensuales. Sin embargo, la implementación de maquinarias hace que la diferencia entre estos sea significativa, a favor del escenario automatizado. Sin embargo, el escenario automatizado maneja mayores costos en servicio, materia prima, maquinaria y gastos de personal. El único costo que es mayor del escenario manual es mano de obra, pero esto se debe a que la cantidad de operarios utilizados en este escenario es mayor. A pesar de esto, los otros costos del escenario automatizado son tan altos que el costo en mano de obra no genera cambios significativos. Por lo que se puede evidenciar que la capacidad de una planta puede mejorar con ayuda de herramientas modernas, pero es importante tomar en cuenta que los costos de la implementación de tecnologías son bastante altos.

E. Hallazgos

El diseño de los procesos en los escenarios manual y automatizado de una planta automotriz se logró con éxito mediante la implementación de herramientas clave. Un exhaustivo diagrama de operaciones delineó un proceso compuesto por 25 operaciones y 4 áreas de trabajo, mientras que la Lista de Materiales detalló la presencia de 211 componentes en el vehículo. Además, el Diagrama Relacional de Operaciones estableció la proximidad y secuencia de las áreas de trabajo, y el plan de producción proyectó la cantidad de materiales necesarios para 22 días de trabajo. Este diseño integral proporcionó una base sólida para identificar las necesidades y requerimientos, facilitando así la comparativa efectiva entre los escenarios.

Con la elaboración de planos y el análisis de relación de operaciones, se logró crear un espacio productivo de 75.3 metros por 50.3 metros, que permitiera un flujo adecuado de material, espacios apropiados para la realización de cada operación y la reducción de tiempos muertos; con el fin de

crear un ambiente didáctico que se pueda utilizar en la aplicación de realidad virtual y que ejemplifique el espacio de una planta automotriz eficiente.

La simulación del escenario automatizado y manual revelan que la capacidad productiva en un mes es superior para el escenario automatizado, por una diferencia de 5,434 unidades. Lo que comprueba que un proceso automatizado es más eficiente con respecto a la elaboración de vehículos que el proceso manual.

Aumentar el tiempo de ciclo en 8.95 minutos para el escenario manual y 3.55 minutos para el escenario automatizado resultó en una disminución de 33,633 unidades generadas en el proceso manual y 33,370 unidades en el escenario automatizado. Este ajuste condujo a la generación de menos material desperdiciado o destruido, demostrando de manera concluyente que estabilizar el tiempo de ciclo del proceso es una herramienta esencial para mitigar el efecto del cuello de botella.

En conclusión, a pesar de que el costo de producción por vehículo es ligeramente mayor en el escenario tradicional, alcanzando Q66,221.81 en comparación con Q65,609.05 en el escenario automatizado, la producción adicional de 5,434 vehículos en el entorno automatizado compensa esta diferencia. Esto demuestra que, a pesar de los mayores costos unitarios, la opción automatizada se vuelve más económica y eficiente en términos de producción total. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que el escenario automatizado conlleva gastos significativos, reflejados en el análisis de costo de producción, donde alcanza Q531,170,871.32 en comparación con los Q176,282,462.12 del escenario manual. Esto resalta la necesidad de evaluar cuidadosamente los beneficios a largo plazo frente a los gastos asociados con la implementación de la automatización en un área de producción.

Diseño de nivel, modelación y animaciones

La capacitación de operarios y la optimización de los procesos de fabricación son elementos clave para el éxito de la industria automotriz. Sin embargo, la capacitación tradicional implica altos costos y es poco efectiva, y la optimización de los procesos puede ocasionar interrupciones en la producción. (Aponte y Bautista, 2019)

En este contexto, el desarrollo de un simulador de línea de ensamblaje para automóviles en un ambiente de Realidad Virtual puede ofrecer una solución más efectiva y eficiente para mejorar la capacitación de los operarios y la optimización de los procesos de fabricación. Este simulador permitirá a los alumnos aprender los procesos de ensamblaje de manera interactiva, práctica y realista, sin la necesidad de ocasionar interrupciones en la producción en la línea de ensamblaje real.

Este simulador ofrece una solución sostenible y económica para las instituciones educativas y las empresas del sector automotriz. Al eliminar la necesidad de utilizar una planta de fabricación real para la capacitación, se reducen los costos asociados con el desplazamiento, el mantenimiento de equipos y la gestión logística. Y también proporciona una experiencia de aprendizaje enriquecedora y segura, ya que pueden practicar y cometer errores sin poner en peligro su integridad física ni afectar la producción real. (Magee, 2006)

Además, el uso de los modelos 3D y la implementación idónea de *level design* brindará un ambiente cómodo y fácil de utilizar en el simulador, lo que aumenta la efectividad de la capacitación, al permitir a los usuarios interactuar con el entorno de manera más natural y realista. Asimismo, puede ayudar a identificar posibles mejoras en el diseño de la línea de ensamblaje, lo que puede resultar en una mayor eficiencia y calidad en la producción. Como este simulador será utilizado en un laboratorio para los estudiantes de Ingeniería Industrial en la Universidad del Valle de Guatemala, se podrá corroborar que, en efecto, sin necesidad de ir a una planta de ensamblaje, pueden aprender por medio de un simulador. A diferencia de otros simuladores para la industria automotriz, como lo es *VR Car Factory* o *Wrench VR*, que ambos son para armar, reparar y personalizar autos pero la diferencia de este simulador es que estará adaptado a un ambiente educativo que implique interacción con diferente maquinaria.

En resumen, la justificación radica en la necesidad de mejorar la capacitación de los operarios y la optimización de los procesos de fabricación en la industria automotriz, mediante el desarrollo de un simulador de línea de ensamblaje en un ambiente de Realidad Virtual.

A. Marco teórico

1. Realidad virtual

La Realidad virtual, por sus siglas *RV* se entiende como una simulación generada por una computadora que produce la sensación de estar inmerso en un entorno virtual, el cual puede ser explorado mediante el uso de un dispositivo de visualización y de movimiento para captar los movimientos del usuario. (González y Vasán, 2023)

En los últimos años, ha habido un incremento significativo en la utilización de esta tecnología, puesto que ofrece una gran variedad de ventajas en diversos campos, desde el entretenimiento y los videojuegos hasta la medicina, la educación, la arquitectura, la industria, el turismo y más. En el contexto educativo, se han identificado diversas ventajas; como lo es el incremento del compromiso y/o diversión de los alumnos al momento de aprender, y la creación de ambientes completamente nuevos y seguros en los que los alumnos pueden realizar de manera virtual tareas que en el contexto cotidiano serían difíciles de ejecutar (Ramos, de la Cruz, Fernández, y Martínez, 2023).

Como se mencionó, la tecnología de realidad virtual se apoya en el modelado de tercera dimensión (3D) para crear estos entornos inmersivos, lo que permite interactuar con representaciones tridimensionales de conceptos educativos, objetos o situaciones, lo que mejora la comprensión y retención del conocimiento. Estos objetos deben de ser lo más parecido a la realidad, debido a que serán utilizados para el aprendizaje por lo que sino se hacen realistas se puede confundir al estudiante, lo que ocasionaría que no se aprenda correctamente y se tengan confusiones.(González y Vasán, 2023)

2. Diseño de nivel

El diseño de niveles de videojuegos es el proceso de crear los entornos en los que se desarrolla la acción del juego. El diseñador de niveles es responsable de crear un entorno que sea atractivo, desafiante e inmersivo para los jugadores. Este proceso es complejo y requiere una combinación de habilidades creativas y técnicas. Los diseñadores de niveles deben tener un buen ojo para el diseño visual, una comprensión de la psicología del jugador y la capacidad de utilizar las herramientas de software de diseño de niveles.

Desde el punto de vista de Richard Bartle, “Un buen diseño de nivel es el que hace que los jugadores se sientan como si estuvieran en un lugar real”.(Bartle, 2003) Y propone tres factores primordiales para que se cuente con un buen diseño de nivel, estos son:

- **Ambientación:** el mundo virtual debe tener una ambientación convincente que haga que los jugadores se sientan como si estuvieran realmente allí. Esto incluye factores como la estética, la iluminación y el sonido.
- **Narrativa:** el mundo virtual debe tener una narrativa que guíe a los jugadores y les ayude a sumergirse en la experiencia.
- **Interacción:** el mundo virtual debe ser interactivo y permitir a los jugadores explorar y manipular el entorno.

En el contexto de este proyecto, el nivel cuenta con lo siguiente:

- Una ambientación realista que recrea el entorno de una planta de ensamblaje de autos. Las paredes y el piso están diseñados con colores que reflejan la autenticidad de una fábrica. Los jugadores verán diversos objetos, como cascos, enchufes y barreras de seguridad para garantizar

un ensamblaje sin heridas. Además, flechas cuidadosamente colocadas indican claramente la dirección hacia la cual deben dirigirse, con el fin de facilitar la navegación a lo largo del nivel.

- No se utiliza una narrativa en esencia, sin embargo, la línea de ensamblaje es lineal, porque los usuarios pueden conocer paso a paso cómo funciona esta simulación y así comprender cómo se ensambla un carro y sentirse más conectados con el proceso.
- Los usuarios podrán interactuar con algunas piezas y practicar el cómo se ensamblan las piezas. Esto les permite sentir que son parte del proceso y que contribuyen a la creación de un automóvil.

Richard Bartle también menciona otros factores que pueden contribuir a un buen diseño de nivel, por ejemplo, la escala debe de ser adecuada para el tipo de juego y la experiencia que se desea crear. La diversidad es otro factor, puesto que el nivel debe ofrecer una variedad de desafíos y experiencias para mantener el interés de los jugadores. Por último, el balance, el cual indica que el nivel debe estar equilibrado para que sea desafiante pero justo.

Ahora bien, la importancia de que una línea de ensamblaje sea lineal para el diseño de nivel radica en que permite a los usuarios ver cómo cada paso se conecta con el siguiente, lo que les ayuda a comprender cómo se ensambla un automóvil. Además, el diseño lineal facilita la navegación de los usuarios a través de la línea, y da paso a completar los procesos de manera eficiente. (Frenhlich, 2020) También proporciona a los usuarios una progresión clara y predecible, porque cuando saben qué esperar, pueden centrarse en completar cada tarea de manera eficiente y efectiva. No tienen que preocuparse por perderse o no saber qué hacer a continuación.

3. Modelado 3D

En vista de las opiniones de José Sánchez el modelado 3D es el proceso de crear modelos de objetos tridimensionales, y estos modelos se pueden utilizar para una variedad de propósitos, como diseño, animación y visualización. El modelado 3D debe estar bien diseñado y optimizado para proporcionar una experiencia de realidad virtual fluida y realista. (Sánchez, 2019)

En la continuación de este proceso, se explorará la implementación de shaders, un componente esencial que añade un nivel adicional de detalle y realismo a los modelos tridimensionales creados.

4. Shaders

Para poder realizar estos modelos se hizo uso de Blender, ya que como se mencionó en la metodología, es un *software* para crear y modelar objetos que a su vez es fácil de agregarlo a Unity. Al momento de importar los modelos, se cuenta con algo llamado *shader* que son programas de computadora que se utilizan para definir la apariencia de los objetos en un entorno gráfico, los cuales ayudan a controlar diversas propiedades del objeto, como lo es su color, su textura e iluminación.

Existen diversos tipos de *shaders*, pero el que se utiliza para renderizar objetos 3D con un aspecto realista es *standard surface shader*. Este incluye una amplia gama de propiedades que permiten a los desarrolladores controlar la apariencia de los objetos, como el color, la textura, la iluminación y el sombreado. Por defecto, tiene una propiedad llamada *culling*, pero si se desea mostrar todas las caras del objeto (que incluye tanto las caras que están orientadas hacia la cámara como las que no), se debe colocar *cull off*. Además, cabe recalcar que es importante tomar en cuenta el posicionamiento correcto de las caras exteriores e interiores del modelo, porque si están mal colocadas las caras, se pueden tener problemas al momento de exportar el modelo. Ya que las caras invertidas pueden causar problemas con la iluminación y la visualización.

En resumen, los *shaders* son un componente fundamental de la tecnología de juegos 3D. Estos programas se utilizan para definir la apariencia de los *GameObjects* en el mundo del juego. (Stephenson, 2007)

a. *Universal render pipeline y materiales PBR*

Dentro de este contexto, es crucial destacar la relevancia del *Universal Render Pipeline (URP)* en Unity. Esta es una renderización configurable liviana y escalable que permite a los desarrolladores de juegos optimizar gráficos en plataformas de menor potencia. Este utiliza *Physically Based Rendering (PBR)* para materiales, una técnica que modela cómo interactúa la luz real con las superficies para lograr iluminación y texturas más realistas. Estos materiales basados en la física en Unity utilizan mapas de texturas como albedo, metalicidad, rugosidad y normales para definir las propiedades físicas de los materiales. Al emplear principios físicos para simular cómo la luz interactúa con las superficies, los materiales PBR mejoran significativamente la calidad estética y la inmersión en entornos virtuales. Además, con el fin de asegurar la coherencia y consistencia visual en todo el contenido gráfico, lo que le da un aspecto más realista. (Technologies, 2020)

5. *GameObjects y prefabs*

En el marco de esta optimización estética, cabe destacar la importancia de los *GameObjects* y *prefabs*. Todos los elementos del juego son considerados *GameObjects* que contienen uno o más componentes, como *transform*, *colliders*, *rigidbodies*, *animators*, *mesh*, *materials*, *textures*, *shaders*, *terrains*, *scripts*, etc. Estos componentes se explicarán más adelante según sean necesarios. Un *GameObject* con varios componentes configurados de cierta manera puede ser bastante complejo. A veces se requiere duplicar o hacer pequeños cambios a estos *GameObjects* complejos. Aquí es donde entran los *Prefabs*. Los *Prefabs*, como su nombre indica, son *GameObjects* prefabricados que permiten acceder a un objeto como una plantilla, de la cual se pueden crear todas las instancias que sean necesarias y modificarlas a gusto. Cada instancia es un objeto autónomo que puede modificarse de forma independiente del *prefab* original. Esto permite ahorrar tiempo y esfuerzo al crear modelos, ya que no es necesario crear cada objeto desde cero. (Doherty, s.f.)

a. *Hooks*

En relación con modelado 3D, los *Hooks* desempeñan un papel fundamental. Objetos utilizados en Blender para vincular partes de un modelo 3D a un sistema de control, como huesos y armaduras. Es decir, permiten vincular un objeto específico a otro, debido a que se establece una relación entre el objeto base y el objeto de control, de modo que el de control puede influir en la transformación y movimiento de la base. En este caso fue utilizado para simular la animación de los cables de la maquinaria en el proceso manual. (Documentation, s.f.)

Los *hooks* se utilizan en situaciones como:

- Un objeto siga con precisión el movimiento de otro objeto (artículos como indumentaria, cables y otros objetos que no forman parte del personaje en cuestión).
- Se desea controlar la deformación de un objeto (como mover una pluma con el viento).

6. *Colliders, triggers y rigidbody*

Los *colliders*, como su nombre lo indica, hacen que otros objetos colisionen contra ellos, es decir, son componentes que no permiten que los *GameObjects* sean atravesados. Unity ofrece varios métodos para gestionar las colisiones entre objetos. Estos métodos se activan cuando ocurren eventos como el contacto entre dos objetos, su permanencia en contacto o su separación.

- ***OnCollisionEnter***: Se ejecuta cuando dos objetos entran en contacto por primera vez. El parámetro *collision* contiene información sobre la colisión, como los objetos que se han colisionado, la velocidad y la fuerza de la colisión.
- ***OnCollisionStay***: Se activa cada vez que dos objetos permanecen en contacto. El parámetro *collision* contiene la misma información que el método *OnCollisionEnter()*.
- ***OnCollisionExit***: Se produce cuando dos objetos dejan de estar en contacto. El parámetro *collision* contiene la misma información que el método *OnCollisionEnter()*.

Se debe tener en cuenta que los métodos *OnCollisionEnter* y *OnCollisionExit* se ejecutarán una sola vez por evento. Mientras que *OnCollisionStay* se ejecutará constantemente siempre que los objetos colisionen. (Murray, 2014)

Los *triggers* son una variación de los *colliders*, con la diferencia de que sí se puede pasar a través de ellos. Se suelen utilizar como zonas de detección y disparadores de eventos. Para crear un *trigger* en Unity se usan los mismos componentes que los *colliders* y basta con marcar el *checkbox* "Is Trigger". En el contexto de la realidad virtual, los *triggers* pueden ser una herramienta útil para mejorar la experiencia de los usuarios. Por ejemplo, los *triggers* se pueden utilizar para crear entornos interactivos que permitan a los usuarios explorar y aprender de forma más natural.

- ***OnTriggerEnter***: Se produce cuando un *GameObject* entra en un *trigger*.
- ***OnTriggerStay***: Se dispara cada vez que un *GameObject* permanece en un *trigger*.
- ***OnTriggerExit***: Se ejecuta cuando un *GameObject* sale de un *trigger*.

Como pasa con los *Colliders*, los métodos *OnTriggerEnter* y *OnTriggerExit* se ejecutan una sola vez. Mientras que, *OnTriggerStay* se ejecutará mientras el objeto no abandone el *trigger*. Es importante remarcar que, en el caso de los *triggers*, para que estos eventos se disparen, uno de los dos objetos que colisionan debe tener un componente de *rigidbody*. Esto le permite a Unity detectar que un objeto ha entrado en el *trigger*. (Garzón, 2015)

Mientras que un cuerpo rígido (*RigidBody*) es un componente que se puede agregar a un *GameObject* para darle propiedades físicas. Estos se utilizan para crear objetos que pueden moverse e interactuar con el mundo del juego de forma realista. (Stiller, 2014)

7. Animación

El proceso de infundir vida a entornos y objetos virtuales se conoce como animación. Esta técnica desempeña un papel crucial en la creación de experiencias de realidad virtual (RV) inmersivas y atractivas. Para lograr animaciones realistas y fluidas, los desarrolladores emplean diversas herramientas y técnicas. (Garzón, 2015)

El sistema de animación de Unity es una herramienta popular que permite a los desarrolladores crear, administrar y editar animaciones para objetos 3D. Este sistema ofrece una amplia gama

de funcionalidades, desde la creación de animaciones simples hasta el desarrollo de complejos personajes animados. Adicionalmente, los desarrolladores pueden importar animaciones prediseñadas de plataformas como Mixamo o Blender para ampliar su repertorio de opciones. La integración de animaciones externas enriquece las experiencias en realidad virtual y aporta mayor realismo a los entornos y objetos virtuales.

a. Componentes básicos de animación y control en realidad virtual

Animator es el componente principal a través del cual se pueden añadir animaciones a los *GameObjects*. Para hacer esto se necesita un *animator controller* y un avatar. El *animator controller* es un componente que contiene una máquina de estados que permite acceder a la ventana donde se pueden añadir distintas animaciones, transiciones y variables requeridas. A través de este controlador se puede acceder a las variables declaradas y ejecutar transiciones cuando sea necesario. Mientras que el avatar es el objeto sobre el cual se aplican las animaciones, este guardará información sobre el esqueleto del objeto al que se le aplica, lo que permite realizar la transición entre animaciones de manera fluida. Es importante recalcar que el avatar no siempre es necesario, pues el *animator controller* puede utilizarse para controlar animaciones que no están asociadas a un objeto en específico.

Mientras que *animator* es la parte final del conjunto anteriormente mencionado, dado que permitirá que los personajes y otros elementos cobren vida dentro del juego. En la ventana de *animator* se puede configurar múltiples opciones, pero en especial la casilla de *loop time*, la cual permite que la animación se ejecute en un bucle. Esto se puede ver reflejado en los modelos de inspección y en los que caminan dentro de la línea de ensamblaje.

B. Metodología

1. Planeación del proyecto

La planificación del proyecto se realizó de forma colaborativa entre un equipo de siete personas, compuesto por dos estudiantes de ingeniería industrial y cinco estudiantes de ingeniería en ciencias de la computación. En los primeros cuatro meses, el equipo se reunió una vez al mes para discutir los aspectos generales del proyecto y dividirse las tareas a implementar. Puesto que el trabajo de los estudiantes de ingeniería en ciencias de la computación se tenía que dividir en 5 fases:

1. Modelado y animación 3D de maquinaria para el proceso automatizado.
2. Modelado y animación 3D de partes individuales del carro y operadores para el proceso manual.
3. Implementación para que el juego sea asimétrico.
4. *Character controller*, *UI/UX* y monetización.
5. Experiencia de usuario.

En los últimos cinco meses, las reuniones se realizaban cada dos semanas. El trabajo se intensificó y requería la presentación de avances sobre lo discutido previamente, lo cual demandaba una comunicación más fluida. Para resolver dudas puntuales y urgentes, se utilizó WhatsApp como medio de comunicación instantánea. En caso necesario, se realizaban reuniones virtuales para aclarar dudas y discutir opiniones.

2. Herramientas utilizadas

Para lograr la funcionalidad completa de este proyecto, se implementaron tres tecnologías distintas, cada una seleccionada por su propósito específico dentro del sistema. Esta combinación permitió crear un producto robusto y optimizado, aprovechando las fortalezas de cada *software*.

a. Blender

Es una herramienta gratuita que se utilizó para crear y modelar objetos en tercera dimensión (3D). Este software cuenta con características que la hacen muy versátil, ya que incluye una amplia gama de herramientas para esculpir y dar forma a la figura, desde la creación de materiales realistas hasta las técnicas para esculpir y definir la forma deseada.

Además de modelado, permite crear *rigging* (esqueletos) para animar modelos fácilmente, y también facilita la creación de animaciones dentro del mismo entorno antes de llevarlos a Unity. Esta fluidez en el flujo de trabajo entre Blender y Unity es una gran ventaja. (Garzón, 2015)

Para lograr un acabado más realista en todo lo utilizado en la planta, se utilizaron modelos y texturas de alta calidad. Estos modelos y texturas se importaron a esta herramienta para realizar las modificaciones correspondientes. Estos modelos y texturas son:

- Fondo de cinta transportadora: textura colocada sobre el modelo del equipo industrial que se utiliza para mover las piezas cortadas.
- Rejilla Arya Acero inoxidable: textura para colocar en el piso de la estación para pintar el auto.
- 2016 NISSAN VERSA NOTE SR Toon Shaded modelo 3D: modelo de carro Nissan completo, el cual se utilizó para dividir las partes y armarlo dentro de la propia línea de ensamblaje.
- Obrero modelo 3D: modelo del mecánico que interactuará con el estudiante que utilice los *googles* de realidad virtual. Este se utilizó por la apariencia realista que tenía.

b. Unity

Este software posee diversas cualidades que lo hacen ideal para este proyecto. En primer lugar, ofrece un fácil acceso a diverso contenido y una documentación muy completa. Además, tiene una gran comunidad que facilita el aprendizaje y la resolución de problemas. Unity está disponible en dos versiones: la versión gratuita, que fue la utilizada en este proyecto, y la versión Pro, que requiere una cuota mensual o anual. La versión Pro incluye muchas más características y herramientas que mejoran el rendimiento, calidad y programación del juego. Sin embargo, la versión gratuita fue suficiente para este proyecto. Por su accesibilidad, documentación, comunidad de apoyo y soporte multiplataforma, Unity resultó ser una excelente opción como motor gráfico principal para el desarrollo de este proyecto. (Garzón, 2015)

c. Mixamo

Plataforma web de Adobe que ofrece animaciones 3D y herramientas de *auto-rigging* para facilitar y acelerar la creación de personajes animados en 3D. (Adobe, 2023)

En este caso se utilizaron varias animaciones provenientes de esta plataforma:

- *Standing w/briefcase idle*: para los operadores encargados de la inspección de la maquinaria.
- *Standing torch light from fire on soldermench2*: para los operadores que sueldan el borde..
- *Standing torch inspect forward on soldermech2*: para los operadores encargados de la soldadura del borde.
- *Cow milking on default character*: para los operadores encargados del montaje de las llantas.
- *Carrying turn on default character*: para los operadores que cargan las piezas del carro.
- *Push start on default character*: para los operadores que se encargan de ensamblar.

3. Futuras implementaciones

Este proyecto se encuentra en su primera fase de desarrollo, por lo que se espera que futuras generaciones prosigan el proyecto para que le hagan mejoras y que cada vez se parezca más a una planta de ensamblaje real. Estas mejoras podrían incluir:

- La inclusión de más objetos y entornos. Esto permitiría al usuario explorar una planta de ensamblaje más realista y completa.
- La incorporación de nuevas funcionalidades, como la posibilidad de interactuar con mucho más objetos y entornos virtuales. Esto permitiría al usuario aprender mucho más sobre el funcionamiento de una planta de ensamblaje de forma más práctica.

C. Resultados

1. Toma de decisiones

Conforme se detalló en la metodología, se optó por emplear el modelo del automóvil Nissan Versa y el modelo de un operador, junto con animaciones proporcionadas por Mixamo.

El modelo del automóvil fue descargado en su totalidad, pero para la simulación se requería que estuviera desarmado, dado que la premisa de la planta era ensamblarlo. Con la herramienta Blender, se desmontó por completo el vehículo, generando archivos individuales para cada pieza, según las necesidades de las estaciones. En algunos casos, fue necesario fusionar algunas piezas, como el borde con los asientos, motor y chasis, y unir las puertas con las ventanas, entre otros ajustes.

Inicialmente, se llevó a cabo la modelación de un operador, el cual se puede observar en la estación de materia prima. Sin embargo, debido a la falta de experiencia en la creación detallada de modelos humanos, en comparación con objetos, se tomó la decisión de adquirir un modelo preexistente. Este enfoque se alinea con el objetivo de lograr una planta lo más realista posible, al evitar que el modelo inicial rompa con la coherencia visual. Como la primera estación no requiere una observación detallada, se decidió mantener el primer modelo. Sin embargo, para futuras implementaciones, se considera la posibilidad de emplear este modelo como un *NPC* (Personaje No Jugador), dado su menor número de polígonos y peso reducido en comparación con el modelo realista, sin afectar la interacción con los jugadores.

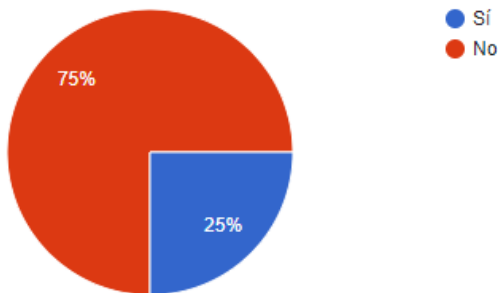
En cuanto a las animaciones provenientes de Mixamo, al no disponer de movimientos específicos para mecánicos, se seleccionaron movimientos similares y se adaptaron según las necesidades de cada estación. Algunas animaciones se unificaron para lograr la ilusión deseada, optimizando el tiempo sin comprometer la percepción de realismo en la simulación.

2. Primera iteración

A continuación se encuentran los resultados obtenidos en la iteración de pruebas para los modelos realizados (carro completo y máquina de pintura), en los que el 75% de la audiencia nunca ha utilizado un sistema de realidad virtual y un 25% sí lo ha hecho.

Figura 44

Distribución de la experiencia previa con realidad virtual



Nota. Proporción de la audiencia que ha tenido experiencia previa con sistemas de realidad virtual.

Figura 45

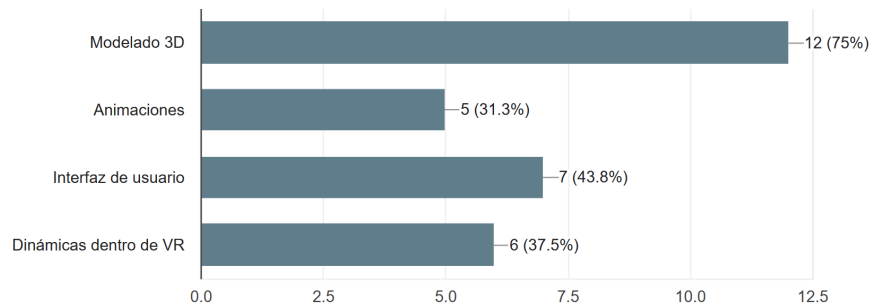
Opiniones sobre una planta de ensamblaje de automóviles en realidad virtual



Nota. Encuesta sobre la percepción de una planta de ensamblaje de automóviles en realidad virtual.

Figura 46

Aspectos importantes en una planta de realidad virtual para ensamblar automóviles



Nota. Encuesta sobre los aspectos más importantes en una planta de realidad virtual para ensamblar automóviles.

Figura 47

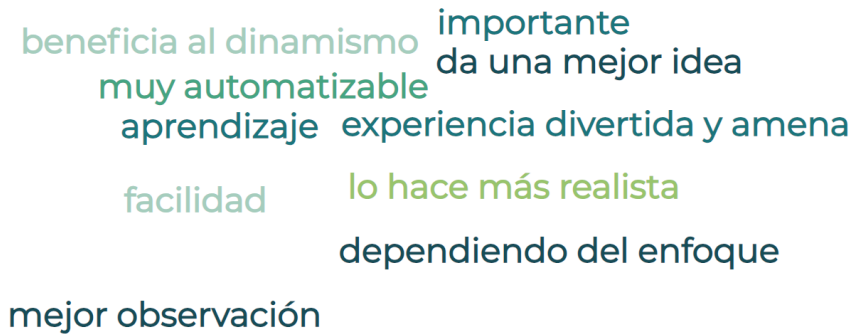
Opiniones sobre la representación en 3D de las piezas de automóviles en la planta de realidad virtual



Nota. Resultados de la encuesta sobre la percepción de la representación en 3D de las piezas.

Figura 48

Opiniones sobre la inclusión de animaciones de operarios en la planta de realidad virtual



Nota. Resultados de la encuesta sobre la percepción de la inclusión de animaciones de operarios.

Figura 49

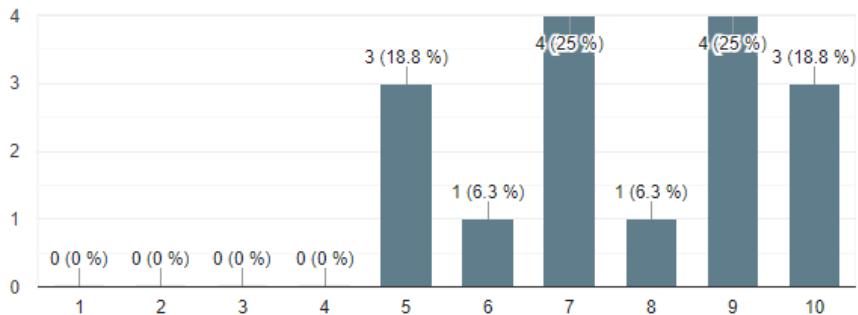
Principales beneficios de utilizar realidad virtual en la fabricación de automóviles



Nota. Encuesta sobre los principales beneficios percibidos de utilizar realidad virtual en la fabricación de automóviles.

Figura 50

Puntuación de la apariencia general del modelo de auto modelado en realidad virtual



Nota. Resultados de la encuesta sobre la puntuación de la apariencia general del modelo de auto modelado.

Figura 51

Impresión del modelo de carro en realidad virtual



Nota. Opiniones sobre la impresión del modelo de carro presentado.

Figura 52

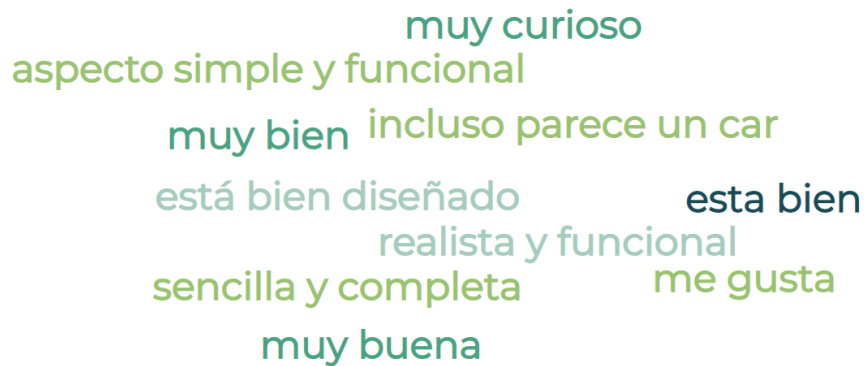
Aspectos destacados del realismo en la experiencia de realidad virtual



Nota. Encuesta sobre los aspectos más destacados del realismo.

Figura 53

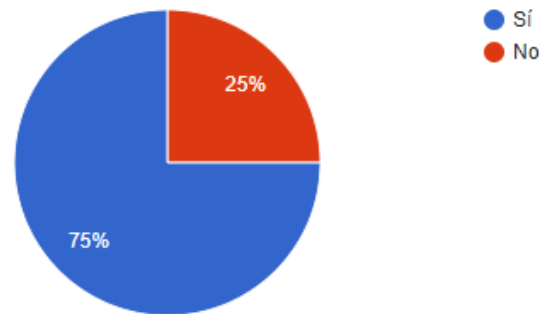
Impresiones de la representación en 3D de la estación de pintura del carro



Nota. Encuesta sobre las impresiones generadas por la representación en 3D de la estación de pintura del carro.

Figura 54

Comprensión de la estación de pintura en el modelo 3D



Nota. Distribución de respuestas sobre la comprensión de cómo funciona la estación de pintura del carro en el modelo 3D, representada en una gráfica de pastel.

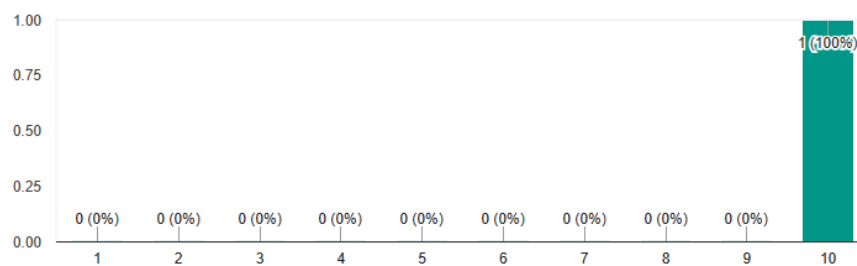
3. Segunda iteración

En el transcurso de esta iteración, se procedió a evaluar exclusivamente a una persona, quien ostenta la posición de catedrática en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Dicha elección se fundamenta en la alineación del proyecto con los objetivos de dicha carrera académica. La mencionada evaluadora llevó a cabo una prueba en la simulación antes de participar en el proceso de encuestado, con el propósito de fundamentar sus observaciones y opiniones. Posteriormente, se le proporcionó la encuesta correspondiente para recopilar sus comentarios y perspectivas de manera integral.

Como primera instancia, se mostraron tres imágenes con diferentes perspectivas de cómo luce el carro completamente ensamblado. Se planteó la cuestión de otorgar una calificación del 1 al 10 al auto, basándose en las imágenes presentadas anteriormente, donde un puntaje de 10 indica una fuerte semejanza con un automóvil real.

Figura 55

Perspectivas del carro ensamblado

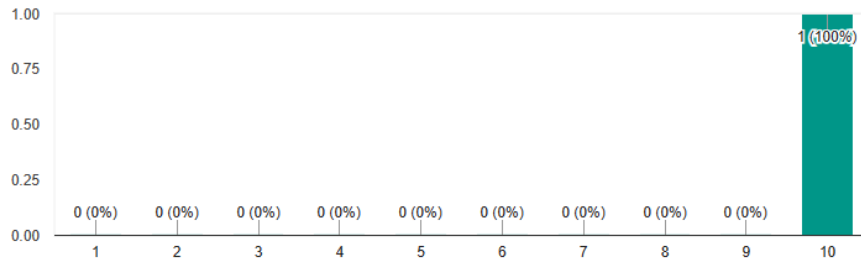


Nota. Evaluación de la veracidad del automóvil representado en relación con uno real.

Se exhibió un video que mostraba diversas perspectivas del funcionamiento de la estación de materia prima dentro de la simulación. Posteriormente, se solicitó una evaluación basada en este. Para determinar qué calificación del 1 al 10 se asignaría a la estación, donde un puntaje de 10 indica que la estación parece funcional y se comprende la idea.

Figura 56

Valoración del corte de materia prima

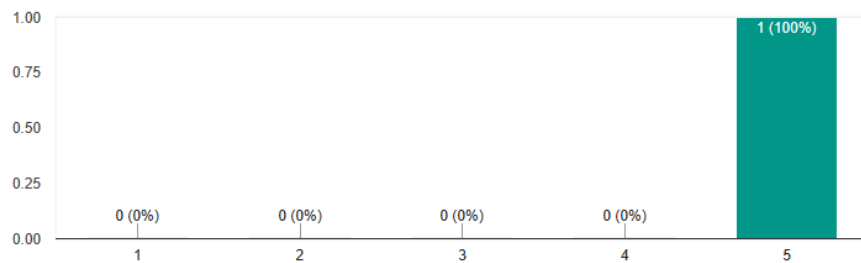


Nota. Calificación otorgada al funcionamiento y la apariencia visual de la banda transportadora de materia prima.

Se mostró el video en diferentes perspectivas de la soldadura, el modelo de la máquina para soldar y el casco de soldadura.

Figura 57

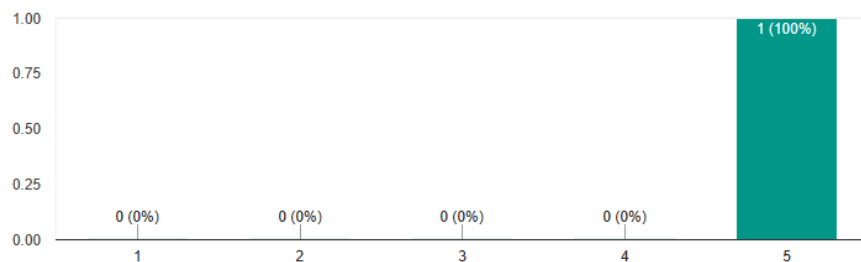
Evaluación de similitud del casco con uno real



Nota. Estimación del grado de semejanza entre el casco modelado y uno real, en donde 5 es parecido.

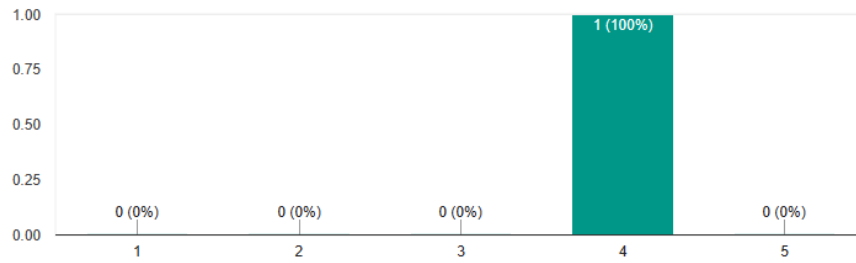
Figura 58

Evaluación de similitud de la máquina de soldadura con una real



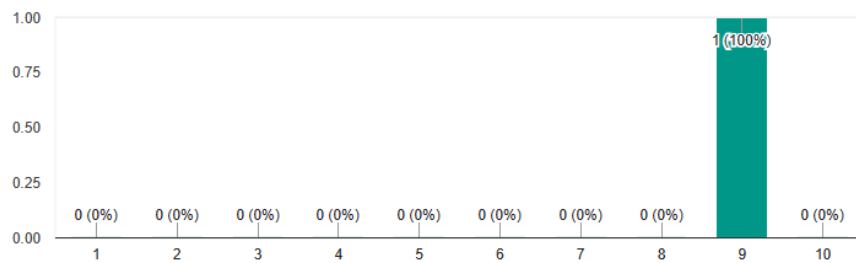
Nota. Establece el contexto para evaluar el grado de similitud entre la máquina de soldadura y una real, en donde 5 implica que es muy parecido.

Figura 59
Evaluación del movimiento de los operadores soldadores



Nota. Se alienta al evaluador a otorgar una calificación de la calidad de la animación de los operadores, donde 5 indica un movimiento excelente.

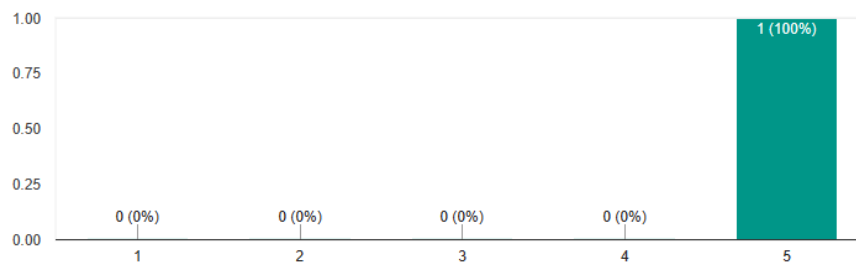
Figura 60
Valoración general de la estación de soldadura



Nota. Se establece el contexto para evaluar la estación en su totalidad, considerando tanto el video como las imágenes previamente presentadas.

Para la estación de ensamblaje de puertas traseras y delanteras, se mostró un video en diferentes perspectivas. El valor máximo representa una calificación favorable, solicitando el análisis de los componentes de la estación.

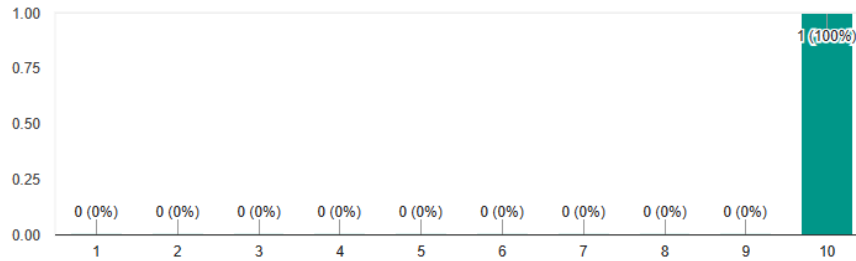
Figura 61
Evaluación del movimiento de los operadores de ensamblaje de puertas



Nota. Esta solicitud establece el contexto para la evaluación de la animación de los operadores.

Figura 62

Valoración de la estación de colocación de puertas basada en el video

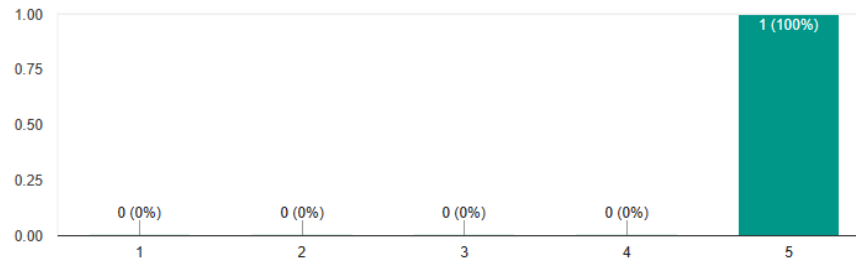


Nota. Proporciona el contexto para evaluar la estación en general, según el contenido del video mostrado.

Para la estación de ensamblaje del capó, bumper y baúl, se presentó un video desde múltiples ángulos, para observar las animaciones y la forma en que se ensamblan las distintas piezas. Permitiendo al encuestado proporcionar una calificación basada en su criterio propio, donde el valor máximo representa un nivel de excelencia.

Figura 63

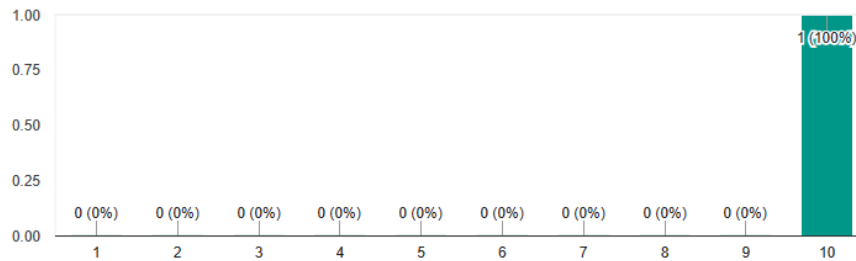
Evaluación del movimiento de los operadores en la estación de ensamblaje



Nota. Se invita a los evaluadores a otorgar una calificación a la animación de los operadores.

Figura 64

Evaluación de la estación según el video

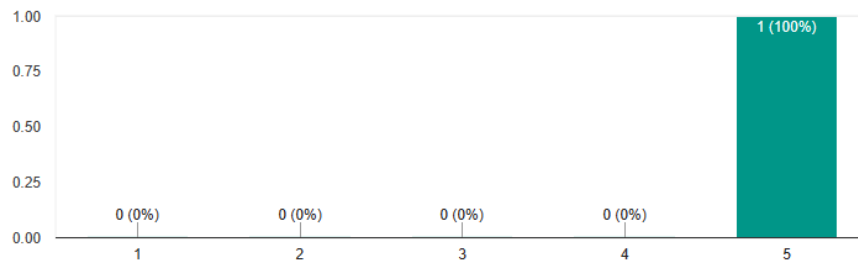


Nota. Evaluación general de la estación de ensamblaje.

Se mostró un video que ilustra el procedimiento en la estación de pintura, en el cual, cuando ingresa el automóvil, ambas puertas se cierran para facilitar el cambio de color del vehículo. Por ende, se consultó acerca de la evaluación que se daría a la estación, tomando como referencia el video mostrado previamente. La escala va del 1 al 5, donde el valor 5 sugiere que la estación parece funcional y se comprende claramente.

Figura 65

Evaluación de la estación de pintura a partir del video

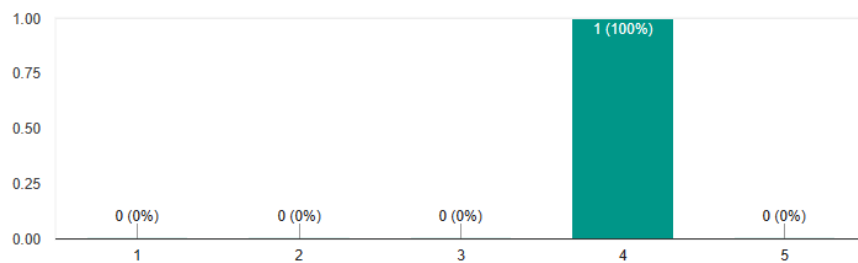


Nota. Esta evaluación se centra en la comprensión sencilla del funcionamiento.

El último video presentado es el de la estación de las llantas. Por consiguiente, se propuso valorar el desempeño del movimiento de los operadores en una escala del 1 al 5. En esta escala, el número 1 refleja un movimiento que se percibe como antiestético, mientras que el número 5 denota un movimiento de calidad excelente.

Figura 66

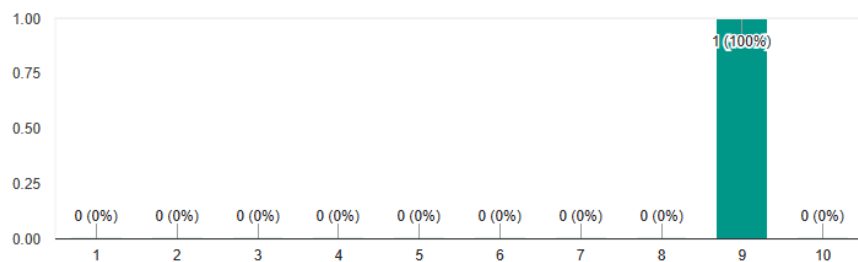
Evaluación del desempeño del movimiento de los operadores en la colocación de llantas



Nota. Resultado de la calidad de la animación de los operadores.

Figura 67

Análisis general de la estación de llantas basado en el vídeo



Nota. Este análisis engloba tanto la animación como los objetos utilizados para la acción.

D. Análisis de resultados

1. Primera iteración

Los resultados de la primera iteración se obtuvieron por las respuestas de 16 personas encuestadas. En primera instancia, como se puede ver en la **Figura 44** el 75 % de las personas encuestadas han

utilizado sistemas de realidad virtual. Esto sugiere que la realidad virtual es una tecnología cada vez más popular, con una amplia gama de aplicaciones potenciales. Existen varias razones por las que esta tecnología gana popularidad, por ejemplo, que estos sistemas se vuelven más asequibles, así como que últimamente se utiliza en una variedad de aplicaciones nuevas como los videojuegos, el entretenimiento y la educación. Con respecto al 25 % de personas que no lo han utilizado, sugiere que hay un segmento de la población que no está familiarizado con esta tecnología. Sin embargo, este segmento probablemente disminuirá a medida que la realidad virtual se vuelva más popular.

En la segunda pregunta, se hizo una nube de palabras con los resultados obtenidos, y las dos palabras que destacaron en la **Figura 45** fueron: interesante e innovador. Lo cual indica que, aunque no todos hayan utilizado algún sistema de realidad virtual, les parece que el hecho de que exista una planta de ensamblaje de automóviles con esta tecnología sería completamente innovador e interesante.

Los aspectos más importantes que los encuestados indican son los siguientes:

- **Modelado 3D:** debe ser lo más preciso posible para que los usuarios puedan experimentar el proceso de ensamblaje de manera realista.
- **Animaciones:** deben ser fluidas y realistas para que los usuarios puedan ver cómo se mueven las piezas y los trabajadores.
- **Interfaz de usuario:** debe ser fácil de usar y comprender para que los usuarios puedan interactuar con el entorno virtual de manera efectiva.
- **Dinámicas dentro de VR:** deben ser realistas para que los usuarios puedan experimentar el peso y la inercia de las piezas.

Estos aspectos son importantes para crear una experiencia de realidad virtual que sea lo más realista e inmersiva posible. Si estos aspectos se implementan correctamente, las plantas de realidad virtual para ensamblar automóviles pueden ofrecer una serie de beneficios (esto se puede evidenciar en la **Figura 46**).

En la **Figura 47** también se hizo una nube de palabras, en la que destacó la palabra "importante", esto indica que realmente sí es importante que se cuente con modelos 3D, ya que una representación en 2D no sería suficiente para proporcionar una experiencia realista. Los usuarios necesitarían poder ver las piezas desde todos los ángulos y comprender cómo se relacionan entre sí. Una representación en 3D permite a los usuarios hacer esto.

En la **Figura 48**, las personas encuestadas creen que la realidad virtual es importante para la educación y el entrenamiento, o para el diseño de plantas, son más propensas a estar a favor de la inclusión de animaciones de operarios.

Las respuestas mostradas en la **Figura 49** indican que los encuestados creen que la realidad virtual tiene el potencial de ser una herramienta valiosa para la industria automotriz y así mismo, ser beneficiosa para la capacitación de trabajadores, el diseño de automóviles y la seguridad.

Las respuestas mostradas en la **Figura 50** muestra que los encuestados le dieron al automóvil una puntuación en promedio de 7.75 sobre 10. Siendo 1 el indicador que el modelo tiene una apariencia muy pobre, mientras que una puntuación de 10 indicaría que el modelo tiene una apariencia perfecta.

La impresión que da el modelo del carro a los encuestados se puede ver en la **Figura 51** la cual indica que tienen opiniones variadas sobre el modelo. Sin embargo, la mayoría de los encuestados cree que el modelo es agradable y moderno, pero que podría mejorarse con más detalles.

Los encuestados consideran que el modelo de automóvil es realista en general, pero que podría mejorarse en algunos aspectos. Los aspectos más destacados del realismo son las uniones entre las piezas, la silueta y las sombras. Los aspectos que podrían mejorarse son las texturas y los detalles

de cada pieza, las orillas, el brillo de la pintura, la utilización de diferentes texturas, los contornos, los tornillos, el reflejo y las animaciones. Esto se puede visualizar en la **Figura 52**

Las respuestas en la **Figura 53** indican que los encuestados tienen opiniones positivas sobre la representación. La mayoría de los encuestados consideran que la representación es estéticamente agradable, funcional y de alta calidad. Sin embargo, algunos encuestados consideran que la representación es demasiado simple o básica.

Los resultados mostrados en la **Figura 54** indican que la mayoría de los encuestados (75%) entiende cómo funciona la estación de pintura del carro en el modelo 3D. Esto sugiere que el modelo proporciona una representación visual clara y precisa del proceso de pintura de automóviles. Sin embargo, un pequeño porcentaje de encuestados (25%) no entiende cómo funciona la estación de pintura del carro en el modelo 3D. Esto podría deberse a que el modelo no es lo suficientemente detallado o que no incluye suficientes animaciones.

2. Segunda iteración

Los resultados mostrados en la **Figura 55** evidencian que, al mostrar diversos ángulos del automóvil, este es percibido con un alto grado de similitud entre el vehículo simulado y uno real. Este resultado indica una percepción muy positiva de la fidelidad visual y la representación realista del automóvil en la simulación, lo que respalda la efectividad del diseño y la implementación del modelo en cuanto a su autenticidad.

En la **Figura 56** se destaca la percepción altamente positiva obtenida en relación con la presentación de la estación de materia prima en la simulación. La visualización del video desde diversas perspectivas permitió comprender efectivamente el funcionamiento de la estación, lo que resultó en una calificación perfecta de 10. Este resultado refleja una comprensión clara y positiva de la funcionalidad de la estación.

El análisis de las respuestas proporciona una visión integral sobre la percepción de la estación de soldadura en la simulación. Los resultados reflejan una impresionante consistencia en la evaluación de los elementos visuales presentados. En primer lugar, tanto el casco de soldadura **Figura 57** como la máquina de soldar **Figura 58** recibieron la calificación máxima de 5 en términos de semejanza con sus contrapartes reales. Este resultado indica que se percibió una representación altamente fiel y auténtica de estos elementos en la simulación. Mientras que la **Figura 59** la calificación de 4 para el movimiento de los operadores indica una percepción positiva pero con ciertas áreas de mejora. Esta retroalimentación puede ser útil para futuras iteraciones, lo que permitirá realizar ajustes para optimizar aún más la representación de los movimientos y acciones de los operadores. Asimismo con la **Figura 60** se obtuvo un puntaje de 9, que indica una percepción muy positiva, de la estación en su conjunto. Esta alta calificación sugiere que, a pesar de algunos comentarios sobre el movimiento de los operadores, la estación en general se percibe como realista y efectiva en términos de inmersión y credibilidad.

En la estación de ensamblaje de puertas, en la **Figura 61** se obtuvo respuesta de 5 para el movimiento de los operadores. Esta respuesta indica un diseño eficaz que transmite de manera satisfactoria la actividad de los operadores en la estación de ensamblaje, lo que contribuye a una experiencia visualmente atractiva y auténtica. Lo mismo para **Figura 62** la estación en general indica que la idea detrás de la estación fue completamente entendida. Este resultado sugiere que la representación visual y la presentación del proceso de ensamblaje fueron altamente efectivas, comunicando claramente la funcionalidad y el propósito de la estación.

En la estación de ensamblaje de capó, bumper y bahúl, en la **Figura 63** se obtuvo respuesta de 5 para el movimiento de los operadores. Esta respuesta indica un diseño eficaz que transmite de manera satisfactoria la actividad de los operadores en la estación de ensamblaje, lo que contribuye a

una experiencia visualmente atractiva y auténtica. Lo mismo para **Figura 64** la estación en general indica que la idea detrás de la estación fue completamente entendida. Este resultado sugiere que la representación visual y la presentación del proceso de ensamblaje fueron altamente efectivas, lo que comunica claramente la funcionalidad y el propósito de la estación.

La respuesta de 5 proporcionada en la **Figura 65** sobre la calificación de la estación de pintura indica una percepción altamente positiva. En este contexto, la estación se ve funcional y se entiende completamente. Este resultado es prometedor y sugiere que la estación de pintura en la simulación cumple con éxito su propósito de manera efectiva, proporcionando una experiencia de usuario comprensible y funcional.

El análisis de los resultados para la estación de las llantas revela una evaluación positiva en términos del movimiento de los operadores **Figura 66** y la percepción general de la estación **Figura 67**. La calificación de 4 para el movimiento de los operadores indica que la animación es estéticamente agradable y funcional, aunque podría haber ciertos aspectos que podrían ser mejorados para alcanzar una puntuación más alta. Mientras que la calificación de 9 para la estación en general indica una percepción muy positiva de la representación visual y funcionalidad de la estación de llantas. Este puntaje alto sugiere que la estación se asemeja de manera sustancial a la realidad y cumple con las expectativas en términos de autenticidad.

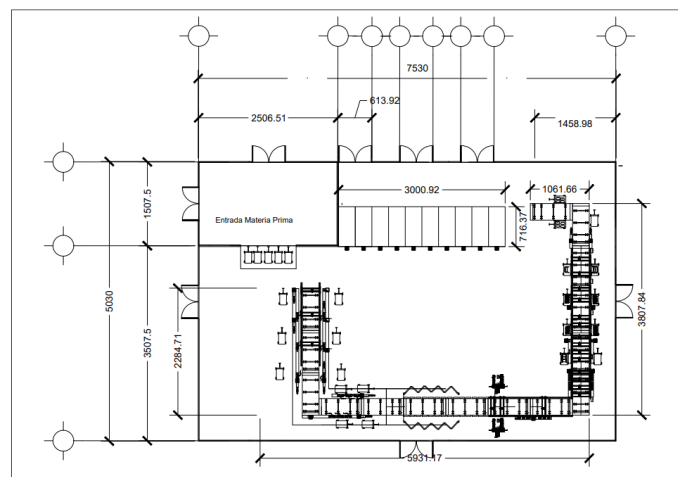
A. Marco teórico

1. Líneas de ensamblaje

Las líneas de ensamblaje son un método utilizado en la producción en masa ya que permiten ensamblar productos complejos por trabajadores con poca experiencia. Para aumentar la eficiencia se debe optimizar la relación entre el rendimiento y costos requeridos. Los factores comunes que afectan al rendimiento de la línea son los tiempos de ciclo y número de estaciones, así como también la congestión en las estaciones y la red de transporte de materia prima, estos factores son tomados en cuenta para el diseño de la línea de ensamblaje. El diseño fue implementado por los alumnos de ingeniería industrial y el diseño fue el siguiente. (Rekiek, Delchambre, Dolgui, y Bratcu, 2002)

Figura 68

Diseño final de la línea de ensamblaje



Nota. La imagen presenta el diseño de la línea de ensamblaje que fue utilizada para la simulación en 3D.

La línea de ensamblaje se mueve de izquierda a derecha e inicia con la estación de soldadura de chasis. Luego la estación de ensamblaje de puertas, la siguiente de parachoques y capo, más adelante la de pintura y llantas. Por último, se colocan los sistemas eléctricos del carro y sus demás accesorios. Cabe mencionar que en esta primera versión del proyecto no se implementó en la simulación la instalación del sistema eléctrico y accesorios.

2. Automóviles

Un automóvil es un medio de transporte basado en la autopropulsión utilizando una fuente de energía. Las fuentes de energía pueden ser por medio de la quema de combustibles fósiles o baterías. Tiene variedad de componentes como lo son el motor, puertas, asientos, llantas, parachoques entre otros, haciendo que su creación sea compleja por tantos componentes que se relacionan entre sí. Por lo tanto, se ha requerido implementar el método de líneas de ensamblaje para simplificar el proceso de ensamblaje y permitir una producción en masa. (economipedia.com, 2023) (Rane y Sunnapwar, 2017)

3. Educación con realidad virtual

La realidad virtual es una tecnología la cual presenta un entorno de objetos que lucen reales creando en el usuario sensaciones de estar inmerso con estos. Trata de representar la realidad digitalmente, simulando que las aplicaciones sumergen al usuario en el entorno virtual. Este es generado por ordenador y se puede interactuar con el medio que lo rodea a través de dispositivos interactivos que envían y reciben información, pueden ser gafas, mandos de control e incluso caminadoras. (García-Sánchez, 2023)

La tecnología de la realidad virtual se ha utilizado en diversos campos educativos mejorando la comprensión y retención de temas. Al simular escenarios de la vida real permite a los estudiantes aprender por medio de la práctica en un ambiente seguro donde cometer errores no repercuten en situaciones peligrosas. Además, permite personalizar el aprendizaje de cada estudiante dependiendo en su ritmo y estilo, con este proyecto los estudiantes aprenden sobre el proceso de ensamblaje de un automóvil. (Diana, 2022)

4. Videojuegos

Los videojuegos son parte del entretenimiento que hace uso de tecnología interactiva para construir una experiencia de juego única. Estos juegos involucran desafíos que estimulan la resolución de problemas y la competencia entre los jugadores. Los videojuegos ofrecen a los usuarios la posibilidad de controlar los sucesos del juego, creando la ilusión de que pueden controlar todo. Además, es importante mencionar que los videojuegos también sirven como una forma de entretenimiento educativo y una vía para expresar la creatividad. Fomentan la colaboración y el trabajo en equipo, lo que los convierte en una herramienta valiosa tanto para el aprendizaje como para la diversión. (González-Martín, 2022)

5. Motores

Un motor de juegos también conocido como *'Engine'* en inglés es un *software* que permite la creación de videojuegos. Las características exactas y el flujo de trabajo variarán de un sistema a otro. Algunos motores de juegos a nivel de industria han llegado a ser tan potentes y flexibles que cualquier tipo de juego puede ser desarrollado en ellos. Otros son mantenidos con un propósito más

simple y con un alcance más limitado, ya sea en su grupo de usuarios objetivo o en las mecánicas de juego posibles. Algunos ni siquiera requieren conocimientos previos de programación, lo que permite a los principiantes comenzar a crear prototipos rápidamente a partir de una idea. (Andrade, 2015)

Unreal Engine es un motor de desarrollo de videojuegos y simulaciones de alto rendimiento. Es conocido por su capacidad de crear gráficos fotorrealistas y efectos visuales que se acercan a la realidad. Por ello, es reconocido por su capacidad de renderizar escenas de manera realista, lo que lo convierte en una opción para la creación de juegos, películas y otros proyectos visuales. Este motor es de uso gratuito para la creación de contenido lineal, proyectos personalizados y proyectos internos. Para el desarrollo de videojuegos, se aplica una regalía del 5% cuando el juego haya generado más de un millón de dólares. (Andrade, 2015)

6. Blender

Blender es un *software* de diseño para modelar objetos en 3D gratuito y de código abierto. Este incluye diversas herramientas para la elaboración y diseño de modelos, *rigging* (animación de esqueleto), animación, simulación, renderizado, composición y seguimiento de movimiento, incluso edición de vídeo y creación de juegos. También provee la posibilidad de interactuar por medio de archivos de código en python, para crear nuevas herramientas y la posibilidad de ser añadidas en futuras versiones de blender.

Este *software* se utilizó para replicar los diseños de las máquinas de soldadura, movimiento de piezas y el carro de transporte de piezas. En las líneas de ensamblaje las máquinas realizan diversos movimientos para mover sus brazos e interactuar con el medio que los rodea. Con este *software* se hizo posible programar los movimientos de las máquinas para que puedan movilizar piezas y otras acciones sin afectar el medio que las rodea. (Foundation, 2023b)

a. Armadura

Las armaduras en Blender son simulaciones de esqueletos del mundo real y pueden estar compuestas por varios huesos. Estos huesos pueden moverse, y al vincular un objeto a ellos, se moverán y deforman de manera conjunta. Las armaduras se utilizan como soporte para simular movimientos de cuerpos humanos, inhumanos o máquinas. (Foundation, 2023a)

b. Cinemática Inversa

Para entender el concepto de cinemática inversa se debe tener claro que la cinemática de un robot estudia su movimiento con respecto a ciertas coordenadas. Esto quiere decir que la cinemática describe el movimiento espacial del robot a través de la posición y la orientación final del robot con los valores que toman sus articulaciones. La cinemática directa consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot en base a coordenadas conocidas que toman las articulaciones. La cinemática inversa hace lo contrario, calcula los valores de las coordenadas de las articulaciones en base a la posición y la orientación del extremo final. (Barrientos A., 1997)

La cinemática inversa es un módulo en blender que logra calcular automáticamente las posiciones de los huesos intermedios. Esto permite mover el último hueso de una armadura a la posición deseada y luego el módulo se encarga de realizar los cálculos de coordenadas. Existen controles que permiten restringir el movimiento de los huesos, limitar su estiramiento, rotación y agregar rigidez. (Foundation, 2023c)

7. Unity

Unity es un motor de desarrollo de videojuegos y una plataforma de creación de contenido interactivo. Permite la creación de videojuegos para múltiples plataformas, desde consolas y *PC* hasta dispositivos móviles y realidad virtual. Por su capacidad de crear aplicaciones en realidad virtual se decidió utilizar este motor para la creación de una planta de ensamblaje de automóviles. Además, de permitir la implementación de lógica personalizada en proyectos, este motor es de acceso gratuito bajo una licencia de *Unity Personal* o *Unity Student*. *Unity Personal* es para personas y pequeñas organizaciones con ingresos menores a 100,000.00 dólares, no tienen acceso a *Unity Ads* o *Unity Analytics*. *Unity Student* permite usar todas las funciones de *Unity Pro* pero se debe pertenecer a una institución educativa acreditada. (Andrade, 2015)

a. Cuerpos rígidos

Un cuerpo rígido es un concepto que se refiere a un objeto que mantiene su forma y tamaño constantes, sin deformaciones y que puede ser afectado por fuerzas. Cuando hablamos de un cuerpo rígido (*rigidbody*) en Unity, nos referimos a un componente que permite que un objeto sea afectado por las leyes de la física. Esto implica que el objeto puede ser sometido a fuerzas, como la gravedad, y responderá de acuerdo con las reglas de la física, como caer hacia abajo debido a la influencia gravitatoria. En Unity, la gravedad se modela para que los objetos virtuales se comporten de manera similar a cómo lo harían en el mundo real. Además, existe un parámetro llamado *IsKinematic* que cuando este parámetro se activa, las colisiones con otros objetos son detectadas, pero las físicas, incluida la influencia de la gravedad, no afectan al objeto. (Technologies, 2021c) (Brown, 2023)

b. Colisionadores

Un colisionador (*Collider*) es un componente que define los límites físicos o geométricos de un objeto, con el propósito de detectar interacciones físicas. Los *colliders* existentes en Unity tienen forma de cápsula, esfera y caja, en este módulo se utilizó el *collider* de caja debido a que la mayoría de objetos que deben interactuar entre sí cumplen con esta forma. Los *colliders* pueden ser configurados como *trigger*, esto con el fin de no ser afectado por alguna fuerza externa, solo para detectar cuando un *collider* entra al espacio de otro. Los *colliders* fueron implementados ya que con ellos se detectan los *'rigidbodies'* sin estos solo se atravesarán el uno al otro sin detectar la colisión. (Technologies, 2021a)

c. Controlador de animaciones

Las animaciones son una secuencia de imágenes en movimiento que representan una simulación de movimiento, cambio o transformación de objetos en 3D. El controlador de animaciones (*Animator Controller*) es un componente que puede administrar múltiples animaciones, maneja los estados y transiciones entre ellas. Este requiere de un componente llamado *Animator*, el cual se encarga de administrar al controlador. Además, puede ser configurado con un parámetro llamado *'ApplyRoot-Motion'*, este permite al objeto actualizar su posición en relación a la animación. (Technologies, 2021d)

d. Prefabricados

Cuando existen muchos objetos idénticos se utilizan objetos prefabricados (*prefab*). Esto permite crear y configurar un objeto entero, con todos sus componentes, valores de propiedades e incluso objetos que tengan una relación de herencia. La herencia consiste en que un objeto toma las propiedades de otro, como una relación padre-hijo. Al realizar algún cambio en algún *prefab* se actualiza a todas sus copias, optimizando así cambios amplios sin tener la necesidad de hacer el cambio repetidamente en cada copia. Existe la posibilidad de crear *prefabs* dentro de *prefabs* y relacionarlos entre sí, lo cual será usado bastante en el proyecto. (Technologies, 2021b)

B. Metodología

El equipo se conformó de siete estudiantes de ingeniería, dos pertenecen a la facultad de ingeniería industrial y cinco a ingeniería en ciencias de la computación y tecnologías de la información. Los alumnos de ingeniería industrial se enfocaron en el diseño de la línea de ensamblaje, así como también en seleccionar las máquinas a utilizar, las estaciones, piezas del automóvil para ensamblarlo y los tiempos para cada proceso. Mientras los alumnos de ingeniería en ciencias de la computación, se enfocaron en la parte técnica del desarrollo de la simulación a partir de los recursos proveídos por los estudiantes de ingeniería industrial.

Tabla 137

Módulos para la creación de la línea de ensamblaje con sus responsables

Módulos	Responsables
Diseño de nivel y apoyo teórico de conceptos industriales	Luis Diego Romero Casasola, Luis Carlos Rosenberg Ligorria
Implementación del nivel	Diego Alberto Álvarez Molina, Laura María Leví Tamath Pérez
Diseño, modelaje y animación de maquinaria	Diego Alberto Álvarez Molina
Diseño, modelaje y animación de operarios	Laura María Leví Tamath Pérez
Diseño y modelaje de props de fábrica	Laura María Leví Tamath Pérez
Programación de asimetría	Martin Amado Girón
Programación de <i>Character Controller</i>	Alejandra Gudiel García
Programación de <i>Gameplay</i>	Alejandra Gudiel García, Martín Eduardo España Rivera

Nota. Distribución de los módulos del proyecto para la creación de la línea de ensamblaje con el responsable de dicho módulo

Para comenzar el desarrollo de la simulación, los alumnos de ingeniería industrial seleccionaron las máquinas a diseñar según criterios de optimización, junto con los requisitos generales. Se crearon estaciones de trabajo como lo son corte de piezas, procesos de soldadura, ensamblaje de puertas, montaje de parachoques y capó, pintura y colocación de llantas. Estas estaciones fueron establecidas por los estudiantes de ingeniería industrial bajo criterios de coste y optimización en el ensamblaje del automóvil.

Tabla 138

Estaciones en la línea de ensamblaje

Estación	Descripción
Corte de piezas	Tiene como objetivo crear las piezas del automóvil y colocarlas en los carros de transporte de piezas
Soldadura	Simula la union del chasis con el techo del autmóvil y los marcos de las puertas
Puertas	Ensambla las puertas con sus vidrios dentro del automóvil
Parachoques	Ensambla el parachoques delantero, el baúll y el capo con su vidrio frontal
Pintura	Se encarga de pintar el automóvil
Llantas	Ensambla las llantas en la posición correspondiente

Nota. Descripción de las estaciones dentro de la línea de ensamblaje

Las máquinas a diseñar son de dos tipos: una para soldar y otra para la colocación de piezas. Las máquinas de soldadura se utilizaron para simular la unión de las piezas, mientras que las máquinas de mover piezas se utilizaron para colocar las piezas en sus ubicaciones correspondientes en el automóvil. Además, se diseñó un carro de transporte de piezas para dar inicio a la simulación. Una vez que estos carros se encontraban al lado de las máquinas de colocación de piezas, la simulación inicia.

Figura 69

Máquina de soldadura.



Nota. Máquina de soldadura Crobotp 1700mm MIG.

Figura 70

Máquina de colocación de piezas.



Nota. Máquina de colocación de piezas, KR 1000 titan (KUKA, 2023).

Figura 71

Carro de transporte de piezas.



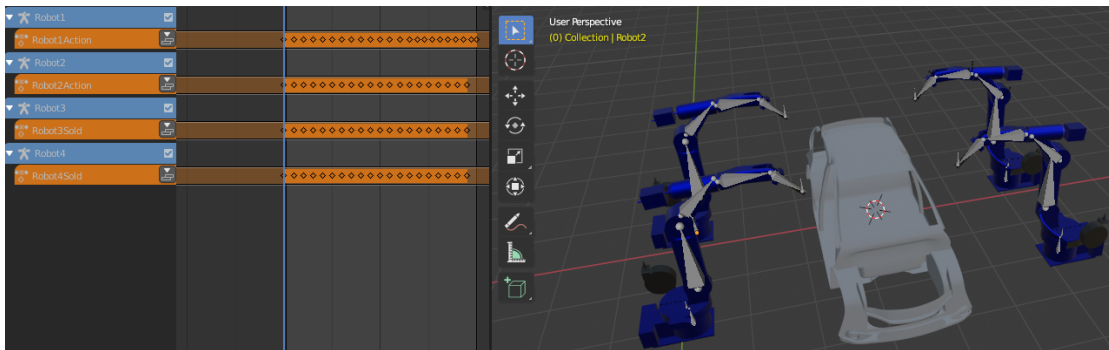
Carro de transporte de piezas, MiR250 (Robots, 2023).

1. Diseño en blender

Como primer paso para la elaboración de la simulación de ensamblaje se diseñaron las máquinas a utilizar en blender. Luego de crear un diseño sencillo a partir de las máquinas originales, se procedió a crear la armadura de estas máquinas, agregando un hueso por cada brazo y/o base hasta el último de la máquina. Posterior a esto se agregó un hueso extra el cual sirvió como guía en el movimiento de la máquina con el módulo de *inverse kinematics*. Con las armaduras creadas se procedió a la elaboración de las animaciones, para crear múltiples animaciones de la misma máquina se crearon más versiones de esta misma, así cada máquina tiene su propia animación con diferentes movimientos.

Figura 72

Robots con su propia animación.

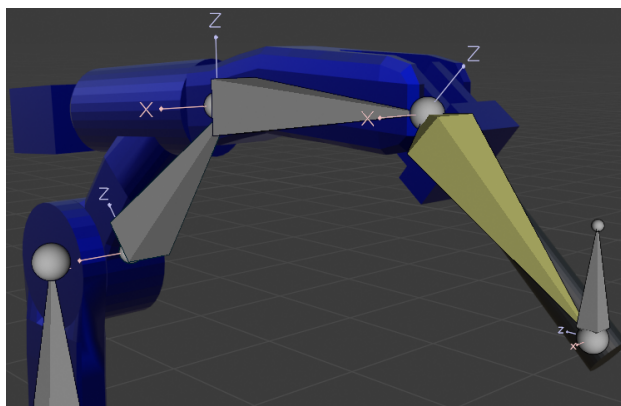


Nota. Robots duplicados a partir del original con su propia animación.

Para cumplir el objetivo de representar los movimientos originales de las máquinas se hace uso del módulo de *inverse kinematics*. Este módulo permite bloquear movimientos en los ejes x, y, z se bloquearon como mínimo 2 ejes dependiendo del brazo de la máquina. Adicional a esto, se puede limitar el ángulo al cual puede girar la máquina, dependiendo del brazo de la máquina se utilizaron diferentes límites de ángulos.

Figura 73

Ejes de movimiento en brazos de máquinas.



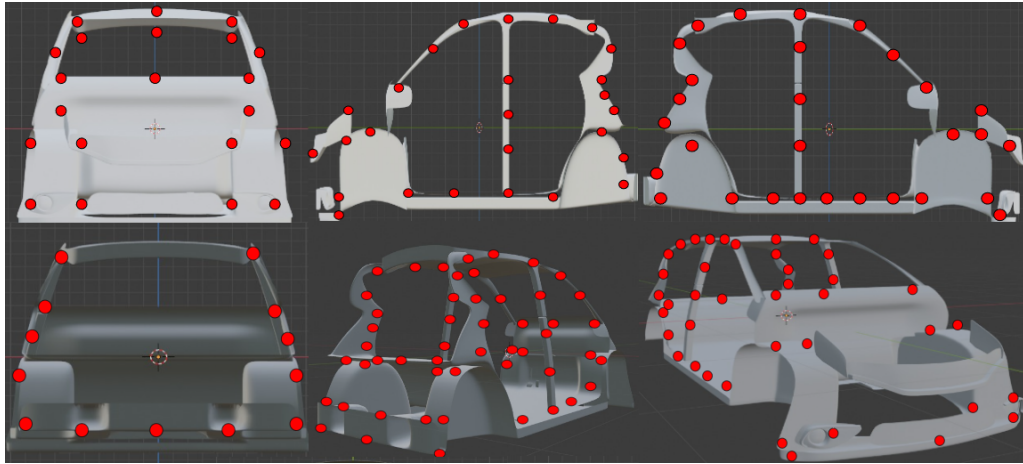
Nota. Ejemplo de ejes en los que los brazos de la máquina pueden moverse.

a. Máquina de soldadura

Para esta máquina se necesitó de los puntos en los que se desea soldar el carro. Estas imágenes ilustran los puntos donde debe hacerse una soldadura, de esta forma la máquina se mueve hacia cada punto y simula la soldadura. Cabe mencionar que no ocurrirá ninguna especie de unión de objetos y los límites de cada pivote se trabajaron bajo el cuidado que no pudiera atravesarse a sí misma.

Figura 74

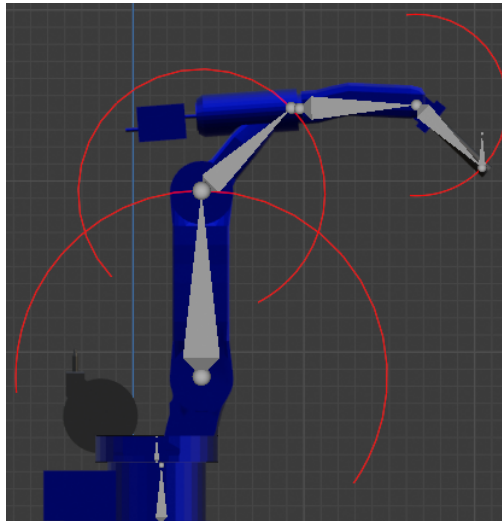
Representación de zonas de soldadura.



Nota. Puntos donde la máquina de soldadura simula una unión.

Figura 75

Límites de máquina de soldadura.



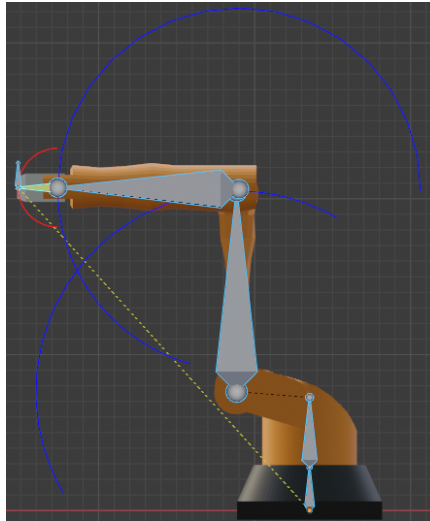
Nota. Límites de la máquina de soldadura, esqueleto y diseño final.

b. Máquinas de movimiento de piezas

Para las máquinas de movimiento de piezas se utilizó a modo de referencia el modelo del automóvil, de los carros de transporte de piezas y las piezas. De esta forma en el momento en que se realizó la animación se tomaron en cuenta las medidas y volúmenes de estos objetos para una correcta simulación del movimiento. El automóvil y el carro de transporte fueron colocados dentro de los límites establecidos para esta máquina y así ensamblar la pieza dentro del automóvil.

Figura 76

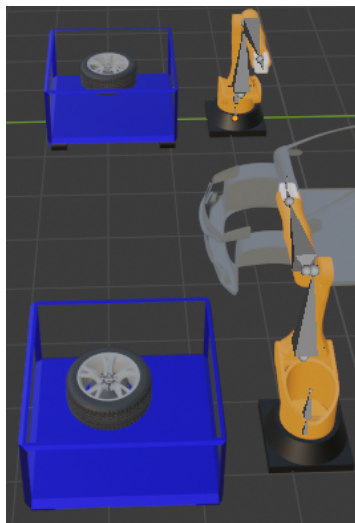
Límites de máquina de movimiento.



Nota. Límites de la máquina de movimiento, esqueleto y diseño final.

Figura 77

Módelos integrados.



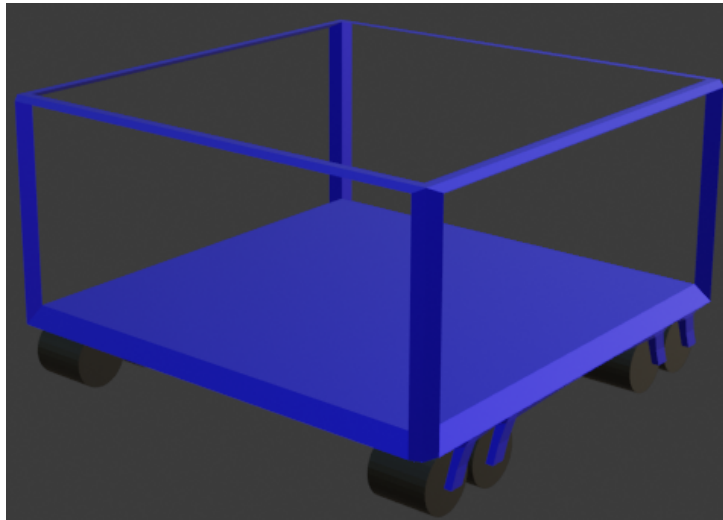
Nota. Representación de pieza, carro de transporte y automóvil cerca de la máquina de movimiento.

c. Carros de transporte de piezas

Estos carros se utilizaron para el traslado de las piezas del automóvil, se colocan en el rango posible de las máquinas de movimiento. Para conseguir que estas máquinas lleguen a su destino se emplea un sistema de puntos a los que deberá moverse. Para las medidas de este carro de transporte se utilizó como referencia el tamaño de las piezas para que este pudiera contenerlas sin problemas.

Figura 78

Carro transporte de piezas.



Nota. Diseño final de carro de transporte de piezas.

d. Creación de animaciones

Las animaciones fueron creadas una por una, tanto para las máquinas de soldadura como para las de movimiento de piezas. Cada armadura tiene un último hueso el cual sirve de referencia hacia el punto que necesitamos que se mueva la máquina. Antes de iniciar con el movimiento se necesita establecer el punto inicial, por lo que se marca esta posición en el tiempo cero, al finalizar el movimiento regresamos la máquina a este punto inicial y se vuelve a marcar. Para la máquina de colocación de piezas, se necesitó de más atención al momento de tomar y colocar la pieza, la punta de la máquina debe entrar perpendicularmente a la pieza y a su destino por un pequeño tiempo. De esta forma en Unity facilitó la toma de piezas, su posición dentro de los carros de transporte y de su colocación dentro del automóvil. Cabe aclarar que la animación es el conjunto de todos los movimientos simulados que realiza la máquina en la realidad.

e. Armadura

Para crear una armadura en Blender, se partió de una escena predeterminada. Utilizando el menú 'Add' ubicado en la esquina superior izquierda se puede acceder a la opción de 'Armature', que despliega opciones de armaduras predefinidas. En este módulo, se han replicado los diseños de las máquinas por lo que la opción 'Single Bone' ha sido utilizada ya que esta opción agrega un único objeto de tipo hueso en la posición del cursor.

La armadura de la máquina se creó a partir de huesos generados en el pivote de cada parte móvil de la máquina. Además, al unir un hueso con otro, se consideró la opción de mantener el desplazamiento 'keep offset' para evitar deformaciones y garantizar que la posición de los pivotes no

se vea afectada. Para animar los huesos, fue necesario utilizar el modo *'Pose'*, que permite ajustar la rotación, posición y escala de los huesos.

2. Integración con Unity

Los objetos y sus animaciones creados en Blender se exportaron a Unity, donde se les asignó diferentes tipos de objetos con el objetivo de crear la simulación.

a. Animaciones

Para una mejor experiencia de usuario se realizaron dos propuestas para la implementación de animaciones. A los robots de movimiento se les agregó en su brazo de agarre un objeto de tipo *'collider'* el cual detecta colisiones con otros objetos de su mismo tipo. Todas las piezas del automóvil también tienen este tipo de objeto, además ambos tienen un segundo objeto *'rigidbody'* este es fundamental para indicar que el objeto no será afectado por las colisiones por lo que es ideal para tomar las piezas.

La primera propuesta que se tuvo para la implementación fue llamada *'PickUpSetParent'*. Esta consistió de tener en el modelo del automóvil un *'collider'* por cada pieza a ensamblar. La segunda implementación fue llamada *'PickUpAndActivate'* también tienen un *'collider'* por pieza adicional las piezas están precargadas. En la primera propuesta el robot toma la pieza y la coloca en el lugar correspondiente del automóvil esta pieza se asigna al objeto del automóvil.

Figura 79

Implementación *'PickUpSetParent'*.



Nota. Resultado de la colocación de una puerta con la implementación *'PickUpSetParent'*.

Figura 80

Implementación '*PickUpAndActivate*'.



Nota. Resultado de la colocación de una puerta con la implementación '*PickUpAndActivate*'.

La implementación '*PickUpSetParent*' pierde mucho en la precisión al momento de colocar la pieza, ya que se asigna con la última posición que tuvo. La segunda implementación trata de que la pieza del automóvil entra en contacto con el '*collider*' dentro del automóvil esta se destruye sin antes activar la pieza precargada haciéndola visible. Logrando así ser imperceptibles en el cambio para el usuario. La segunda propuesta es más pesada debido a que se tendrán el doble de piezas en la animación, pudiendo tener problemas de fluidez.

Se realizó una retroalimentación de usuarios con el objetivo de seleccionar la animación que sea percibida más real en base a fluidez, precisión y si realiza un correcto ensamblaje de la pieza en el automóvil. La encuesta constó de once preguntas, donde se presentaron dos videos de las implementaciones cada uno seguido de tres preguntas sobre evaluar qué tan real, fluida y precisa fue en un rango de uno a diez, siendo diez muy buenas. Luego se hizo una comparativa del resultado final de la colocación de la puerta, se realizaron tres preguntas donde los encuestados debían elegir cuál les parecía más realista, fluida, precisa y que realiza un ensamblaje correcto. Por último, se dejó un espacio libre para comentarios adicionales.

La encuesta fue realizada por diecinueve alumnos de la Universidad Del Valle, quienes percibieron como más realista, fluida, precisa y que realiza un correcto ensamblaje de la pieza la implementación de '*PickUpAndActivate*' como se puede apreciar en las Figuras 97, 98, 99 y 100. Además, tres alumnos dejaron un comentario adicional los cuales fueron tomados en cuenta para mejorar la implementación de '*PickUpAndActivate*', se mencionó que percibían un *glitch* al momento de colocar la puerta. Por lo tanto, se procedió a realizar ajustes a la implementación para evitar este problema, la solución fue movilizar la máquina para que cuando colocará la pieza ésta coincidiera con la posición de la pieza precargada en el automóvil.

b. Máquinas de soldadura

Como estas máquinas de soldadura no interactúan de manera directa con el automóvil no se requirió desarrollar código para algún comportamiento especial. Esta máquina se creó como un prefab, con un componente Animator el cual recibe como parámetro un *AnimatorController* y un *script* para reproducir la animación o animaciones en el *AnimatorController*. Este script se llamó *SingleAnimController*, el cual se encarga de reproducir las animaciones en el *AnimatorController*,

todas las máquinas tendrán solo una animación así que solo se necesita hacer uso de la función *'SetTrigger'* del componente *Animator* para reproducir la animación. Además, este *script* actualiza el estado de la animación.

c. Máquinas de movimiento de piezas

Esta máquina se creó con los mismos componentes que la de soldadura, agregando un *script* y un *box collider* a la punta del robot. Para la implementación de *'PickUpAndActivate'* la primera parte consta del *script* *'PickUpActivate'* en la máquina de movimiento. Este *script* detecta la colisión con objetos con etiquetas *'PickupablePart'* y *'DestinationPart'*, con el primero asigna el objeto a la punta de la máquina para que pueda ser parte de la animación, mientras que con el otro destruye el objeto

d. Controlador de animaciones

Este objeto maneja las animaciones, cada animación es un estado y por lo tanto se implementó un *script* el cual actualiza el estatus de la animación. De esta forma se puede saber con exactitud cuando la animación finalizó, todo *AnimatorController* fue creado con este *script* para así cuando terminen las animaciones de cierta estación, pasar a la siguiente. Este componente necesitó que su parámetro *'ApplyRootMotion'* fuera activado debido a que sin este la animación trasladaría al modelo de la máquina a una posición no deseada, se requirió que la animación se moviera desde el punto donde se ubicó a la máquina.

e. Estaciones

Se requirió de un *prefab* para las diferentes estaciones de la línea de ensamblaje: soldadura, puertas, parachoques y capó, rotación, pintura y finalmente llantas. Este *prefab* tiene como objetivo establecer dónde se detiene el auto a través de dos *'box colliders'* al inicio y al final. Se crearon variantes de este *prefab* para cada estación donde las máquinas interactúan con el automóvil para poder reemplazarlas fácilmente con las estaciones manuales. Cada variante contiene un *script* *'BeginStation'* el cual puede recibir múltiples máquinas, esto con el objetivo de iniciar sus animaciones en el momento que el automóvil se haya detenido, a su vez está etiquetado como *'BeginStation'*.

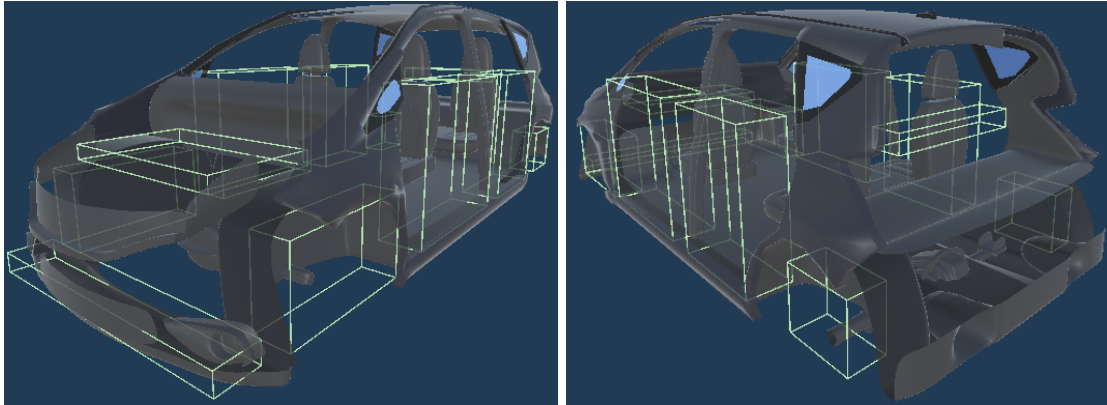
Este *script* también es el encargado de monitorear cuando las animaciones hayan terminado, una vez confirmado el estatus de la animación por el *'AnimatorController'* de cada máquina, el automóvil se vuelve a mover. Se agregó un parámetro opcional para identificar a la estación de pintura ya se requirió de lógica adicional, cuando el automóvil entra a la estación de pintura este se destruye sin antes haber instanciado una variante del automóvil con los materiales de las piezas del automóvil con otro color. De esta forma se ahorra tiempo de ejecución y se es más eficiente, ya que la otra opción es obtener todas las piezas y cambiar el material para cada una. Por último, la estación de rotación fue creada con el objetivo de rotar el carro, debido al diseño que tiene la línea de ensamblaje se requirió de esta variante para poder girar el carro en la dirección que se necesite, esta es etiquetada como *'BeginStationRotate'*.

f. Automóvil

El automóvil fue creado a manera de *prefab* ya que se estará creando constantemente varios automóviles, este tiene dos objetos que engloban a las partes del auto y objetos con el componente *'Box Collider'* respectivamente. Estos objetos tienen la etiqueta de *'DestinationPart'* además contiene un *script* el cual se encarga de activar el modelo asignado por ejemplo, el objeto de la puerta

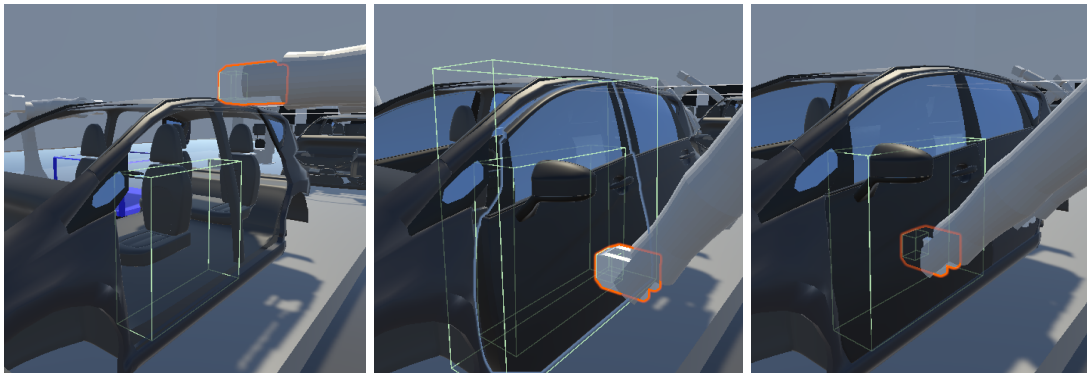
delantera tiene asignado ese mismo modelo y es activado justo cuando detecta una colisión con un objeto etiquetado como *'Holder'*. Tal y como el resultado de la encuesta fue que la implementación *'PickupAndActivate'* fue la más realista, se procedió a colocar los modelos en estado desactivado (no visibles).

Figura 81
Automóvil.



Nota. Prefab del automóvil con todos sus componentes *'Box Collider'*. *'PickUpAndActivate'*.

Figura 82
Colocación.



Nota. Secuencia de colocación de pieza donde un objeto etiquetado como *'Holder'* interactúa con un *'DestinationPart'*.

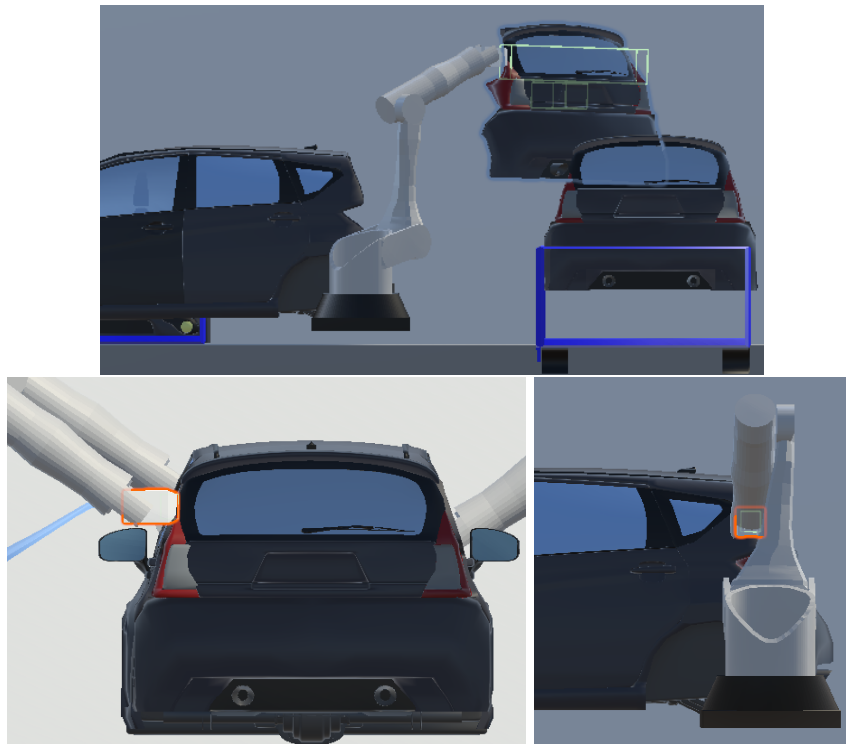
El prefab del automóvil se creó con los componentes *'Box Collider'* y *'RigidBody'* además del script *'CarManagment'*. Este script se encarga del movimiento del auto, recibe un parametro de velocidad y permite cambiar la dirección del mismo. Las estaciones tienen una etiqueta *'BeginStation'* gracias a esta etiqueta y a la función *'OnTriggerExit'* podemos detectar cuando el automóvil a terminado de pasar por el inicio de cualquier estación. Solo sí la estación fue marcada como de pintura el automovil no se detiene ya que hay animaciones que se deben ejecutar. Cuando este colisiona con una estación con la etiqueta *'BeginStationRotate'* se obtienen los nuevos datos de rotación y dirección del automóvil y se actualizan al propio.

g. Prefabs de piezas

Las piezas del automóvil fueron creadas como *prefab*, sin embargo existe una diferencia entre las piezas debido a que ciertas animaciones colocan la pieza por un costado. Esto se debe porque las máquinas están a un costado de la línea de ensamblaje por ejemplo, para poder colocar el baúl se tendría que colocar la máquina detrás del automóvil y colocar la pieza. Sin embargo, la máquina en esa posición interrumpirá la línea de ensamblaje lo cual no es el comportamiento que se busca, por lo tanto la máquina debe tomar la pieza por un costado y ensamblar por ese mismo lado en el automóvil.

Figura 83

Secuencia realizada por la máquina de movimiento de piezas al colocar el baúl.



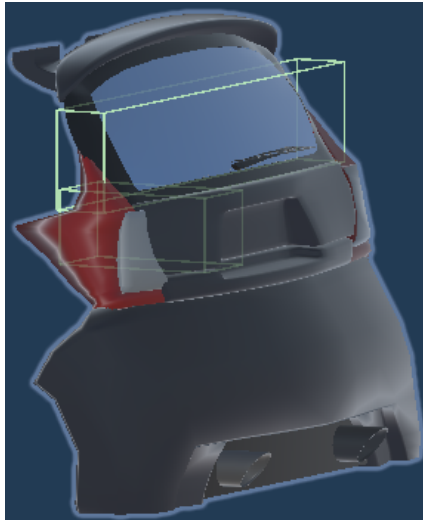
Nota. Secuencia de colocación baúl.

Las llantas y puertas fueron creadas con los componentes de *'RigidBody'* y *'Box Collider'* además de agregarles la etiqueta de *'PickupablePart'* para que la máquina la reconozca y pueda colocarla. Las piezas del parachoques delantero, el baúl y el capó tienen las características anteriores además de un segundo *'Box Collider'* con la etiqueta de *'Holder'* esto se debe a que el tipo de animación no permite que la pieza sea extraída del carro de transporte correctamente y que la punta de la máquina tienda a percibir una colisión antes de que la pieza esté en posición. Por lo tanto, el automóvil tiene sus propios *colliders* en otras posiciones para lograr una correcta simulación de ensamblaje.

En la figura de abajo se puede apreciar con mayor detalle lo referido anteriormente, el cubo resaltado en verde y más arriba es el *'Box Collider'* con el que interactúa la máquina para moverla. El segundo cubo resaltado en verde y casi a la mitad del objeto es el que se encarga de ensamblar correctamente la pieza. Este último también tiene un script llamado *'DestroyOnCollision'* con el objetivo de destruirse a sí mismo ante la colisión con una pieza etiquetada con *'Destination Part'*. Esto se trabajó de esta manera debido a que la punta de la máquina también tiene la etiqueta *'Holder'* y como cada *'Box Collider'* en el carro tiene el script de *'SetActiveOwnModel'* se puede seguir con la misma idea de activar pieza y destruir la de la máquina pero extendida.

Figura 84

Prefab de dos componentes *'Box Collider'*.



Nota. *Prefab* del maletero con sus dos componentes *'Box Collider'*.

h. Movimiento carros de transporte

Los carros de transporte se encargan de recibir una pieza a ensamblar en el automóvil, dirigirse hacia la posición que fue asignada y crear otra pieza cada vez que la anterior haya sido tomada por la máquina de colocación de piezas. Este objeto fue creado como un *prefab*, ya que fueron necesarios once carros iguales para transportar las piezas y por si en una siguiente iteración se requieran más carros. Este objeto se compuso de dos scripts, *'CarPartsController'* que se encarga de dirigir al carro hacia su posición y *'RespawnPart'* el cual crea la pieza que será colocada en el automóvil. Además, tiene un *'Box Collider'* para detectar cuando una pieza entra al carro y así comenzar a dirigirse a su posición.

El script *'CarPartsController'* recibe como parámetros los puntos a los que se debe dirigir para llegar a la posición requerida. Además, recibe el *prefab* de la pieza que tendrá que crear cada vez que la máquina tome una pieza y la posición en la cual debe ser creada. Cada vez que el carro llega a su posición se asignan los valores (x,z) de este punto para evitar problemas con decimales, ya que la posición en la que llega no siempre es idónea para los cálculos que se toman para cambiar su dirección. Los cálculos toman la posición (x,z) del carro y lo comparan con el siguiente punto, si uno es diferente se asigna el nuevo valor, luego se vuelve a comparar con el objetivo de determinar la dirección a la que debe dirigirse.

i. Manejador de línea de ensamblaje

Este objeto tiene un script de tipo *'ProductionLineController'* éste se encarga de iniciar la simulación. Este recibe todos los carros de transporte de la simulación, el *prefab* del automóvil a ensamblar con la posición en la que se debe instanciar y la primera estación. La estación inicial tiene el script *'BeginStation'* el cual tiene un parámetro que indica si las animaciones de la estación han terminado, si es verdadero se creará otro automóvil. De esta manera se instancian automóviles constantemente sin interrumpirse el uno con el otro. Para dar inicio a la simulación y crear el automóvil todos los carros de transporte deben haber llegado a su posición final, por lo que se verifica si cada carro ya ha llegado a su último destino tomando el parámetro *'isInLastDestination'* del script *'CarPartsController'* asignado a cada carro.

C. Resultados

1. Máquinas modeladas

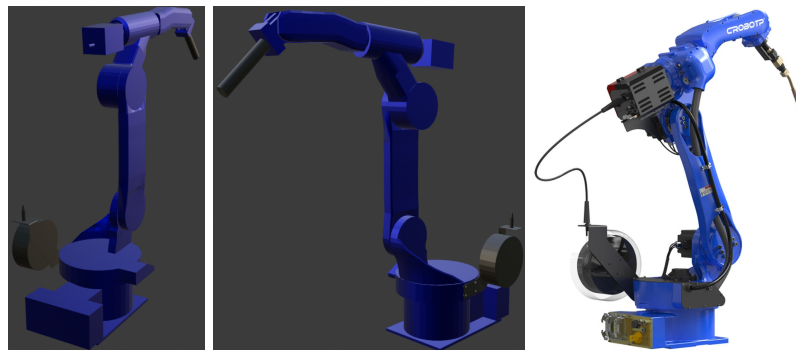
Los modelos finales de las máquinas de soldadura, colocación de piezas y transporte de piezas se presentan con su referencia de la vida real a continuación. Hicieron falta componentes en las máquinas como cables en ambas y en la de colocación de piezas se realizó un cambio en la punta debido a que al momento de colocar la armadura esta no se acopló a los movimientos que debe realizar, por lo que se optó por un diseño más sencillo. Este cambio benefició la creación de las animaciones para la colocación de piezas al presentar menos brazos con pivotes.

Máquina de soldadura

Diseño final de la máquina de soldadura por ambos perfiles, comparado con la máquina original.

Figura 85

Máquina de soldadura.



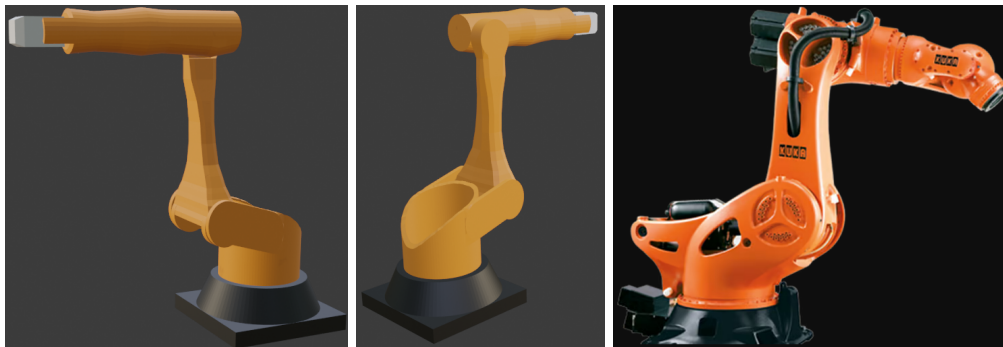
Nota. Diseño final máquina de soldadura.

Máquina de colocación de piezas

Diseño final de la máquina de movimiento de piezas por ambos perfiles, comparado con la máquina original.

Figura 86

Máquina de movimiento de piezas.



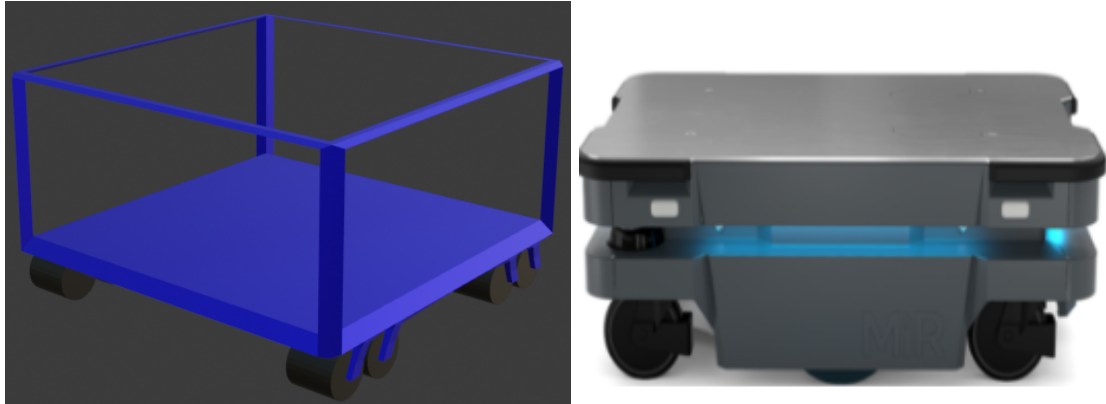
Nota. Diseño final máquina de movimiento de piezas.

Carro de transporte de piezas

El carro de transporte de piezas fue cambiado en su totalidad debido a qué se prefirió que tuviera barandas en los costados por si en un futuro podrán ser objetos con los que se puede interactuar.

Figura 87

Carro de transporte.



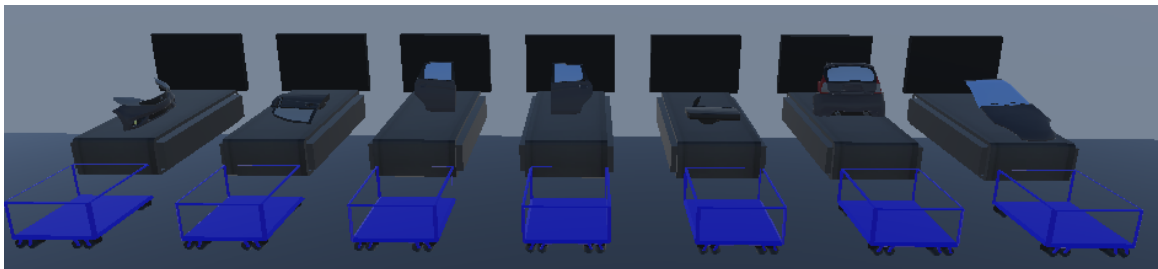
Nota. Diseño final de carro de transporte de piezas.

2. Línea de ensamblaje implementada

La línea de ensamblaje presenta las estaciones de corte de piezas, soldadura, ensamblaje de puertas, ensamblaje de parachoques, bahúl y capó, pintura y colocación de llantas.

Figura 88

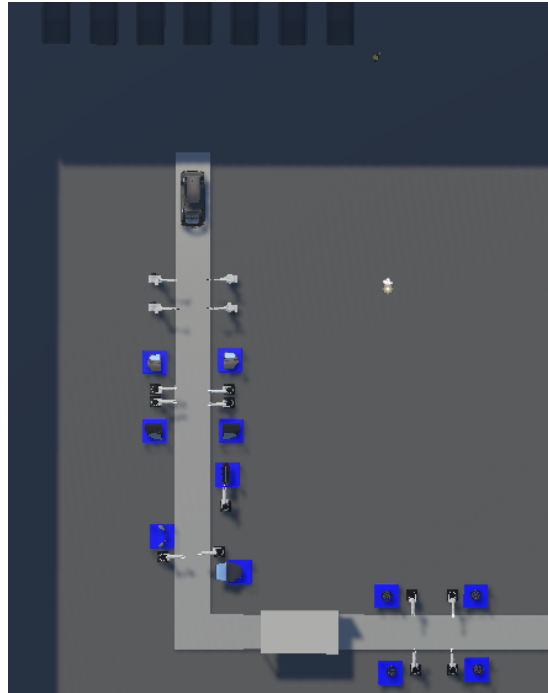
Estación corte de piezas.



Nota. Esta estación tiene siete bandas transportadoras correspondiente a cada pieza del automóvil.

Figura 89

Línea de ensamblaje.



Nota. Inicio línea de ensamblaje.

Figura 90

Línea de ensamblaje en acción.



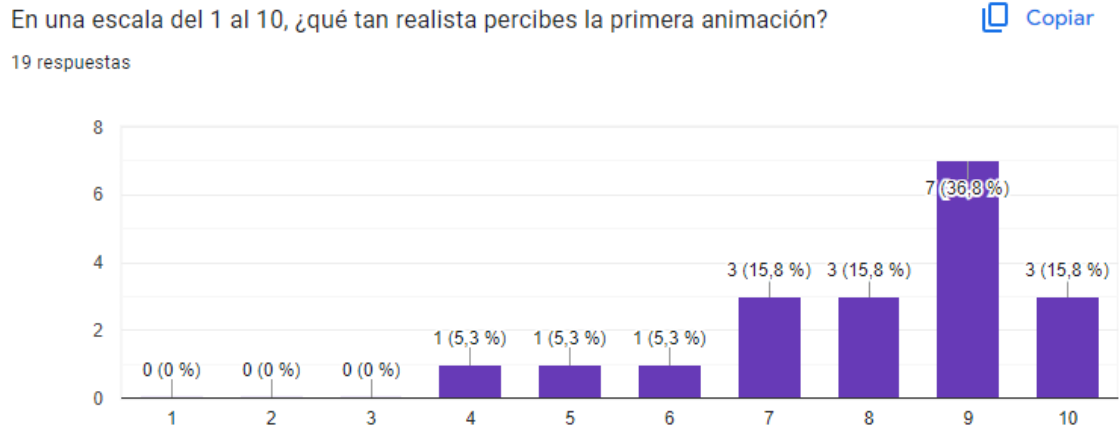
Nota. Momentos durante línea de ensamblaje.

3. Optimización de la implementación de animaciones

Se realizó una encuesta a diecinueve estudiantes de la Universidad del Valle donde se pedía que se indicase que animación resultaba ser más real con base en fluidez, precisión y si realiza un correcto ensamblaje de la pieza en el automóvil. A través de videos e imágenes, los estudiantes eligieron cual animación cumplía con los requisitos. Los resultados fueron:

Figura 91

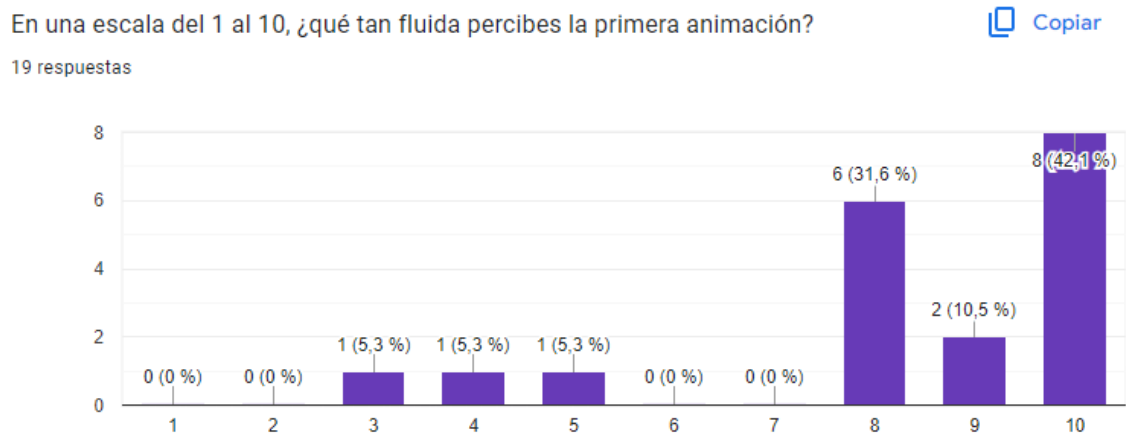
Percepción de realismo en la primera animación.



Nota. En una escala del 1 al 10 la percepción del realismo según los usuarios.

Figura 92

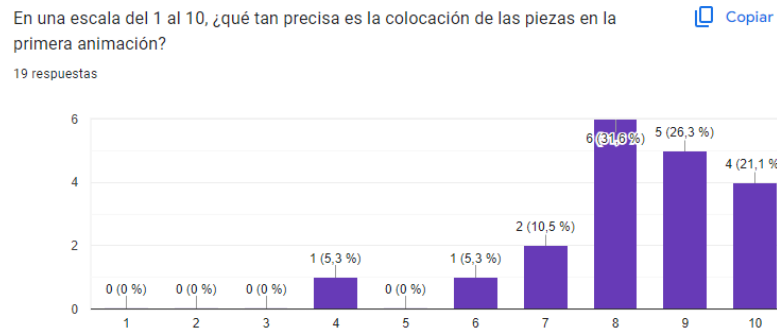
Percepción de fluidez en la primera animación.



Nota. En una escala del 1 al 10 la percepción de la fluidez según los usuarios.

Figura 93

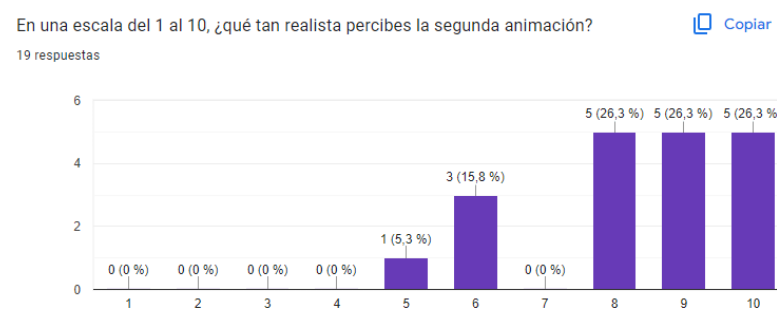
Precisión en la colocación de piezas en la primera animación.



Nota. En una escala del 1 al 10 la precisión según los usuarios.

Figura 94

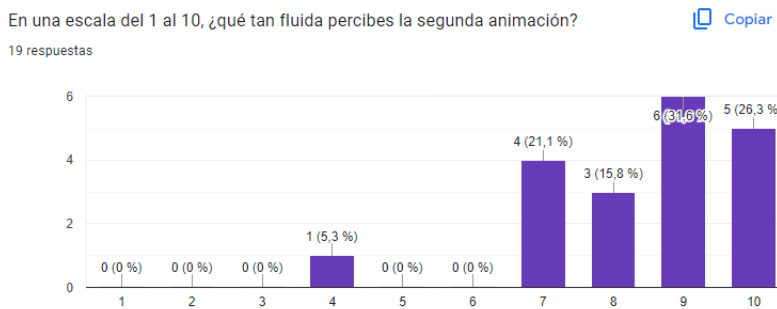
Percepción de realismo en la segunda animación.



Nota. En una escala del 1 al 10 la percepción de realismo según los usuarios.

Figura 95

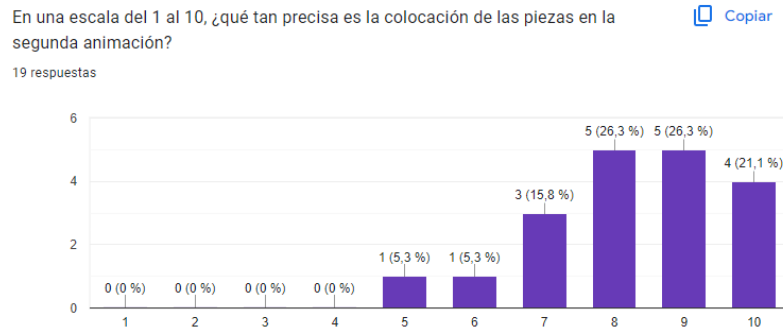
Percepción de fluidez en la segunda animación.



Nota. En una escala del 1 al 10 la percepción de la fluidez según los usuarios.

Figura 96

Precisión en la colocación de piezas en la segunda animación.



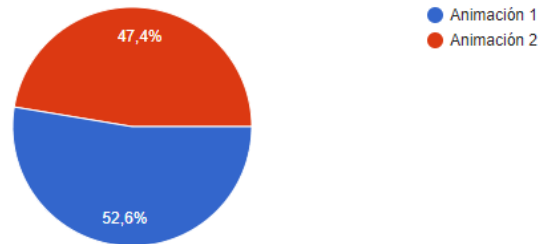
Nota. En una escala del 1 al 10 la precisión según los usuarios.

Figura 97

Resultado animación más realista.

En tu opinión, ¿cuál de las dos animaciones parece ser más realista en general?

19 respuestas



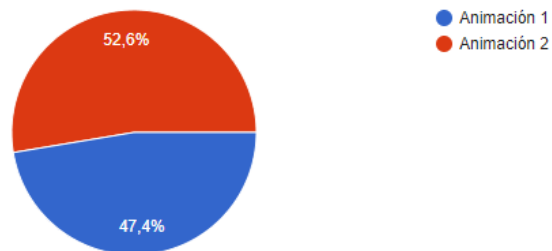
Nota. Según la opinión de los usuarios esta fue la animación más realista en general.

Figura 98

Resultado animación más fluida.

En tu opinión, ¿cuál de las dos animaciones parece ser más fluida en general?

19 respuestas



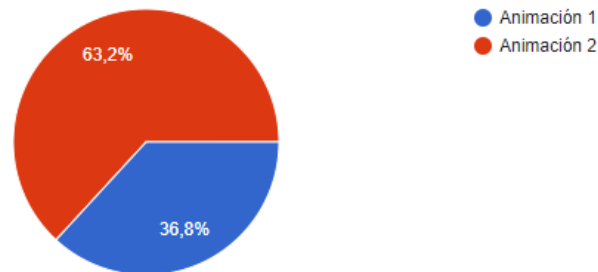
Nota. Según la opinión de los usuarios esta fue la animación más fluida en general.

Figura 99

Resultado animación más precisa.

En tu opinión, ¿cuál de las dos animaciones parece tener una colocación de piezas más precisa en general?

19 respuestas



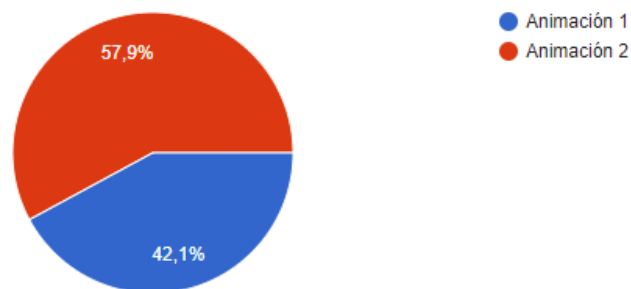
Nota. Según la opinión de los usuarios esta fue la animación más precisa al colocar piezas en general.

Figura 100

Resultado animación que mejor ensambla el carro.

En tu opinión, ¿cuál de las dos animaciones parece ensamblar mejor el carro?

19 respuestas



Nota. Según la opinión de los usuarios esta fue la animación que mejor ensambla el carro.

Se observa cómo la implementación de la segunda animación fue mejor en los tres aspectos y en una correcta colocación de piezas. Cabe mencionar tres opiniones las cuales fueron tomadas en cuenta para optimizar la implementación. La primera opinión menciona que no sabe cuál es la idónea debido a una línea que no se ve en la figura 2, esta línea se muestra debido a que la pieza no se colocó correctamente, no deben existir espacios vacíos. La segunda y tercera opinión mencionan un extraño comportamiento al colocar la puerta. Gracias a estas opiniones se mejoró la colocación de la pieza eliminando el comportamiento que mencionaron.

Figura 101

Comentarios adicionales.

¿Tienes algún comentario adicional sobre las animaciones que desees compartir?

3 respuestas

Se mira más fluida la animación 1, solo que en la imagen donde se compara ambas, en la 1 se observa una línea que en la imagen 2 no tiene, entonces no sé cuál es la idónea

Únicamente que en la segunda animación hay un momento en el que parece que se trava la puerta antes de ser colocada

Quizás lo único que me hizo dudar un poco en el ámbito realista en cuanto a la animación 2 fue el glitch, de lo contrario todo bien.

Nota. Comentarios adicionales sobre las animaciones.

4. Retroalimentación realizada por docente

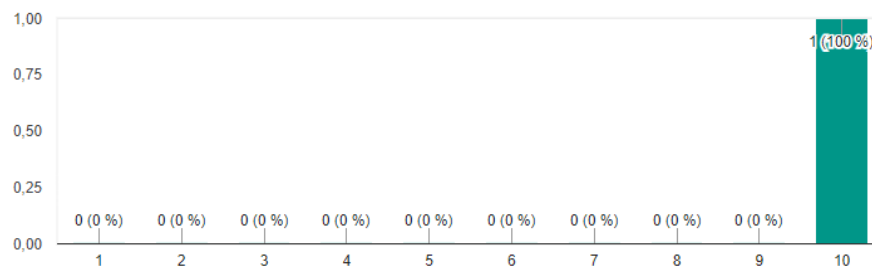
Se llevó a cabo una encuesta a un profesor de la Facultad de Ingeniería Industrial, abordando temas relacionados con los movimientos y el diseño de las máquinas. Como conclusión, se determinó que las animaciones logran representar de manera precisa los movimientos de las máquinas, teniendo en cuenta sus limitaciones físicas. Además, se observó que el diseño desarrollado guarda similitud con la realidad. Por otro lado, se hizo la recomendación de mejorar el proceso de activación.

Figura 102

Resultado de semejanza entre modelo original y el diseñado del robot soldadura.

En base al modelo creado a la derecha ¿qué tanto se asemeja al original de la izquierda en una escala de 1-10?

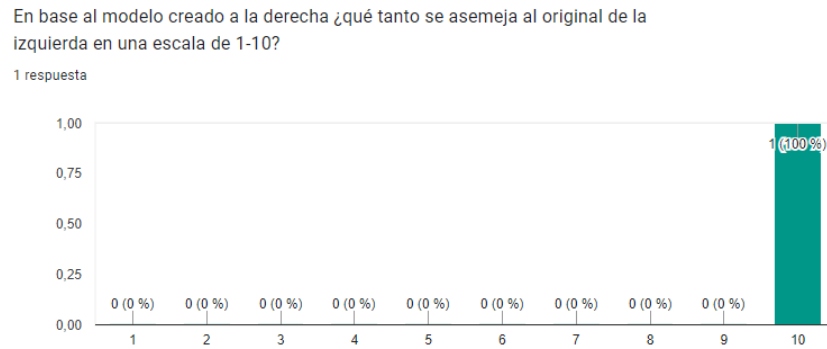
1 respuesta



Nota. En base al modelo creado a la derecha ¿qué tanto se asemeja al original de la izquierda en una escala de 1-10?.

Figura 103

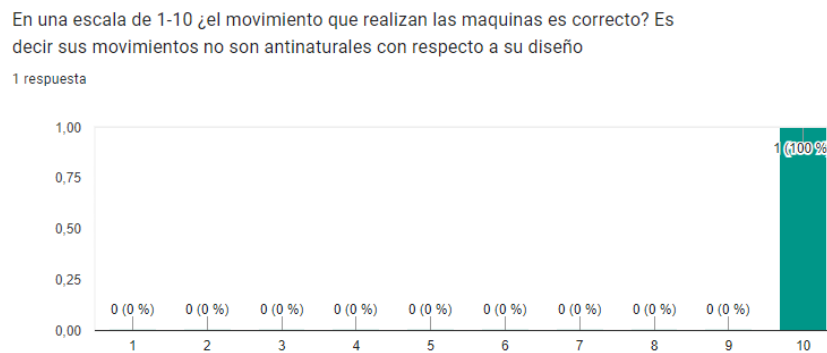
Resultado de semejanza entre modelo original y el diseñado del robot de movimiento.



Nota. En base al modelo creado a la derecha ¿qué tanto se asemeja al original de la izquierda en una escala de 1-10?.

Figura 104

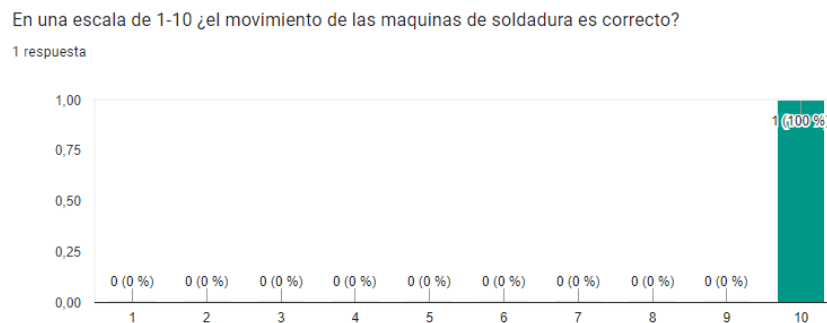
Calificación de la precisión en los movimientos de todas las máquinas.



Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento que realizan las maquinas es correcto? Es decir sus movimientos no son antinaturales con respecto a su diseño.

Figura 105

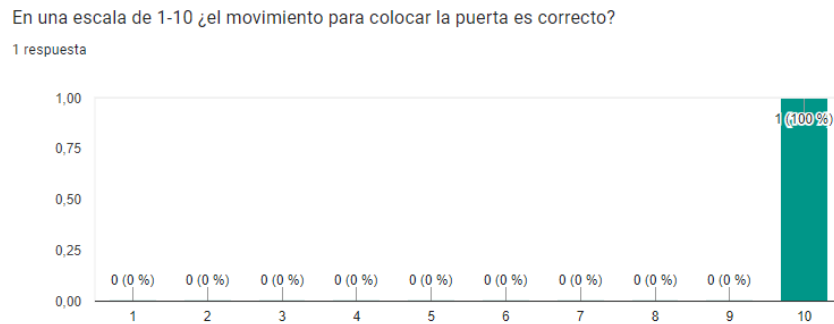
Calificación de la precisión en los movimientos de las máquinas de soldadura.



Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento de las maquinas de soldadura es correcto?.

Figura 106

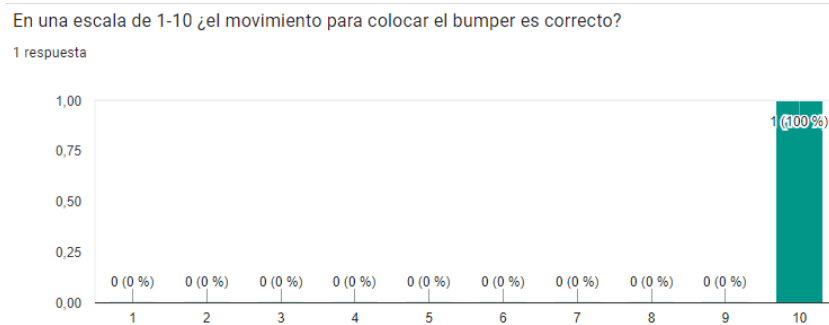
Calificación de la precisión en los movimientos para colocar las puertas en el automóvil.



Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar la puerta es correcto?.

Figura 107

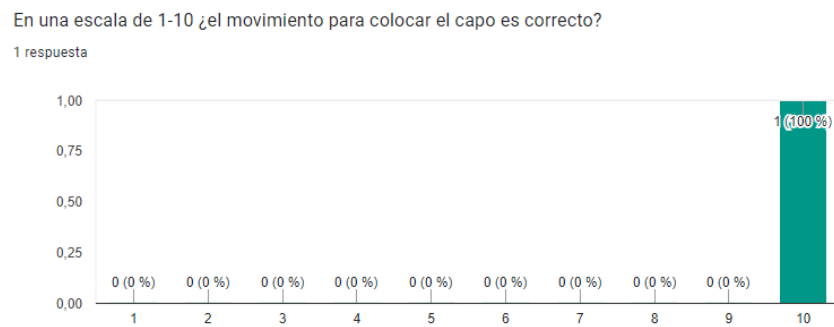
Calificación de la precisión en los movimientos para colocar el bumper en el automóvil.



Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar el bumper es correcto?.

Figura 108

Calificación de la precisión en los movimientos para colocar el capo en el automóvil.



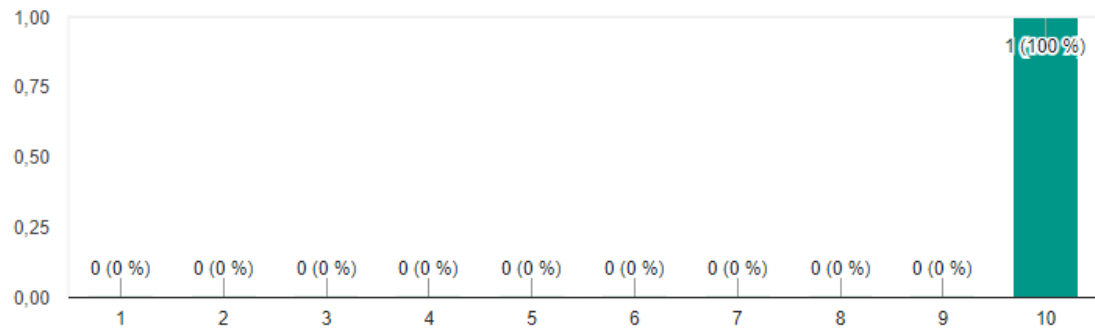
Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar el capo es correcto?.

Figura 109

Calificación de la precisión en los movimientos para colocar el maletero en el automóvil.

En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar el maletero es correcto?

1 respuesta



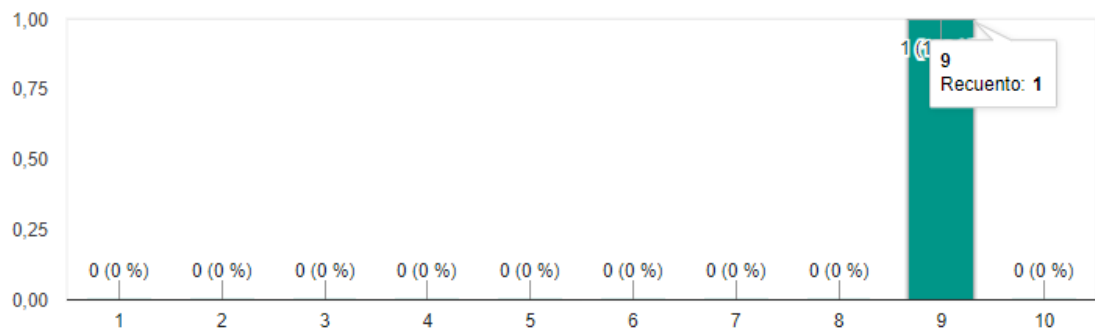
Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar el maletero es correcto?.

Figura 110

Calificación de la precisión en los movimientos para colocar las llantas en el automóvil.

En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar las llantas es correcto?

1 respuesta



Nota. En una escala de 1-10 ¿el movimiento para colocar las llantas es correcto?.

En resumen, aunque se reconoce que las animaciones son de alta calidad, se señaló la necesidad de mejorar su activación para optimizar su rendimiento. Este aspecto, aunque no resta mérito a la calidad general, podría ser clave para ofrecer una experiencia aún más fluida y satisfactoria para el usuario. Con el ajuste adecuado en este aspecto, las animaciones podrían alcanzar su máximo potencial y dar una experiencia más inmersiva.

Experiencia de usuario (UX)

La realidad virtual es una tecnología que aún sigue en desarrollo, ya que tiene muchos puntos de mejora y considerables áreas que no se han explorado mediante la investigación. Por lo tanto, resulta pertinente realizar un proyecto con el uso de esta tecnología, ya que, además de tratarse de un tema que no se ha desarrollado con tanta profundidad, permite ampliar la gama de conocimientos del producto y da la oportunidad a futuros desarrolladores e investigadores de realizar evaluaciones del uso de la plataforma.

Asimismo, al tratarse de una tecnología con una baja accesibilidad, debido a factores económicos y materiales, las pruebas realizadas con usuarios no son tantas, por lo que se puede profundizar en el área de la experiencia de usuario y contribuir al conocimiento de los factores que pueden contribuir a mejorar la calidad de la experiencia y reducir los síntomas que pueden llegar a experimentar algunos usuarios, como mareos (Fagerholt y Lorentzon, 2009).

Por otro lado, la capacidad de la realidad virtual de proveer acceso de casi cualquier localización, bajo las condiciones deseadas, de una manera sistemática y reproducible es una ventaja considerable que permite no solo un incremento en la inclusión de individuos con discapacidades, sino también un decremento significativo en los costos de realizar dicha evaluación con recursos reales y de manera física.

Además, una de las ventajas más relevantes del uso de esta tecnología, es la seguridad. Ya que los usuarios pueden experimentar con el uso de los elementos presentes dentro del ambiente virtual, dadas ciertas condiciones sin poner en riesgo la integridad física de los participantes. Asimismo, es posible experimentar condiciones críticas dentro de la simulación, dándole un mayor conocimiento al usuario.

Este acercamiento erradica las consecuencias físicas y sociales de cometer errores y permite parametrizar un entorno seguro para realizar pruebas, prácticas y simulaciones de manera recurrente. Esto brinda una accesibilidad importante para cualquier industria, ya que permite la obtención de prototipos y diseños más seguros y eficientes debido a que minimizan costos y tiempo.

En el caso particular de la industria automotriz, es posible resaltar la eficiencia del proceso es de suma importancia. Por ello, resulta conveniente una herramienta que permita evaluar la misma al realizar distintos cambios dentro del proceso de producción. Estos cambios pueden incluir, por ejemplo: la localización de la maquinaria, el orden de cada una dentro de la línea de ensamblaje, la capacidad de cada máquina, los costos, el factor humano, entre otros. Consecuentemente, al tratarse

de un ambiente tan complejo, realizar mejoras sobre un proceso de producción real con recursos físicos podría tomar meses y una considerable cantidad de capital, ergo, la realidad virtual es una ventaja necesaria para garantizar los resultados esperados (Rebelo, Noriega, Duarte, y Soares, 2012).

A. Marco teórico

1. Estado del arte

La realidad virtual (o VR por sus siglas en inglés) se refiere a un ambiente tridimensional generado por computadora con el que los usuarios pueden interactuar de modo que se despliegue información en una pantalla por medio de interfaces. La realidad virtual ha tenido varios avances en el área de Tecnologías de la Información, ya que actualmente se utiliza en una amplia variedad de disciplinas, entre las cuales se pueden mencionar videojuegos, industrias, entes gubernamentales, ramas militares, aeronáutica civil, entre otros. Asimismo, el área de educación cada vez cuenta con más investigación y esto da lugar a nuevos proyectos y resultados que pueden servir para el desarrollo de esta nueva tecnología (Magallanes, Rodríguez, Ángel Carpio, y López, 2021).

Si bien sus aplicaciones al inicio fueron en su mayor parte lúdicas, hoy en día se ha extendido hasta el punto en el que se puede utilizar casi en cualquier caso donde sea posible realizar una simulación. Esto significa una gran ventaja, pues permite llevar a cabo tareas que normalmente implicarían una enorme cantidad de recursos, o una significativa probabilidad de riesgos, tanto físicos, psicológicos así como materiales. Algunos ejemplos de lo anterior son: operaciones quirúrgicas; despegue, vuelo y aterrizaje de aviones o helicópteros; manipulación de equipo industrial; experimentos químicos; terapia física y psicológica; entre otros.

Estas aplicaciones son simples ejemplos de lo que se puede lograr con esta tecnología. Asimismo, se sabe que puede ayudar profundamente en procesos de diseño e ingeniería, ya que se pueden programar modelos que simulen una realidad y en base a esta se pueden realizar pruebas que en el mundo real tomarían muchos recursos como tiempo, dinero, esfuerzo y un claro riesgo físico en algunas de estas actividades. Por ello, optar por una simulación en realidad virtual es una decisión que puede impactar en los procesos de desarrollo o producción de una empresa.

Sin embargo, es importante notar que su principal uso en la actualidad es recreativo. Esto se debe a varias razones, entre ellas la más notable es la accesibilidad de este tecnología, ya que al ser relativamente nueva en el mercado, sus precios suelen ser considerablemente elevados, por lo que aún no es común que exista equipo de realidad virtual en todos los hogares. Además, la mayor parte de la investigación con la que se cuenta es con el desarrollo de videojuegos (Gandhi y Patel, 2018).

Por ello, resulta beneficioso tener en cuenta la información derivada de investigaciones anteriores, ya que permite obtener una nueva perspectiva respecto al desarrollo de aplicaciones en realidad virtual, así como de las consecuencias que estas pueden tener en los usuarios que las utilicen. Los efectos secundarios suelen ser recurrentes al realizar pruebas con usuarios, e incluyen: mareos, desorientación, náuseas, vértigo, entre otros. El hecho de que no se pueda garantizar una buena experiencia para los usuarios desde el inicio, impacta considerablemente en la cantidad de personas que están dispuestas a utilizar esta tecnología en caso de tener los recursos económicos necesarios para adquirirla.

Otro de los retos que enfrenta la realidad virtual hoy en día es la correcta utilización de los recursos físicos disponibles. Ya que los cascos de realidad virtual no cuentan con mucha capacidad de almacenamiento ni de procesamiento en comparación a una computadora. Por ello, una de las soluciones que se utiliza frecuentemente es diseñar la aplicación para ser ejecutada en computadora y solamente desplegada en los cascos. Este tipo de implementación permite tener cierta flexibilidad en cuanto a los recursos locales disponibles.

Por otro lado, respecto a la disponibilidad de acceso de los sistemas a la red, actualmente una gran cantidad de personas se conectan a diario para realizar actividades de compra, reuniones de trabajo, interacción social y entretenimiento, lo cual da lugar a casos no considerados por la ley correspondiente. Esto ocasiona varios riesgos de seguridad para el usuario, ya que estos medios no suelen ser tan monitoreados como los dispositivos de escritorio.

Otro detalle a tener en cuenta, es la seguridad de estos dispositivos, ya que al no haber tanta variedad de esta tecnología, aún no se saben las vulnerabilidades más comunes. Esto abre la puerta a ataques que permitan el acceso a los sensores, cámaras y recursos del equipo, así como información sensible como credenciales y datos de pago (Viswanathan y Yazdinejad, 2022).

2. Educación

Actualmente existen muchos ejemplares de aplicaciones de realidad virtual destinadas a la educación. Si se tiene esto en cuenta, su futuro resulta prometedor, ya que fácilmente se puede mantener la atención de los estudiantes y obtener su interés con el mundo virtual, de modo que entenderán más fácil los temas explicados, sin mencionar que esto abre la posibilidad de dar ejemplos de aplicación de temas que usualmente son complejos. Asimismo, al estar inmersos con la tecnología utilizada, este sistema también sirve para bloquear todas las distracciones del entorno que regularmente roban la atención de los estudiantes (Hamad y Jia, 2022).

Respecto a la perspectiva de costos, puede resultar beneficioso para las instituciones educativas, ya que se pueden ahorrar los recursos que regularmente se necesitarían para realizar prácticas de casi cualquier tipo. Un ejemplo de lo anterior, es para una clase de química: se pueden realizar experimentos en el mundo virtual, que evitan los gastos de los químicos necesarios y crean una considerable reducción de riesgo a la integridad física de los estudiantes e incluso de los profesores. A su vez, puede resultar extremadamente útil mostrarle a los alumnos ambientes que normalmente son imposibles de visitar, como el espacio exterior y las profundidades del océano.

Este enfoque puede ser utilizado por una amplia variedad de carreras universitarias, así como para el entrenamiento de personal en empresas, ya que permite conocer de cerca los procesos utilizados para realizar las actividades correspondientes. Las carreras más recurrentes en el uso de esta tecnología (en específico el uso de sistemas totalmente inmersivos con el uso de HMDs) son Ciencia de la Computación, Ingeniería, Matemáticas y Medicina (Freina y Ott, 2015).

Es posible notar que el uso de la realidad virtual en la investigación puede ser muy beneficiosa, ya que es posible simular modelos, procesos y actividades que permiten obtener resultados muy cercanos a la realidad y por ende, llegar a conclusiones que pueden ser utilizadas para mejorar el entendimiento de una materia. Esto brinda la oportunidad a estudiantes, profesores e investigadores de obtener conocimiento innovador que puede ayudar a la comunidad científica a tener nuevas perspectivas.

Respecto al incentivo de los sistemas educativos de utilizar esta tecnología como herramienta de aprendizaje se pueden mencionar: la inmersión de los estudiantes en el ambiente de estudio, la motivación de los estudiantes y un aprendizaje más profundo como consecuencia de proveer a los estudiantes de una experiencia más memorable que una clase regular. Asimismo fomenta la colaboración y el constructivismo (Kavanagh, Luxton-Reilly, Wuensche, y Plimmer, 2017).

Por otro lado, también es posible considerar las aplicaciones de la realidad virtual en sistemas de capacitación o entrenamiento. Algunos ejemplos de lo anterior son sistemas de entrenamiento de seguridad en construcciones, entrenamiento de escape de desastres naturales, entre otras. Toda aplicación suele ser realizada con el objetivo de cumplir tareas específicas dentro de un contexto, por lo que cada implementación suele ser distinta de las demás y tener su propio entorno. En otras palabras, no existe un estándar que especifique una correcta aplicación de la realidad virtual ya que depende completamente de su contexto y de los objetivos que se desean lograr (Xie y cols., 2021).

Luego de la pandemia COVID-19, el uso de la realidad virtual incrementó considerablemente y cada vez más compañías optan por utilizar esta tecnología para la capacitación de sus empleados ya que tiene tres grandes ventajas: la primera es que permite practicar escenarios del mundo real; la segunda es que promueve el aprendizaje y la retención de información; y la tercera es que puede brindar una mayor facilidad para la selección de personal entrante. Al darle a los candidatos simulaciones de las actividades que deben realizar en el puesto vacante, es posible observar al mejor candidato en base a sus acciones (Arruda, 2022).

Del mismo modo, es posible simular tareas de extrema complejidad como una operación quirúrgica, ya que los conocimientos necesarios por el usuario para llevar a cabo la operación pueden ser planeados para que sean lo más parecidos a una situación real. Esto le aporta al usuario experiencias que puede utilizar en situaciones reales, tal como: el autocontrol, la concentración bajo presión, el tiempo y la precisión de la ejecución, así como las acciones a tomar en caso de emergencias (Clarke, 2021).

En resumen, existe una gran cantidad de aplicaciones de la realidad virtual en la educación, así como en capacitaciones laborales y entrenamiento, además de simulaciones complejas que requieren una gran atención al detalle tanto por parte de los desarrolladores como de los usuarios. Sin embargo, la implementación de cada una de estas soluciones tiene sus propios requerimientos, específicos de la situación que se planea simular. Por ello, es posible considerar infinitos casos donde su aplicación sea beneficiosa, especialmente para el área de educación y capacitación, siempre que su uso sea requerido para simular una situación específica.

3. Hardware

La realidad virtual se puede categorizar según la accesibilidad y el uso que esta tenga sobre la tecnología disponible. En este aspecto, es posible dividir la realidad virtual en tres tipos de sistemas: Sistemas de Inmersión (totalmente inmersivos), Sistemas no Inmersivos, y Sistemas Semi-Inmersivos (Alqahtani, Daghestani, y Ibrahim, 2017).

a. Sistemas totalmente inmersivos

Este tipo de sistemas requiere que el usuario utilice dispositivos de recolección de datos para las manos, también conocidos como guantes de datos, encargados de recolectar información relevante para proyectar la simulación de las manos en el mundo virtual. Esto incluye pero no se limita a la posición, rotación y movimiento de las manos, además de la interacción con distintos botones que pueden activar diversas acciones dentro de la simulación. Además de estos guantes, también es común utilizar un dispositivo HMD (por sus siglas en inglés *Head Mounted Display*) que obtenga la misma información, pero de la cabeza del usuario.

Asimismo, este dispositivo puede funcionar como una ventana para observar el mundo virtual, como es el caso de los cascos de realidad virtual. Un ejemplo de lo anterior es el sistema CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) en el que se utilizan los dispositivos para obtener la información pertinente de la cabeza y las manos del usuario y el mundo virtual se presenta a través de proyecciones presentes en el cuarto donde se encuentra el sistema.

Estos sistemas aíslan al usuario de toda la información del mundo exterior, específicamente de los medios visual, auditivos e idealmente hápticos para lograr una inmersión total y una percepción del mundo virtual como el ambiente en el que se encuentra actualmente.

b. Sistemas no inmersivos

Estos sistemas son comúnmente conocidos como sistemas de escritorio, ya que no requieren ningún dispositivo de entrada de datos. En otras palabras, estos sistemas solamente requieren un monitor para mostrar el mundo virtual, lo cual es menos inmersivo y en la mayoría de casos requiere una menor interacción. Por ello, estos sistemas suelen ser menos costosos de realizar, además de tener la capacidad de mejores gráficos y no tiene tantas restricciones respecto a la experiencia del usuario, ya que no tienen tantos efectos secundarios.

c. Sistemas semi-inmersivos

Estos sistemas se caracterizan por utilizar la misma simplicidad de los sistemas no inmersivos, es decir, utilizar una pantalla para mostrar el mundo virtual, sin embargo estos también utilizan información de entrada como la posición, rotación y movimiento de las manos. Para construir sistemas de este tipo se necesita una pantalla, sensores de movimiento e interfaces gráficas. Un ejemplo de este tipo de sistemas es la tecnología conocida como realidad aumentada, en la que se obtiene información del mundo real, y se proyecta información que se superpone sobre el ambiente a través de una pantalla que muestra el entorno con cámaras.

d. Oculus Quest 2

Este equipo de HMD cuenta con un casco de realidad virtual totalmente inmersivo. El uso de la computadora es opcional, ya que se cuenta con una aplicación para teléfono inteligente. Cuenta con 6 grados de libertad, con lo cual es posible monitorear el movimiento de la cabeza y del cuerpo, y traducir esta información de manera precisa al mundo virtual. También cuenta con dos controles táctiles ergonómicos. Su resolución por ojo es de 1832x1920 y tiene una tasa de refresco de hasta 90 Hz. Cuenta con audio tridimensional y una capacidad de almacenamiento secundario de hasta 256GB (Meta, 2023).

e. Virtualizer ELITE 2

Esta caminadora de realidad virtual cuenta con una plataforma sin fricción para monitorear los pasos de los usuarios y traducirlos en movimiento dentro del mundo virtual. Las características de este equipo la hacen más cómoda para el usuario, al requerir menos esfuerzo, y aportar una rápida curva de aprendizaje y una mayor accesibilidad a los usuarios independientemente de su estatura. Tiene sensores de movimiento, rotación y altura, lo cual permite desplazarse libremente en un ambiente virtual. Además, cuenta con medidas de seguridad, como un arnés, adaptabilidad de estatura y coberturas para los zapatos (Cyberith, 2023).

4. Software**a. Unity**

Unity es un motor de desarrollo de videojuegos desarrollado por *Unity Technologies*. Este cuenta con una gran variedad de módulos que facilitan el desarrollo de videojuegos, simulaciones y aplicaciones. Además, facilita la implementación de distintas integraciones, lo que incluye su propio motor gráfico que permite la utilización de cámaras e iluminación dentro de cada escena; un motor de física que permite la simulación del movimiento tridimensional y toma en cuenta la masa, gravedad y

colisiones; *scripting* para programar el comportamiento del entorno y de los objetos; audio; animaciones; interfaces gráficas para desplegar al usuario información pertinente; utilización de inteligencia artificial; además de la capacidad de desarrollar soluciones específicas para cada plataforma, incluida la realidad virtual (Unity-Technologies, 2023b).

b. XR Interaction Toolkit

Este paquete es un sistema de interacción de alto nivel que facilita la creación de experiencias en Realidad Virtual y Realidad Aumentada. Provee un *framework* que pone en disponibilidad interacciones tridimensionales y con interfaces gracias al sistema de entrada de datos de Unity. El núcleo de este sistema consiste en un arreglo de componentes *Interactor* (Entidad que tiene la capacidad de interactuar con objetos) e *Interactable* (Objeto con el que un *Interactor* puede interactuar). Asimismo cuenta con un Administrador de Interacciones que es el encargado de unir estas dos entidades (Unity-Technologies, 2023c).

c. Cyberith SDK

Este paquete de desarrollo contiene algunas herramientas dentro de Unity que facilitan la integración de las aplicaciones con la caminadora Virtualizer ELITE 2. Esto se hace a través de un componente Controlador que obtiene los datos de entrada de la caminadora y los traduce en movimiento del controlador dentro de la escena. Asimismo, cuenta con algunas funciones que permiten obtener la información específica proporcionada por la caminadora, tal como el vector de movimiento, el vector de dirección, el vector de orientación y el cuaternión de orientación.

5. Principios de diseño

El diseño de todo videojuego y simulación debería estar centrado en el usuario, ya que es necesario entender sus intereses y necesidades con el fin de implementar una solución que sea utilizable y fácilmente comprensible por los usuarios destinados a usarla. Con este enfoque en mente, el diseño de la aplicación debería determinar fácilmente las acciones que son posibles en todo momento por medio de restricciones. Asimismo, debe ser fácil para el usuario conocer su estado actual. Por ello, el objetivo del diseño es lograr que el usuario sepa que hacer y determinar qué está pasando.

Para lograr lo anterior, resulta beneficioso utilizar como base algunos principios que guíen la elaboración de la implementación, tanto en aspectos generales como específicos. Existen 7 principios que fueron propuestos por Donald Norman en su publicación: "*The Design of Everyday Things*." en 1988 y buscan que el diseño utilice las propiedades naturales de las personas y del mundo para aprovechar las relaciones que nuestros cerebros asocian con los objetos y la manera en que se interactúa con los mismos (Norman, 1988).

a. Conocimiento del mundo y de la mente

Las personas suelen aprender de una mejor manera y a sentirse más cómodas cuando el conocimiento requerido para realizar una tarea es externa y se puede obtener de manera explícita en el mundo o bien si se deriva de restricciones establecidas. Pero este conocimiento es más útil cuando existen relaciones naturales y fáciles de interpretar que permitan al usuario entender las acciones que puede tomar y los resultados de las mismas. Es posible aprovechar esta información al diseñar las tareas que el usuario puede realizar dentro de una simulación. Por ejemplo: caminar, tomar objetos, interactuar con botones, observar el entorno, etc.

De igual manera, se debe considerar que cuando el conocimiento es adquirido por los usuarios, el uso de la aplicación será más eficiente, por lo que el diseño no debe impedir acciones o ralentizarlas para los usuarios experimentados, de modo que las instrucciones que se dan al usuario deben ser mínimas, de modo que sea fácil reutilizar la implementación. También es necesario considerar que el usuario aprende más rápido cuando cuenta con un buen modelo conceptual. Para esto es necesario que los principios de operación sean visibles, que las acciones sean congruentes con el modelo conceptual y las distintas partes del sistema muestren el estado actual de la operación de un modo consistente con el mismo modelo.

Por ello, se deben tomar en cuenta tres aspectos de modelos mentales: el modelo de diseño, el modelo de usuario y la imagen del sistema. El modelo de diseño es la conceptualización del diseñador y de lo que tiene pensado para el sistema. El modelo de usuario es lo que el usuario puede explicar de la operación del sistema luego de su uso. Idealmente estos dos modelos deberían ser idénticos, sin embargo la única manera de conectar ambos modelos es por medio del sistema, su operación y la manera en que hace que el usuario responda. Por ello el sistema también debe ser congruente con el modelo conceptual planteado, para disminuir en la medida de lo posible las diferencias entre el modelo de diseño y el modelo de usuario.

Consecuentemente, una medida posible es la inclusión de un manual de instrucciones o algún tipo de documentación. No obstante, esta debe ser mínima y fácil de comprender, ya que en la mayoría de los casos, los usuarios omitirán estas instrucciones incluso si se trata de sistemas complejos, pero lo mejor que se puede hacer es planear la naturaleza humana dentro del diseño y orientar el sistema a ser lo más intuitivo posible, a manera de disminuir las preguntas de su utilización.

b. Simplificar la estructura de las tareas

Las tareas que se presentan al usuario deben ser simples en su estructura de modo que disminuyan la necesidad de planeación y de resolución de problemas en la medida de lo posible. En este aspecto es posible brindarle especial atención al comportamiento psicológico de la persona, su capacidad de memoria, su capacidad de concentración, entre otros. Es posible lograr lo anterior de distintas maneras, por ejemplo: mantener la tarea igual pero proveer ayuda mental para el usuario, usar la tecnología para facilitar la tarea y mantener el control, automatizar, o cambiar la naturaleza de la tarea. Es importante que sin importar el acercamiento que se utilice, no se le quite mucho control al usuario.

c. Hacer las interacciones obvias

Según este principio, es importante que el sistema provea acciones que concuerden con una intención, de modo que cada acción muestre indicadores del estado actual del sistema de una manera fácil de percibir y de interpretar. Esto incluye mostrar el estado actual del sistema, también de una manera fácil de percibir y de interpretar, para que el usuario este al tanto de cómo sus acciones influyen en el sistema. Asimismo, los resultados de las acciones tomadas deben ser notables y obvios.

d. Mapear correctamente

Resulta vital explotar los mapeos naturales, que se entienden como la base de la compatibilidad de respuesta. Esto significa que si se diseña un botón que va a hacer que algo suba y otro para que algo baje, el botón para subir debería estar arriba y el de bajar abajo correspondientemente. Esto permite garantizar que el usuario pueda determinar la relaciones entre intenciones y las posibles acciones; las relaciones entre las acciones y los efectos que estas tienen en el sistema; las relaciones entre el estado actual del sistema y lo que es perceptible visual, auditiva o hápticamente; y las

relaciones entre el sistema visible y las necesidades, intenciones y expectativas de lo que debe hacer el usuario.

e. Explotar las restricciones naturales y artificiales

Es recomendable utilizar restricciones que le hagan al usuario sentir que solo hay una manera de hacer algo correctamente. Esto es el camino que el diseñador espera y debería ser el principal objetivo del usuario sin necesidad de decírselo directamente. Las restricciones permiten orientar las acciones del usuario de manera implícita y estas pueden ser naturales o artificiales. Por restricciones naturales, se entienden todas las restricciones que están implícitamente en el mundo. Por ejemplo, que el usuario no puede atravesar paredes. Por otro lado, las restricciones artificiales son las que se establecen durante el diseño para evitar errores de uso. Por ejemplo, si el usuario tiene necesidad de ingresar un dato numérico, solamente debería ser posible insertar números, con el fin de evitar fallos del sistema o errores de cálculos.

f. Diseñar para errores

Para este principio se utiliza como base la Ley de Murphy, ya que es necesario asumir que cualquier error que pueda ocurrir ocurrirá. Por ello, hay que planear los errores con anticipación y considerar cada acción que el usuario realice como un intento de lograr sus objetivos. No hay que combatir los errores de los usuarios, sino, por el contrario, darles la capacidad de recuperarse de errores, de saber qué fue lo que hizo y que pasó a consecuencia de ello, así como de deshacer cualquier resultado no deseado; y diseñar las acciones irreversibles de modo que sean difíciles de realizar.

g. Cuando todo falle: estandarizar

Cuando algo es muy complejo y no puede ser diseñado de manera intuitiva para el usuario la mejor solución es estandarizar las acciones, los resultados y la estructura, de modo que las acciones relacionadas funcionen de la misma manera a lo largo de todo el sistema y el problema sea solucionable de igual manera siempre que ocurra. De este modo se garantiza que el usuario solo tendrá que aprender el proceso una vez, y aplicar sus conocimientos siempre que surja la misma situación. Este principio debería ser utilizado como último recurso cuando no sea posible internalizar las acciones del usuario. Y en caso de ser necesario, es mejor que se haga lo más rápido posible para evitar incongruencias a lo largo del proceso.

6. Diseño de nivel

El diseño de nivel suele ser un concepto utilizado exclusivamente en el desarrollo de videojuegos, no obstante también es posible adaptarlo al desarrollo de simulaciones, si se entiende el concepto de nivel como el ambiente en el que el usuario puede interactuar. Del mismo modo, un nivel puede definirse respecto a un área geográfica, la cantidad de contenido que se puede mantener en memoria, o la cantidad de proceso que se sienta suficiente para que los usuarios puedan tomar una breve pausa antes del siguiente nivel.

Al tener esto en cuenta, el diseño de nivel puede entenderse como el ensamble de todos los recursos disponibles en una sola pieza. Por ello, es imperativo utilizar las propiedades del motor de juegos seleccionado, tal como la integración con el arte (modelos 3D) y la jugabilidad. Esto incluye la resolución de problemas que puedan ocurrir al momento de la integración, como escalas incorrectas de los modelos, problemas de renderización, posicionamiento de los objetos, entre otros. En el caso

de juegos o simulaciones que cuenten con más de un nivel, es importante establecer el orden de los mismos, ya que esto tiene un gran impacto en el resultado final.

Durante el diseño de nivel, existen varios factores que se deben considerar para que el resultado final sea el esperado y que constituya una experiencia satisfactoria para el usuario. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes: el nivel debe estar optimizado para que corra fluidamente en el dispositivo objetivo; los jugadores no deben quedarse atascados en el nivel, de modo que si realiza algo inesperado como consumir un recurso que necesita para avanzar, deben haber caminos alternos para continuar con el nivel; el objetivo principal del juego debe, en la medida de lo posible, dividirse en objetivos más pequeños para que los usuarios puedan obtener retroalimentación del avance que han hecho y que sin duda es lo esperado.

También es necesario que las áreas navegables estén claramente marcadas para que los usuarios sepan fácilmente dónde pueden y dónde no pueden acceder. Las decisiones a su vez conforman una parte importante del nivel, ya que al darle a los usuarios opciones distintas e interesantes sobre cómo jugar o cómo alcanzar el objetivo les brinda una sensación de control y de satisfacción; de otra manera se sentirán frustrados de que haya una sola manera de jugar y que no sea como a ellos les gusta. Además, la inclusión de decisiones fomenta la rejugabilidad (Rouse, 2005).

7. Diseño de interfaz

El diseño de la interfaz es de suma importancia pues permite obtener datos del usuario que serán utilizados en la simulación. Por ello, es importante que las interfaces que realicen esta tarea tengan algunos elementos en cuenta. Por ejemplo, el diseño debe ser innovador, no en el sentido de reinventar la piedra, pero más en la manera en la que se puede interactuar con la interfaz. El diseño debe ser utilizable, es decir, debe ser legible y fácilmente comprensible para los usuarios, además de tomar en cuenta colores, tamaño de fuente, entre otras propiedades.

El diseño debe ser estético y aplicar la mayor cantidad de principios posibles. El diseño debe ser duradero, en el sentido que para futuras implementaciones debe cambiar lo menos posible. El diseño debe ser lógico y comprensible. El diseño no debe ser intrusivo, es decir, debe ser simple para que con el uso se vuelva natural verlo. El diseño debe ser honesto con los usuarios y tener una alta atención al detalle. El diseño debe ser eficiente y amigable con el ambiente. Y finalmente, el diseño debe utilizar lo mínimo posible, y recordar el dicho de: menos es más (Malewicz y Malewicz, 2020).

8. Experiencia de usuario

El término de experiencia de usuario se utiliza en una amplia variedad de campos, sin embargo, en la mayoría de casos se enfoca en la calidad del sistema y en cómo afectará al usuario en varios escenarios de uso, desde su primera interacción hasta las interacciones realizadas con experiencia previa. En todas las interacciones se debe facilitar la estimulación mental de los usuarios, de modo que el uso de la aplicación resulte agradable y placentero. Esto se puede validar a través de distintos principios de experiencia hedónica, así como de experiencia de usabilidad (también conocida como Interacción Humano-Computador). En base a lo anterior y en el contexto de UX, se entiende por experiencia a la secuencia de eventos que ocurren dada la interacción del usuario con el producto.

Por ello, se pueden plantear tres capas de abstracción parecidas a los modelos mentales propuestos por Donald Norman: la capa del diseñador, la capa de la experiencia del sistema y la capa de la experiencia del jugador. En la capa del jugador se toman en cuenta factores inherentes a la percepción del usuario respecto del sistema, como sus emociones, sus pensamientos, su comportamiento y su forma de interactuar. Asimismo, un estudio realizado en 2012 propone 9 atributos que caracterizan la jugabilidad educacional: satisfacción, capacidad de aprendizaje, efectividad, inmersión, motivación

y emoción. Con todos estos factores en mente, es posible orientar el diseño a cumplir los objetivos y garantizar resultados positivos en estos aspectos.

Para lograr lo anterior, es necesario realizar pruebas de usuarios recurrentes para obtener retroalimentación que permita definir los niveles alcanzados en cada atributo y de esta manera mejorar la experiencia en futuras iteraciones. Esto permitirá a los usuarios expresar las características del sistema que les parezcan adecuadas o las etapas del sistema con los que tuvieron mayor dificultad, lo cual proporciona mejoras que resultarán en una mejor experiencia de usuario en general (Nagalingam y Ibrahim, 2015).

9. Procesos industriales en la producción de automóviles

Al igual que en muchas otras industrias relacionadas con la manufactura y la producción en masa, los procesos industriales resultan de vital importancia para comprender el entorno en el que se fabrican o ensamblan los productos. Estos procesos permiten observar información que puede influir fuertemente en las decisiones de una compañía, por ejemplo: los tiempos de producción de cada etapa del proceso, los costos de la realización de cada etapa, la cantidad de producto fabricado, las ganancias obtenidas al finalizar el proceso, entre otros. Por ello, es posible encontrar maneras de mejorar el proceso y hacerlo más eficiente, menos costoso y consecuentemente más rentable (Dias, Silva, Campilho, Ferreira, y Santos, 2019).

Algunas de estas mejoras pueden incluir la eliminación de desperdicio, la erradicación de cuellos de botella, la automatización de alguna o varias etapas del proceso, la omisión o adición de etapas del proceso para incrementar la eficiencia y/o calidad del producto, entre otras. No obstante, para obtener toda la información necesaria para implementar alguna de las mejoras mencionadas suele tomar mucho tiempo y recursos. Por ello, entre las alternativas se puede mencionar la utilización de simulaciones para obtener datos con suficiente parecido a la realidad para tomar decisiones asertadas (Tkatchenko, 2011a).

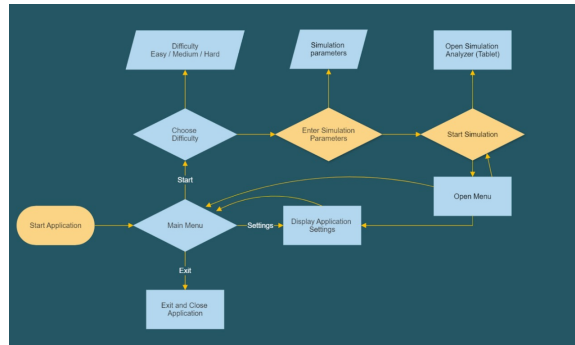
B. Metodología

1. Planeación

a. Flujo

Lo primero que se consideró durante la etapa de planeación fue el flujo que debía seguir la aplicación para que fuera intuitivo y comprensible fácilmente por los usuarios. Por ello, se optó por diseñar un menú principal que cuente con las opciones de iniciar la simulación y salir de la aplicación. Al darle estas opciones al usuario se le da la sensación de control, necesaria para que su experiencia sea más cómoda y se familiarice más rápido al mundo virtual. A continuación se muestra el primer diagrama de flujo desarrollado para cumplir con estas expectativas.

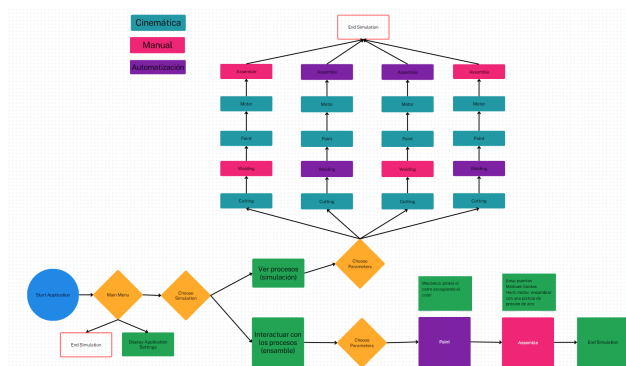
Figura 111
Primer diagrama de flujo de la aplicación



Nota. Diagrama de flujo de la primera iteración del sistema.

Después de algunas observaciones, se decidió cambiar el flujo de la aplicación para adaptarse a los nuevos requerimientos. En este caso, las simulaciones manual y automática no tendrían casi ningún tipo de interacción por parte de los usuarios, por lo que se agregó un nuevo módulo de interacción en el que los usuarios podrían realizar algunas interacciones para poner a prueba sus habilidades de uso de los controles de realidad virtual. Seguidamente se encuentra la segunda iteración del diagrama de flujo desarrollado.

Figura 112
Segundo diagrama de flujo de la aplicación

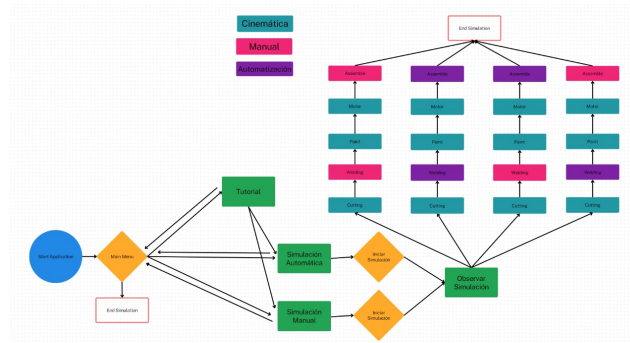


Nota. Diagrama de flujo de la segunda iteración del sistema.

Luego de esta iteración se consideró la necesidad de un nivel de modo tutorial que le permita a los usuarios con menos experiencia con esta tecnología adaptarse de mejor manera al uso del equipo de Realidad Virtual, en especial de los controles y la caminadora, además de acostumbrar su visión al movimiento del mundo virtual para evitar los efectos secundarios que pueden surgir durante el uso del casco (denominados en inglés como *Motion Sickness*). Por ello, el módulo de interacción se reemplazó por el módulo de tutorial, ya que también contaría con varias interacciones. Asimismo, surgieron algunos cambios en el flujo de las simulaciones. A continuación se encuentra el diagrama de flujo que se obtuvo como resultado de las iteraciones de planeación correspondientes.

Figura 113

Diagrama de flujo final de la aplicación



Nota. Diagrama de flujo de la iteración final del sistema

b. Herramientas

Para esta implementación se optó por utilizar el motor de desarrollo Unity y el XR Interaction Toolkit para la integración del motor con el equipo de realidad virtual utilizado, en este caso el Oculus Quest 2. Existe una alternativa a este *toolkit* que es el Oculus Integration SDK, sin embargo, este es de uso específico de dispositivos Oculus. Por ello, se optó por utilizar el XR Interaction Toolkit para incrementar la escalabilidad del proyecto, ya que contiene implementaciones más generales de sistemas de Realidad Virtual, por lo que si en un futuro se desea utilizar alguna otra tecnología, esto sea posible sin realizar mayores modificaciones al proyecto base.

Figura 114

Headset y controles Oculus Quest 2 utilizados en una prueba de usuario



Nota. En esta imagen se puede apreciar a un usuario con el equipo de realidad virtual durante una prueba de usuario.

Asimismo, se cuenta con el SDK de Cyberith utilizado para la integración de la caminadora Virtualizer ELITE 2 como dispositivo de entrada para obtener la información de movimiento del usuario.

Figura 115

Caminadora Virtualizer Elite 2



Nota. En esta imagen se muestra una visualización del equipo de la caminadora de realidad virtual. Extraída del sitio oficial de Cyberith.

2. Equipo de desarrollo

El equipo de desarrollo del proyecto esta compuesto por 5 personas encargadas del desarrollo de la simulación y 2 personas encargadas de la planificación, simulación y creación del proceso industrial. A continuación se muestran los módulos desarrollados por cada uno de los integrantes.

Tabla 139

Integrantes del equipo

Nombre del integrante	Módulo
Laura María Leví Tamath Pérez	Diseño de nivel, modelación y animaciones
Alejandra Gudiel García	Desarrollo del controlador de personaje, UI/UX, ventas y monetización
Martín Eduardo España Rivera	Experiencia de Usuario (UX)
Martín Amado Girón	Experiencia asimétrica
Diego Alberto Álvarez Molina	Animaciones 3D con cinemática inversa en VR
Luis Carlos Rosenberg Ligorria	Diseño de Planta y Proceso Industrial
Luis Diego Romero Casasola	Diseño de Planta y Proceso Industrial

Nota. En esta tabla se muestra el listado de los miembros del equipo de desarrollo y de los módulos encargados a cada uno.

La asignación de módulos se basó en los requerimientos necesarios para cumplir los objetivos. Uno de estos requerimientos fue la creación de modelos tridimensionales con sus respectivas animaciones e integraciones. Otro requerimiento fue la implementación de un sistema de interacción asimétrico que puedan controlar los usuarios que no interactúan con el equipo de Realidad Virtual. El siguiente requerimiento es la interacción del usuario con el entorno para observar la simulación, lo cual influye fuertemente en la experiencia de usuario.

El módulo de Experiencia de usuario (UX) toma en cuenta todo el aspecto de la interacción que los usuarios tienen con el mundo virtual: cómo se sienten con esa interacción, si es intuitiva, si pueden aprenderla fácilmente, si es realista para lograr una mayor inmersión, etc. Asimismo, se enfoca en cómo el ambiente reacciona a las acciones que toma el usuario y que estas sean coherentes con el funcionamiento cotidiano del mundo.

Para lograr lo anterior, fue necesario considerar factores de física dentro del ambiente (masa, peso, velocidad y aceleración de los objetos); factores de ubicación espacial, como la posición de las interfaces gráficas para que sea fácilmente accesible por los usuarios y que sea reconocida por sus

cualidades de interacción y comportamiento; y principalmente el factor humano ya que si bien es posible predecir las acciones tomarán ciertos objetos de la simulación, resulta más complejo predecir el comportamiento humano y saber cómo utilizará esos objetos.

Por ello, las pruebas de usuario fueron imprescindibles para obtener retroalimentación que se utilizó para mejorar la experiencia y hacerla más amigable a futuras interacciones ya sea con nuevos usuarios o con antiguos. Estos últimos deberían conocer suficientemente el comportamiento del mundo virtual para agilizar su experiencia, por lo que se buscó minimizar los obstáculos para que esto sea posible.

3. Implementación

a. Integración con realidad virtual

Para comenzar con la integración se descargó, instaló y configuró el *XR Interaction Toolkit* en el ambiente de Unity. Esto incluye algunos módulos y *prefabs* que facilitan la interacción del usuario con los controles del Oculus Quest 2. Asimismo, también se descargó, instaló y configuró el Cyberith SDK con el cual fue posible integrar las entradas del dispositivo Virtualizer ELITE 2 y convertirlas en la posición del usuario para permitirle caminar en el mundo virtual. Para lograrlo, solamente hizo falta conectar la caminadora a la computadora y el mapeo de entradas se realiza automáticamente, lo cual resulta en la simulación de caminar dentro del ambiente virtual.

b. Interacción con objetos

Respecto a la interacción con objetos que utilizan el XR Interaction Toolkit, se puede mencionar que existen 2 distintos tipos de objetos interactivables: los objetos de interacción simple y los objetos de interacción con agarre. Los objetos de interacción simple no requieren ser tomados por el usuario, pero pueden ser activados y realizar alguna acción cuando esto suceda. Un ejemplo de lo anterior pueden ser botones, palancas, *switches* e incluso las interfaces gráficas.

Por otro lado, los objetos de interacción con agarre son todos aquellos que requieren que el usuario los seleccione (usualmente esto implica agarrar el objeto con las manos) y al tenerlo seleccionado activarlo. Esto puede resultar útil para objetos que tienen un comportamiento específico al ser tomados o simplemente para objetos que por naturaleza deberían ser tomados. Algunos ejemplos de lo anterior incluyen: herramientas como llaves y martillos, pelotas, cajas, llantas, objetos pequeños y para este caso en particular también se puede mencionar la tableta de interacción.

Figura 116

Interacción con objetos en tutorial



Nota. En esta imagen se muestra como las manos virtuales del usuario interactúan con algunos objetos de la escena.

Además, la funcionalidad de cada uno de estos objetos se puede extender en distintos casos de uso. Por ejemplo, en caso de querer tomar un neumático con ambas manos, es posible hacerlo al cambiar algunos parámetros. El tipo de agarre puede ser dinámico, es decir, que el objeto puede ser tomado en cualquier posición con cualquier ángulo; o puede ser estático. En este último caso es necesario establecer los puntos de agarre (estos incluyen posición y rotación) para que el objeto se vea de la misma manera siempre que es tomado por el usuario.

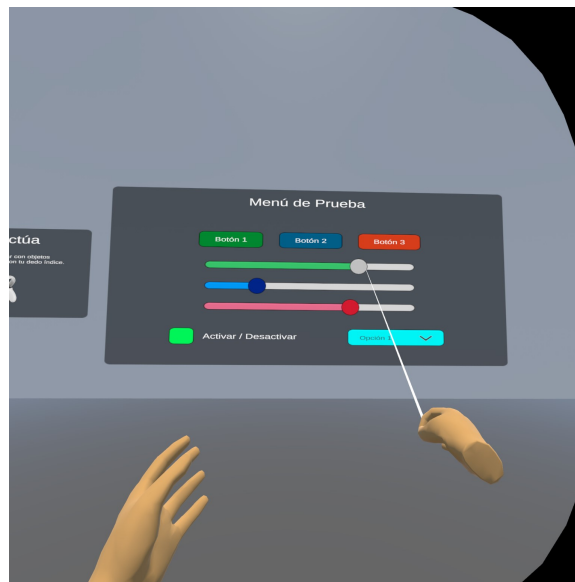
Para definir la funcionalidad de los objetos se evaluó la naturaleza de los mismos en el mundo real. Como muestra de esto, esta el caso de una caja pesada que debe ser tomada por dos manos y puede ser tomada en cualquier posición y su rotación es prescindible. O bien el caso de la tableta de interacción que debe ser tomada por uno de los extremos y su rotación debe permitir observar el frente (la pantalla) de la misma para poder interactuar con ella.

c. Interacción con interfaz

En cuanto a la interacción con las interfaces gráficas, es posible utilizar un puntero de interacción que le permita al usuario apuntar las opciones que desea y seleccionarlas con el botón de interacción (*trigger*). Las interfaces gráficas en realidad virtual deben estar en el mundo virtual para poder interactuar con ellas, por lo que su posicionamiento y rotación juegan un papel importante en la accesibilidad de uso del usuario. En caso de estar junto a la interfaz, sería ideal interactuar con estas de manera táctil, sin embargo esta es una limitante del XR Interaction Toolkit, por lo que se optó por utilizar el puntero como medio exclusivo de interacción.

Figura 117

Interacción con interfaz del tutorial

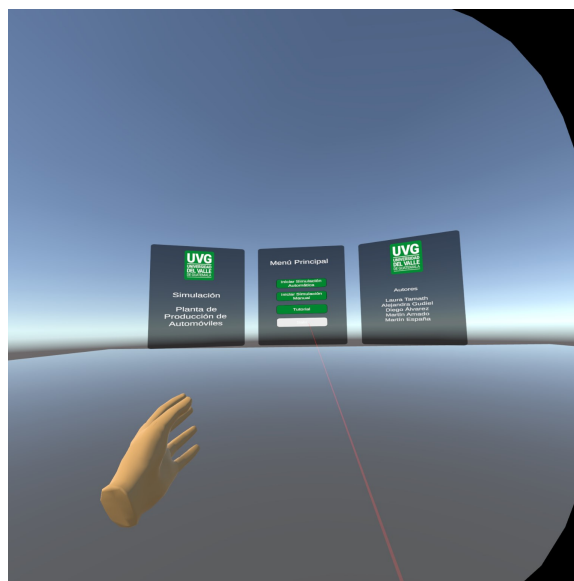


Nota. En esta imagen se muestra cómo se puede interactuar con las interfaces utilizando un puntero similar a un láser.

Dentro de las interfaces que se implementaron se pueden mencionar el menú de pausa, al cual es posible acceder desde cualquier lugar de la simulación, dándole al usuario la opción de cambiar ajustes como el tipo de giro de la cámara (continuo o por intervalos), o bien de navegar entre distintos niveles de la simulación. También se implementó el menú principal que es el punto de arranque del sistema. Este le ofrece al usuario la capacidad de iniciar la simulación automatizada, iniciar la simulación manual, iniciar el tutorial y salir de la simulación.

Figura 118

Interacción con menú principal



Nota. Se muestra la escena del menú principal compuesto por 3 pantallas.

Asimismo, se planteó la necesidad de la tableta de interacción, la cual es un objeto con interfaz con la que el usuario puede interactuar y controlar su entorno. Esta se utiliza en ambas simulaciones (automática y manual) para iniciar la simulación, para observar los datos de las distintas etapas del proceso, tal como los tiempos que toma cada una, los costos, etc., y para finalizar la simulación.

Por otra parte, también se deben considerar los casos especiales de interacción con los objetos. Ya que si un objeto pequeño cae al piso, debería ser posible recogerlo, sin embargo esta facilidad no es posible en algunos casos debido a la dinámica de la caminadora virtual. Este es el caso de la tableta de interacción, ya que al ser tan delgada, tomarla con los controles (incluso sin el uso de la caminadora) puede resultar muy difícil. Al tratarse de un objeto de alta importancia en la simulación, ya que sin ella el usuario se quedaría atorado en un nivel, resultó pertinente implementar la teletransportación de la misma a una posición accesible por el usuario.

Si bien esto no es un comportamiento natural de la tableta, fue totalmente justificado realizar esta implementación para garantizar que el usuario pueda concluir con el flujo de la simulación a pesar de soltar la tableta por accidente o simplemente por comodidad.

Figura 119

Interacción con tableta en tutorial



Nota. En esta captura se muestra el uso de la tableta de interacción. Con la mano izquierda, el usuario sujeta la tableta y con la mano derecha utiliza el puntero de la interfaz.

d. Tutorial

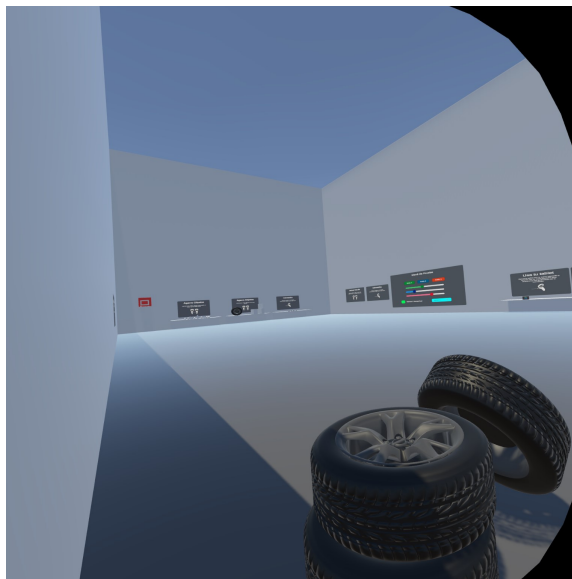
Muchas personas aún no se encuentran familiarizadas con el uso de la Realidad Virtual, por ello una necesidad de la simulación fue la implementación de un nivel tipo tutorial en el que el usuario pueda aprender el uso de los controles, el casco y la caminadora virtual para interactuar apropiadamente con los objetos del nivel, así como para realizar las acciones pertinentes a cada situación. Para lograr lo anterior, el tutorial se dividió en pequeños puestos con instrucciones sobre como realizar una acción y algunos objetos de prueba para que el usuario tenga la libertad de experimentar y familiarizarse con el entorno.

La primera sección se enfoca en caminar, ya que es necesario movilizarse dentro del mundo virtual para llevar a cabo las tareas que deseen cumplir. Luego se muestra una sección para aprender a interactuar con objetos, cómo tomarlos, utilizarlos, arrojarlos, moverlos, etc. Esto incluye objetos

que se pueden tomar con una mano como una pelota y objetos que se pueden tomar con ambas manos como una caja o una llanta. Después se muestra una sección que enseña la interacción con las interfaces gráficas y la utilización el puntero. Y finalmente, una sección que enseña a utilizar la tableta y a como teletransportarla en caso de perderla o soltarla.

El nivel de tutorial es meramente un entorno de pruebas y no tiene objetivos ni maneras de fallar. Es un espacio libre donde el usuario puede explorar y experimentar a gusto con las distintas posibilidades que tiene para interactuar en el entorno virtual. Por ello, el usuario puede decidir cuando ya tiene el conocimiento suficiente para comenzar con un nivel más avanzado y llevar sus aprendizajes a la práctica.

Figura 120
Nivel de tutorial



Nota. Perspectiva desde una esquina de la escena del tutorial.

4. Pruebas de usuario

Para esta etapa se separó la evaluación del sistema en tres distintas iteraciones: prototipo 1, prototipo 2 y prototipo final. Prototipo 1 consistió en la evaluación del tutorial al utilizar solamente el dispositivo Oculus Quest 2 con sus controles correspondientes. Prototipo 2 consistió en la evaluación del tutorial al hacer uso del dispositivo Oculus Quest 2, sus controles correspondientes y la caminadora virtual Virtualizer ELITE 2. Prototipo final consistió en la evaluación del flujo completo, incluidos el menú principal, el tutorial y la simulación automatizada.

En el caso del prototipo 1, fue posible realizar cada prueba con una preparación mínima de la misma, por lo que duró alrededor de 10 minutos cada una. Para el Prototipo 2, la preparación de cada prueba duró cerca de 5 minutos, y la prueba en sí duró alrededor de 10 minutos para un total de 15 minutos por prueba. En cambio, el Prototipo 3 requirió 5 minutos de preparación del equipo adicional a 15 minutos de prueba, lo cual resultó en aproximadamente 20 minutos por cada prueba.

Figura 121

Prueba de usuario del prototipo 2



Nota. Usuario sobre la plataforma y con el equipo de realidad virtual durante una prueba de usuario.

Para evaluar la experiencia de los usuarios al utilizar el sistema se realizó un formulario con las siguientes preguntas:

- **¿Alguna vez ha estado en una planta de producción de automóviles?** Esta pregunta tiene por objetivo establecer el peso del criterio de cada usuario respecto a la semejanza de la simulación con un entorno real de producción.
- **Basado en su respuesta anterior, ¿qué tanto cree que la experiencia proporcionada en la aplicación se asemeje a la realidad?** Con esta pregunta se puede establecer un porcentaje de semejanza de la simulación a la realidad, si se utilizan los pesajes de la pregunta anterior.
- **Del 1 al 10, ¿cómo evaluaría la comodidad de la experiencia? (Los controles fueron fáciles de usar, se pudo aclimatar rápidamente a su uso, etc.)** Esta pregunta permite obtener un porcentaje de comodidad de la experiencia.
- **Califique en una escala del 1 al 10 su experiencia en general utilizando la simulación.** Esta pregunta da lugar a un nuevo porcentaje que evalúe la experiencia general del usuario durante el uso de la simulación.
- **¿Le gustaría que alguno de sus cursos utilizara la realidad virtual como una herramienta de enseñanza?** Al ser una pregunta destinada a estudiantes universitarios, el objetivo de la misma es obtener un indicador del interés de los usuarios por la utilización de ésta tecnología en un entorno de aprendizaje. Esto a su vez puede indicar que se tuvo una buena experiencia que se desea replicar con otras temáticas en futuras implementaciones.
- **¿Con cuáles de estas palabras asociaría la experiencia? (divertida, aburrida, interesante, innovadora, fácil, difícil, intuitiva, ordinaria)** Con estas palabras es posible observar la perspectiva del usuario respecto a su experiencia. Estas palabras, a su vez, pueden categorizarse como indicadores de una experiencia positiva o negativa, lo que da lugar a un índice de positividad de la experiencia. En este caso, se consideran como positivas las palabras: divertida, interesante, innovadora, fácil e intuitiva. Y se consideran como negativas las palabras: aburrida, difícil y ordinaria.

Como se puede apreciar, las preguntas 2, 3 y 4 obtienen un dato numérico porcentual. Con el fin de obtener una métrica que permita evaluar el cumplimiento del objetivo general, estas 3 respuestas se pueden promediar, y esto da como resultado un porcentaje que evalúa la comodidad, la semejanza con una planta real y la intuitividad. A este resultado se le denominó porcentaje de satisfacción y es utilizado más adelante para evaluar los resultados obtenidos.

Luego de la realización de cada prueba, los usuarios llenaron el formulario respecto a la experiencia que acababan de tener. Asimismo, se tomaron notas de algunos comentarios que los usuarios mencionaron durante sus pruebas, preguntas que indicaron puntos de mejora y de observaciones de su comportamiento durante la simulación. Esta recolección de datos fue de utilidad para realizar mejoras sobre las interacciones disponibles en la simulación, así como de arreglar pequeños fallos y mejorar la experiencia en general. También abrieron lugar a consideraciones para una futura implementación o continuación del proyecto.

Figura 122

Prueba de usuario del prototipo final



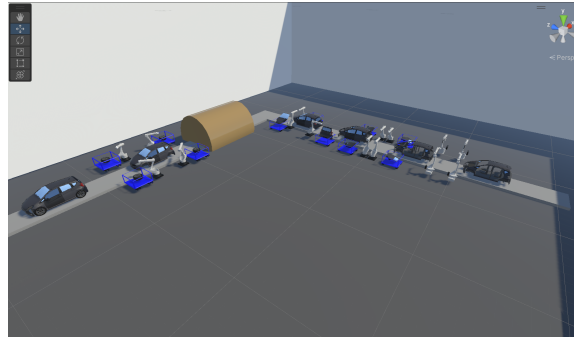
Nota. Usuario con el equipo de realidad virtual durante una prueba de usuario de la última iteración.

5. Futuras implementaciones

Durante el desarrollo de la simulación se tomó en cuenta la capacidad de hacer la aplicación lo más escalable posible con el objetivo de abrir la puerta a la implementación de nuevas funcionalidades y la expansión de la simulación. Esto es posible al agregar más detalles del proceso, variaciones, acciones, e incluso cálculos para agregar la visualización de resultados en vivo. Además, con toda la información recolectada durante las pruebas de usuario es posible mejorar la experiencia aún más. Se le debe dar prioridad a la comodidad del usuario y tener en cuenta todos los principios de diseño utilizados.

Figura 123

Simulación de la línea de ensamblaje



Nota. Perspectiva aérea de la escena de la línea de ensamblaje.

C. Resultados

A continuación se listan los resultados de las encuestas realizadas luego de cada iteración durante las pruebas de usuarios. Estas se despliegan a través de gráficos circulares o de barras e indican un porcentaje de respuesta. Estos gráficos fueron extraídos de Google Forms, la plataforma utilizada para realizar las encuestas. Además, también se pueden apreciar algunos de los comentarios que los usuarios mencionaron durante dichas pruebas.

1. Prototipo 1

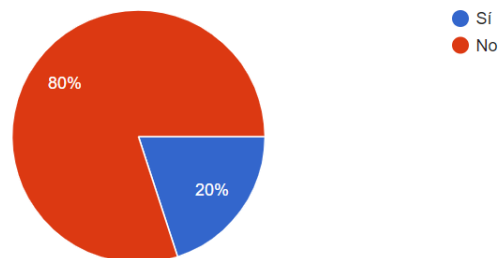
Durante el prototipo 1 se evaluó la experiencia de los usuarios en la escena del tutorial. El único equipo que se utilizó en este caso fueron los cascos Oculus Quest 2 con sus respectivos controles. Aquí se muestran los resultados obtenidos luego de esta iteración. Nótese que para esta primera iteración se realizaron pruebas con 5 usuarios.

Figura 124

Resultado de la primera pregunta del prototipo 1

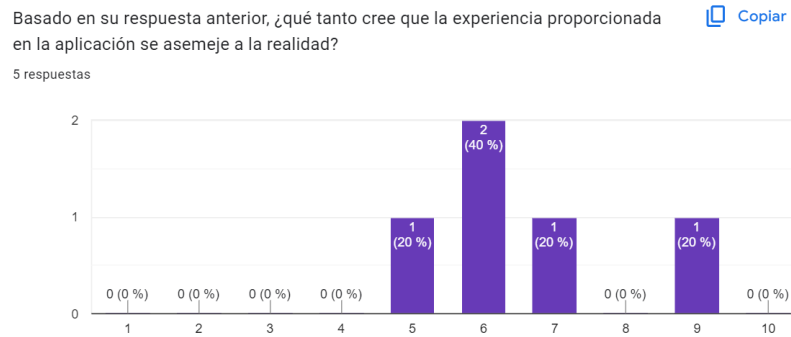
¿Alguna vez ha estado en una planta de producción de automóviles?

5 respuestas



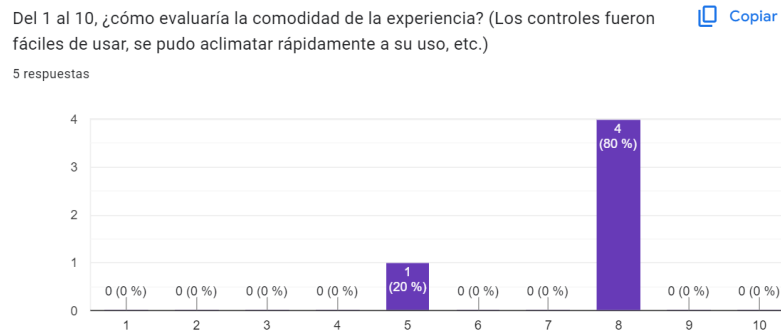
Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la primera pregunta del prototipo 1.

Figura 125
Resultado de la segunda pregunta del prototipo 1



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la segunda pregunta del prototipo 1.

Figura 126
Resultado de la tercera pregunta del prototipo 1



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la tercera pregunta del prototipo 1.

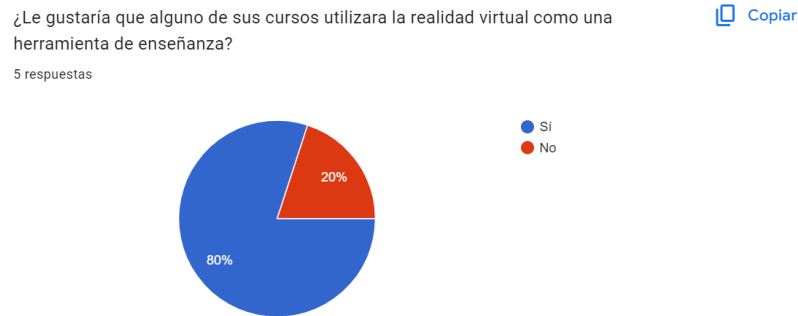
Figura 127
Resultado de la cuarta pregunta del prototipo 1



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la cuarta pregunta del prototipo 1.

Figura 128

Resultado de la quinta pregunta del prototipo 1



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la quinta pregunta del prototipo 1.

Figura 129

Resultado de la sexta pregunta del prototipo 1



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la sexta pregunta del prototipo 1.

Tabla 140

Comentarios prototipo 1

Comentarios prototipo 1
“Hacen falta unos pocos ajustes para ayudar al mejor manejo de todo lo que se puede encontrar”
“Es raro acostumbrarse al movimiento, pero el controlador se siente muy similar a la vida real. Moverse y ver para distintos lugares se siente normal”

Nota. En esta tabla se muestra algunos comentarios realizados por los usuarios durante las pruebas del prototipo 1.

2. Prototipo 2

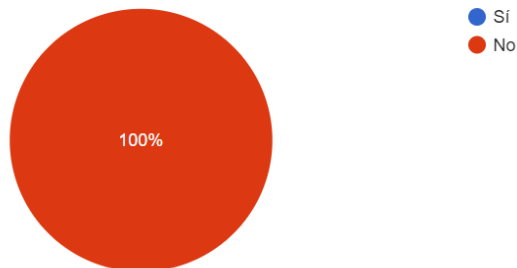
En la segunda iteración del sistema también se evaluó la escena del tutorial, no obstante en este caso se utilizó la totalidad del equipo de realidad virtual: los Oculus Quest 2, sus respectivos controles y la caminadora Virtualizer ELITE 2. Para este prototipo se contó con el apoyo de 6 usuarios distintos y a continuación se encuentran sus resultados.

Figura 130

Resultado de la primera pregunta del prototipo 2

¿Alguna vez ha estado en una planta de producción de automóviles?

6 respuestas



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la primer pregunta del prototipo 2.

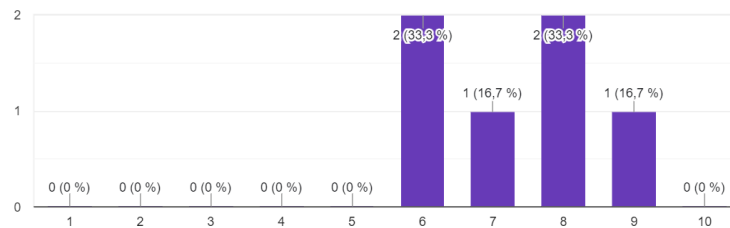
Figura 131

Resultado de la segunda pregunta del prototipo 2

Basado en su respuesta anterior, ¿qué tanto cree que la experiencia proporcionada en la aplicación se asemeje a la realidad?

[Copiar](#)

6 respuestas



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la segunda pregunta del prototipo 2.

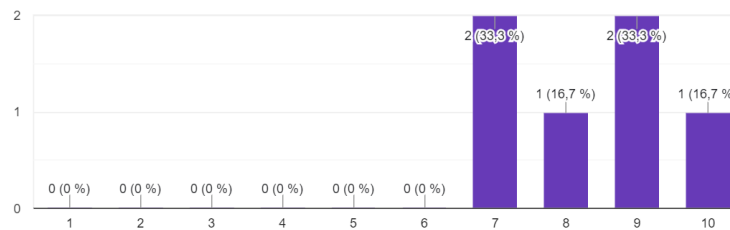
Figura 132

Resultado de la tercera pregunta del prototipo 2

Del 1 al 10, ¿cómo evaluaría la comodidad de la experiencia? (Los controles fueron fáciles de usar, se pudo aclimatar rápidamente a su uso, etc.)

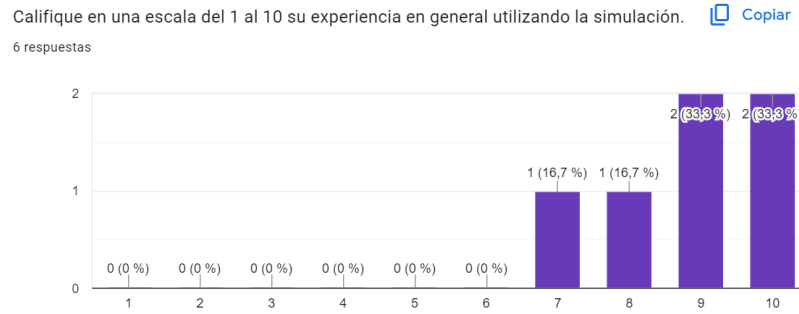
[Copiar](#)

6 respuestas



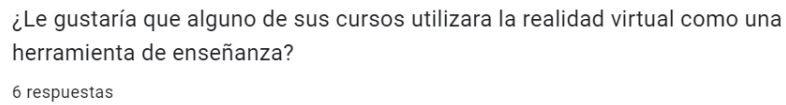
Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la tercera pregunta del prototipo 2.

Figura 133
Resultado de la cuarta pregunta del prototipo 2



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la cuarta pregunta del prototipo 2.

Figura 134
Resultado de la quinta pregunta del prototipo 2



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la quinta pregunta del prototipo 2.

Figura 135
Resultado de la sexta pregunta del prototipo 2



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la sexta pregunta del prototipo 2.

Tabla 141
Comentarios prototipo 2

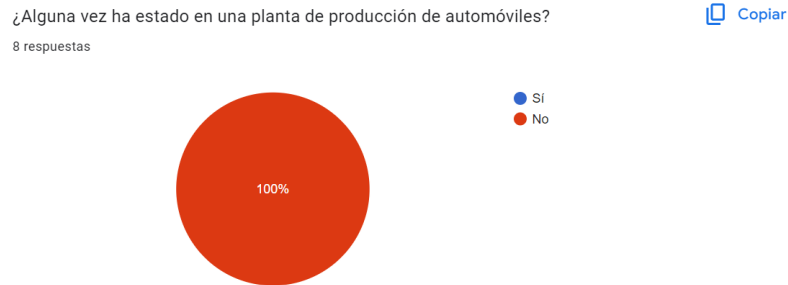
Comentarios prototipo 2
“Creo que todo es bastante intuitivo una vez que se aprenden a usar los controles, el movimiento en general se siente bastante parecido a la realidad así como la sensibilidad de rotación de la cámara con el visor, la cual parece estar bien ajustada.”

Nota. En esta tabla se muestra algunos comentarios realizados por los usuarios durante las pruebas del prototipo 2.

3. Prototipo final

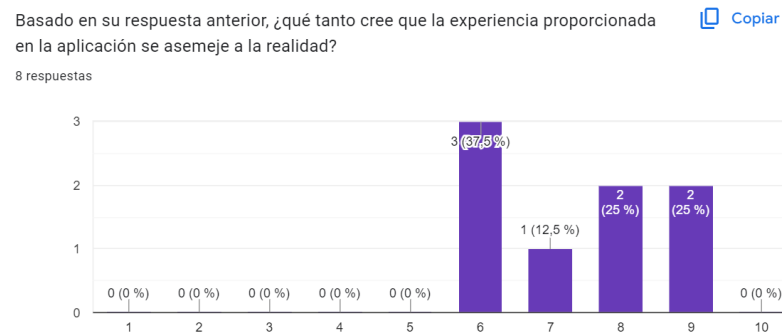
Para este prototipo se evaluó el flujo completo del sistema: iniciar en el menú principal, acceder al modo tutorial y experimentar la simulación automatizada. Cabe mencionar que al probar el sistema de una manera más plena, las pruebas de usuario duraron más tiempo con cada individuo. A pesar de lo anterior, se contó con la participación de 8 voluntarios distintos a los usuarios de las primeras dos iteraciones. A continuación se exponen los resultados de esta iteración.

Figura 136
Resultado de la primera pregunta del prototipo final



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la primera pregunta del prototipo final.

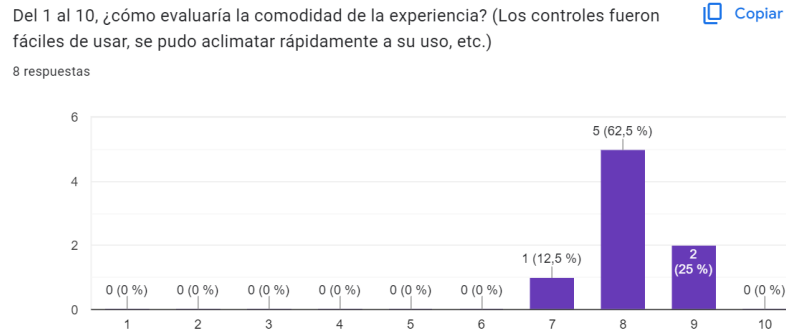
Figura 137
Resultado de la segunda pregunta del prototipo final



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la segunda pregunta del prototipo final.

Figura 138

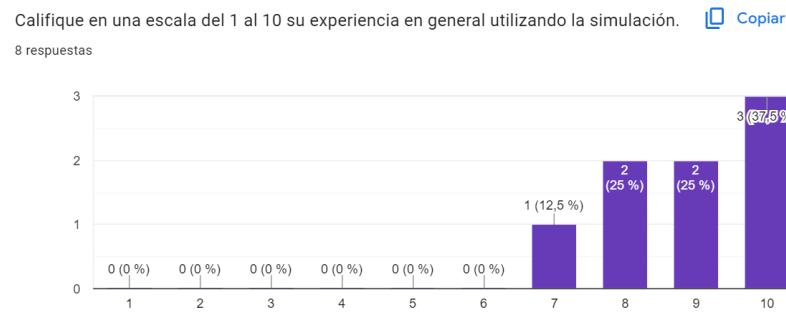
Resultado de la tercera pregunta del prototipo final



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la tercera pregunta del prototipo final.

Figura 139

Resultado de la cuarta pregunta del prototipo final



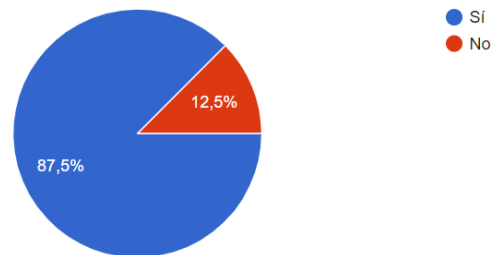
Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la cuarta pregunta del prototipo final.

Figura 140

Resultado de la quinta pregunta del prototipo final

¿Le gustaría que alguno de sus cursos utilizara la realidad virtual como una herramienta de enseñanza?

8 respuestas



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la quinta pregunta del prototipo final.

Figura 141

Resultado de la sexta pregunta del prototipo final



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la sexta pregunta del prototipo final.

Tabla 142

Comentarios prototipo final

Comentarios prototipo final

“La planta se ve muy interesante y es igual de interesante poder ver tan de cerca como se arma un carro.”

Nota. En esta tabla se muestran algunos comentarios realizados por los usuarios durante las pruebas del prototipo final.

Para las tres iteraciones se realizaron observaciones respecto al comportamiento y a los comentarios y preguntas que los usuarios hicieron durante la prueba. Entre ellos se puede mencionar que muchos de los participantes no contaban con experiencia previa con el uso de la Realidad Virtual, y luego de pasar el tutorial no tuvieron dificultad en familiarizarse con el sistema entero. Además, hubo muchos comentarios que mencionaron lo fácil que se sintió interactuar con objetos.

Además, también hubo comentarios que mencionaron algunos aspectos estéticos del sistema, como el color del puntero de interacción de interfaces gráficas y la claridad del nivel. Por otra parte, también hubo algunos casos en los que existió cierta dificultad al querer interactuar con la tablet de manera táctil y con la mano izquierda. También fue posible notar una leve dificultad de los usuarios de adaptarse al uso de la caminadora.

4. Prueba con catedrática

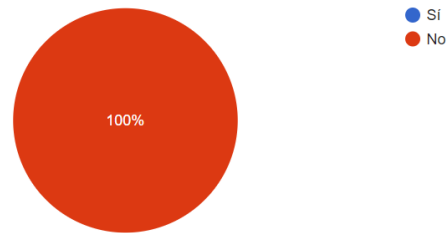
Luego de las iteraciones de prototipos, se realizó una última prueba de usuario con la versión final del sistema. Esta fue evaluada sobre el flujo completo de la aplicación. Duró alrededor de 30 minutos y fue posible gracias a la colaboración de una catedrática de la Universidad del Valle de Guatemala. A continuación se enseñan los resultados de esta prueba.

Figura 142

Resultado de la primera pregunta de la prueba con catedrática

¿Alguna vez ha estado en una planta de producción de automóviles?

1 respuesta



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la primera pregunta de la prueba con catedrática.

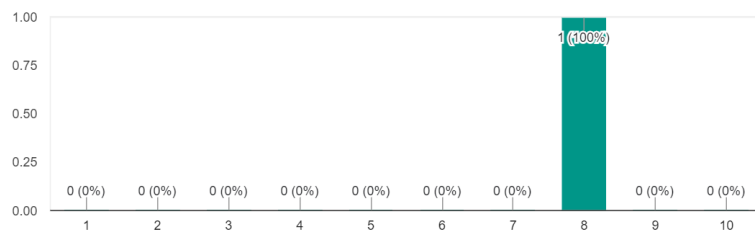
Figura 143

Resultado de la segunda pregunta de la prueba con catedrática

Basado en su respuesta anterior, ¿qué tanto cree que la experiencia proporcionada en la aplicación se asemeje a la realidad?

[Copiar](#)

1 respuesta



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la segunda pregunta de la prueba con catedrática.

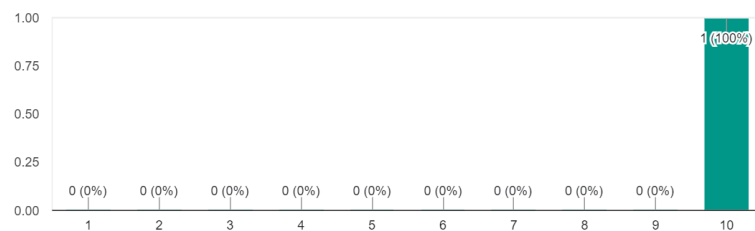
Figura 144

Resultado de la tercera pregunta de la prueba con catedrática

Del 1 al 10, ¿cómo evaluaría la comodidad de la experiencia? (Los controles fueron fáciles de usar, se pudo aclimatar rápidamente a su uso, etc.)

[Copiar](#)

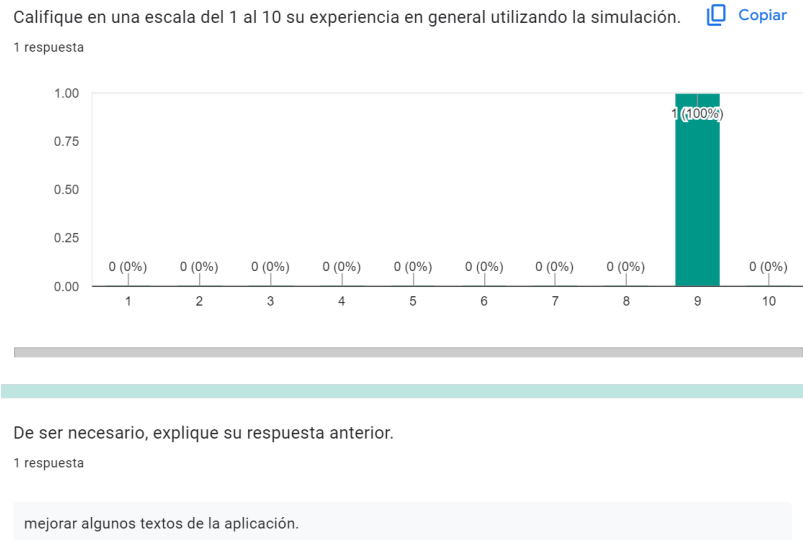
1 respuesta



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la tercera pregunta de la prueba con catedrática.

Figura 145

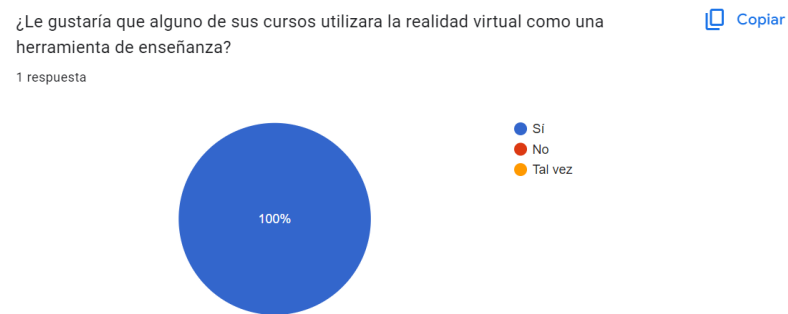
Resultado de la cuarta pregunta de la prueba con catedrática



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la cuarta pregunta de la prueba con catedrática.

Figura 146

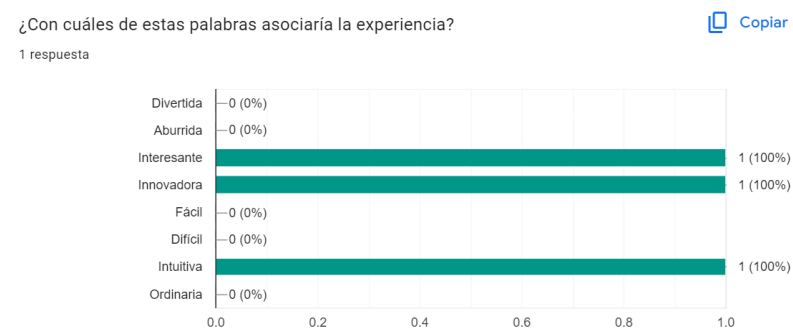
Resultado de la quinta pregunta de la prueba con catedrática



Nota. Gráfico circular representando las respuestas a la quinta pregunta de la prueba con catedrática.

Figura 147

Resultado de la sexta pregunta de la prueba con catedrática



Nota. Gráfico de barras representando las respuestas a la sexta pregunta de la prueba con catedrática.

D. Análisis de resultados

Como se puede apreciar en la Figura 124 el 80 % de los participantes no había tenido experiencias en una planta de producción de automóviles, lo cual afecta el pesaje del criterio de semejanza de la simulación con la vida real. Por ello, al observar la Figura 125 es importante notar la subjetividad de la semejanza. Dicho esto, la gráfica muestra que la mayoría de los participantes considero que el índice de semejanza equivale a un 60 %. Esto resulta en un promedio de 66 % de semejanza con una planta real. Este resultado probablemente se deba a no haber mostrado la simulación completa, por lo que no fue posible apreciar las similitudes a simple vista.

Respecto a la comodidad de la experiencia, la Figura 126 muestra que la mayor parte de los participantes evaluó el porcentaje de comodidad con un 80 %, y el resto con un 50 % de comodidad. Si se toman en cuenta la cantidad de respuestas con el porcentaje correspondiente se puede promediar este resultado a un 74 % como porcentaje de comodidad. Luego, como se aprecia en la Figura 127, la mayor parte de los participantes calificó su experiencia con un 80 %. Si se promedian estas calificaciones y se toma en cuenta la cantidad de respuestas se obtiene como resultado un 76 % de contento con la experiencia.

Al tener estos 3 porcentajes (66 % de semejanza, 74 % de comodidad y 76 % de experiencia en general), es posible promediarlos para obtener el porcentaje de satisfacción, que en este caso es 72 %. Luego en la Figura 128 se aprecia que al 80 % de los participantes les gustaría utilizar nuevamente esta tecnología en otros cursos universitarios. Esto denota un gran interés por parte de los estudiantes y fomenta la continuación nuevas implementaciones y la continuación de este proyecto.

Por otra parte, si se observa la Figura 129, las palabras consideradas como negativas no tienen ningún voto. Por lo que se puede calificar como una experiencia positiva. Además, si se tienen en cuenta las 3 palabras más votadas: Interesante, Innovadora e Intuitiva, es posible respaldar el hecho de que el primer prototipo ya contaba con un buen nivel de intuitividad y que generó mucho interés en los usuarios. También es importante notar que las palabras: Divertida e Intuitiva tienen 3 votos cada una, lo cual indica que los usuarios no tuvieron dificultad en aprender a utilizar la simulación y entretenerse en el proceso. Respecto a los comentarios del cuadro 140, estos demuestran que aún debían implementarse mejoras para encontrar y manipular más fácilmente los objetos y hacer más cómodo el controlador de movimiento.

Para las pruebas del Prototipo 2 y el Final, las Figuras 130 y 136 muestran que la totalidad de los participantes no han estado en una planta de producción de automóviles, lo cual denota que esta es una experiencia nueva y afecta el pesaje del criterio de semejanza. Por ello, se decidió no tomar en cuenta este factor ya que no se podría comparar con puntos de referencia, por lo que puede incrementar la subjetividad de algunas respuestas.

La Figura 131 muestra respuestas similares que van desde una calificación de semejanza del 60 % al 90 %. El promedio de calificación de semejanza es del 73.33 %. Luego, la Figura 132 muestra el porcentaje de comodidad y tiene un comportamiento similar pero que oscila entre 70 % y 90 %. El promedio del porcentaje de comodidad promediado es del 83.33 %. Y el porcentaje de contento con la experiencia al ser promediado es de 88.33 %. Si se promedian estos 3 porcentajes se obtiene el porcentaje de satisfacción del Prototipo 2, lo cual resulta en 81.66 % y se observa que es casi 10 % mayor que el primer prototipo.

La Figura 134 por su parte demuestra un gran interés por parte de los estudiantes que participaron en las pruebas del Prototipo 2, ya que el 83.3 % de los participantes les gustaría utilizar esta tecnología en otros cursos. Y la Figura 135 también muestra asociaciones solamente con palabras denominadas positivas, por lo que el Prototipo 2 también se puede calificar como una experiencia positiva, dado que las 3 palabras más votadas fueron: Divertida, Interesante e Innovadora.

Para el Prototipo Final, la Figura 137 muestra que el porcentaje promedio de semejanza en este

caso es del 73.75 %. Asimismo, se aprecia en la Figura 138 que el porcentaje de comodidad promediado se encuentra en 81.25 %. Y finalmente el porcentaje de contenido con la experiencia promediado es del 88.75 %. Al promediar estos tres porcentajes se obtiene el porcentaje de satisfacción y resulta en 81.25 %. Esto significa que el porcentaje de satisfacción final cumple con el objetivo general del módulo.

Luego, se puede observar que la Figura 140 denota un gran interés por parte de los usuarios en el uso de esta tecnología para futuras implementaciones. Por otra parte, la Figura 141 muestra un solo una asociación con una palabra positiva y 26 asociaciones con palabras negativas. Esto se traduce a una experiencia positiva en un 96.3 %. Y cabe mencionar que las dos palabras más votadas fueron: Interesante e Intuitiva, lo cual respalda la intuitividad y el interés que la simulación genera en los estudiantes.

El porcentaje de satisfacción incrementó considerablemente luego del Prototipo 1, con un máximo de 81.66 % en el Prototipo 2 y finalmente con un 81.25 % en la última iteración. Esto permite observar el cumplimiento del objetivo general del módulo y una experiencia de usuario satisfactoria en la implementación final. Asimismo, los comentarios demuestran un avance constante con la calidad de la experiencia hasta llegar al comentario de la última iteración, el cual menciona que la planta y el proceso de producción se ven muy interesantes.

Respecto a las observaciones realizadas, queda claro que aún existen algunas consideraciones que podrían llevarse a cabo para incrementar la accesibilidad de los usuarios con distintas preferencias. Por ejemplo, para interactuar con la tablet de manera táctil sería necesario utilizar el SDK de Oculus, lo cual tomaría más tiempo de desarrollo e integración. Asimismo, algunos factores de accesibilidad podrían ser mejorados, como las preferencias de los usuarios respecto a su mano dominante, o la velocidad de caminado, entre otros.

En cuanto a la prueba realizada con una catedrática, los resultados muestran que el porcentaje de semejanza fue del 80 % (véase 143). Según la Figura 144 el porcentaje de comodidad fue del 100 % y la Figura 145 muestra que el porcentaje de contenido con la experiencia en general es del 90 % además de brindar una recomendación de mejorar algunos textos de la app, probablemente debido a su legibilidad. Al obtener el promedio de estos tres porcentajes se obtiene un porcentaje de satisfacción de 90 %, lo cual cumple con el objetivo general del módulo. No obstante esta prueba fue realizada con una sola catedrática, lo cual puede sesgar significativamente el resultado. Por ello, en futuras iteraciones resultaría conveniente incrementar el tamaño de la muestra para realizar las pruebas de usuario.

Desarrollo del *character controller*, UI/UX, ventas y monetización

El desarrollo de aplicaciones de realidad virtual se ha convertido en una de las tendencias más importantes en el ámbito de la tecnología y el entretenimiento. La posibilidad de ofrecer experiencias de usuario inmersivas y realistas, a través de la simulación de entornos y situaciones, ha abierto un mundo de posibilidades en múltiples campos, desde la educación hasta el entretenimiento. Se estima que el número de dispositivos de realidad virtual vendidos mundialmente alcance 100 millones de unidades para 2025.

El problema que buscamos resolver es la falta de experiencias inmersivas en el aprendizaje dentro de la universidad. Los estudiantes de ingeniería industrial, mecánica e incluso mecatrónica necesitan comprender a fondo los conceptos teóricos de su área, pero también necesitan adquirir habilidades prácticas. La realidad virtual puede ofrecer una experiencia inmersiva que permite a los estudiantes experimentar de manera directa los conceptos que están aprendiendo. Nos enfocaremos principalmente en el aprendizaje de la carrera de ingeniería industrial.

Este problema es importante porque tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad de la educación en ingeniería industrial. La experiencia inmersiva de la realidad virtual puede ayudar a los estudiantes a lograr una mejor comprensión de los conceptos teóricos y a desarrollar las habilidades prácticas que necesitan para su carrera. Esto también logra que el aprendizaje sea más atractivo y eficaz, lo que a su vez, puede transformar la educación tradicional y los modelos de clase convencionales \cite{mora}.

Al resolver este problema, se ganarían los siguientes beneficios:

1. Los estudiantes de ingeniería industrial lograrían una mejor comprensión de los conceptos teóricos y adquirirían las habilidades prácticas que necesitan para su carrera.
2. Se motivaría a otros estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Computación a crear nuevas herramientas de trabajo para mejorar la educación que reciben.
3. La universidad se posicionaría como un líder en la adopción de tecnologías innovadoras en la educación.

Este tema se relaciona con otros proyectos similares que buscan utilizar la realidad virtual para mejorar la educación. Por ejemplo, existen proyectos que utilizan la realidad virtual para enseñar

anatomía, ingeniería civil y otras materias. Los videojuegos educativos han experimentado un gran auge en los últimos años, especialmente las simulaciones.

De acuerdo con el artículo “Las simulaciones-juegos como estrategia de aprendizaje” \cite{castro} podemos decir que combina lo mejor de ambos mundos que permite crear una experiencia controlada para el estudiante. Los usos que se le pueden dar a este modelo tienen varios beneficios entre los cuales podemos mencionar:

- **Motivación:** Los juegos son una actividad atractiva para los estudiantes, lo que puede ayudar a aumentar su motivación.
- **Aprendizaje activo:** Las simulaciones-juegos requieren que los estudiantes participen de forma activa, lo que les ayuda a aprender de forma más efectiva.
- **Transferencia de aprendizaje:** Las simulaciones-juegos pueden ayudar a los estudiantes a transferir lo que aprenden a situaciones reales.

La estrategia de ventas y monetización que se implementará en este proyecto es fundamental para garantizar su sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo. Por lo tanto, este trabajo es necesario para explorar y entender el proceso de desarrollo de una aplicación de realidad virtual.

Como estudiante de último año de Ingeniería en Ciencias de la Computación y tras tres años de la especialización en videojuegos, tengo una gran formación académica en videojuegos, que me proporciona las habilidades necesarias para programar experiencias inmersivas. También cuento con experiencia laboral en la industria de videojuegos, que me ha brindado un conocimiento profundo de las tecnologías y problemas de esta industria.

A. Marco Teórico

1. Industria automotriz

La industria automotriz es un sector económico que se dedica a la producción de vehículos, tanto de motor como de tracción humana. Es una de las industrias más grandes del mundo, con un valor estimado de 2.5 mil millones de dólares en 2022.

La industria automotriz se divide en dos grandes segmentos: la fabricación de vehículos y el ensamble de vehículos. La fabricación de vehículos es el proceso de producir las piezas y componentes que componen un vehículo, mientras que el ensamble de vehículos es el proceso de unir esas piezas y componentes para formar un vehículo completo (Bellini y CicoGnani, 2018)

a. Ensamble de carros

El ensamble de carros es el proceso de unir las piezas y componentes que componen un vehículo para formar un vehículo completo. El proceso de ensamble de carros se divide en varias etapas, que incluyen:

1. **Recepción de piezas y componentes:** se reciben en la planta de ensamble desde los proveedores, esto se le conoce también como la materia prima (Curiel, 2017).
2. **Preparación de piezas y componentes:** puede incluir el montaje de componentes, el pintado o el recubrimiento de piezas (Curiel, 2017).

3. Ensamblaje: se ensamblan utilizando diferentes técnicas como soldadura por brazo o manual para formar un vehículo completo (Curiel, 2017).
4. Inspección: se inspecciona para garantizar que cumpla con los estándares de calidad (Curiel, 2017).
5. Envío: se envía el vehículo final al distribuidor o al cliente (Curiel, 2017).

b. ¿Cómo ensamblan carros empresas multinacionales?

Las empresas multinacionales que ensamblan carros en América Latina suelen seguir un proceso de ensamble similar al que se utiliza en otras partes del mundo. Sin embargo, existen algunas diferencias específicas en el proceso de ensamble en América Latina.

Una de las principales diferencias es que las empresas multinacionales suelen utilizar proveedores locales para obtener las piezas y componentes que componen sus vehículos. Esto ayuda a reducir los costos de producción y a promover el desarrollo de la industria automotriz en América Latina.

Otra diferencia es que las empresas multinacionales suelen adaptar sus vehículos a las necesidades del mercado latinoamericano. Esto puede incluir el cambio de la configuración del vehículo, el ajuste de las características del vehículo o la introducción de nuevos modelos de vehículos que sean más adecuados para el mercado latinoamericano (Carbajal-Suárez y Morales-Fajardo, 2017)

c. ¿Existen ensamblajes de carros en Latinoamérica?

De acuerdo con Statista (Statista-Research-Department, 2023), los cuatro países de América Latina con mayor producción de vehículos fueron en 2022 son:

1. México: 3,5 millones de unidades
2. Brasil: 2,3 millones de unidades
3. Argentina: 500.000 unidades
4. Colombia: 300.000 unidades

Representando así, el 90 % de la producción y ensamblaje de carros a nivel regional.

d. ¿Qué se conoce de la fabricación de carros a nivel nacional?

La fabricación de carros a nivel nacional es un proceso más complejo que el ensamble de carros. En la fabricación de carros, las empresas deben producir todas las piezas y componentes que componen un vehículo.

En América Latina, la fabricación de carros a nivel nacional es un proceso que todavía está en desarrollo. En 2022, solo dos países de América Latina tenían una capacidad de fabricación de carros a nivel nacional:

- Argentina: Fabrica motores, cajas de cambios y otros componentes para vehículos.
- Brasil: Fabrica motores, cajas de cambios, chasis y otros componentes para vehículos.

Mientras que para 2023, se habla de la posibilidad de que estos países (incluyendo a México) se sumen al ensamblaje de carros. El artículo "*Latinoamérica será punto de fabricación y ensamble de carros eléctricos*" de la revista Motor, afirma que América Latina se convertirá en un importante centro de fabricación y ensamblaje de vehículos eléctricos en los próximos años.

Los factores que más potencian esta decisión son:

- El aumento de la demanda de vehículos eléctricos a nivel mundial.
- La creciente disponibilidad de baterías de litio en América Latina.
- Los incentivos gubernamentales para la adopción de vehículos eléctricos.
- América Latina tiene grandes reservas de litio, un ingrediente clave en las baterías de vehículos eléctricos. (Avendaño, 2023)

e. ¿Se da algún proceso de ensamblado en Guatemala?

Sí, en Guatemala existe un proceso de ensamblado de carros. En 2022, la empresa automotriz china Geely anunció la construcción de una planta de ensamblado de carros en Guatemala.

En marzo de 2023, la empresa china Geely anunció su llegada a Guatemala. Geely es una de las principales fabricantes de automóviles de China, y su llegada a Guatemala es un hito importante para la industria automotriz del país.

La planta de Geely en Guatemala es la primera planta de ensamblado de carros en la historia del país. La planta tiene una capacidad de producción de 20.000 unidades por año.

Geely introducirá dos modelos a Guatemala: el GX3PRO y el Emgrand GL. El GX3PRO es un vehículo compacto de cuatro puertas, mientras que el Emgrand GL es un sedán de tamaño mediano. Ambos modelos están equipados con características tecnológicas y de seguridad avanzadas.

La llegada de Geely a Guatemala es una señal del creciente interés de las empresas chinas en el mercado centroamericano. La región ofrece un mercado potencial para las empresas chinas, que buscan (Aresti, 2023).

2. Industria 4.0

La Industria 4.0, también conocida como Cuarta Revolución Industrial, es un concepto que se refiere a la transformación digital de la industria mediante la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, la robótica, el Internet de las Cosas (IoT) y el Big Data.

Esta transformación tiene como objetivo crear fábricas inteligentes que sean más eficientes, productivas y sostenibles.

¿Cómo se da?

La Industria 4.0 se da a través de la integración de las siguientes tecnologías: (Bellini y CicoGnani, 2018)

- Inteligencia artificial (IA): se utiliza para automatizar tareas, tomar decisiones y personalizar productos y servicios.
- Robótica: los robots se utilizan para realizar tareas repetitivas y peligrosas.

- Internet de las Cosas (IoT): permite que los dispositivos y sistemas se conecten entre sí y compartan datos.
- Big Data: se utiliza para analizar grandes cantidades de datos para obtener información valiosa.

¿Dónde surge? y ¿Cuál es el futuro de dicha industria?

La Industria 4.0 surgió en Alemania a finales de la primera década de los 2000. Sin embargo, en los últimos años se ha extendido a todo el mundo.

El futuro de la Industria 4.0 es prometedor. Se espera que esta transformación tenga un impacto significativo en la economía, la sociedad y el medio ambiente (Bellini y CicoGnani, 2018).

Algunos de los beneficios potenciales de la Industria 4.0 incluyen:

- Aumento de la productividad y la eficiencia
- Personalización de productos y servicios
- Reducción de costes
- Mejora de la seguridad
- Reducción del impacto ambiental

Sin embargo, la Industria 4.0 también plantea algunos retos, como: (Carufel, 2018)

- La pérdida de puestos de trabajo
- La necesidad de nuevas habilidades y formación
- La seguridad cibernética

3. Videojuegos

a. ¿Qué es?

Un videojuego es un software de entretenimiento que se juega en una plataforma electrónica, como una consola de juegos, un ordenador personal, un teléfono inteligente o una tableta. Los videojuegos suelen ser interactivos y requieren que el jugador use la entrada física para controlar al personaje o la acción del juego.

Los videojuegos pueden ser de muchos tipos diferentes, incluyendo juegos de acción, juegos de aventura, juegos de rol, juegos de estrategia, juegos de deportes y juegos de puzzles. También pueden ser de muchos géneros diferentes, incluyendo ciencia ficción, fantasía, historia y realidad. (Esposito y Reinerová, 2015)

¿Cómo nace un videojuego?

Un videojuego nace de una idea. Esa idea puede ser un concepto original, una adaptación de una obra existente o simplemente una variación de un género popular.

Una vez que se tiene la idea, es necesario desarrollar un concepto. Este concepto debe definir los aspectos básicos del juego, como la historia, la jugabilidad, el estilo visual y el público objetivo; a este paso se le conoce comúnmente como el GDD, que es el *game design document* (documento de

diseño de un videojuego) donde se almacena toda esta información para crear el videojuego (Touaa, Boutaleb, y Merouani, 2022)

El siguiente paso es crear un prototipo. Un prototipo es una versión básica del juego que permite probar la idea y la jugabilidad. Una vez que el prototipo es satisfactorio, se puede comenzar a desarrollar el juego completo (Touaa y cols., 2022). Este proceso puede ser largo y complejo, y requiere de la colaboración de un equipo de personas con diferentes habilidades, como artistas, diseñadores, programadores y testers.

b. ¿Qué pasos se usan para crear un videojuego?

De acuerdo al artículo “*How video games are made: the game development process*” (Stefyn, 2022), un videojuego tiene la siguiente estructura:

1. Idea: punto de partida de todo videojuego. Puede ser un concepto original, una adaptación de una obra existente o simplemente una variación de un género popular.
2. Concepto: define los aspectos básicos del juego, como la historia, la jugabilidad, el estilo visual y el público objetivo.
3. Prototipo: es una versión básica del juego que permite probar la idea y la jugabilidad.
4. Desarrollo: proceso de crear el juego completo. Este proceso puede ser largo y complejo, y requiere de la colaboración de un equipo de personas con diferentes habilidades.
5. Pruebas: necesarias para identificar y corregir errores.
6. Lanzamiento: momento en que el juego se pone a disposición del público.

c. Diferencias entre un videojuego y una simulación

De acuerdo con el artículo “*Las simulaciones-juegos como estrategia de aprendizaje*” las principales diferencias son: (Castro, 2008)

- Objetivo: Los videojuegos suelen tener como objetivo el entretenimiento, mientras que las simulaciones suelen tener como objetivo el aprendizaje.
- Realismo: Las simulaciones suelen ser más realistas que los videojuegos, ya que intentan representar de forma precisa una situación real.
- Competitividad: Los videojuegos suelen ser más competitivos que las simulaciones, ya que suelen tener un componente de juego.
- Participación: Las simulaciones suelen requerir una participación más activa por parte del jugador que los videojuegos, ya que el jugador suele tener que tomar decisiones y resolver problemas.

Algunos ejemplos para contrastar este tipo de modelos son:

- Videojuego: “Call of Duty” es un videojuego de disparos en primera persona que tiene como objetivo el entretenimiento. El juego no es muy realista, ya que los jugadores pueden realizar acciones que serían imposibles en la vida real, como saltar de un avión en pleno vuelo y sobrevivir. El juego es competitivo, ya que los jugadores compiten entre sí para obtener la puntuación más alta. El juego es relativamente pasivo, ya que el jugador simplemente tiene que seguir las instrucciones para avanzar en el juego (ACTIVISION, Call of Duty).

- Simulación: “Microsoft Flight Simulator” es una simulación de vuelo que tiene como objetivo el aprendizaje. El juego es muy realista, ya que los jugadores pueden controlar todos los aspectos de un avión, incluyendo el motor, el timón y los flaps. El juego no es competitivo, ya que los jugadores juegan contra el ordenador. El juego requiere una participación activa por parte del jugador, ya que el jugador tiene que tomar decisiones sobre cómo volar el avión (Microsoft, Microsoft Flight Simulator).

En cuanto al modelo de simulación-juego, encontramos juegos como:

- SimCity: permite a los jugadores construir y administrar una ciudad. El juego es realista en el sentido de que los jugadores tienen que tomar decisiones sobre cómo proporcionar servicios públicos, construir infraestructura y atraer empresas. El juego también es competitivo, ya que los jugadores compiten entre sí para construir la ciudad más próspera (Electronics Art, SimCity).
- RollerCoaster Tycoon: permite a los jugadores diseñar y construir un parque de atracciones. El juego es realista en el sentido de que los jugadores tienen que tomar decisiones sobre cómo diseñar las atracciones, establecer los precios y gestionar los recursos. El juego también es competitivo, ya que los jugadores compiten entre sí para atraer a más visitantes (ATARI, RollerCoaster Tycoon).

4. Motor de videojuegos

Un motor de videojuegos es una plataforma de software que proporciona las herramientas y la infraestructura necesarias para crear videojuegos. Un motor de videojuegos típicamente incluye las siguientes características: (Carrasco, 2018)

- Un motor gráfico: Genera la representación visual del juego.
- Un motor de física: Simula el comportamiento de los objetos en el juego.
- Un motor de sonido: Genera los efectos de sonido del juego.
- Un motor de inteligencia artificial: Controla el comportamiento de los personajes no jugadores.
- Un motor de juego: Controla el flujo del juego y la interacción del jugador.

a. Unity

Unity es un motor de videojuegos 2D y 3D que permite crear juegos para diferentes plataformas, como PC, consolas y dispositivos móviles (Unity-Learn, 2023).

b. ¿Cómo son los scripts?

En Unity, los scripts son fragmentos de código que se utilizan para controlar la lógica y el comportamiento del juego. Los scripts se pueden escribir en los lenguajes de programación C# o JavaScript. (Unity-Technologies, 2023a)

c. Componentes y herramientas

Unity ofrece una amplia gama de componentes y herramientas que facilitan la creación de videojuegos. Algunos de los componentes más populares incluyen: (Unity-Technologies, 2023a)

- Transform: este componente controla la posición, rotación y escala de un objeto.
- MeshRenderer: este componente Renderizar la geometría de un objeto.
- Animator: este componente controla las animaciones de un objeto.
- AudioSource: este componente reproduce audio.
- Script: este componente permite agregar lógica y comportamiento a un objeto.

d. Otras herramientas de Unity

Además de los componentes, Unity ofrece una serie de herramientas que pueden ser útiles para crear videojuegos. Algunas de las herramientas más populares incluyen: (Unity-Learn, 2023)

- Unity Editor: Este es el editor de Unity, que se utiliza para crear y editar juegos.
- Unity Asset Store: Este es un mercado en línea donde se pueden comprar y descargar activos para juegos, como modelos, texturas, sonidos y scripts.
- Unity Learn: Este es un sitio web que ofrece cursos y tutoriales sobre Unity.

e. Controlador de personaje

Este es uno de los componentes más importantes en un videojuego ya que permite controlar el movimiento de un personaje. Este componente se basa en un sistema de colisiones para determinar cómo se mueve el personaje en el mundo del juego.

El controlador de personaje tiene las siguientes características:

- Se basa en un sistema de colisiones para determinar cómo se mueve el personaje. Esto significa que el personaje no puede atravesar objetos sólidos, y se ve afectado por las fuerzas de la física, como la gravedad y la fricción.
- Ofrece un control preciso del movimiento del personaje. El usuario puede controlar la velocidad, la dirección y el salto del personaje.
- Es compatible con una amplia gama de plataformas. El controlador de personaje se puede usar para crear juegos para PC, consolas y dispositivos móviles. (Unity-Technologies, 2023a)

Para usar el controlador de personaje, es necesario agregar el componente al objeto que represente al personaje en el juego. Una vez que el componente está agregado, el usuario puede usar el código para controlar el movimiento del personaje.

Por ejemplo, en el código de la imagen no. 1, podemos apreciar que el “controller” moverá al jugador en la dirección X según la velocidad que se le asigne.

Figura 148

Código ejemplo de un uso básico del controlador de personaje

```
// Obtener el Character Controller del objeto
CharacterController controller = GetComponent<CharacterController>();

// Mover el personaje en la dirección X
controller.Move(Vector3.right * speed);
```

Nota. La imagen representa un extracto de código del controlador de personaje de la guía oficial de Unity Learn. Tomado de (Unity-Technologies, 2023a)

5. Realidad virtual

La realidad virtual (VR) es una tecnología que permite a los usuarios experimentar un entorno artificial generado por ordenador. Este entorno se genera utilizando una combinación de hardware y software, que incluye gafas o cascos de VR, controladores de movimiento y software de renderizado.

a. Realidad virtual vs. simulación

La realidad virtual y la simulación son dos tecnologías que pueden utilizarse para crear entornos artificiales. Sin embargo, hay algunas diferencias clave entre ambas.

La realidad virtual se centra en crear una experiencia inmersiva, que hace que el usuario se sienta como si estuviera realmente presente en el entorno. La simulación, por otro lado, se centra en la precisión, que hace que el entorno sea lo más realista posible (Gaina, 2022).

b. Cyberith

Cyberith es una empresa que desarrolla sistemas de realidad virtual de inmersión completa. Su producto más popular es el Cyberith Virtualizer, que utiliza un sistema de seguimiento de movimiento para rastrear el movimiento del cuerpo del usuario. (Cyberith, 2019b)

c. Virtualizer 2

El Virtualizer 2 es la segunda versión del Cyberith Virtualizer. Esta versión ofrece una serie de mejoras sobre el modelo original, incluyendo una mayor libertad de movimiento, un sistema de seguimiento de movimiento más preciso y una pantalla más grande (Cyberith–Medium, 2020).

d. Meta

Meta es una empresa de tecnología que se centra en el desarrollo de realidad virtual y Realidad aumentada (Fernández, 2023). Su producto más popular es el Oculus Quest 2, un casco de realidad virtual para consumidores. (Meta, 2022)

e. Oculus Quest 2

El Oculus Quest 2 es un casco de realidad virtual autónomo, lo que significa que no requiere un PC o consola para funcionar. Este casco ofrece una experiencia de realidad virtual inmersiva y asequible (Meta, 2022).

f. Componentes de Unity para VR

Unity ofrece una amplia gama de componentes para crear juegos de realidad virtual. Algunos de los componentes más populares incluyen: (Unity-Learn, 2023)

- VRTK: Este componente ofrece una serie de funciones básicas para crear juegos de realidad virtual.
- SteamVR: este componente permite a los usuarios jugar juegos de realidad virtual en Steam.
- Oculus Integration: este componente permite a los usuarios jugar juegos de realidad virtual en Oculus Quest.

6. UI/UX

a. ¿Qué es UI?

La interfaz de usuario (UI) es la parte de un sistema informático que permite a los usuarios interactuar con él. En el contexto de la realidad virtual, la UI se utiliza para controlar el juego y el entorno.

En Unity, hay una serie de herramientas y recursos disponibles para crear UI para VR. El componente *Canvas* es la base de toda UI en Unity, y se puede utilizar para crear elementos 2D que se renderizan en la pantalla del visor. El componente XR Interaction Toolkit (Unity-Manual, 2019) proporciona una serie de funciones para crear interacciones con la UI en VR, como el seguimiento de la cabeza y los controladores.

b. ¿Qué es UX?

UX significa User Experience, o experiencia de usuario. Se refiere a la percepción que tiene un usuario de un producto o servicio, desde el momento en que lo conoce hasta que lo deja de usar. El UX abarca todos los aspectos de la interacción del usuario con un producto, incluyendo la facilidad de uso, la usabilidad, la satisfacción y la emoción (More, 2022).

(More, 2022)

c. Cibermareo

El *cibermareo* es un conjunto de síntomas que pueden experimentar los usuarios de realidad virtual. Estos síntomas incluyen náuseas, mareos, vómitos y desorientación. De acuerdo al artículo "*Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review*" (Weech, Kenny, y Barnett-Cowan, 2019) la presencia y el cibermareo están correlacionadas negativamente.

Tabla 143
Comparativa entre UI vs. UX

Factor	UI	UX
Enfoque	Apariencia e interactuabilidad	Percepción, las emociones, la memoria, mentalidad, la motivación y el aprendizaje
Objetivo	Crear una interfaz atractiva y de uso fácil	Crear una experiencia de usuario positiva y satisfactoria
Elementos clave	Propósito, ayuda al usuario, claridad, diseño gráfico funcional	Usabilidad, satisfacción, emoción, aprendizaje
Ejemplo	Crear una aplicación con botones grandes	Crear una aplicación con un flujo sencillo y diseño atractivo

Nota. Comparativa entre la interfaz de usuario vs. la experiencia de usuario

Esto se entiende a que la presencia es la sensación de estar inmerso dentro de un mundo virtual; esto involucra lo que son las imágenes, rastro de movimiento y la interacción que se da dentro del mismo. Una larga “estadía” en este mundo, no conllevará primariamente a tener mareos o malestar físico.

d. Tipos de interacciones en VR

Existen varios tipos de interacciones que se pueden utilizar en realidad virtual. Algunos de los tipos de interacciones más comunes incluyen: (Weech y cols., 2019)

- Controles de movimiento: los controles de movimiento permiten a los usuarios interactuar con el entorno utilizando movimientos naturales.
- Controles de voz: los controles de voz permiten a los usuarios interactuar con el entorno utilizando su voz.
- Controles táctiles: los controles táctiles permiten a los usuarios interactuar con el entorno utilizando su tacto.

e. Cuidados

Es importante tomar precauciones al usar realidad virtual para evitar el cibermareo y otros problemas. Algunas precauciones que se pueden tomar incluyen:

- Comenzar con sesiones cortas: es mejor comenzar con sesiones cortas de realidad virtual y aumentar gradualmente el tiempo de uso.
- Hacer descansos frecuentes: es importante hacer descansos frecuentes para evitar el cibermareo.
- No usar realidad virtual si está enfermo: si está enfermo, es mejor no usar realidad virtual para evitar empeorar sus síntomas.

7. Monetización

La monetización de videojuegos es el proceso de obtener ingresos de un videojuego. Los desarrolladores de videojuegos utilizan una variedad de estrategias de monetización para generar ingresos,

sin embargo las dos principales (Ruiz Mendoza, 2019):

- Ventas de juegos: es el método más tradicional, en el que los jugadores pagan un precio único por el juego; es también, el método más directo de obtener dinero. Este método se emplea mayormente en las empresas conocidas como AAA, son aquellos videojuegos que están desarrolladas por grandes compañías de la industria con altos costes tanto de desarrollo como de marketing (The-Core-School, 2022).
- Compras dentro del juego: este método permite a los jugadores comprar contenido adicional para el juego, como objetos, habilidades o aspectos para el personaje (vestimenta, armas, etc) . Este contenido suele ser opcional, pero puede dar a los jugadores una ventaja sobre otros jugadores. Las compras dentro del juego son comunes en los juegos free-to-play, que son juegos gratuitos que generan ingresos a través de las compras dentro del juego. De acuerdo con Mundo gamers (Pareja, 2018) el caso de *Fortnite*, da una clase magistral de cómo monetizar un *Free to Play* sin resultar ofensivo para los jugadores que no pagan y ofreciendo contenido realmente interesante (a un precio más o menos convincente) para aquellos usuarios que disfrutaran de verdad con la propuesta. En la página web de Epic Games, creadores de *Fortnite*, se detalla a profundidad cómo funciona el pase de batalla y los beneficios que el jugador obtiene a través de este, principalmente el jugador puede optar por obtener un “battle pass” o jugar gratis y su experiencia seguirá siendo la misma a diferencia que algunos tendrán accesorios o vestimentas más sofisticadas (Epic-Games, 2018).
- Suscripciones: este método permite a los jugadores acceder a contenido exclusivo o a características adicionales del juego por una tarifa mensual o anual. Sin embargo, esta modalidad suele generar una retroalimentación de compromiso de los jugadores hacia el juego: mientras más tiempo y dinero hayan invertido en un juego, más costosa será la sensación de “pérdida” si lo abandonan (Ruiz Mendoza, 2019). Este método es común para los juegos MMORPG, que son juegos de rol multijugador masivo en línea.
- Publicidad: este método permite a los desarrolladores de videojuegos ganar dinero mostrando anuncios en sus juegos. Es un método común para los juegos gratuitos (Ruiz Mendoza, 2019).

La monetización de una simulación educativa puede ser un desafío, ya que los usuarios suelen estar más acostumbrados a pagar por el acceso a contenido educativo que por el acceso a contenido de entretenimiento. Sin embargo, hay una serie de estrategias que pueden utilizarse para monetizar una simulación educativa de manera efectiva.

El mejor acercamiento para la monetización de simulaciones educativas pueden ser pero no se incluyen solo a, venta de la aplicación, suscripciones y compras dentro de la aplicación.

Para llevar a cabo el desarrollo de esta aplicación de realidad virtual que simula el proceso de ensamblaje de carros, se implementará una metodología mixta que combina tanto enfoques cuantitativos como cualitativos. A continuación, se describen las etapas de la metodología propuesta:

B. Metodología

1. Formación del Equipo de Desarrollo:

El equipo de desarrollo está compuesto por un total de 7 miembros: 5 ingenieros en computación y 2 ingenieros industriales. La formación de este equipo se basó en las habilidades y especialidades de cada miembro para trabajar en la creación de videojuegos con un enfoque en realidad virtual (VR).

a. Roles y Distribución de Tareas:

1. Arte y Animación (2 Ingenieros en Computación):

- Estos dos miembros del equipo se enfocan en la creación de activos visuales y animaciones para la aplicación de realidad virtual. Esto incluye la generación de modelos 3D, texturas, efectos visuales y animaciones de personajes.
- Trabajan en estrecha colaboración con los programadores de VR para asegurarse de que los activos visuales se integren de manera adecuada en el entorno de realidad virtual.

2. Programación para Usuarios en la Computadora (1 Ingeniero en Computación):

- Este miembro del equipo se encarga de desarrollar la parte de la aplicación que permite a los usuarios interactuar con ella desde una computadora. El objetivo es permitir que el ‘jugador’ en la computadora tenga a su disponibilidad una manera de comunicación no verbal con el ‘jugador’ utilizando el headest.
- Colabora con el equipo de VR para asegurarse de que la aplicación provea una experiencia de usuario para ambos usuarios. Permite también guiar al usuario que esta utilizando el casco por medio de objetos visuales (Waypoints)

3. Programación de Realidad Virtual y UI/UX (2 Ingenieros en Computación):

- Estos dos ingenieros se dedican específicamente a la programación de la experiencia de realidad virtual. Se encargan de implementar las mecánicas de juego, la interacción del usuario en el entorno de VR, el manejo de los dispositivos Oculus y la optimización del rendimiento.
- Su labor también consiste en velar por la satisfacción del usuario, verificar que pueda realizar todas las actividades que el programa provee y que los controles sean los más óptimos para desarrollar las actividades.
- Trabajan estrechamente con el equipo de arte y animación para integrar los activos visuales y asegurar una experiencia de usuario inmersiva.

4. Ingenieros Industriales (2 Ingenieros Industriales):

- Estos dos ingenieros industriales aportan una perspectiva valiosa en términos de procesos y eficiencia. Se centran en la optimización de la fábrica de ensamble virtual dentro de la aplicación, garantizando que las tareas y procesos simulados sean realistas y eficientes.
- Este equipo se encarga de proporcionar los datos necesarios para lograr que la simulación se ejecute en tiempos reales. Así mismo, ellos proporcionan el diseño de la planta para poder verificar que se cumplan los estándares de calidad.

b. Colaboración y Comunicación:

La comunicación y colaboración efectivas son esenciales en este equipo multidisciplinario. Los miembros de diferentes especialidades deben trabajar juntos para garantizar que la aplicación de realidad virtual sea coherente y exitosa.

Esto lo logramos por medio de reuniones regulares, revisiones de avance y la retroalimentación constante son clave para el éxito del proyecto. Cada miembro aporta sus habilidades únicas para lograr una experiencia de usuario inmersiva y realista, tanto en la realidad virtual como en la computadora convencional.

Tabla 144

Visualización de actividades y tareas

Tarea específica	Encargado/s
Diseño de nivel	Luis Diego Romero Casasola, Luis Carlos Rosenberg Ligorria
Implementación del nivel	Diego Alberto Álvarez Molina, Laura María Leví Tamath Pérez
Diseño, modelaje y animación de maquinaria	Diego Alberto Álvarez Molina
Diseño, modelaje y animación de operarios	Laura María Leví Tamath Pérez
Diseño y modelaje de props de fábrica	Laura María Leví Tamath Pérez
Programación de asimetría	Martin Amado Girón
Programación de Character Controller	Alejandra Gudiel García
Programación de Gameplay	Alejandra Gudiel García, Martín Eduardo España Rivera

Nota. Distribución de las tareas del proyecto con el encargado de cada área.

2. Creación de la idea

a. Definición de tecnologías

En base a las tecnologías utilizadas durante la carrera, se el motor de videojuegos a utilizar es Unity de la versión 2021.3.16 LTS (de larga duración), ya que cuenta con las actualizaciones regulares y es una versión estable (Unity-Technologies, 2022). Esta versión nos permite trabajar continuamente con las versiones de Oculus Quest 2 y Virtualizer Elite.

Se utilizará la caminadora Elite Virtualizer 2 de Cyberith. Esta utiliza una plataforma de movimiento motorizada para apoyar activamente la marcha en realidad virtual. La cinta de correr VR de segunda generación permite el movimiento más conveniente en aplicaciones de Realidad Virtual (Cyberith, 2019b)

Por último, se usará el casco de VR de Meta, Oculus Quest 2. Este es un casco de realidad virtual (VR) desarrollado por Reality Labs, una división de Meta Platforms (Meta, 2022)

b. Búsqueda de literatura

Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura científica, académica y técnica, así como de recursos disponibles en Internet, para identificar las mejores prácticas y tendencias en el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual, especialmente en la simulación de procesos industriales y de ensamblaje de automóviles.

Así mismo, se consultará en el canal de *YouTube* de Quentin Valemboius (Valem, 2019) y la plataforma *Unity Learn* (Unity-Learn, 2023) el cual es una serie cursos para desarrollar un videojuego en VR.

c. Observación en el campo

1. Se realizarán diferentes entrevistas con los responsables del proyecto para poder comprender a profundidad las características y necesidades que este tiene. Se constará de una reunión quincenal para poder verificar los avances.

2. Se verán videos sobre el proceso que tienen las grandes empresas en su proceso de ensamblajes apoyandose del equipo de ingeniería industrial.
3. Se conversará con diferentes expertos en videojuegos y en la industria para conocer las prácticas óptimas para poder elaborar una simulación cercana a la realidad.

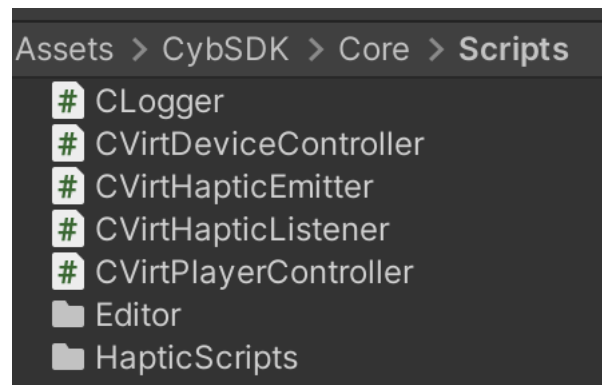
d. Integración de tecnologías

Elite Virtualizer 2

1. Para la implementación de la caminadora, se descargó el kit de desarrollo de software (SDK) (AWS, 2023) de Cyberith para la integración en Unity.
2. Este se descargó con las credenciales proporcionadas por el departamento de Ingeniería Industrial de la página oficial de desarrollo de Cyberith: <https://developer.cyberith.com/downloads>
3. Una vez que se descarga, se procede a seguir el manual de la página para integrar el SDK en el proyecto en Unity, comenzando por dedicar un módulo específico para CybSDK que incluye diferentes Bibliotecas para el funcionamiento de la caminadora. (Cyberith, 2019a) (Llamas, 2023)

Figura 149

Biblioteca de programas en C# para inicializar y ejecutar el funcionamiento de la caminadora.



Nota. Imagen de código en C# para la inicialización de la caminadora.

4. Estas bibliotecas contienen los principales módulos para lograr que se detecte el movimiento de “caminar”, “agacharse” y “rotar” del usuario en la caminadora.
5. En la figura no. 150, se puede observar cómo se inicia y detecta la caminadora para verificar que este conectada correctamente:

Figura 150

Código base para detectar la conectividad de la caminadora en la computadora

```

#include <cstdlib>
#include <cstdio>
#include <iostream>

#include "CVirt.h"
using namespace CybSDK;

int main()
{
    uint16_t version;
    try
    {
        version = Virt::GetSDKVersion();
    }
    catch (...)
    {
        // CybSDK.dll could not be loaded
        fprintf(stderr, "[Fatal] Couldn't load CybSDK.dll!\n");
        std::cin.ignore();
        exit(-1);
    }

    VirtDevice* device = Virt::FindDevice();
    if (device == nullptr)
    {
        fprintf(stderr, "[Fatal] No Virtualizer connected!\n");
        std::cin.ignore();
        exit(-2);
    }

    const VirtDeviceInfo& info = device->GetDeviceInfo();
    const wchar_t* product_name = info.ProductName;

    if (!device->Open())
    {
        fprintf(stderr, "[Fatal] Couldn't connect to Virtualizer!\n");
        std::cin.ignore();
        exit(-3);
    }

    float ring_height = device->GetPlayerHeight();
    float ring_angle = device->GetPlayerOrientation() * 360;
    float movement_direction = device->GetMovementDirection() * 180;
    float movement_speed = device->GetMovementSpeed();

    printf("Connection successful!");
    std::cin.ignore();
}

```

Nota. Código para la conectividad de la computadora utilizando Unity.

En el código previo, se debe de tomar ciertas consideraciones para lograr una conexión exitosa con el enlace:

- a) En caso la detecte se muestra “Connection successful!”. (Cyberith, 2020)
- b) En caso que no se encuentre encendida, se muestra “[Fatal] Couldn’t connect to Virtualizer!”. (Cyberith, 2020)
- c) En caso no se tengan todos los módulos del SDK implementados, se muestra “[Fatal] Couldn’t load CybSDK.dll!”. (Cyberith, 2020)
- d) En caso no se encuentre la conexión a la caminadora por USB se muestra “[Fatal] No Virtualizer connected”.(Cyberith, 2020)

e. Oculus Quest 2

1. Descargar e instalar la aplicación de Oculus de acuerdo con la documentación oficial de Meta y crear una cuenta para el casco en (auth.meta.com). Este paso en nuestro caso, fue realizado por el departamento de Ingeniería Industrial quienes proporcionaron los cascos previamente enlazados.
2. Luego se procedió a conectar vía el “Oculus Link”, por medio de un USB-C hacia el casco de Oculus.
3. Una vez se enciende el casco, la aplicación de Meta solicita conectarse por medio del casco y de la computadora, se enlazan ambos dispositivos y luego en configuración se debe seleccionar la opción de “modo desarrollador”.
4. Para la implementación en Unity se debe:
5. Abrir el proyecto en Unity.
6. Ir a la sección de Editar > Configuración del Proyecto.
7. Seleccionar Gestión de complementos XR.
8. En la pestaña Configuración de Windows, marcar la opción Oculus.
9. Descargar el instalador de XR para poder utilizar el casco dentro de Unity.
10. Luego de estos pasos, el casco esta listo para poder usarse en la aplicación sin necesidad de crear una aplicación, se puede probar directamente en el modo de “desarrollador” de Unity. (Unity-Learn, 2023)

3. Diseño y desarrollo de la aplicación

La etapa de diseño y desarrollo de la aplicación de realidad virtual es fundamental en la creación de una experiencia inmersiva y realista para los usuarios. Aquí hay una descripción más detallada de lo que involucra esta fase:

a. Diseño de la Aplicación

1. En esta etapa, el equipo de desarrollo se basará en la información recopilada en las etapas anteriores del proyecto, como los requisitos del cliente, el público objetivo y los objetivos del proyecto.
2. Se diseñará la estructura de la aplicación de realidad virtual, definiendo las distintas escenas y entornos que los usuarios podrán explorar.

3. Se definirá la trama o el propósito de la aplicación, ya sea un juego, una simulación educativa, una experiencia de entretenimiento, o cualquier otro tipo de aplicación.

b. Herramientas y Tecnología

Se seleccionaron las herramientas y tecnología necesarias para el desarrollo de la aplicación. En este caso, se menciona el uso de las herramientas Oculus Quest 2 y Elite Virtualizer 2, por lo que se configurarán y se asegurará que estén listas para el desarrollo.

c. Diseño de Controles

1. Uno de los aspectos críticos en la realidad virtual es el diseño de los controles de usuario. Se prestará una atención especial al diseño del controlador de personaje, que permite a los usuarios interactuar con el entorno virtual.
2. Se definirán los gestos, movimientos y acciones que los usuarios podrán realizar a través de los controles para mejorar la inmersión y la facilidad de uso.

d. Diseño de Interfaz de Usuario (UI) y Experiencia de Usuario (UX)

1. El diseño de la interfaz de usuario (UI) será esencial para proporcionar a los usuarios una forma intuitiva de navegar por la aplicación y acceder a sus funciones.
2. La experiencia de usuario (UX) se centrará en cómo se sienten los usuarios al interactuar con la aplicación. Se garantizará que la navegación sea fluida, que las transiciones entre escenas sean naturales y que la experiencia sea atractiva y envolvente.

e. Desarrollo de Contenido

1. Los desarrolladores crearán los elementos visuales y de animación necesarios para las distintas escenas y entornos de la aplicación. Esto puede incluir modelos 3D, texturas y efectos visuales.
2. También se programarán las interacciones y Mecánicas de juego (Marrón, 2022), para que los usuarios puedan explorar y participar en la aplicación de manera significativa.

f. Pruebas y Optimización

1. A medida que se desarrolla la aplicación, se llevarán a cabo pruebas exhaustivas para identificar y corregir posibles problemas, como errores de rendimiento, incompatibilidades de hardware o problemas de jugabilidad.
2. Se optimizará la aplicación para garantizar un rendimiento suave y una experiencia inmersiva, incluso en dispositivos con recursos limitados.

g. Iteración y Mejora

El proceso de diseño y desarrollo de la aplicación será iterativo. El equipo continuará refinando y mejorando la aplicación en función de la retroalimentación de los usuarios y las pruebas adicionales.

4. Análisis de datos y recolección de retroalimentación

Para conocer mejor las necesidades del usuario, se procedió con los siguientes métodos: entrevista, encuesta y observación. Para la entrevista, se realizó una serie de 4 preguntas para conocer a profundidad qué piensa y qué siente al momento de utilizar la aplicación.

Las preguntas se detallan a continuación:

1. Cuando inició la aplicación de VR por primera vez, ¿cómo supo exactamente cómo empezar a usarla?
2. ¿Fue evidente o tuvo que buscar instrucciones? ¿Cómo percibe el mundo virtual a través de la vista, el sonido y el tacto en esta aplicación de VR?
3. ¿Hay algún aspecto de la aplicación que no es intuitivo y requiere más información?
4. ¿Hubo algún aspecto de la interfaz que le confundió? ¿Puede identificar en qué aspecto específico de la interfaz ocurrió esta confusión?

Seguidamente, para conocer el flujo que el usuario toma para interactuar con la aplicación y entender la facilidad o dificultad que tiene la aplicación, se realizaron las siguientes preguntas para evaluar la eficacia del programa:

1. En una escala de 1 a 5, ¿siente que la interfaz le permitió hacer lo que deseaba en la aplicación de VR?
2. En una escala de 1 a 5, ¿considera que le fue fácil entender cómo funciona esta aplicación?
3. En una escala del 1 al 5, ¿cuánta sensación de inmersión experimentó al usar el character controller en el mundo virtual?
4. En una escala del 1 al 5, ¿cómo calificaría su satisfacción general con la experiencia de controlar su personaje en la aplicación de VR?
5. En una escala del 1 al 5, ¿cuán efectivos fueron los controles para interactuar con el mundo virtual?
6. En una escala del 1 al 5, ¿cuánto influyó la calidad de los controles del personaje en su disfrute general de la experiencia de la aplicación de VR?
7. ¿Alguna vez ha estado en una planta de producción de automóviles?

Por último, al momento que el usuario interactúe con el programa, se estarán tomando notas a modo de observación para poder reconocer patrones o diferentes comportamientos que tengan en la prueba.

a. Iteración 1: Pruebas de Movimiento y Controles Básicos

En esta primera fase de pruebas, el enfoque principal será entender cómo se siente el usuario al interactuar con la caminadora de Virtualizer y los controles básicos de Oculus. Las pruebas se llevarán a cabo en un entorno controlado y seguro. Aquí se describen las actividades clave:

- Preparación del Escenario: Se configurará un espacio adecuado para las pruebas, asegurando que la caminadora y el equipo Oculus estén correctamente instalados y calibrados.

- **Participantes:** Se seleccionarán una variedad de participantes que representen el público objetivo de la aplicación de realidad virtual. Esto puede incluir usuarios novatos y experimentados en VR.
- **Pruebas de Caminadora:** Los participantes probarán la caminadora de Virtualizer, evaluando su comodidad, estabilidad y capacidad para simular movimientos naturales en el mundo virtual.
- **Pruebas de Controles Básicos:** Se pedirá a los participantes que utilicen los controles de Oculus para interactuar con el entorno virtual. Se observará cómo se sienten al usarlos y si encuentran algún problema de usabilidad.
- **Entrevistas y Retroalimentación:** Después de cada sesión de prueba, se realizarán entrevistas con los participantes para recopilar sus impresiones, comentarios y sugerencias. Esto ayudará a identificar problemas y áreas de mejora.

b. Iteración 2: Pruebas en la Fábrica de Ensamble

En esta etapa, el enfoque se desplaza hacia la aplicación en sí, con pruebas dentro de la fábrica de ensamble virtual. Las actividades clave incluyen:

- **Integración de la Fábrica de Ensamble:** Se integrará la fábrica de ensamble virtual en la aplicación, con todas las herramientas y funciones necesarias para que los usuarios realicen sus tareas.
- **Pruebas de Usabilidad de la Fábrica de Ensamble:** Los participantes utilizarán la aplicación dentro del entorno de la fábrica de ensamble. Se evaluará su capacidad para navegar por el espacio virtual, realizar tareas y utilizar las herramientas de manera eficaz.
- **Seguimiento de Datos de Usuario:** Se recopilarán datos de uso, como el tiempo que los usuarios pasan en la aplicación, las acciones que realizan y cualquier dificultad que puedan encontrar.
- **Entrevistas y Evaluación Continua:** Se llevarán a cabo entrevistas con los participantes para obtener su retroalimentación sobre la experiencia. También se analizarán los datos recopilados para identificar problemas recurrentes y áreas de mejora.

c. Iteración 3: Producto Final

En la tercera y última iteración, se trabajará en el producto final basándose en las lecciones aprendidas de las iteraciones anteriores. Las actividades clave incluyen:

- **Implementación de Mejoras:** Se aplicarán las soluciones adecuadas a los problemas identificados en las iteraciones anteriores. Esto puede incluir ajustes en la caminadora, en la interfaz de usuario, mejoras en el rendimiento y correcciones de errores.
- **Pruebas Finales:** Se realizarán pruebas exhaustivas para asegurarse de que el producto final funcione de manera óptima y que la experiencia del usuario sea inmersiva y atractiva.
- **Entrega del Producto:** Una vez que se haya confirmado que el producto cumple con los estándares de calidad, se procederá a su entrega final al cliente (departamento de Ingeniería Industrial).

En todas las iteraciones, se analizarán los datos recopilados en las etapas de observación, desarrollo y evaluación para identificar patrones y problemas que puedan afectar la calidad de la aplicación.

Las entrevistas continuas con los participantes y la retroalimentación constante serán esenciales para perfeccionar la experiencia del usuario y garantizar que la aplicación de realidad virtual cumpla con las expectativas y necesidades del público objetivo.

C. Resultados

1. Iteración I: prototipo inicial

En las primeras reuniones con el equipo de Ingeniería Industrial, se platicó sobre realizar un juego que tuviera como objetivo ensamblar carros por medio de procesos manual, automático y semi-automatizado. Cabe mencionar que no todas las estaciones serían interactivables, a continuación se ejemplifica los escenarios planteados de los procesos:

Figura 151

Estaciones de procesos a visualizar en el programa

Escenario	Proceso					RESULTADO
	Corte	Soldadura	Sumergir en pintura	Motor	Ensamble	
1	Cinemática	Proceso Manual	Cinemática	Cinemática	Proceso Manual	MANUAL
2	Cinemática	Automatización	Cinemática	Cinemática	Automatización	AUTOMATIZADO
3	Cinemática	Proceso Manual	Cinemática	Cinemática	Automatización	SEMI-AUTO
4	Cinemática	Automatización	Cinemática	Cinemática	Proceso Manual	SEMI-AUTO

Nota. Esquema de las estaciones del programa.

En el contexto del trabajo, se entiende como *cinemática* a la animación de un proceso ya sea dado por una máquina o por operarios de la fábrica. Estos no serían interactivables sino únicamente se observaría el proceso que se está realizando. Por ello, se optó por tener *cinemáticas*, en los procesos de corte, pintura y motor, dado que son de gran complejidad animar.

Tomando en cuenta el párrafo anterior, se solicitaron varios requerimientos en base al proceso de soldadura y ensamble:

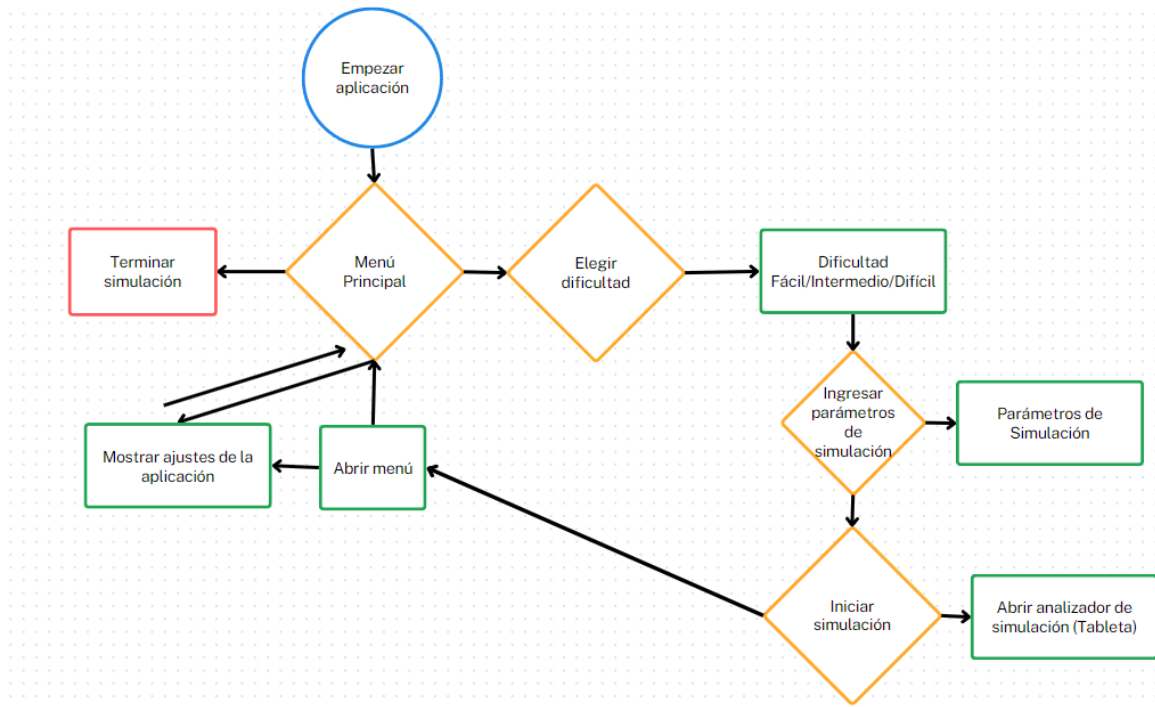
1. Poder escoger la dificultad de juego (fácil, medio, difícil) en un modo contrarreloj.
 - a) Fácil: el usuario tendría alrededor de 2 minutos para completar el proceso de ensamblaje del proceso en el que se encontrara localizado. Por ejemplo, si se encuentra en el proceso de soldadura, deberá de alcanzar un porcentaje de al menos 70% de precisión.
 - b) Medio: el usuario deberá de ser capaz de completar el proceso de ensamblaje con menos tiempo, ahora sería un lapso de 1 minuto y 30 segundos. Por ejemplo, si se encuentra en el proceso de soldadura, deberá de alcanzar un porcentaje de al menos 85% de precisión.

- c) Difícil: en esta etapa el jugador contaría con la misma cantidad de tiempo pero el proceso que debe completar será meticuloso, por ejemplo, si se encuentra en el proceso de soldadura, deberá de alcanzar un porcentaje de al menos 90 % de precisión.
2. Ingresar los parámetros del juego para que las máquinas operen con ellos. Entre ellos se encontrarían pero no limitan a:
 - a) Selección de proceso manual o automatizado
 - b) Selección de máquinas a utilizar
 - c) Selección de cantidad de máquinas a utilizar
 3. Abrir el análisis de las máquinas en una tablet:
 - a) Estos datos se verán dentro del mundo de VR, donde el usuario podrá consultar los tiempos que el proceso esta tardando en el juego para luego compararlos con los tiempos reales (realizados en una simulación de Simio por el equipo de Ingeniería Industrial).

A partir de estas ideas, se comenzó a plantear un prototipo inicial, donde el usuario entraría a la aplicación y tendría los requerimientos previamente mencionados. Para ello, se desarrolló el siguiente diagrama de flujo para comprender y analizar cómo se comportaría el usuario dentro de la aplicación.

Figura 152

Diagrama de flujo no. 1 - primer prototipo



Nota. Visualización del proceso del primer prototipo.

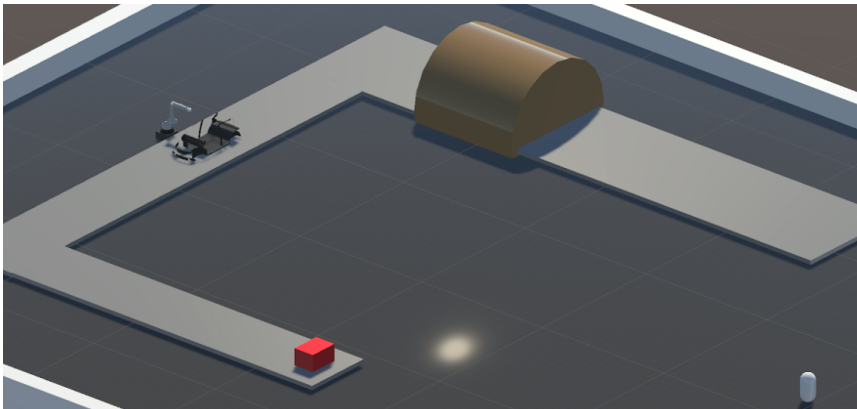
En esta iteración, se hace caso omiso a los procesos de la figura no. 151 ya que estos datos y procesos aún no se habían planteado ni realizado por el equipo de Ingeniería Industrial. Por tanto, para el primer prototipo, se comenzó a trabajar en la guía para que el usuario se acostumbre al programa. Esto nos sirve para comprender al usuario y poder validar qué controles serían los más

óptimos. A continuación se presentan los diferentes puntos de vista que el usuario tuvo al momento de usar el casco y Joystick para movilizarse, tomando en cuenta que los objetivos de esta iteración eran:

1. Pruebas de controles
2. Pruebas de interactuabilidad (tomar objetos con los joysticks)
3. Pruebas del diseño de nivel
4. Pruebas del nivel (caminar usando el joystick dentro del primer diseño de nivel)

Figura 153

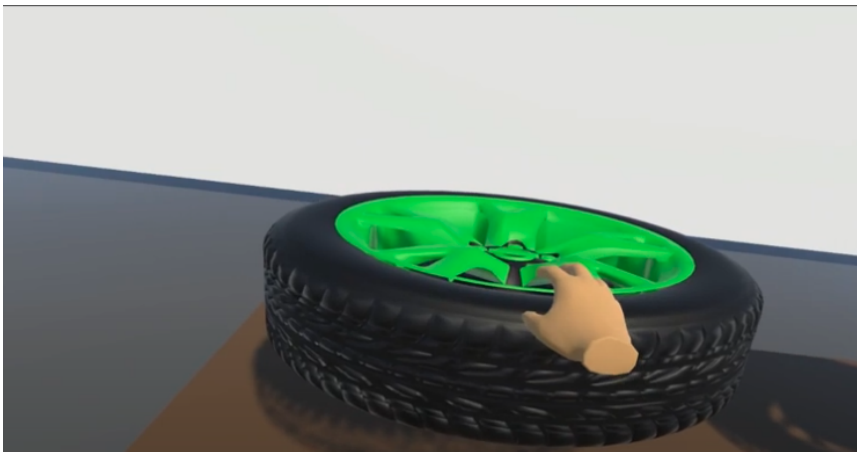
Vista aérea de la primera iteración del nivel



Nota. Vista aérea del prototipo.

Figura 154

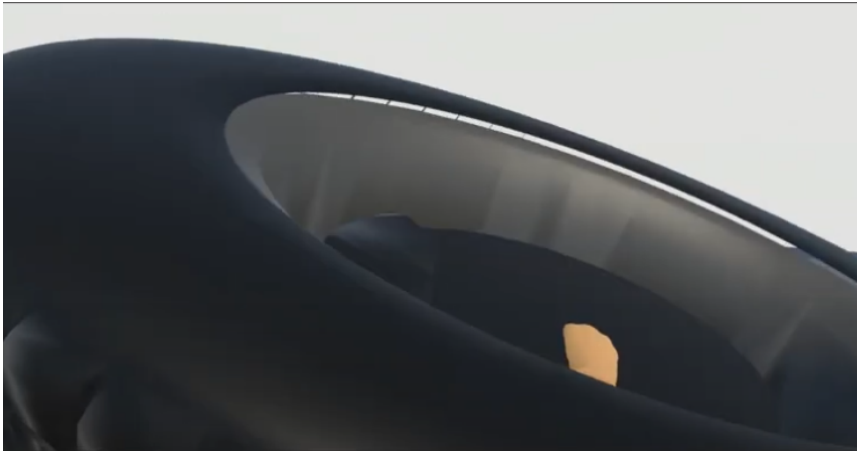
Prueba con controles para seleccionar objetos interactivos



Nota. Vista de los controles del prototipo.

Figura 155

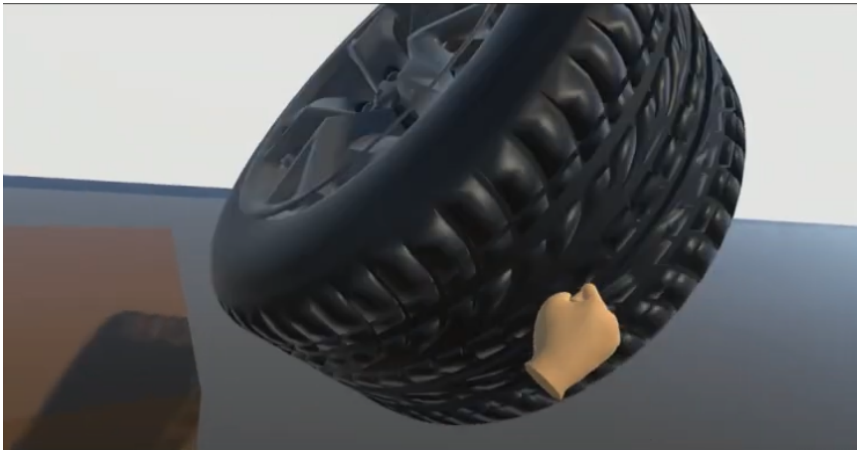
Prueba con controles para agarrar objetos



Nota. Vista del prototipo usando una llanta.

Figura 156

Prueba con controles para lanzar objetos



Nota. Vista del prototipo lanzando una llanta.

a. Análisis cualitativo

El objetivo de este análisis cualitativo fue comprender la experiencia de los usuarios con una aplicación de realidad virtual (VR). Para ello, se realizaron entrevistas a 5 personas que habían utilizado la aplicación. Gracias a estas interacciones, los usuarios contribuyeron con una retroalimentación detallada sobre su experiencia. Se realizó un análisis de contenido, donde se obtuvieron los principales puntos:

- Percepción del mundo virtual:
 - Los usuarios perciben el mundo virtual de manera positiva, tanto en términos de vista como tacto.
 - La aplicación es intuitiva y fácil de usar.

- Algunos usuarios encuentran que el tacto con los controles es inusual al principio, pero que se acostumbran con el tiempo.
- El aspecto más intuitivo de la aplicación es el uso de la palanca del joystick para caminar.
- El segundo aspecto más intuitivo de la aplicación es utilizar la mano derecha para agarrar objetos.

■ **Intuición:**

- La mayoría de los usuarios encontraron la aplicación intuitiva. Los usuarios comentaron que pudieron comprender fácilmente cómo usar la aplicación a través de la lectura de la interfaz de usuario (UI).
- Sin embargo, 4 de los 5 usuarios confesaron un sentimiento de confusión porque no sabían qué botones podían presionar ni con qué dedos hacerlo.

■ **Retroalimentación del primer prototipo:**

Para mejorar la experiencia de los usuarios, en la siguiente iteración, se deberá:

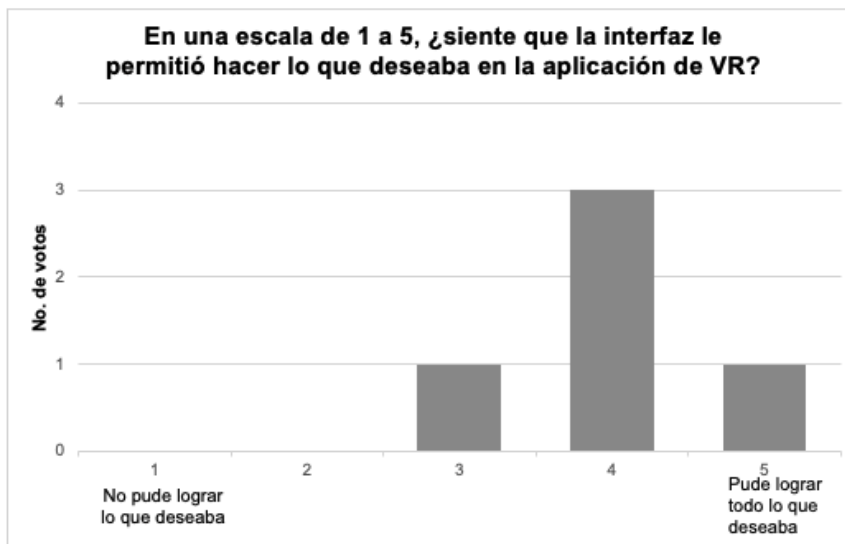
- Mejorar la claridad de las instrucciones, colocando alguna señal sobre qué hacer y cómo se puede interactuar.
- Mejorar de la interfaz, haciendo que los controles sean más fáciles de entender y usar. Esto se puede lograr también por más objetos con los cuales el usuario pueda interactuar, así también como una sección de instrucciones.

b. Análisis cuantitativo

A continuación se presentan los resultados de las encuestas realizadas:

Figura 157

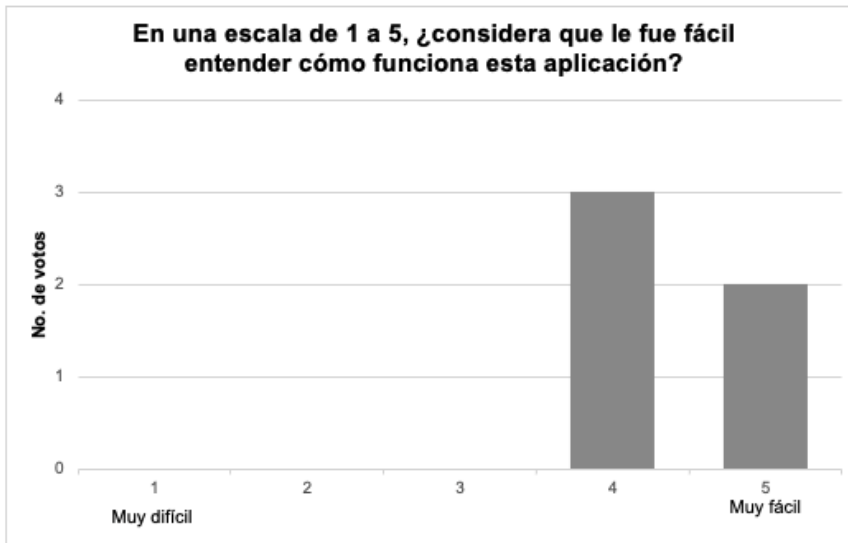
Pregunta no. 1 del primer prototipo



Nota. Pregunta no. 1

Figura 158

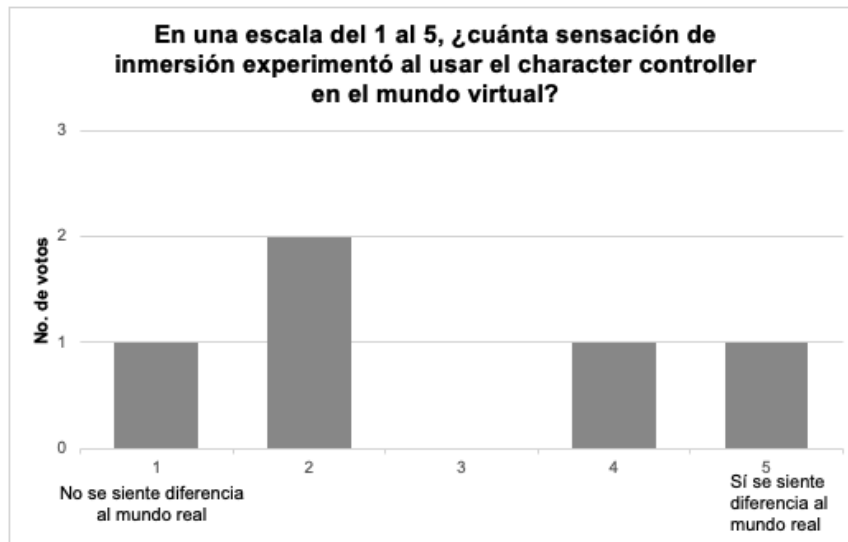
Pregunta no. 2 del primer prototipo



Nota. Pregunta no. 2

Figura 159

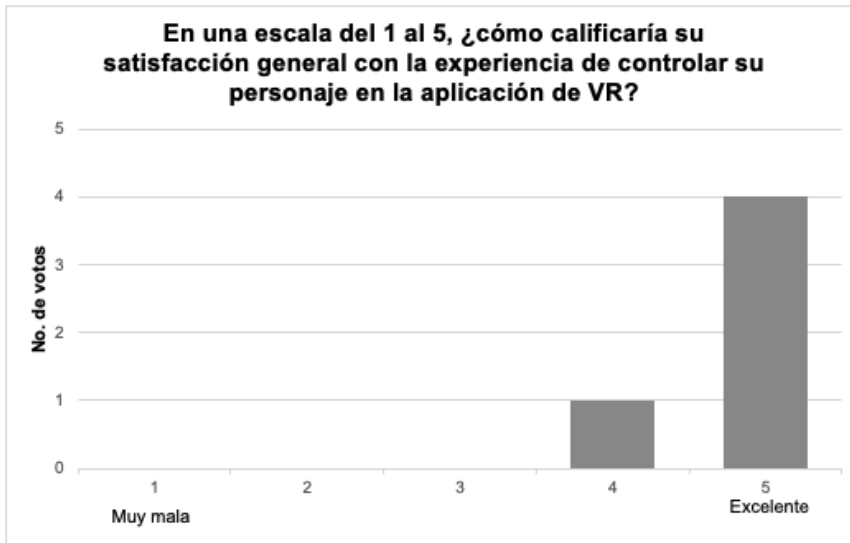
Pregunta no. 3 del primer prototipo



Nota. Pregunta no. 3

Figura 160

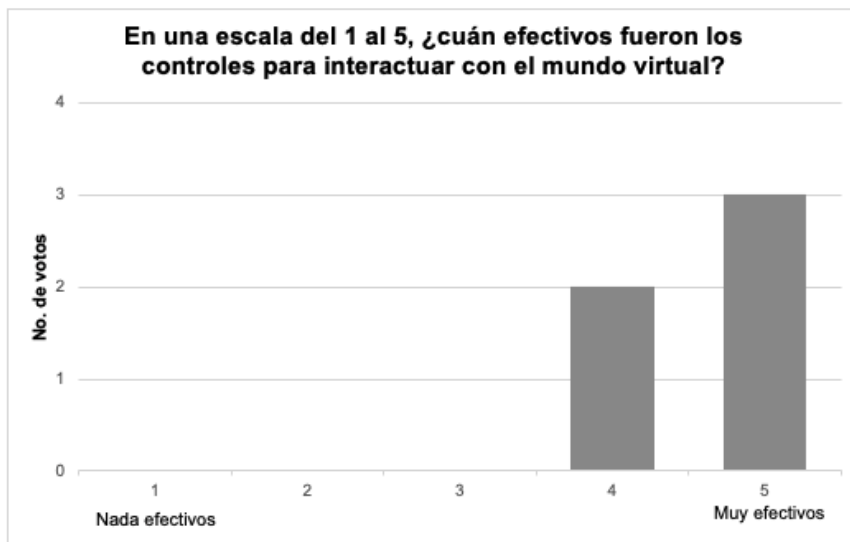
Pregunta no. 4 del primer prototipo



Nota. Pregunta no. 4

Figura 161

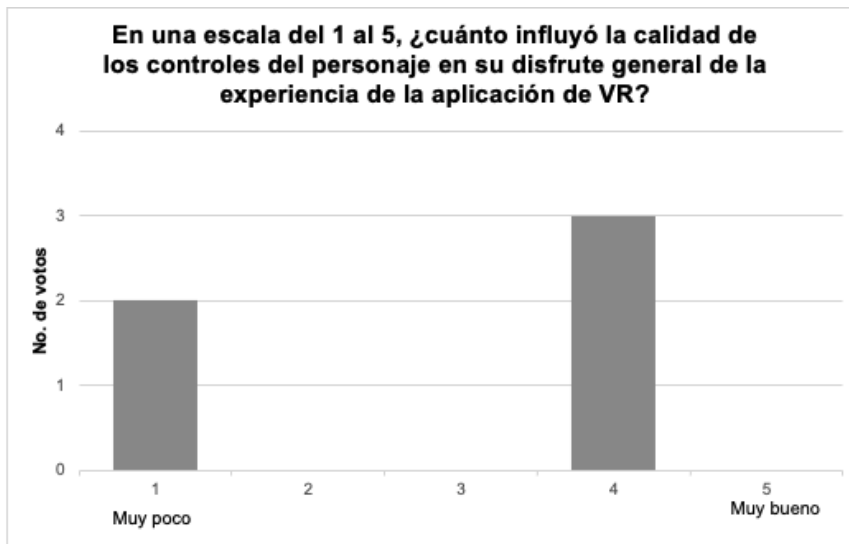
Pregunta no. 5 del primer prototipo



Nota. Pregunta no. 5

Figura 162

Pregunta no. 6 del primer prototipo



Nota. Pregunta no. 6

El 60 % de los participantes, considera que tuvo mucha facilidad para adaptarse a la aplicación y le resultó intuitivo el programa. Esto nos beneficia ya que el desarrollo del controlador de personaje fue eficiente. Logramos que el usuario se sienta cómodo y este satisfecho con las acciones que puede realizar al momento; en este caso se alcanzó un 80 % de satisfacción del total de encuestados. Para la siguiente iteración se espera que ambos resultados se mantengan o aumenten en cuanto a satisfacción.

Otro resultado positivo de esta iteración se observa en la figura no. 9 y no. 13, donde los usuarios consideran que tuvieron una efectiva experiencia para controlar tanto al personaje como para lograr lo que deseaban hacer dentro del mundo. Sin embargo, este punto tiene mejoras significativas, entre ellas hacer más intuitivo el tutorial y la manera en que se organiza la información dentro de las pantallas de UI.

En esta interacción aún no se logró una opinión concreta en cuanto a la inmersión del usuario usando el mundo virtual. Como podemos observar en la figura no. 11, podemos ver que hay opiniones diversas en cuanto a su experiencia, siendo predominante que aún no se siente una diferencia entre el mundo en realidad virtual y el mundo real. Para mejorar esto, es necesario tener los modelos pertinentes para que el usuario no vea únicamente cubos o esferas. Otro punto a mejorar es que la caminadora no fue empleada en este prototipo, lo cual pudo influir a que el usuario no comprendiera en su totalidad las capacidades del programa.

Al momento de hacer observaciones durante las pruebas con usuario, se identificó que todos los participantes de esta iteración nunca habían usado una aplicación, ni casco de realidad virtual. Otro punto en común fue que la movilidad con el "joystick" no permitió crear la esperada inmersión porque luego para poder controlar otras opciones que el tutorial ofrecía, no podían desplazarse con facilidad hacia otras áreas.

2. Iteración II: prototipo intermedio

Las principales características para esta iteración son:

1. Implementación de la caminadora de Cyberith.

2. Creación de la sección de tutorial para que el usuario pueda aprender a usar la aplicación antes de entrar a la fábrica.

Para esta iteración, se plantearon dos objetivos principales:

- Objetivo 1: Evaluar la experiencia del usuario con la caminadora virtual.
 - Este objetivo se centra en comprender cómo los usuarios interactúan con la caminadora virtual. Las pruebas de usuario ayudarán a identificar cualquier problema de usabilidad o comodidad con la caminadora.
- Objetivo 2: Evaluar la efectividad de las nuevas características implementadas en el prototipo.
 - Este objetivo se centra en comprender cómo los usuarios perciben las nuevas características implementadas en el prototipo.

En base a la retroalimentación previa y otra reunión con el cliente (Ingeniería Industrial), se concluyó que los cambios e implementaciones para este prototipo serían los siguientes:

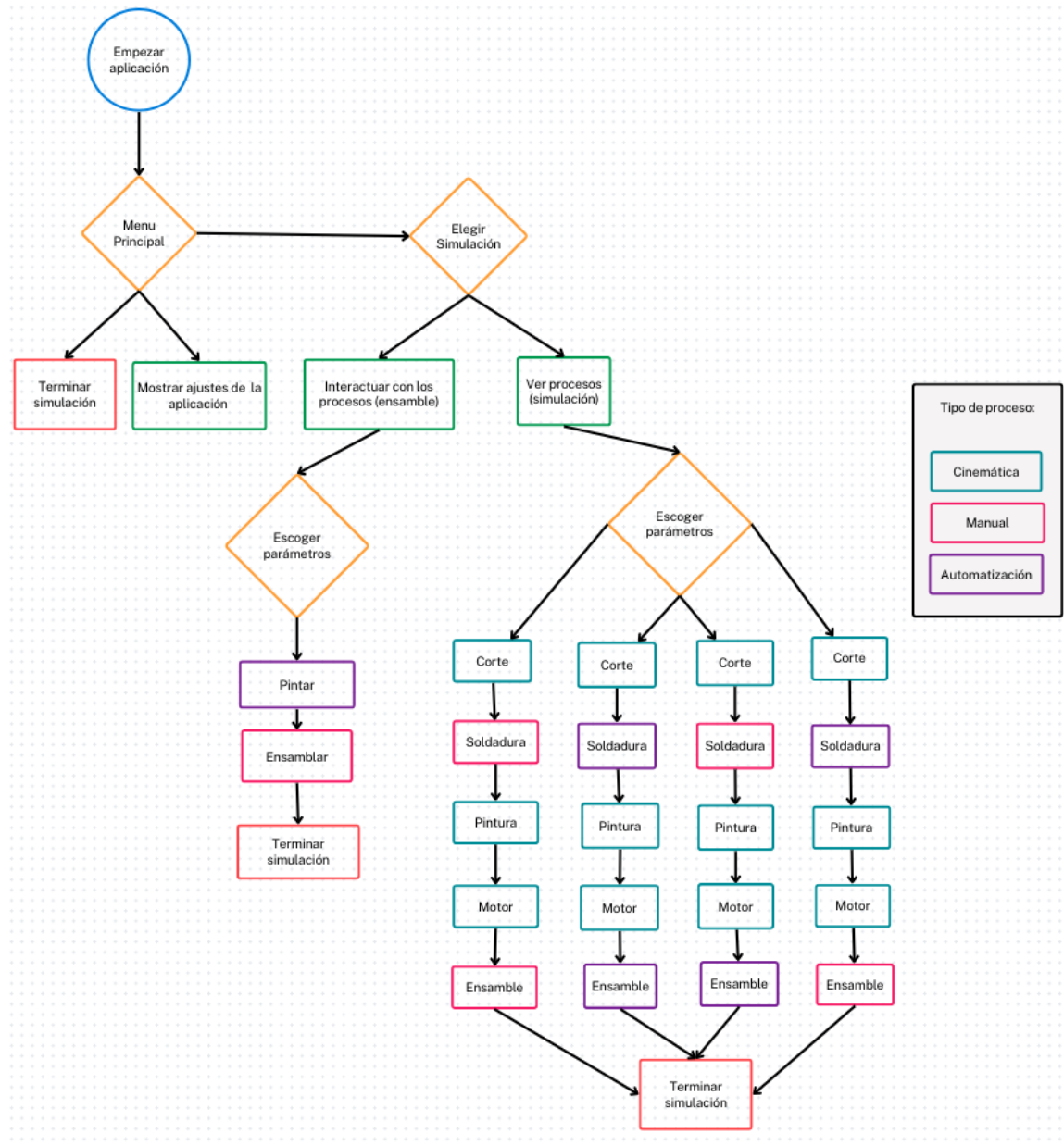
1. El tutorial se implementaría a modo que el usuario pueda interactuar con el programa, sería un mundo de "pruebas".
2. Implementación de la tablet para visualizar los datos.
3. Varios procesos no serían realizados por el usuario sino más bien, los verían como una cinemática.
4. Se tendrían 4 tipos de simulación: manual, automática, semi-manual, semi-automática. Como lo muestra la figura no. 151. Donde los procesos podrán ser interferido por el usuario cuando sea alguno manual y podrá tener decisión sobre las máquinas cuando sea automático.
5. El usuario no podría interactuar con las máquinas en los escenarios de cinemática. Solo podrá observarlas y analizar la data ya que esto afectaba tiempos de ejecución para el equipo del diseño de la planta.

A partir de estas ideas, se cambió el prototipo original (figura no. 15). Los cambios cruciales para esta etapa sería la implementación de las 4 simulaciones que el usuario tenga la toma de decisión por cuál visualizar. Sin embargo, los puntos 3 a 5, no serían implementados aún debido a que el equipo de diseño de nivel y modelado, debían terminar primero los modelos para poder integrarlos a la aplicación.

Para ello, se planteó el siguiente diagrama de flujo en base a los puntos 1 y 2:

Figura 163

Diagrama de flujo no. 2 - segundo prototipo



Nota. Visualización de procesos segundo prototipo.

Para esta parte, se implementó el uso de la caminadora *Elite Virtualizer 2*, por lo cual cada prueba de usuario tuvo una duración aproximada de 20 minutos, considerando cada cambio de persona, ajustes del casco y de la caminadora. Además, este prototipo fue usado especialmente para que el usuario nos diera retroalimentación enfocándose en su experiencia con la caminadora. Así mismo, para esta iteración se contó con el doble de participantes y se lograron 10 pruebas de usuario.

Figura 164

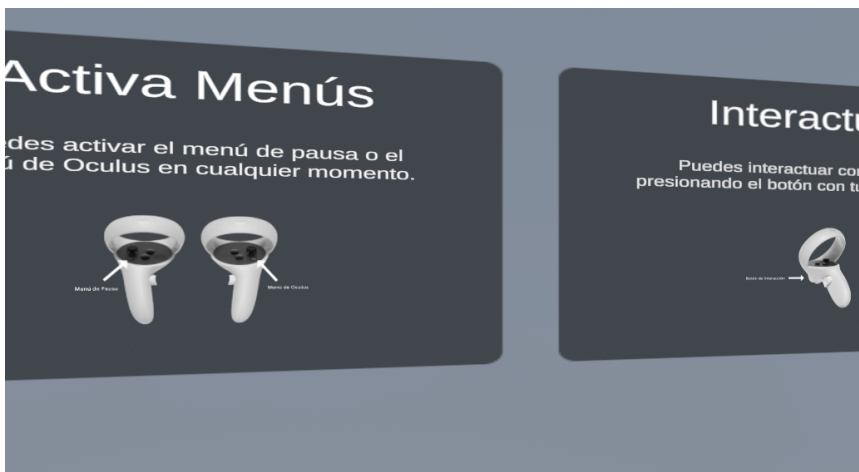
Mejora en el UI, creación de flechas para señalar qué tipo de botones se deben presionar



Nota. Visualización del UI mejorado.

Figura 165

Explicación de texto y ampliación de instrucciones en UI



Nota. Explicación de instrucciones en el programa.

Figura 166

Implementación de la tablet y señalación de botones a utilizar



Nota. Visualización de la tablet dentro del programa.

a. Análisis cualitativo

- Percepción del mundo virtual:
 - En general, los usuarios tuvieron una experiencia positiva con la aplicación de VR. La mayoría de los usuarios (7 de 10) respondieron que esta fue su primera experiencia con una aplicación de VR. Sin embargo, incluso los usuarios que tenían experiencia con otras aplicaciones de VR encontraron que esta era intuitiva y fácil de usar.
 - Los usuarios elogiaron la experiencia inmersiva de la aplicación. La vista y el tacto fueron especialmente bien recibidos. Los usuarios encontraron que la aplicación era realista y que se sentían como si estuvieran realmente en el mundo virtual.
- Aspectos que requieren mejoras
 - Los controles: Algunos usuarios encontraron los controles un poco confusos al principio. Esto se debe probablemente al hecho de que la aplicación utiliza una caminadora virtual, que es un nuevo concepto para muchos usuarios.
 - La interfaz: Algunos usuarios encontraron que la interfaz era un poco confusa en algunos lugares. Por ejemplo, un usuario mencionó que no entendía por qué aparecía un teclado al principio. (Este fue un error técnico dado que el usuario tomó controles diferentes saliéndose del mundo de VR y controlando la computadora donde se estaban realizando las pruebas).

b. Análisis cuantitativo

A continuación, se presentan algunos datos cuantitativos que se pueden extraer del análisis cualitativo:

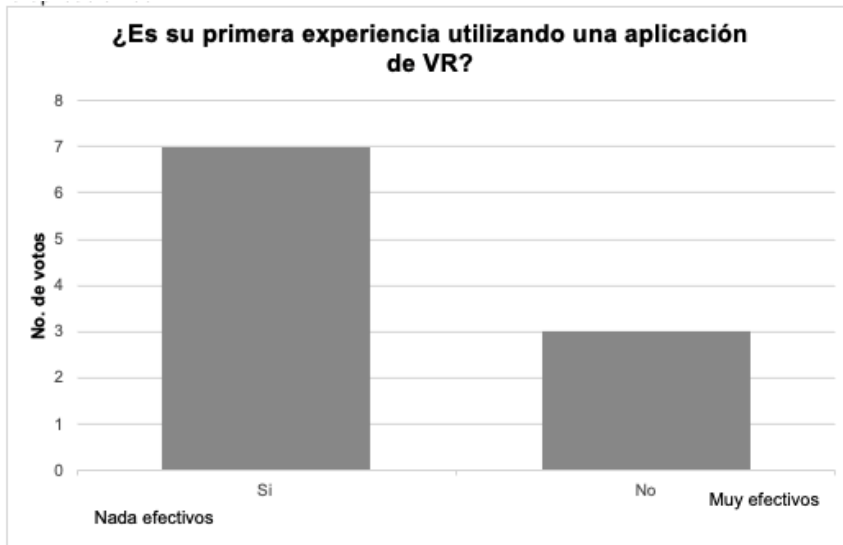
- El 70 % de los usuarios dijeron que esta fue su primera experiencia con una aplicación de VR.
- El 80 % de los usuarios dijeron que la aplicación era intuitiva y fácil de usar.
- El 20 % de los usuarios encontraron los controles confusos al principio.

- El 10% de los usuarios encontraron la interfaz confusa en algunos lugares.

A continuación se presentan los resultados de las encuestas realizadas:

Figura 167

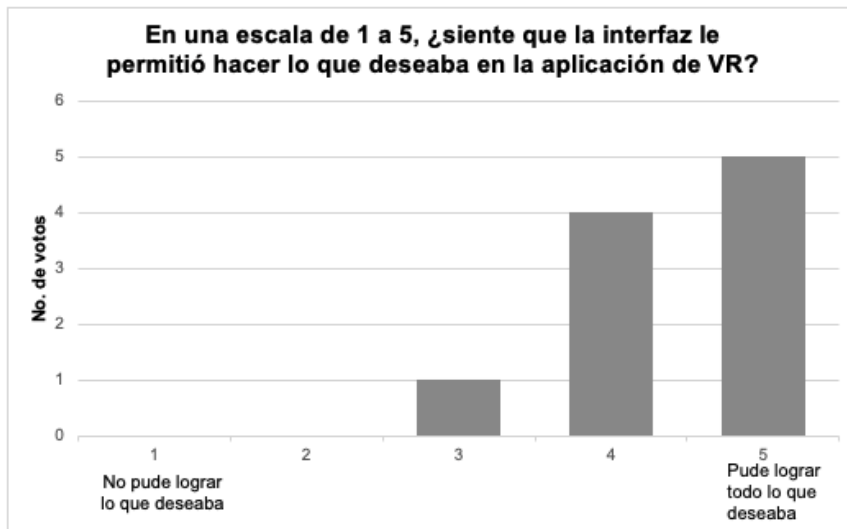
Pregunta no. 1 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 1 - segunda entrevista con usuario.

Figura 168

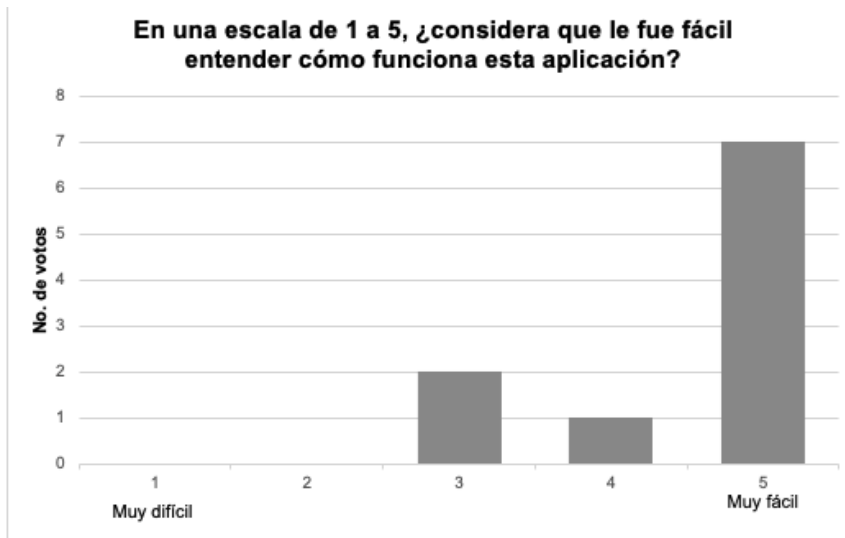
Pregunta no. 2 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 2 - segunda entrevista con usuario.

Figura 169

Pregunta no. 3 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 3 - segunda entrevista con usuario.

Figura 170

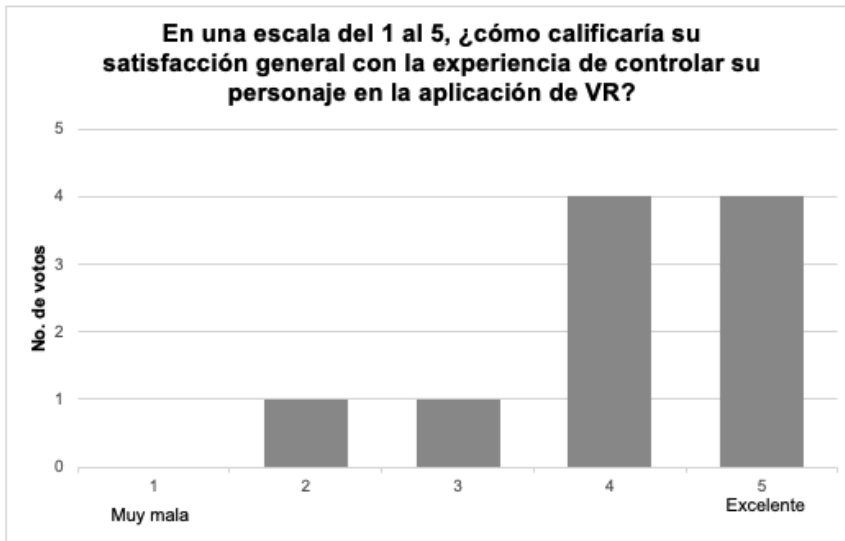
Pregunta no. 4 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 4 - segunda entrevista con usuario.

Figura 171

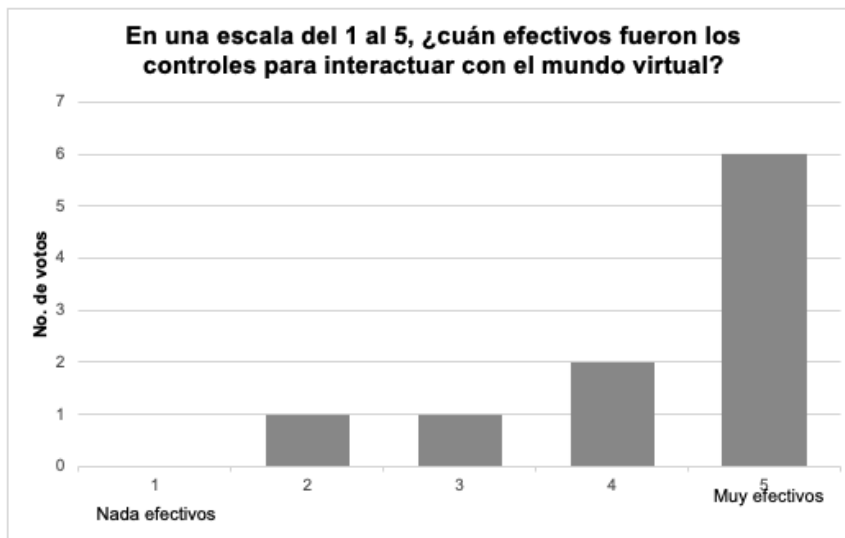
Pregunta no. 5 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 5 - segunda entrevista con usuario.

Figura 172

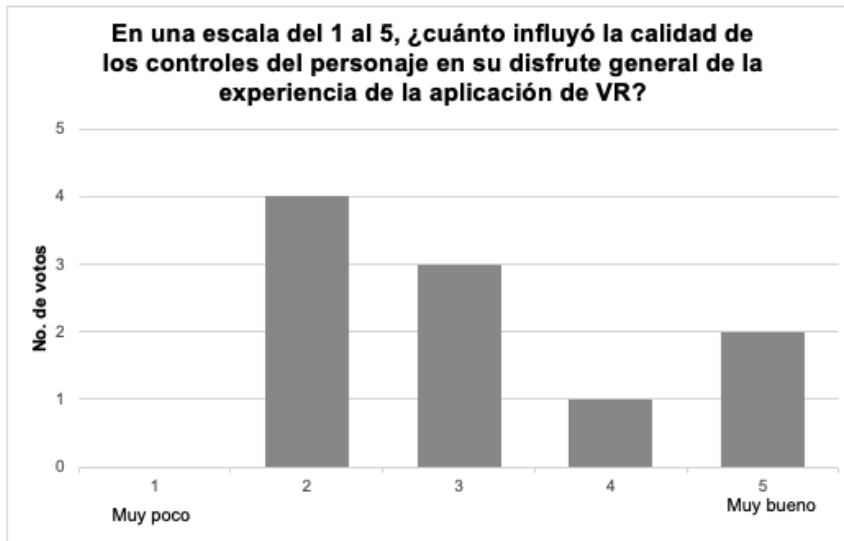
Pregunta no. 6 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 6 - segunda entrevista con usuario.

Figura 173

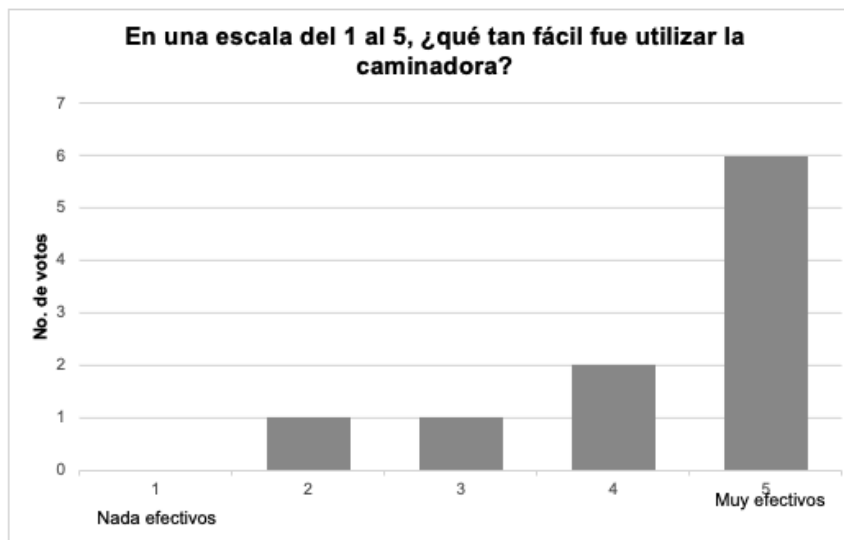
Pregunta no. 7 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 7 - segunda entrevista con usuario.

Figura 174

Pregunta no. 8 del segundo prototipo



Nota. Pregunta no. 8 - segunda entrevista con usuario.

A partir de esta iteración, se agregó la pregunta de la figura no. 167 para conocer más al usuario y tener una mejor percepción sobre su conocimiento y uso de las aplicaciones de VR. Gracias a esto y al incremento de participantes, encontramos que 7 usuarios nunca habían tenido interacción con el VR. Los otros 3 usuarios que respondieron afirmativo a esta pregunta, fueron previos usuarios por lo que están familiarizados con la aplicación.

A raíz del análisis cualitativo, podemos conocer que el 80% de los usuarios afirman que la aplicación es intuitiva y fácil de usar. Esto lo podemos ver reflejado en las respuestas de las figuras no. 168, no. 169 y no. 172. A los usuarios les resultó comprensible la UI y gracias a las mejoras

realizadas, específicamente la señalación de los botones a utilizar, se logro aumentar la satisfacción del usuario.

Además, en base a la figura no. 173, encontramos que nuestros usuarios disfrutaron de la experiencia específicamente por el hecho de usar un casco de VR. Por medio de la observación durante las pruebas, encontramos que varios de los usuarios se dedicaron a jugar con los artefactos del tutorial en vez de seguir con las instrucciones del mismo. Por ello, encontramos que un 50 % de los usuarios en esta etapa disfrutaron poco del controlador del personaje. Su disfrute estuvo enfocado en la idea de probar un juego.

Sin embargo, al tener el doble de usuarios de prueba, aún no es posible determinar si existe o no una inmersión al mundo real. esto lo podemos ver en la figura no. 170, donde tenemos respuestas positivas, pero no nos dan mayor información en cuánto a si el programa se asemeja a la realidad. En este punto, el prototipo, aún tiene modelos básicos ya que no se tiene los modelos terminados para colocar las piezas en la fábrica. Esto también se debe a que no hay una sinergia entre el grupo de diseño de nivel con el de modelado, se han dado muchos cambios de requisitos por lo cual, no se es factible terminar completamente los modelos propuestos.

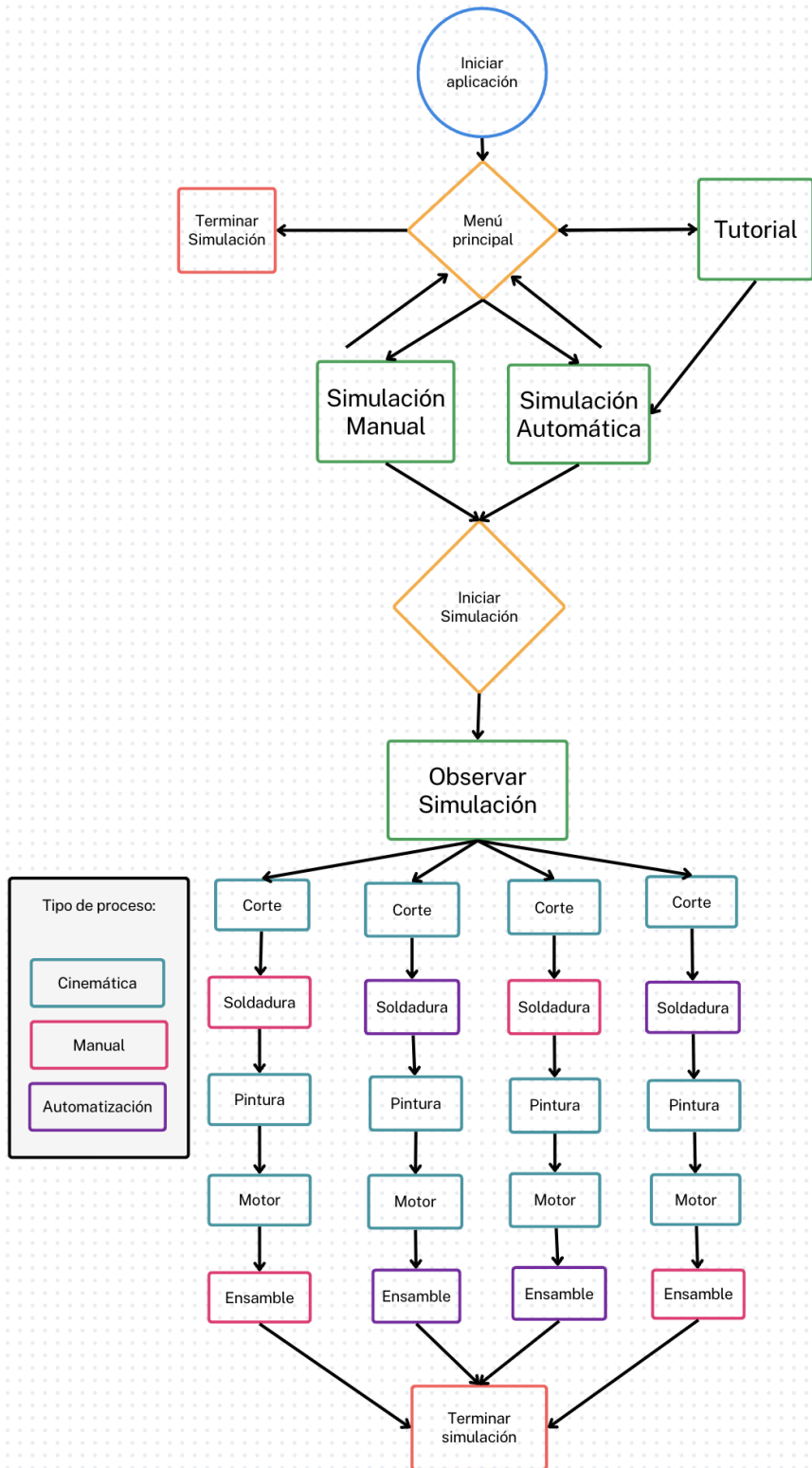
En cuanto a la experiencia con el controlador de personaje, tuvimos un crecimiento positivo en el cual los usuarios consideran que es muy bueno o excelente, estos abarcan el 80 % del muestreo total. Podemos visualizar la figura no. 171, en donde únicamente 2 usuarios aún no tuvieron una experiencia favorable. Esto se puede deber al caso aislado que se mencionó en el análisis cualitativo donde un usuario se salió del mundo virtual y pudo interactuar directamente con la computadora de pruebas.

Para esta iteración se logró el objetivo no. 1, ya que el 60 % de los usuarios tuvieron un uso muy efectivo, 20 % tuvieron un uso efectivo y el último 20 % tuvo algunas dificultades (figura no. 174). Enlazando estos resultados con los obtenidos de las entrevistas y el análisis cualitativo, encontramos que los usuarios que no tuvieron una buena experiencia, fueron aquellos que no comprendieron cómo caminar o incluso, llegaron a tener cierto mareo al usar el casco y la caminadora.

3. Iteración III: prototipo final

Esta última iteración fue drásticamente afectada por la complejidad que tuvo el equipo de modelaje para realizar las animaciones de las máquinas. Es por ello que el diseño original del prototipo final se vio afectado, a continuación, se detalla el flujo originalmente planteado:

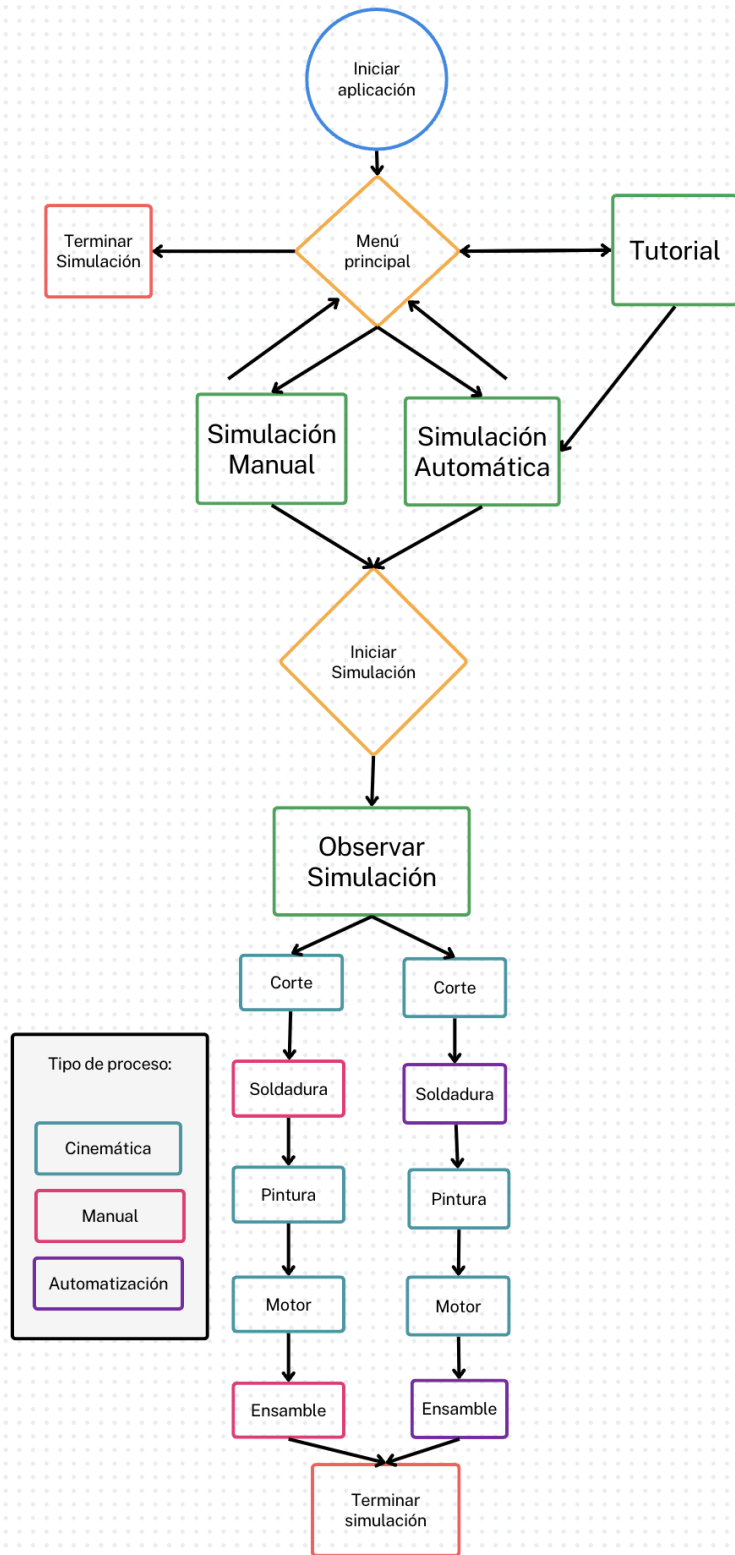
Figura 175
Diagrama de flujo no. 3 - prototipo final, versión 1



Nota. Tercera iteración del diagrama de flujo.

Sin embargo, se decidió en conjunto que el usuario podría continuar haciendo los requerimientos solicitados, mas no sería una implementación completa del mismo. Por ello, el prototipo final únicamente se observará dos tipos de simulación, completamente manual o completamente automatizada. A continuación se detalla el flujo implementado:

Figura 176
Diagrama de flujo no. 4 - prototipo final, versión 2



Nota. Iteración final del diagrama de flujo, versión final y aplicada en el proyecto.

Para esta implementación, se integraron todas las partes de los módulos:

1. El equipo de diseño de nivel se encargó de proporcionar los datos que se visualizaría en la tablet del usuario.
2. El equipo de modelaje y animación colocó todos los modelos, artefactos y animaciones correspondientes en el nivel de la planta.
3. El equipo de programación se encargó de crear el flujo completo del usuario para que se lograra mover a través de las pantallas de tutorial, menú principal, simulación automática, simulación manual y salir de la aplicación.
4. El integrante que implementó la asimetría creó las funciones necesarias para que funcionara de manera asincrónica con la persona que esta dentro de la simulación en VR.

Figura 177

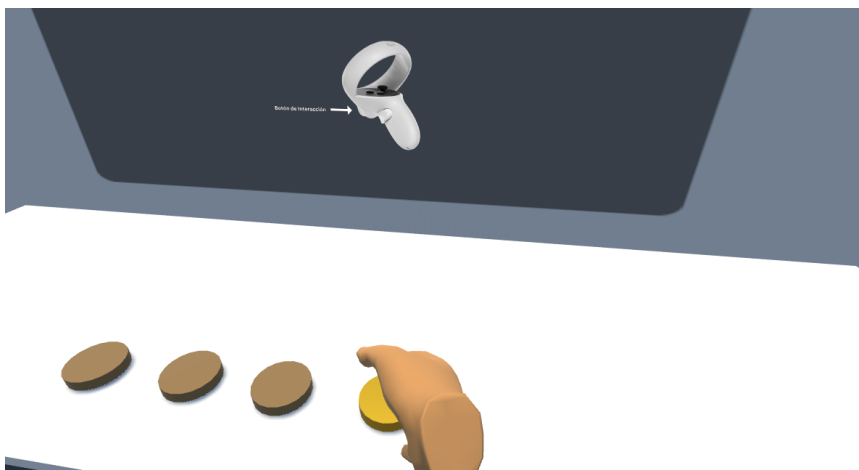
Vista del usuario a una nueva sección de interacción



Nota. Usuario probando el mundo virtual.

Figura 178

Interacción del usuario con botones en el tutorial



Nota. Usuario interactuando con botones.

Figura 179

Vista del tablet desde la pantalla del tutorial para iniciar alguna simulación



Nota. Usuario probando la tablet desde la aplicación.

Figura 180

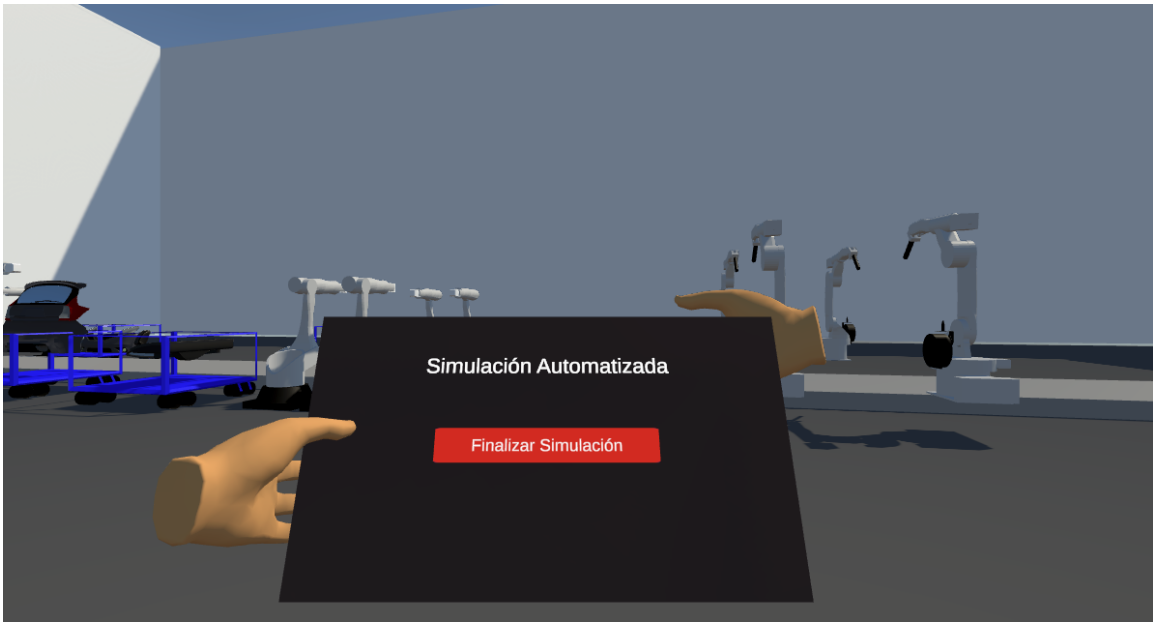
Vista hacia las máquinas de ensamble



Nota. Vista del usuario al entrar a la fábrica virtual.

Figura 181

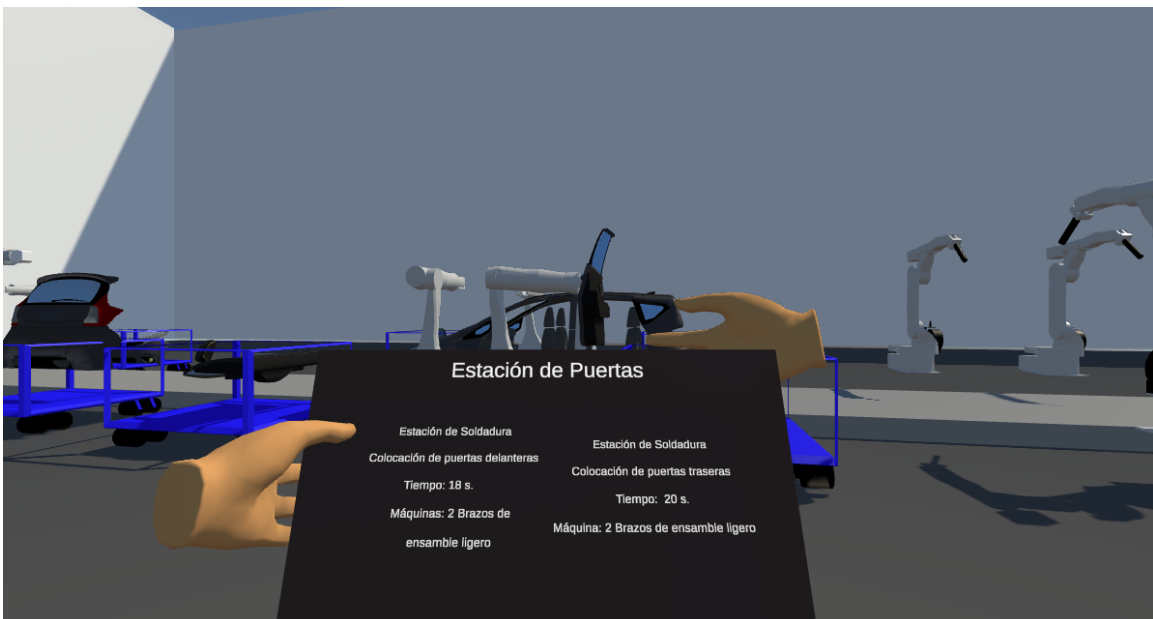
Implementación de botón para iniciar la ensamblación



Nota. Usuario probando la simulación desde la tablet.

Figura 182

Implementación de los datos de en una sección de la ensamblación



Nota. Usuario visualizando información desde la tablet.

a. Análisis cualitativo

El objetivo de este análisis es culminar la retroalimentación que se ha tenido por medio de la experiencia de usuario. Para ello, se encuestaron nuevamente a 10 usuarios que han utilizado la aplicación.

Se realizó un análisis de contenido, donde se obtuvieron los principales puntos:

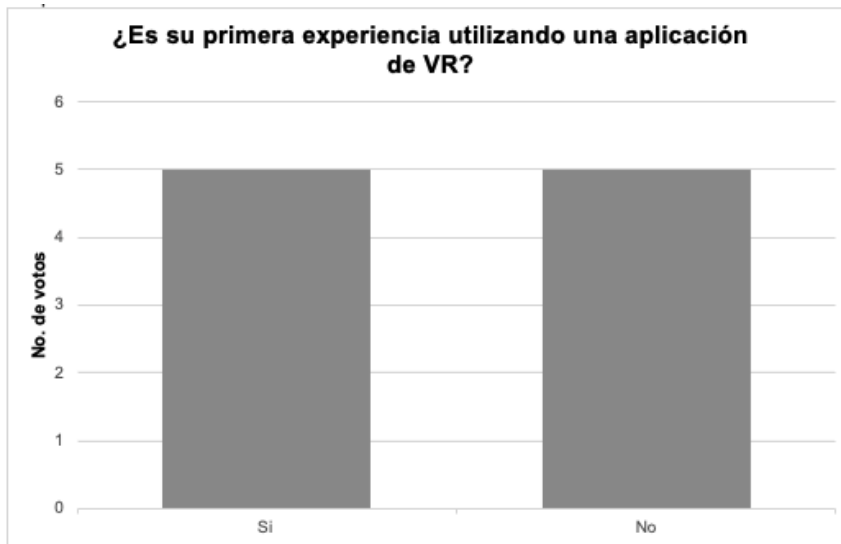
- Percepción del mundo virtual:
 - Se tuvo una respuesta parcial en cuanto a la experiencia usando aplicaciones en VR, ya que para esta última iteración también participaron varios usuarios de pruebas previas. Esto benefició a la retroalimentación obtenida gracias a que conocían cómo funcionaba la aplicación y lograron realizar una mejor usabilidad del producto.
 - Los usuarios disfrutaron de la experiencia al mover, agarrar e incluso lanzar objetos dentro de la escena del tutorial. Con estas mecánicas, lograron dominar los controles y aprender de mejor manera cómo debían comportarse al momento de usar la aplicación.
 - El aspecto menos intuitivo de la aplicación es la movilidad.

b. Análisis cuantitativo

A continuación se presentan los resultados de las encuestas realizadas:

Figura 183

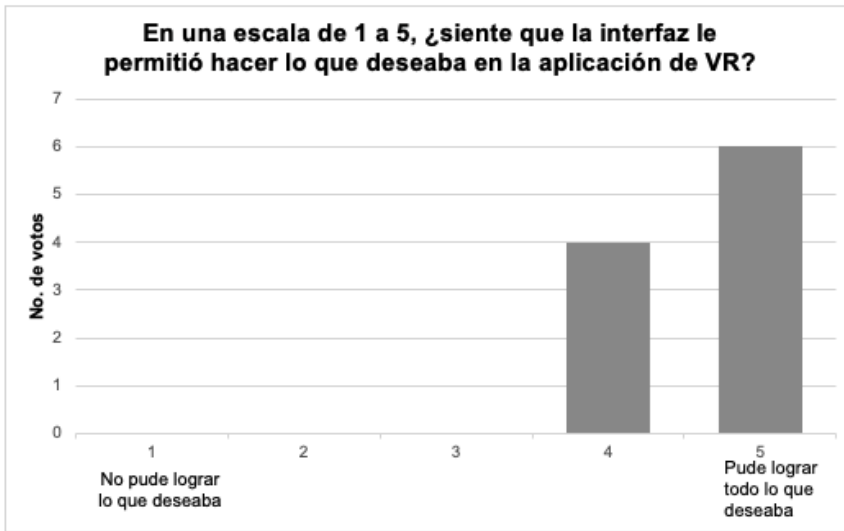
Pregunta no. 1 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 1 - tercera entrevista con usuario.

Figura 184

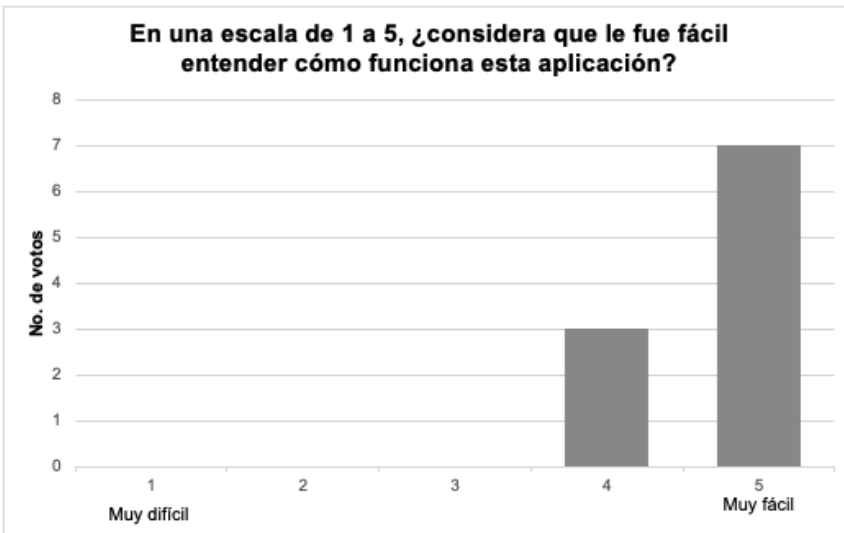
Pregunta no. 2 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 2 - tercera entrevista con usuario.

Figura 185

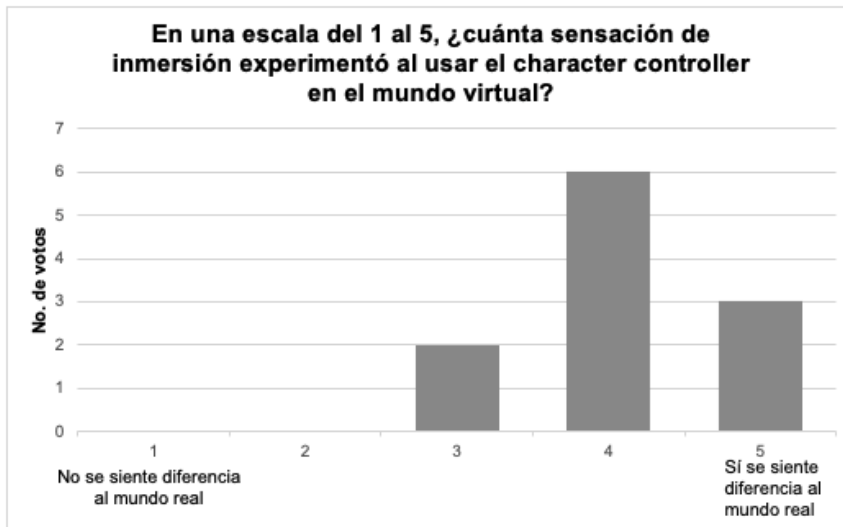
Pregunta no. 3 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 3 - tercera entrevista con usuario.

Figura 186

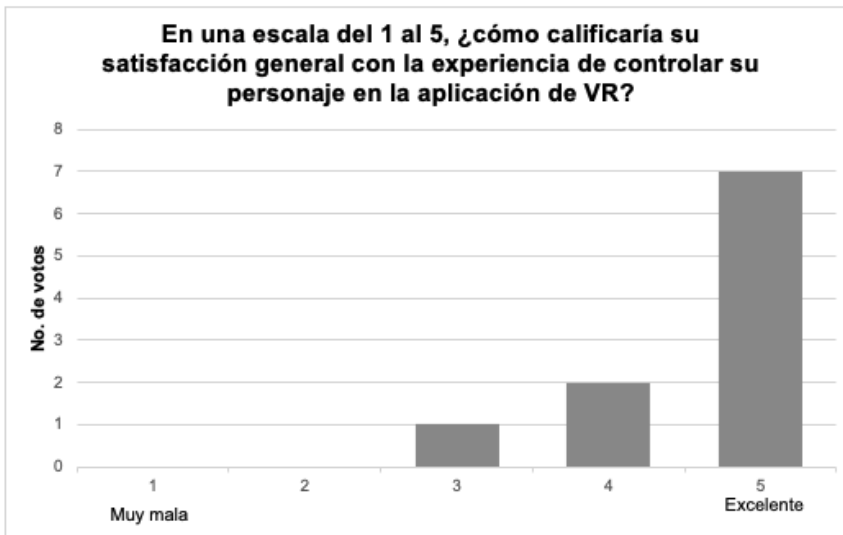
Pregunta no. 4 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 4 - tercera entrevista con usuario.

Figura 187

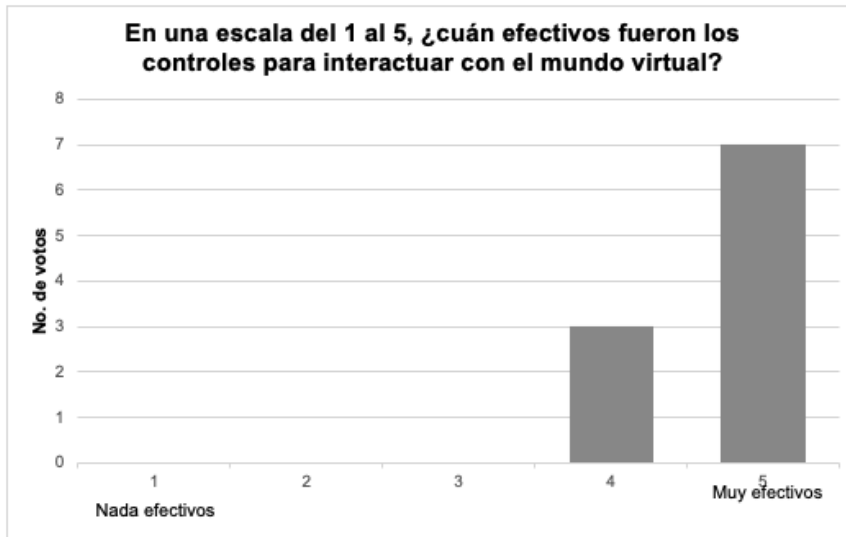
Pregunta no. 5 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 5 - tercera entrevista con usuario.

Figura 188

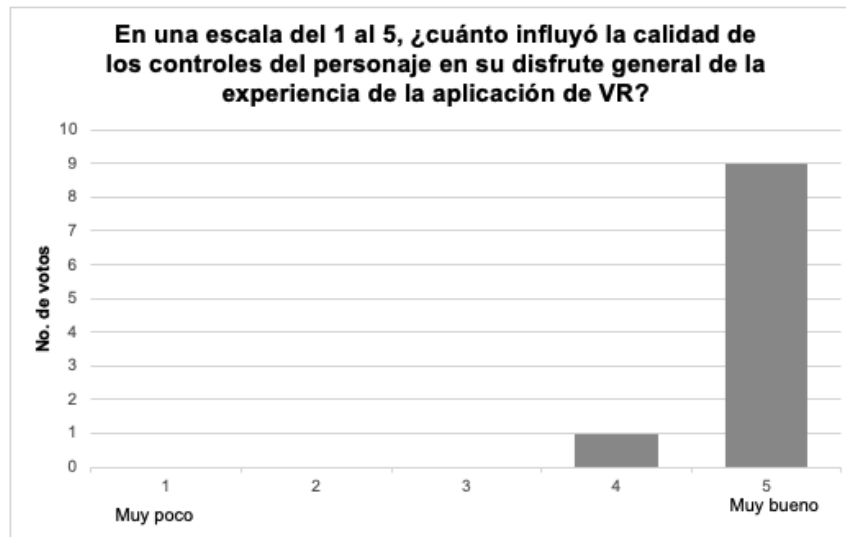
Pregunta no. 6 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 6 - tercera entrevista con usuario.

Figura 189

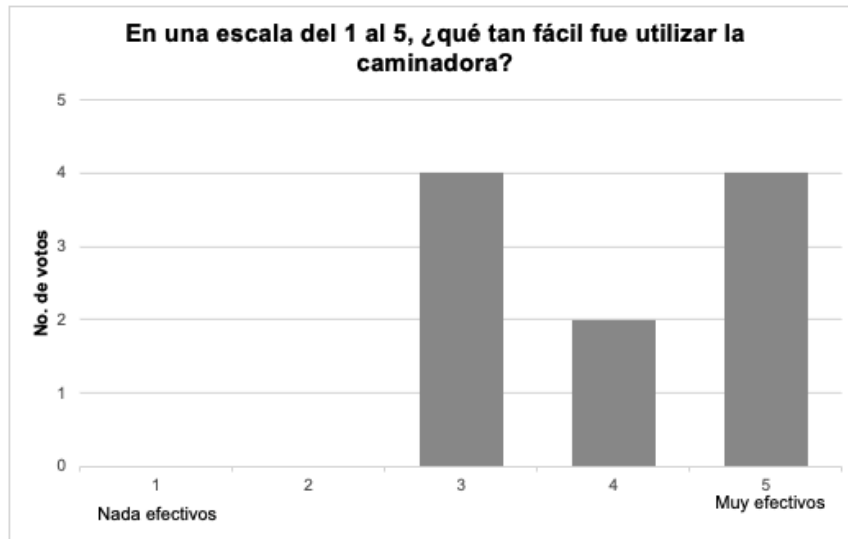
Pregunta no. 7 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 7 - tercera entrevista con usuario.

Figura 190

Pregunta no. 8 del prototipo final



Nota. Pregunta no. 8 - tercera entrevista con usuario.

El 50 % de los participantes, (figura no. 183) ya había probado alguna aplicación en VR, mientras que el otro 50 %, no. Esto sin embargo, nos dio muy buenos resultados dado que la cantidad de respuestas clasificadas como "buenas o muy buenas" aumentaron en al menos un 20 % comparado a la iteración pasada.

El principal objetivo de esta iteración era evaluar la satisfacción de los usuarios con relación al flujo completo de la aplicación. Como podemos observar, las figuras no. 184, no.185, no. 187 y no. 188 evidencian que más del 70 % de los usuarios se encuentra satisfecho con el controlador de personaje y su experiencia general con el uso de la aplicación.

Cabe mencionar que los resultados de esta iteración fueron muy positivos en cuanto a la inmersión que sintieron los usuarios, se alcanzó un 90 % en cuanto a la sensación de diferencia entre el mundo real y el mundo en VR. Esto quiere decir que el cambio de modelos e integración de animaciones, tienen un factor primordial para que el usuario experimente y sienta un cambio de realidad. Esto también es un factor interesante, ya que uno de los usuarios que no había experimentado antes, sí presentó síntomas de *cibermareo* dado que al terminar de probar la aplicación y bajar de la caminadora, experimentó mareos y desorientación por 5 minutos. Este fue un caso aislado en un único usuario, por lo que, también se puede deber a factores externos y no a que la aplicación genere este tipo de síntomas.

En general, se obtuvieron muy buenos resultados finales y se lograron mejorar las métricas propuestas para cada iteración. Consideramos que se tuvieron avances primordiales y la aplicación fue capaz de evolucionar y adaptarse a las necesidades de los usuarios.

4. Iteración con un catedrático

En esta iteración se tomó el proyecto en el estado de *prototipo final* para poder tomar una muestra desde la perspectiva de un catedrático y poder darle un enfoque educativo al proyecto. El fin principal de esta iteración era conocer cómo y qué herramientas le pueden ser de utilidad al catedrático al momento de dar una clase usando el programa de simulación.

a. Análisis cualitativo

El objetivo de este análisis es culminar la retroalimentación que se ha tenido por medio del punto de vista desde un usuario de tipo *catedrático*. Para ello, se encuestó a una docente de la Universidad del Valle de Guatemala quién nos apoyó en contar su experiencia y sensaciones dentro del mundo virtual.

Se realizó un análisis de contenido, en donde se buscaba conocer su punto de vista y se le brindó el espacio para que relatara su experiencia, a continuación se presentan dichas preguntas:

Figura 191

Pregunta no. 1 de la experiencia del catedrático

Cuando inició la aplicación de VR por primera vez, ¿cómo supo exactamente cómo empezar a usarla? ¿Fue evidente o tuvo que buscar instrucciones?

1 response

Tuve que buscar instrucciones.

Nota. Pregunta no. 1 - entrevista con catedrático.

Figura 192

Pregunta no. 2 de la experiencia del catedrático

¿Cómo percibe el mundo virtual a través de la vista, el sonido y el tacto en esta aplicación de VR?

1 response

Buena (4/5)

Nota. Pregunta no. 2 - entrevista con catedrático.

Figura 193

Pregunta no. 3 de la experiencia del catedrático

¿Hay algún aspecto de la aplicación que no es intuitivo y requiere mas informacion?

1 response

Como pasar del modo automático a manual.

Nota. Pregunta no. 3 - entrevista con catedrático.

Figura 194

Pregunta no. 4 de la experiencia del catedrático

¿Hubo algún aspecto de la interfaz que le confundió? ¿Puede identificar en qué aspecto específico de la interfaz ocurrió esta confusión?

1 response

En los textos de información que da la aplicación.

Nota. Pregunta no. 4 - entrevista con catedrático.

Mediante la observación y los comentarios de la catedrática podemos decir que la aplicación es

muy bien recibida por los usuarios a pesar de no tener previo conocimiento o uso de aplicaciones en VR. Sin embargo, varios comentarios recibidos durante las pruebas fueron que:

- *Hay una sensación de miedo al caminar.*
- *No sé cómo utilizar los controles, no encuentro los botones.*
- *El casco (lentes de realidad virtual) son incómodos para utilizarlos durante toda la experiencia.*
- *Al ser de baja estatura, es un poco difícil leer los rótulos de la aplicación en ciertas áreas.*

En general, se obtuvieron respuestas positivas y comentarios interesantes. El que más destaca es el hecho de que la estatura puede resultar un inconveniente al momento de utilizar la simulación. Sin embargo, para personas de mayor altura como se probaron con los estudiantes, este no presentó ningún inconveniente.

b. Análisis cuantitativo

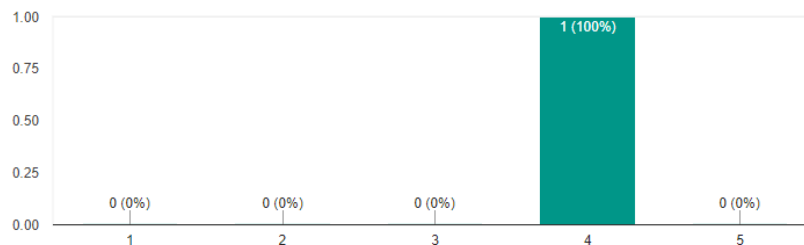
A continuación se presentan los resultados de la encuesta realizada:

Figura 195

Pregunta no. 1 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final

En una escala de 1 a 5, ¿siente que la interfaz le permitió hacer lo que deseaba en la aplicación de VR? [Copy](#)

1 response



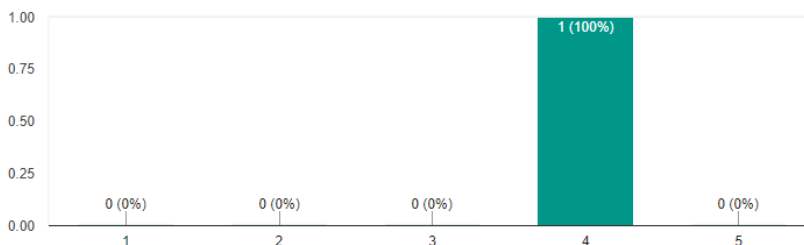
Nota. Pregunta no. 1 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 196

Pregunta no. 2 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final

En una escala de 1 a 5, ¿considera que le fue fácil entender cómo funciona esta aplicación? [Copy](#)

1 response



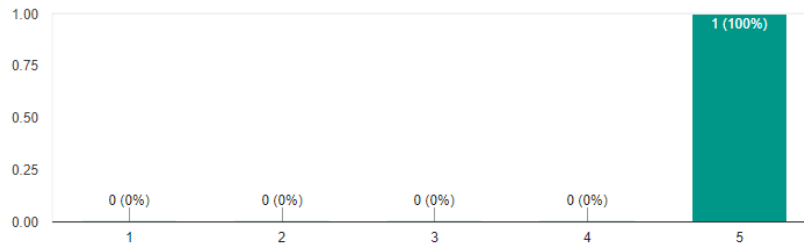
Nota. Pregunta no. 2 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 197

Pregunta no. 3 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final

En una escala del 1 al 5, ¿cuánta sensación de inmersión experimentó al usar el character controller en el mundo virtual? [Copy](#)

1 response



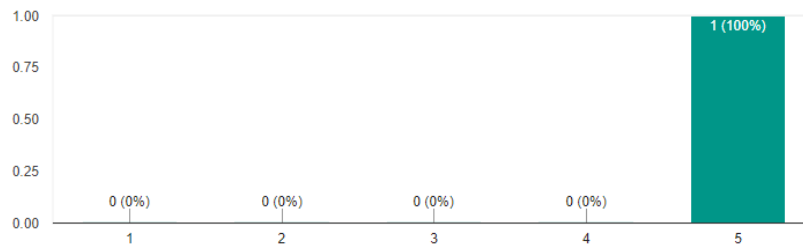
Nota. Pregunta no. 3 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 198

Pregunta no. 4 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final

En una escala del 1 al 5, ¿cómo calificaría su satisfacción general con la experiencia de controlar su personaje en la aplicación de VR?

1 response



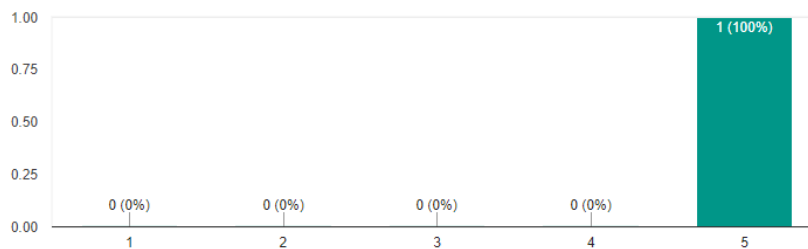
Nota. Pregunta no. 4 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 199

Pregunta no. 5 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final

En una escala del 1 al 5, ¿cuán efectivos fueron los controles para interactuar con el mundo virtual?

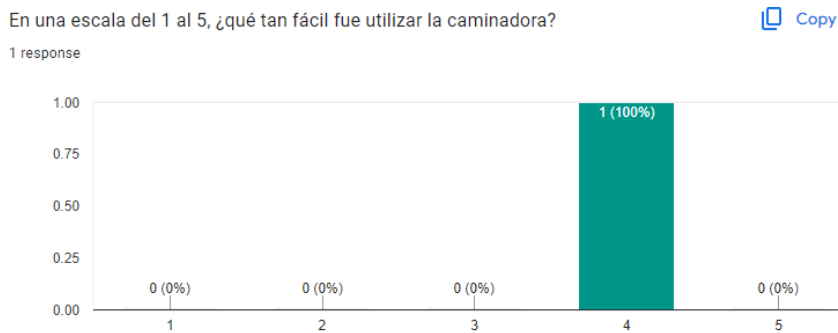
1 response



Nota. Pregunta no. 5 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 200

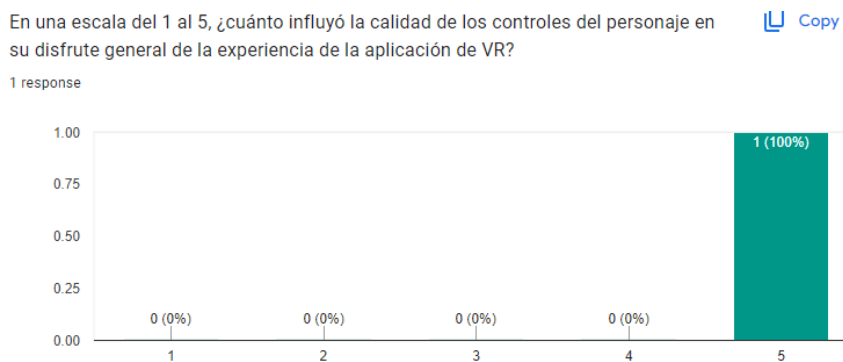
Pregunta no. 6 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final



Nota. Pregunta no. 6 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 201

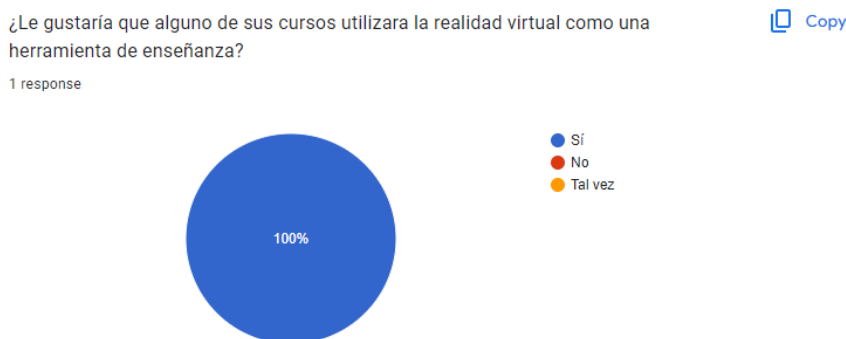
Pregunta no. 7 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final



Nota. Pregunta no. 7 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

Figura 202

Pregunta no. 8 de la encuesta a la catedrática con el prototipo final



Nota. Pregunta no. 8 - entrevista con catedrático con el prototipo final.

El principal objetivo de esta iteración era evaluar la interacción del catedrático con relación al flujo completo de la aplicación. Como podemos observar, las figuras no. 197, no.198, no. 199 y no. 201 evidencian que el catedrático se encuentra satisfecho con el controlador de personaje y su experiencia general con el uso de la aplicación.

Como se observa en la figura no. 202, se puede apreciar que la experiencia que el catedrático tuvo es favorable y le interesa que sea un método de aprendizaje dentro de su curso. Esta respuesta es satisfactoria ya que el proyecto al tener un enfoque educativo, se espera que pueda ser de utilidad no solo para los estudiantes sino para los docentes.

5. Monetización

Una de las aplicaciones más prometedoras de VR es en el ámbito educativo, donde puede ofrecer experiencias inmersivas que facilitan el aprendizaje. Nuestro objetivo es lanzar este software educativo en la tienda de Meta para 2024, con la esperanza de que tenga un impacto positivo en la comunidad de VR.

Para garantizar la sostenibilidad y el impacto a largo plazo de nuestro proyecto, es esencial considerar una estrategia de monetización. Algunas opciones incluyen:

1. Venta de Licencias a instituciones educativas: las universidades pueden beneficiarse de esta simulación como una herramienta de enseñanza, especialmente si cuentan con carreras como Ingeniería para poder beneficiar a sus estudiantes y reformar la manera didáctica.
2. Acceso freemium: esto incluye una versión básica gratuita del software y cobrar por características adicionales o contenido premium, esto atraerá un público más amplio y generará ingresos a través de las compras dentro de la aplicación.
3. Patrocinios y colaboraciones: las empresas relacionadas con la industria automotriz pueden estar interesadas en patrocinar o colaborar en el proyecto, ya sea a través de publicidad dentro de la simulación o mediante la creación de módulos educativos específicos.

a. Simulaciones o juegos comparables

1. Wrench:
 - a) Es un simulador mecánico donde los jugadores preparan y mantienen autos de carrera.
 - b) El estudio que desarrolló esta simulación es Missing Digit, que son un grupo de desarrolladores independientes que publicaron la simulación en Steam.
 - c) El precio de venta es de \$29.99 (Two-Point-Studios, 2018)
2. Car Mechanic Simulator VR
 - a) Es un simulador donde el usuario toma el rol de un verdadero mecánico de automóviles en un simulador muy realista y muy detallado.
 - b) El estudio de desarrollo es Red Dot Games y el editor del juego es PlayWay S.A.
 - c) El precio de venta es de \$ 19.99 (Red-Dot-Games, 2022)
3. Production Line
 - a) Es un juego de gestión/simulación/magnate de fábrica de automóviles que lleva al límite tus habilidades organizativas y empresariales.
 - b) Esta desarrollado y publicado como indie por Positech Games.
 - c) El precio de venta es de \$ 24.99 (Cartusia-Interactive, 2017)

b. Planificación a futuro

El proyecto actualmente se encuentra con un prototipo funcional, esto puede ser beneficioso para buscar personas o empresas que estén dispuestas a financiarlo para lograr su lanzamiento a Meta. Si bien, esta simulación actualmente está siendo desarrollado como parte de un proyecto, si se continua como un proyecto a largo plazo, en un año más de desarrollo tendrá la posibilidad de estar en una etapa *Beta* lo cual tendrá mejores posibilidades de ser publicado.

Para este proyecto se proponen dos métodos de monetización:

1. Venta de la aplicación (licencia):

- a) Es el método convencional que puede generar ganancias y sobre todo, beneficiar a otros estudiantes, una única compra garantiza mayor sostenibilidad.
- b) De acuerdo al estado del software y considerando que aún faltan por lo menos dos años de desarrollo, se propone un precio de lanzamiento de \$24.99.
- c) Las posibilidades de publicación en tienda principalmente se plantearon para Meta, sin embargo, también hay un gran mercado que debe ser aprovechado en la tienda de Steam.

2. DLC:

- a) Este método se le conoce como contenido descargable. Este método puede ser ofrecido sin un pago previo ya que la idea es tener un software base y poder desarrollar expansiones o características de juego que no sean de la versión base.
- b) Esta opción puede ser considerada incluso desde la etapa *Alpha*, que es el estado actual. Si se desea, se puede lanzar a tiendas como un juego demo para que gane popularidad y posteriormente se le pueda colocar un precio según las características y novedades que ofrezca.

Implementación de una Experiencia Asimétrica para Grupos

La necesidad de involucrar a todos los estudiantes en una práctica es importante para un docente, pues se espera que todos puedan aprender lo mismo en el mismo plazo de tiempo. Es por esto que la asimetría en el *gameplay* le permite a un catedrático que todos sus alumnos puedan realizar la práctica aun cuando no se tengan suficientes equipos de realidad virtual y la caminadora a la mano.(Johnson y Johnson, 2009)

Para el desarrollo del proyecto, se plantearon diferentes maneras en las que los estudiantes se benefician al utilizar la simulación para el desarrollo de los laboratorios.

1. Uno de los beneficios esperados es el aprendizaje para entender la distribución de una planta de ensamblaje de autos de manera segura.
2. Permite la identificación de las diferentes medidas de seguridad industrial dentro de las plantas.
3. Es una tecnología que permite un alto grado de inmersión y potencial de innovación.
4. La producción y ensamblaje de automóviles puede causar muchas lesiones como lo son: (Pimlott, 2022)
 - Problemas de espalda crónicos
 - Codo de tenista
 - Síndrome del Túnel del Carpo
 - Problemas de hombro
 - Lesiones de rodilla

El desarrollo de la simulación permite aprender sobre un ambiente altamente peligroso desde la realidad virtual, donde los riesgos no están presentes, y se pueden evitar lesiones una vez se aplique el conocimiento.

¿Cómo la implementación de la experiencia asimétrica proveería el apoyo a los estudiantes y catedráticos al momento en que se imparte una práctica?

- Johnson y Johnson proponen que la interdependencia social positiva es un gran beneficio para el aprendizaje por el hecho del trabajo individual para alcanzar un objetivo único.(Johnson y Johnson, 2009)

- Szewkis et al. aplican lo que llaman colaboración silenciosa"que consiste en la comparación de ideas entre alumnos a través de sugerencias e intercambios.(Szewkis y cols., 2011)
- Gandolfi aplica el pensamiento cooperativo a los juegos, y como los roles asimétricos pueden aplicar y desarrollar estas habilidades de pensamiento cooperativo, así como el pensamiento computacional.(Gandolfi, 2018)

A. Marco teórico

1. Asimetría en juegos

a. ¿Qué es la asimetría en los juegos?

Existen características que definen lo que es un juego asimétrico como lo son la diferencia en habilidades, recursos, reglas y objetivos para oponentes dentro de un mismo juego. Aunque estas características si toman en cuenta aspectos que hacen un juego asimétrico, no son lo suficientemente abstractas para definir las diferentes variaciones en estas experiencias asimétricas. Por esto, se define la asimetría como "Variaciones en gameplay ocasionadas por como diferentes jugadores pueden actuar dentro de un juego".(Neto, Cardoso, y Carvalhais, 2023)

b. Tipos de asimetría en juegos

La razón por la que nace la asimetría en los juegos es debido a la capacidad de generar relaciones importantes cuando dos o más personas tienen diferentes maneras en las que prefieren jugar, habilidades o en la disponibilidad de su tiempo.(Harris, Hancock, y Scott, 2016) Este surgimiento en las experiencias asimétricas ha llevado al análisis de cómo se pueden abordar las diferentes discrepancias entre las personas para que puedan gozar del mismo entretenimiento sin tener las mismas necesidades. Harris et al. se enfocan en el diseño de juegos asimétricos y la estrategia para poder proveer una experiencia apta para todos los involucrados. Esto permite que sea atractivo para grupos de personas, y permite la interacción social que viene implícita con los juegos. Una de los más grandes obstáculos que nace en el diseño de experiencias asimétricas es la consideración de personas con discapacidades que pueden impedir que disfruten de la experiencia.(Goncalves y cols., 2021) En el caso de la realidad virtual, es importante considerar que las personas pueden no utilizar el headset por problemas de balance y mareo, por lo que es importante diseñar experiencias que no descuidar a estas personas y como disfrutaran estas experiencias. Harris et al. presentan seis diferentes tipos de asimetría que permiten que la experiencia de un juego sea única para cada jugador.(Neto y cols., 2023)

Habilidad: la base de la asimetría de habilidad consiste en lo que cada jugador puede hacer.(Harris y cols., 2016) Esta es común dentro de los juegos, y permite que haya variedad y puede surgir a lo largo del juego. Esto se puede observar principalmente en juegos de cartas clásicos, pues dependiendo de las cartas que cada jugador tenga disponibles, estas serán las acciones que podrá tomar.(Neto y cols., 2023)

Desafío: la asimetría del desafío es en la cual dos jugadores se enfrentan a diferentes desafíos.(Harris y cols., 2016) Una característica importante para este tipo de asimetría es que se pueden utilizar las mismas mecánicas para ambos jugadores, pero el uso de estas es diferente debido a lo que se enfrentan.(Neto y cols., 2023)

Meta: el tener diferentes metas para jugador es lo que caracteriza la asimetría en las metas.(Harris y cols., 2016)Es importante resaltar la diferencia que la meta no debe ser la misma entre los jugado-

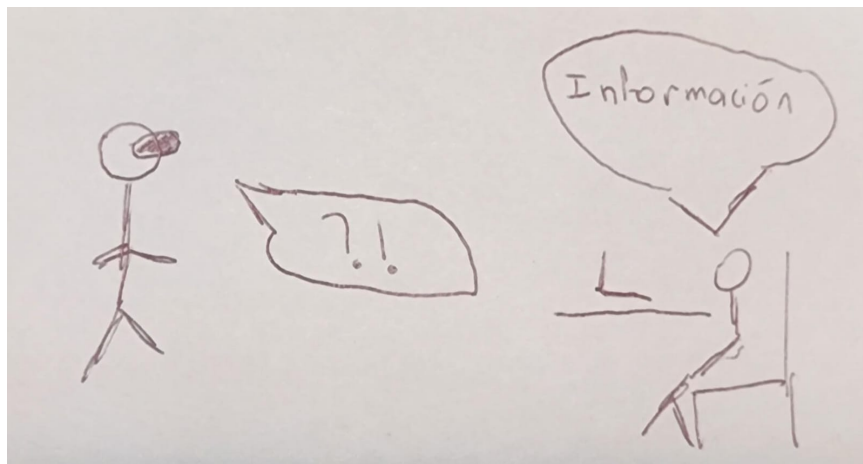
res pero opuesta, pues esto define la competencia, sino que lo que se desea alcanzar es único.(Neto y cols., 2023)

Responsabilidad: las responsabilidades que se le asignan a cada jugador definen la asimetría de responsabilidad.(Harris y cols., 2016) Puede surgir como derivado de la asimetría de metas, pues alcanzar objetivos diferentes requiere responsabilidades diferentes. Lo opuesto no es necesariamente cierto. Se puede tener múltiples jugadores con el mismo objetivo pero cada uno con sus propias responsabilidades para alcanzar este objetivo.(Neto y cols., 2023)

Información: para poder implementar la asimetría de información, se le debe de dar diferente conocimiento a los jugadores involucrados. (Harris y cols., 2016) Esto involucra cualquier juego en los cuales los jugadores tienen diferentes perspectivas en cuanto al estado del juego; o puede ocurrir que tengan diferente nivel de conocimiento en aspectos relevantes al juego.(Neto y cols., 2023)

Figura 203

Asimetría de información

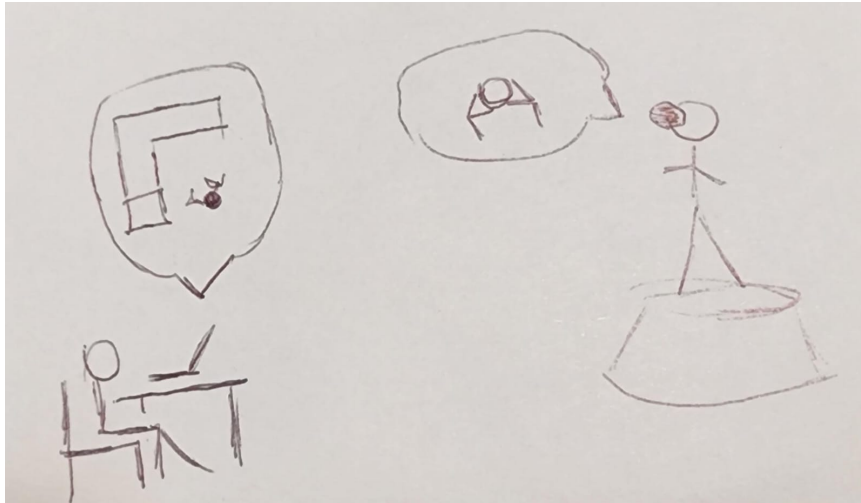


Nota. Representación gráfica de la asimetría de información.

Interfaz: la asimetría de interfaz ocurre cuando la manera de interacción con el juego para cada jugador es diferente en cuanto a input y output.(Harris y cols., 2016) Este tipo de asimetría se da mucho con los dispositivos con los cuales cada jugador interactúa, lo que permite experiencias específicas a cada dispositivo con el cual se está experimentando el juego.(Neto y cols., 2023)

Figura 204

Asimetría de interfaz



Nota. Representación gráfica de la asimetría de interfaz.

Otras asimetrías: Neto et al. presentan seis tipos de asimetría más. Explican que esta lista es únicamente un punto de partida, ya que el análisis y desarrollo de la asimetría podría definirse nuevos tipos de asimetría. (Neto y cols., 2023)

Operación: este tipo de asimetría sucede cuando la experiencia de juego es afectada directamente por las acciones y decisiones dentro del contexto del juego. Este está presente incluso en juegos de un jugador, pues dependiendo de el tiempo que se le invierte a un juego, la experiencia puede cambiar completamente. (Neto y cols., 2023)

Ubicación: asimetría por ubicación es caracterizada por el lugar en el que cada jugador se encuentra, y cómo este puede afectar el acceso a recursos y tener sus ventajas y desventajas únicas. Se ha presentado más con la implementación de realidad aumentada y juegos de vida real, como lo es *Pokémon GO* (Neto y cols., 2023)

Periodo de Tiempo: la asimetría de periodo de tiempo es definida por el *cuando* de la interacción con el juego. Esto sucede de dos maneras diferentes dependiendo del diseño de cada juego. La primera manera es la relación con el ciclo día-noche del juego. La segunda es cuando el juego está relacionado con el tiempo real, como lo es *Animal Crossing* (Neto y cols., 2023)

Interdependencia: en juegos multijugador se da la dependencia con otros jugadores para poder alcanzar los objetivos individuales. Esto permite que la cooperación no sea requerida, pero que la interdependencia sea un resultado del desarrollo natural del juego. (Neto y cols., 2023)

Resultado: la asimetría de resultado va ligada de la aleatoriedad, pues consiste en diferentes resultados para jugadores que tomaron la misma acción. Estos resultados pueden ser positivos o negativos, dependiendo de la acción aleatoria que existe, como lo es tirar un dado. (Neto y cols., 2023)

Feedback: la manera en la que se provee el feedback genera un tipo de asimetría que afecta la percepción del mundo como tal. Esta diferencia puede ser en el contexto o manera de proveer el feedback, por ejemplo a un jugador se le da de manera visual, mientras a otro de manera auditiva. (Neto y cols., 2023)

2. Cooperación y comunicación

a. El rol social en los juegos

Harris et al. presenta como la interacción social va ligada a los juegos multijugador, y los beneficios que estos traen. Estos proveen un sentimiento de pertenecer y son una motivación importante para poder participar en estos de manera continua. A pesar de estos, existe un aspecto egocéntrico en muchos de estos juegos que no proveen maneras de promover este trabajo cooperativo. (Harris y cols., 2016) Para poder promover e implementar la cooperación dentro de juegos es importante conocer a las personas que jugarán y el por qué quieren tener esta experiencia. A pesar de que no es tan simple la identificación del rol que toma cada persona al jugar, se pueden identificar características específicas que puedan permitirle participar en juegos multijugador con su propio estilo de juego. De la mano de el diseño para cierto tipo de jugador, debe de ir el balance para poder contrarrestar la diferencia de experiencia. Estos dos conceptos deben de ir de la mano para poder diseñar una experiencia completa que permita el desarrollo de múltiples jugadores. (Harris y cols., 2016)

b. La realidad virtual y el trabajo cooperativo

Con el desarrollo de la tecnología, la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR) han tenido un auge en el ámbito de los videojuegos. Estas dos tecnologías permiten conexión y juego con personas en diferentes ámbitos, y son una manera de proveer experiencias asimétricas únicas e innovadoras. A pesar de esto, la realidad virtual ha tenido problemas en cuanto al aislamiento social y tecnológico, al igual que problemas por falta de comodidad. El campo de VR ha tomado un enfoque en proveer interacciones novedosas para espectadores y co-jugadores. (McCready, Covaci, y Tabbaa, 2023)

LabXscape McCready et al. diseñaron un sistema que implementa interacciones en VR, AR y en la computadora, tomando en cuenta las limitaciones que estas tienen dentro de las capacidades del jugador y su involucramiento dentro del juego. *LabXscape* es una experiencia en la que el jugador que tiene el headset toma el rol principal dentro del juego, los jugadores en AR tienen un rol activo dentro del juego y el jugador en la PC tiene un rol más pasivo y de observador, pero con un mayor acceso a la información. Esto permite que cada jugador pueda estar aislado, pero se tenga la necesidad de comunicación entre ellos. (McCready y cols., 2023)

Accesibilidad Por otro lado, un obstáculo en cuanto a la realidad virtual como experiencia de juego es la segregación de jugadores con discapacidad visual. El desarrollo de Capacidad cruzada es importante en cuanto al rol que toman las personas con discapacidades en los juegos multijugador. Goncalves et al. investigan cómo los roles asimétricos enfocados en las capacidades del individuo proveen experiencias que no limitan a los diferentes jugadores. Como beneficios secundarios, es un gran beneficio para poder crear conciencia y superar los estigmas que existen al rededor del diseño accesible. (Goncalves y cols., 2021)

3. Comunicación no verbal

Uno de los grandes problemas con los cuales se enfrentan los usuarios cuando se comunican a través de computadoras es la falta de los movimientos sutiles que definen la comunicación verbal cara a cara. (Manninen y Thurlin, 2002) Esto es incluso más evidente cuando se utilizan *Head Mounted Displays* como lo son los lentes de realidad virtual. Esto causa que el usuario sea aislado de las influencias externas del entorno. A pesar del uso de representaciones gráficas de los usuarios

en estos ambientes virtuales, las dificultades siguen surgiendo porque la comunicación para expresar ciertas emociones suele ser más intrusiva. Para en realidad tener ambientes virtuales que asimilen la realidad, el punto clave es poder expresar las sutilezas de movimientos faciales, postura y manierismos de manera clara, intuitiva y no intrusiva. (Manninen y Thurlin, 2002) Manninen y Thurlin recolectan las siguientes maneras de comunicación no verbal:

- **Hápticos:** se refiere al uso del tacto durante la comunicación, como lo son un apretón de manos o palmadas.
- **Apariencia física:** son las características de la imagen personal y cómo se presenta la persona. La ropa y accesorios son clasificados como control voluntario, mientras que el pelo, altura y peso son aquellos con menor control.
- **Kinésica:** cualquier movimiento que no requiere tacto. Un claro ejemplo es asentir la cabeza durante la conversación con otras personas. La postura y gestos con las manos, pies y cabeza son claves durante las interacciones.
- **Expresiones faciales:** hay cuatro aspectos importantes al momento de definir las expresiones faciales y su significado: posición de las cejas, forma de los ojos y boca, y el tamaño de las fosas nasales.
- **Comportamiento espacial:** el comportamiento de una persona en cuanto a proximidad, orientación, movimiento y comportamiento territorial.
- **Paralenguaje:** el paralenguaje se refiere a la parte no verbal del sonido, como lo es el volumen, tiempo y tono.
- **Oculésica:** la oculesia es el movimiento de la cara y ojos, como lo es el contacto visual y sus características: la duración de este, y los aspectos como dilatación de pupilas.
- **Detalles ambientales:** los objetos con los que se puede interactuar durante una conversación, como abrir un plano durante la explicación de un plan en las películas forman parte de los detalles ambientales.
- **Crónica:** el comportamiento de las personas respecto al tiempo, como por ejemplo llegar tarde a un lugar, o hacer pausas para crear anticipación en una historia.
- **Olfativas:** la olfativa es el aspecto de aromas y olores como lo es el uso de lociones y perfumes.

4. Ensamblaje de automóviles

El ensamblaje de automóviles es un proceso complejo que a través de los años ha evolucionado en sus procesos. Esto significa que requiere alta precisión y coordinación, y una entidad industrial que pueda desarrollar la logística de estos procesos. Debido al crecimiento moderno de esta industria, el proceso ha sido tercerizado en diferentes etapas, como lo son diseño, producción, distribución a clientes, mantenimiento postventa y servicio. (Tkatchenko, 2011b)

a. Gestión de la cadena de suministro

Debido a la importancia de la cadena de suministro en las organizaciones y negocios, el estudio de su manejo es importante para enfatizar la maximización de valor. El uso eficiente y despliegue de los recursos de manera holística son una ventaja competitiva dentro del mercado. (Sukati, Hamid, Baharun, y Yusoft, 2012)

La cadena de suministro tiene dos metas importantes: la adición de valor, y el cumplir requerimientos del cliente. Para lograr estas metas, se deben de considerar las diferentes entidades involucradas, ya sean de manera directa o indirecta. Sukati et al.(2012) incluyen a las siguientes entidades dentro de la cadena de suministro:

- Fabricantes
- Proveedores
- Transportistas
- Bodegas
- Minoristas
- Clientes

Cada una de estas entidades están encargadas de cumplir ciertos objetivos y responsabilidades. La gestión efectiva de las diferentes áreas en la cadena de suministro es clave para construir y mantener una ventaja competitiva en productos y servicios de las empresas.(Sukati y cols., 2012)

b. El rol del ensamblaje automotriz en las cadenas de suministro

La industria automotriz es un campo de investigación muy importante para aquellos que estudian las cadenas de suministro. Tkatchenko (2011) menciona que el ejemplo más claro para el estudio de gestión de cadenas de suministro dentro de la industria automotriz es el crecimiento de Toyota Motor Corporation hasta llegar a ser la empresa automotriz con mayor venta anual, superando a General Motors. El modelo de negocio de Toyota es más popular que sus autos, y el concepto de producción TPS es clave en el estudio de éxito en cadenas de suministro.(Tkatchenko, 2011b)

El ingeniero Taiichi Ohno menciona en su libro "Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production" la influencia de Henry Ford en su gestión de la línea de producción de Toyota. Cuando Ohno en Toyota empieza a perfeccionar el sistema de producción lean, Ford Motor Company en los Estados Unidos lo abandona.(Tkatchenko, 2011b)

c. Las imperfecciones de las cadenas de suministro

Debido a las necesidades que surgen en el proceso de suministro, se pueden identificar tres tipos de imperfecciones dentro del manejo de estas cadenas. Problemas a nivel de configuración o coordinación, complejidades, e ineficiencias.(Lu y Swaminathan, 2015)

Problemas en las cadenas de suministro Lu & Swaminathan (2015) definen dos categorías de problemas que surgen en el manejo de las cadenas de suministro. Los primeros son problemas de configuración, que se relacionan al diseño de alto nivel y la infraestructura básica de la cadena de suministros. Por otro lado, los problemas de coordinación se refieren a las decisiones tácticas y del día a día de las operaciones en la cadena de suministro.(Lu y Swaminathan, 2015)

Problemas de configuración Hay cuatro principales decisiones que se deben de tomar durante la gestión de cadena de suministro que pueden llevar a problemas de configuración. (Lu y Swaminathan, 2015)

- **Base de suministro:** los proveedores, la tercerización de procesos y la estandarización de prácticas forman parte de las decisiones de suministro dentro de una empresa.
- **Ubicación de plantas:** la ubicación de plantas consiste en tomar decisiones de dónde y cuántas plantas de manufactura, distribución y venta se deben de tener en la red, la capacidad de cada una de estas y como se debe de manejar los canales de distribución a clientes.
- **Portafolio de productos:** la cadena de suministros debe de considerar los productos y servicios que se manejarán, al igual que la variedad que se le proveerá a los consumidores.
- **Soporte de la información:** el manejo de la información dentro de la empresa es importante para mantener un estándar, ya sea por software interno o externo. También es importante definir los protocolos con los que se trabajará durante los procesos de la cadena de suministro.

Problemas de coordinación Lu & Swaminathan también proponen cuatro decisiones que se deben de tomar que pueden causar problemas a nivel de coordinación durante la gestión de cadenas de suministro. (Lu y Swaminathan, 2015)

- **Flujo de material:** el flujo de material son decisiones que hacen referencia al inventario. Se debe de tomar en cuenta los tipos de productos que se almacenarán, si estos ya están completos o semicompletos, cómo se reponen estos y cuando se deben de reponer.
- **Flujo de información:** el intercambio de la información entre las entidades que participan en la cadena de suministro, el nivel y visibilidad de la información a diferentes entidades, así como la colaboración durante el desarrollo de productos y servicios pueden causar problemas en el flujo de información a nivel de coordinación.
- **Flujo de fondos:** el manejo del capital es importante, por lo que se debe de tomar en cuenta el flujo de este. Casos a tomar en cuenta son el momento de pago a proveedores, que moneda se maneja de manera global y en qué elementos se pueden reducir los costos.
- **Capacidad:** el uso óptimo de maquinaria y mano de obra, planificación en la manufactura para entregar a tiempo y el buffer disponible para casos extremos son clave para las decisiones en términos de capacidad en la empresa.

Complejidades en las cadenas de suministro Hay cinco principales complejidades que nacen durante la gestión de cadenas de suministro. Las áreas funcionales y geográficas que difieren introducen complejidades de diseño y ejecución. (Lu y Swaminathan, 2015)

Múltiples agentes Los intereses de las diferentes entidades involucradas en una cadena de suministro pueden causar incidentes en la toma de decisiones para la resolución de problemas. Debido a que el incentivo no es el mismo para las entidades involucradas, es importante entender la complejidad que puede nacer cuando las metas de estas no están alineadas. (Lu y Swaminathan, 2015)

Incertidumbre Acertarle a la oferta y demanda de manera de manera precisa es la meta de la gestión de cadenas de suministro, lo cual resulta difícil por las diferentes incertidumbres en el proceso. La incertidumbre causa ineficiencia en el proceso, la cual nace por la poca precisión en la predicción de demanda del consumidor, e incertidumbres en el desarrollo de producto y tecnología, operaciones diarias y en la manufactura. (Lu y Swaminathan, 2015)

Asimetría de información Las diferentes entidades involucradas en la cadena de suministro no siempre tienen acceso a la misma información, lo que causa esta asimetría en conocimiento. Esto se da por dos razones principales: ya sea por la falta de tecnología necesaria para su distribución, o debido a la poca disposición de las entidades a compartir información entre ellas. (Lu y Swaminathan, 2015)

Tiempo de espera El tiempo que cada proceso toma en el proceso de producción es definido por los recursos y capacidad que tiene, ya sea limitado por la mano de obra, maquinaria o computadoras. Debido a esto, hay procesos que deben de ser iniciados con anticipación, lo que puede crear excedentes si la demanda es mayor, o escasez si la demanda es menor a lo esperado. (Lu y Swaminathan, 2015)

Competencia La competencia es importante a tomar en cuenta durante las decisiones de la cadena de suministro. Mantenerse por encima de la competencia es un proceso que debe considerar la información que es única a la empresa, así como las empresas tercerizadas que pueden trabajar con competidores. (Lu y Swaminathan, 2015)

Ineficiencias en la gestión de cadenas de suministro

Mala utilización de los activos Una ineficiencia común es el inventario excesivo en diferentes etapas de la cadena de suministro. Por otro lado, la falta de inventario también se da en otras etapas de la misma cadena. (Lu y Swaminathan, 2015)

Distorsión de la información La falta de visibilidad de la oferta y demanda en la cadena de suministro es causa del efecto látigo. Este consiste en cómo un cambio en la necesidad del consumidor puede amplificarse en los procesos de la cadena de suministro por la falta de comunicación entre estos. (Lu y Swaminathan, 2015)

Desabastecimiento El mal manejo de las cadenas de suministro puede causar desabastecimiento o entregas tardías de productos. Estos desabastecimientos nacen de la falta de materia prima y capacidad por decisiones incorrectas por parte de la empresa. (Lu y Swaminathan, 2015)

Desafíos de personalización El crecimiento rápido de la personalización puede provocar problemas durante el manejo de la cadena de suministro si no se tiene en cuenta. La consideración de variedad sin aumentar los costos es un desafío que se presenta a las empresas. (Lu y Swaminathan, 2015)

B. Metodología

1. Integrantes

Para el desarrollo del megaproyecto, un total de siete integrantes de dos carreras diferentes participaron en este. Dos de los estudiantes cursan Ingeniería Industrial y los otros cinco estudiantes cursan Ingeniería en Ciencias de la Computación. De esta manera se podrían dividir las tareas para completar el proyecto.

a. Módulos

División de tareas: las tareas se dividieron de la siguiente manera:

- **Proceso industrial:** los estudiantes de Ingeniería Industrial fueron los encargados de realizar el desarrollo de todo el proceso industrial para luego realizar la experiencia virtual. Los puntos importantes a resaltar son, el diseño y distribución de la planta, el cálculo de tiempos y las etapas a simular.
- **Modelado y animación:** dos de los estudiantes de Computación fueron los encargados del diseño, modelado y animación en 3D de diferentes elementos. Los elementos importantes a resaltar son: el automóvil y sus partes, maquinaria y personas.
- **Experiencia de realidad virtual:** dos de los estudiantes de Computación desarrollaron e implementaron el uso de los lentes de realidad virtual en conjunto con la caminadora para inmersión total.
- **Experiencia asimétrica:** un estudiante de Computación desarrolló los elementos que forman parte de la experiencia asimétrica para permitir que dos o más personas puedan interactuar con la simulación.

Interacción de los módulos El módulo desarrollado, siendo el de la experiencia asimétrica, interactúa con los presentados anteriormente de diferentes maneras y a diferente magnitud. A continuación se presenta de menor a mayor interacción con los módulos.

Proceso industrial La mecánica de los *tooltips* está diseñada para proveer contexto e información al usuario que esté utilizando la computadora. De esta manera se logra que puedan ser un apoyo para los usuarios en el ambiente virtual.

Modelado y animación La mecánica del movimiento de la cámara permite la interacción con el mundo. Esto le da la habilidad al usuario de la computadora poder moverse de manera completamente independiente y explorar el mundo y la maquinaria.

Experiencia de realidad virtual Al proveer al usuario con tres mecánicas distintas, este tiene la capacidad de trabajar de manera independiente para proveer al usuario en el ambiente virtual con información necesaria.

2. Mecánicas

a. Metodología

La definición del objetivo para el segundo usuario, y las capacidades que estas proveían fue el primer paso para la planteación de este módulo. Estas definiciones permiten tener claro el alcance, objetivo y uso que se le debe dar a las mecánicas a desarrollar. En conjunto con los estudiantes de Ingeniería Industrial, se analizaron los posibles casos de uso para la definición del siguiente objetivo: **Fomentar la cooperación a través de la comunicación verbal y no verbal que se da con el uso de las mecánicas implementadas.**

Para el diseño, desarrollo e implementación, se realizaron sprints tres sprints de dos semanas para cada una de las mecánicas. Durante el primer sprint, se desarrollaría un resumen conceptual (*Briefs*)

para que se presentarán la información básica necesaria para el usuario. El segundo y tercer sprint serían de desarrollo e implementación de la mecánica. Una vez finalizadas las mecánicas de manera individual, se tomaron dos sprints para la implementación de estas en un mismo ambiente y de esta manera poder realizar las pruebas dentro del ambiente virtual y el funcionamiento entre estas. Para finalizar con la implementación, se realizó un último sprint en el cual se realizó la implementación de la experiencia asimétrica con la simulación de realidad virtual.

b. Desarrollo de *briefs*

Un *brief* es un documento corto que presenta un resumen conceptual de las mecánicas. Este permite dar una presentación abstracta sobre el alcance y usuarios que utilizarán dichas mecánicas. Para el desarrollo de los *briefs*, se presentaron los siguientes puntos para presentar a los usuarios:

1. Concepto de la mecánica
2. Uso de la mecánica
3. Objetivo de la mecánica
4. Implementación existente de la mecánica en videojuegos

3. Implementación

La implementación de las mecánicas se realizó en tres etapas que permiten iteración sobre los conceptos y feedback de la fase anterior. Estas tres fases evaluaron la experiencia del usuario y como estas mecánicas lograban implementar lo que se buscaba para cumplir su objetivo.

a. Fase 1. Documentación

Durante la fase de documentación, se hicieron *brief* de las tres mecánicas principales. A partir de estos *briefs*, se realizaron encuestas sobre diferentes aspectos para saber en donde debería estar el enfoque durante el desarrollo. Estos aspectos son los siguientes:

- Utilidad en asimetría
- Comunicación
- Claridad de funcionalidad
- Utilidad para el usuario en la PC
- Utilidad para el usuario en VR
- Claridad de la meta
- Claridad del público
- Claridad del *moodboard*

Luego de las ocho preguntas para evaluar los aspectos mencionados anteriormente, también se le daba a quien fue encuestado la opción de agregar comentarios generales sobre cada una de las mecánicas.

b. Fase 2. Experiencia individual en PC

Para la segunda fase, la meta era obtener feedback sobre la experiencia del uso de las mecánicas durante una simulación en tiempo real dentro de un tutorial enfocado en el aprendizaje de las mecánicas. El enfoque de esta es obtener datos sobre el comportamiento y utilidad de estas como individuo. Luego de realizar la prueba en persona, en la cual se realizaron observaciones, se realizó una encuesta. Los aspectos evaluados son los siguientes:

- ¿La mecánica es intuitiva de entender?
- ¿La mecánica es fácil de utilizar?
- ¿La mecánica es útil para el jugador en PC?
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera verbal con la persona en el ambiente virtual?
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera no verbal con la persona en el ambiente virtual?

Cada mecánica se evaluó con estas cinco preguntas, así como se le proveyó un campo abierto al usuario para que pudieran ampliar y justificar su respuesta.

c. Fase 3. Experiencia asimétrica

En la tercera fase, se implementaron las mecánicas de experiencia asimétrica en la simulación real. Esto significa que los usuarios ya tenían datos reales, y podían interactuar con una persona en el ambiente virtual. Al igual que en la fase anterior, se realizó una encuesta con las siguientes preguntas:

- ¿La mecánica es intuitiva de entender?
- ¿La mecánica es fácil de utilizar?
- ¿La mecánica es útil para el jugador en PC?
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera verbal con la persona en el ambiente virtual?
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera no verbal con la persona en el ambiente virtual?

Al igual que la fase anterior, se evaluaron las tres mecánicas, y se tenía disponible un espacio donde el usuario pudo justificar y expandir su respuesta.

C. Resultados

1. Definición de características

Al tener definido el objetivo, se trabajaron tres mecánicas con diferentes características que aportan al desarrollo de las siguientes dos capacidades:

- Cooperación
- Comunicación

Las tres mecánicas tenían objetivos generales para posibles mejoras e implementaciones futuras:

- Experiencia de usabilidad sencilla e intuitiva
- Implementación abstracta con la posibilidad de iteración y mejoras

2. Primera fase

a. Desarrollo de *briefs*

A continuación se presentará la información textual de lo que cada *brief* incluye.

Movimiento de cámara

Concepto: la mecánica del movimiento de cámara se implementó a través de un sistema de *Click and drag*. Esto permite el movimiento libre del usuario en la PC sin depender directamente del usuario en VR.

Uso: el uso de la mecánica es simple y se deben seguir los siguientes pasos:

- Hacer click izquierdo y mantener sostenido sobre la pantalla
- Mover el mouse para mover la cámara
- Soltar el click

Objetivo: permitir explorar el ambiente virtual de manera independiente.

Tooltips

Concepto: los Tooltips serán utilizados como un elemento en cada uno de los objetos con los cuales el usuario en VR puede interactuar. Estos tendrán información específica para dar contexto al usuario en PC y que la pueda comunicar a quien está en el ambiente de realidad virtual.

Uso: para utilizar los *tooltips*, existirán indicadores en los que el usuario podrá hacer click para abrir y cerrar un cuadro con la información necesaria.

Objetivo: permitir acceder a la información para promover la comunicación entre usuarios.

Waypoints

Concepto: los Waypoints, siendo un indicador visual dentro del mundo, le permite al usuario en la PC proveer una guía al usuario en VR.

Uso: el uso de los *waypoints* utilizará el click derecho para que funcione de manera independiente del movimiento de la cámara. Al hacer click, aparecerá un *waypoint* de luz y emitirá un sonido para que el usuario en VR logre guiarse.

Objetivo: dar una guía visual sin necesidad de comunicarse verbalmente.

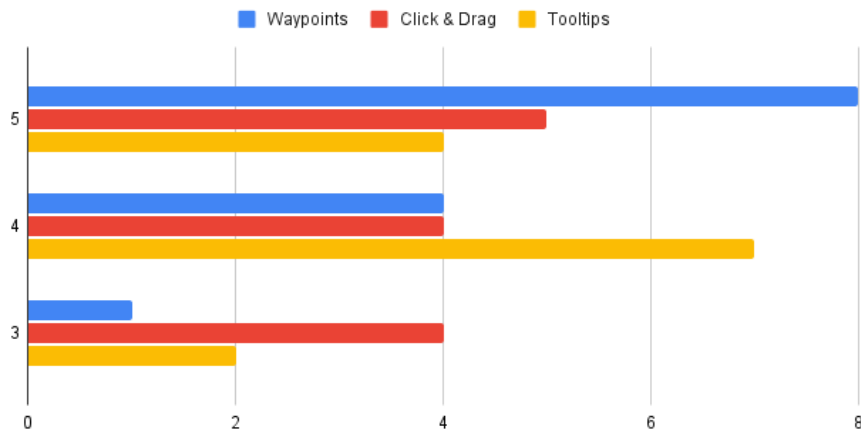
b. Evaluación de los *briefs*

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la primera fase.

Figura 205

Resultado de la primera pregunta de la primera fase

¿Cree que la mecánica es útil en un juego multijugador asimétrico?

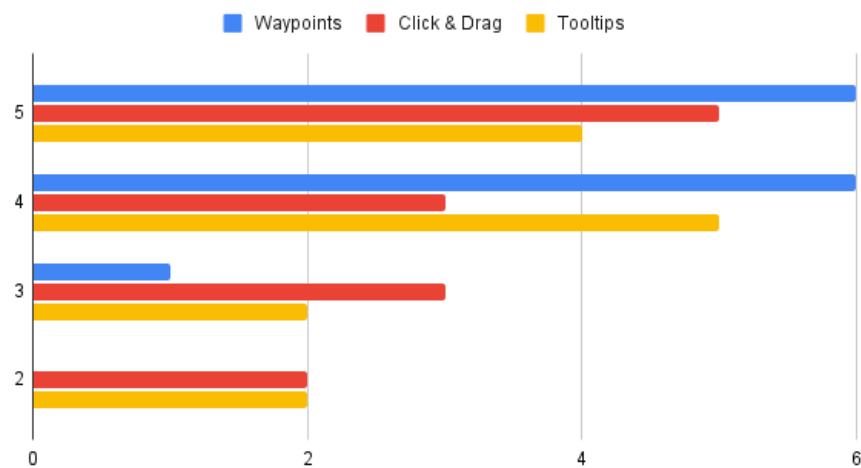


Nota. Distribución de respuestas sobre la utilidad de la mecánica en un ambiente asimétrico, representada en un gráfico de barras.

Figura 206

Resultado de la segunda pregunta de la primera fase

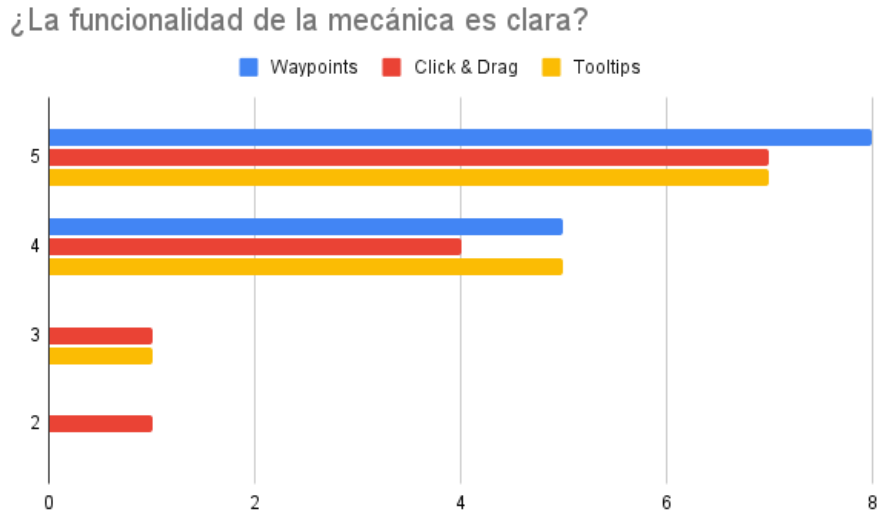
¿La mecánica le permite comunicarse con su pareja?



Nota. Distribución de respuestas sobre la comunicación que permite la mecánica en un ambiente asimétrico, representada en un gráfico de barras.

Figura 207

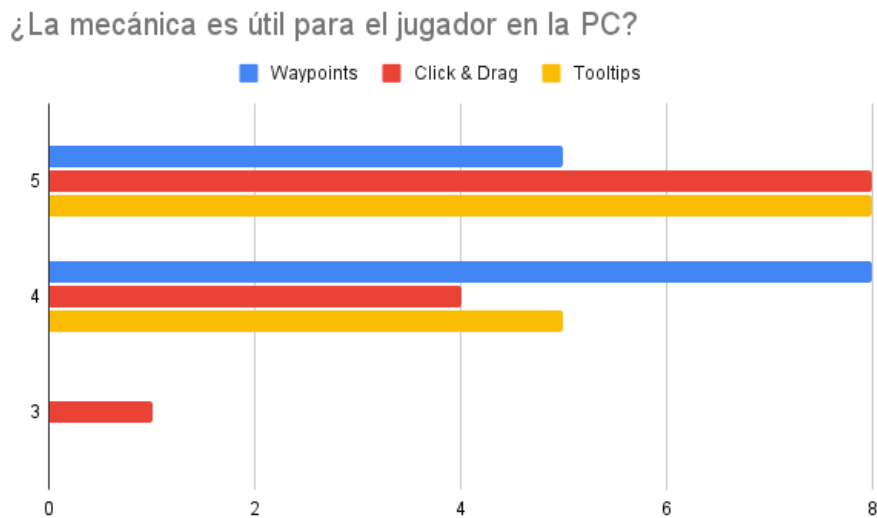
Resultado de la tercera pregunta de la primera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre la funcionalidad de la mecánica en un ambiente asimétrico, representada en un gráfico de barras.

Figura 208

Resultado de la cuarta pregunta de la primera fase

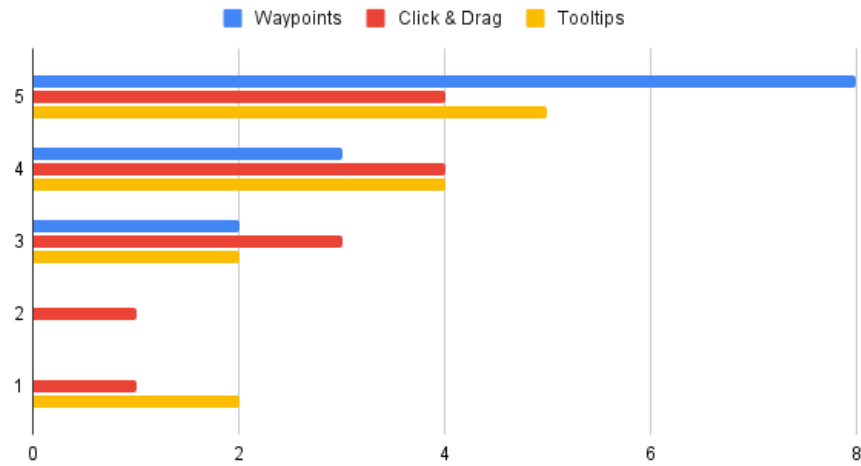


Nota. Distribución de respuestas sobre la utilidad de la mecánica en un ambiente asimétrico para el usuario en PC, representada en un gráfico de barras.

Figura 209

Resultado de la quinta pregunta de la primera fase

¿La mecánica es útil para el jugador en el headset?

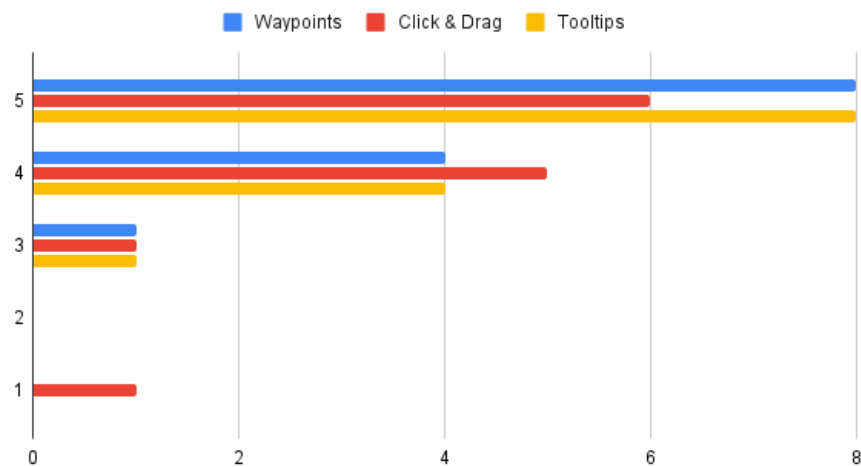


Nota. Distribución de respuestas sobre la utilidad de la mecánica en un ambiente asimétrico para el usuario en VR, representada en un gráfico de barras.

Figura 210

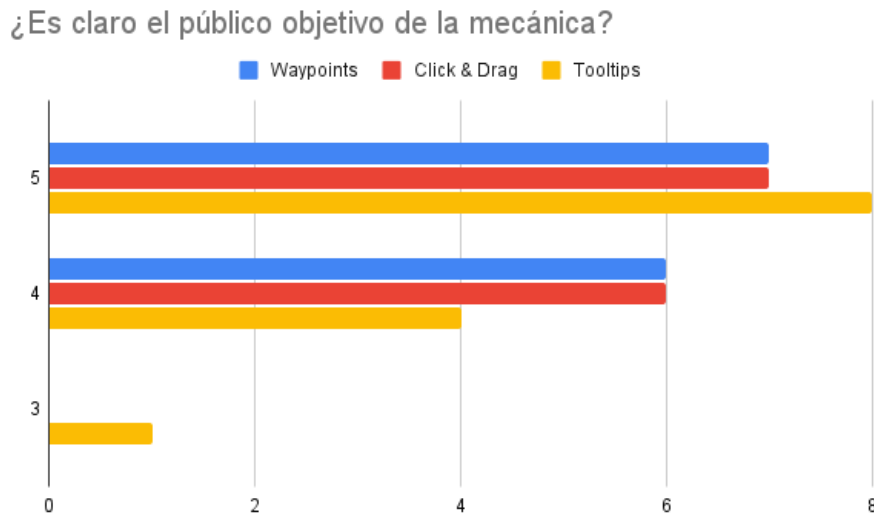
Resultado de la sexta pregunta de la primera fase

¿Es clara la meta que quiere alcanzar esta mecánica?



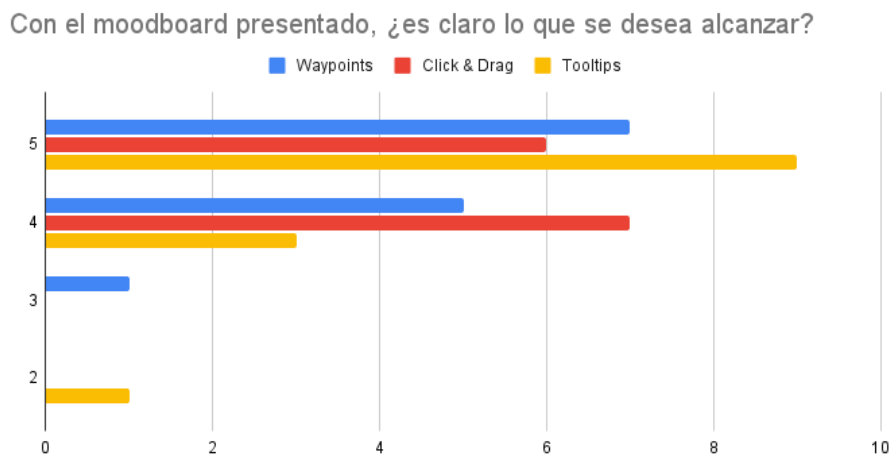
Nota. Distribución de respuestas sobre la claridad de la mecánica en un ambiente asimétrico, representada en un gráfico de barras.

Figura 211
Resultado de la séptima pregunta de la primera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre la claridad del público objetivo, representada en un gráfico de barras.

Figura 212
Resultado de la octava pregunta de la primera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre la claridad del *moodboard*, representada en un gráfico de barras.

Para esta primera fase, se lograron identificar puntos claves, esperados e inesperados. Estos son los siguientes:

- La mecánica del movimiento de cámara *click & drag* es de principal beneficio para el usuario en la PC. Este resultado era esperado, pues es una mecánica de la cual no se percata el usuario en el ambiente virtual.
- Los *waypoints* y los *tooltips* son los que proveen mayor comunicación entre usuarios, pues son mecánicas que afectan a ambos usuarios.
- La claridad de la mecánica no es clara para el movimiento de cámara y *tooltips*. En siguientes fases, ya con interacción de usuario se espera que esto quede claro.
- Las mecánicas presentadas son útiles para un jugador en PC, lo que permite que se desarrolle como una experiencia asimétrica completa.

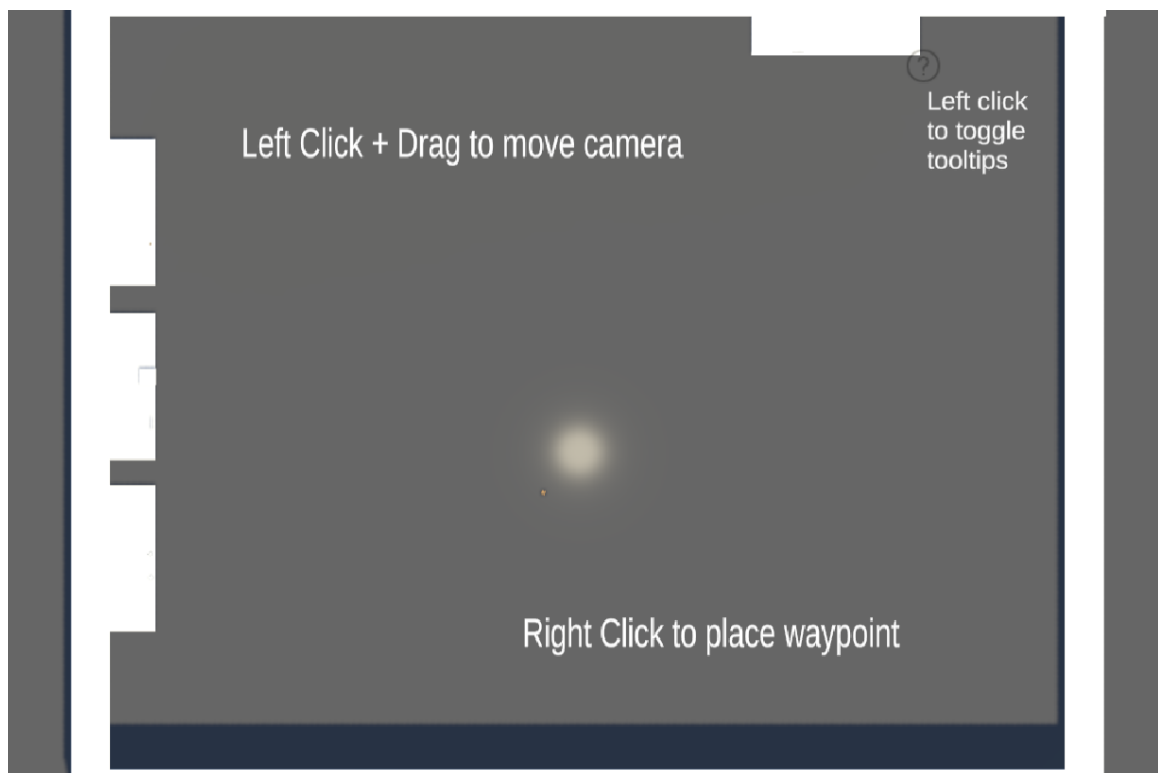
3. Segunda fase

a. Desarrollo del tutorial

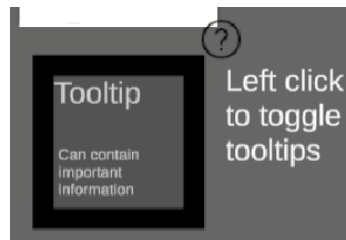
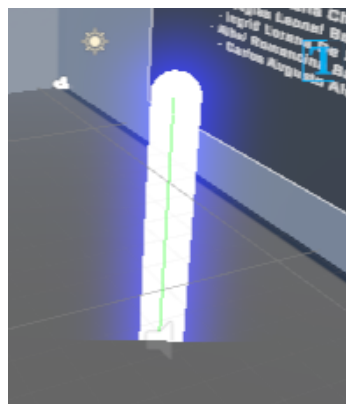
El tutorial se desarrolló para presentarle al usuario las mecánicas a utilizar. A continuación se presentan imágenes de la implementación.

Figura 213

Vista general de la interfaz del tutorial

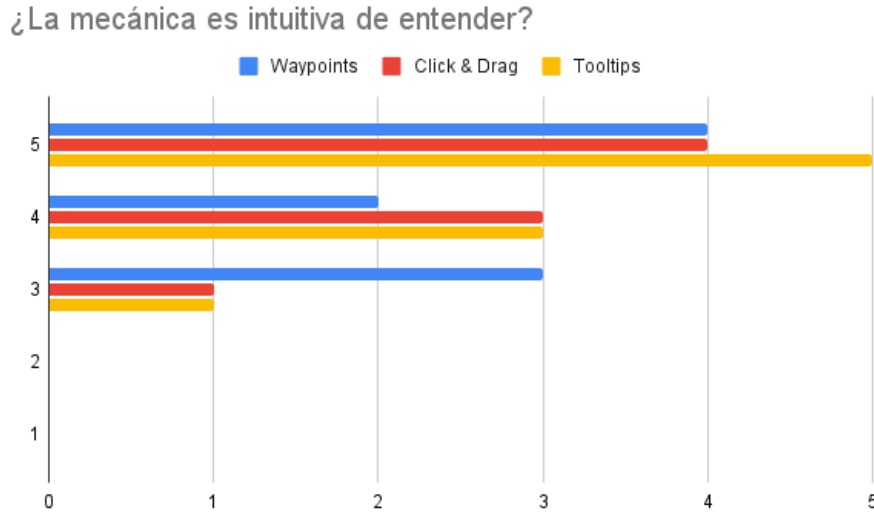


Nota. Captura de pantalla de la vista del tutorial.

Figura 214Vista del *tooltip* abiertoNota. Captura de pantalla de la vista del *tooltip*.**Figura 215**Vista superior del *Waypoint*Nota. Captura de pantalla de la vista del *waypoint* desde arriba.**Figura 216**Vista del *Waypoint* en escenaNota. Captura de pantalla de la vista del *waypoint* lateral.**b. Evaluación del tutorial**

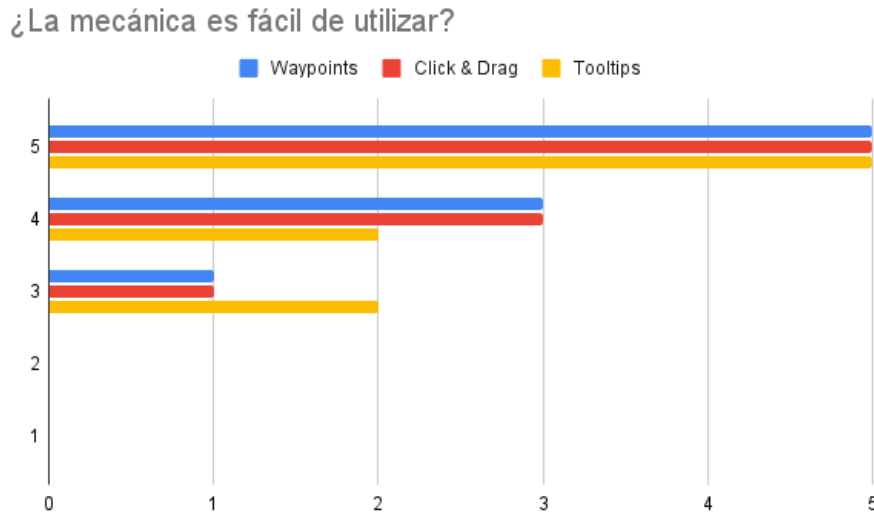
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la segunda fase.

Figura 217
 Resultado de la primera pregunta de la segunda fase



Nota. Distribución de respuestas sobre el entendimiento de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

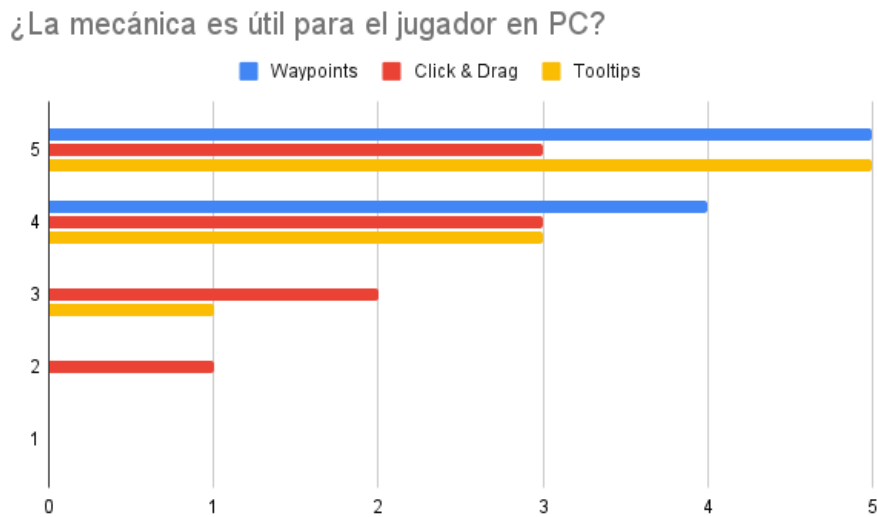
Figura 218
 Resultado de la segunda pregunta de la segunda fase



Nota. Distribución de respuestas sobre el uso de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Figura 219

Resultado de la tercera pregunta de la segunda fase

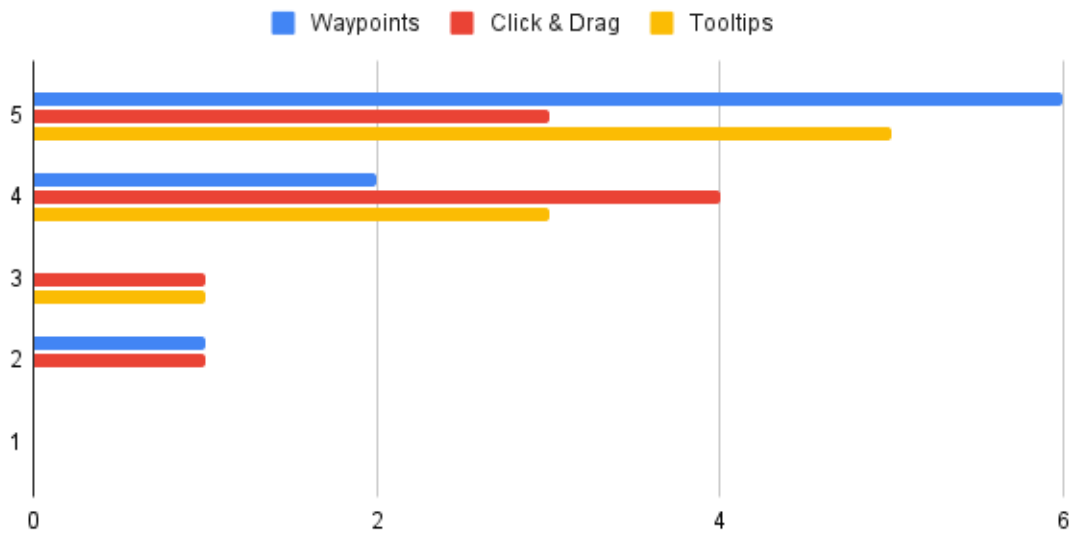


Nota. Distribución de respuestas sobre la utilidad de la mecánica para el jugador en PC, representada en un gráfico de barras.

Figura 220

Resultado de la cuarta pregunta de la segunda fase

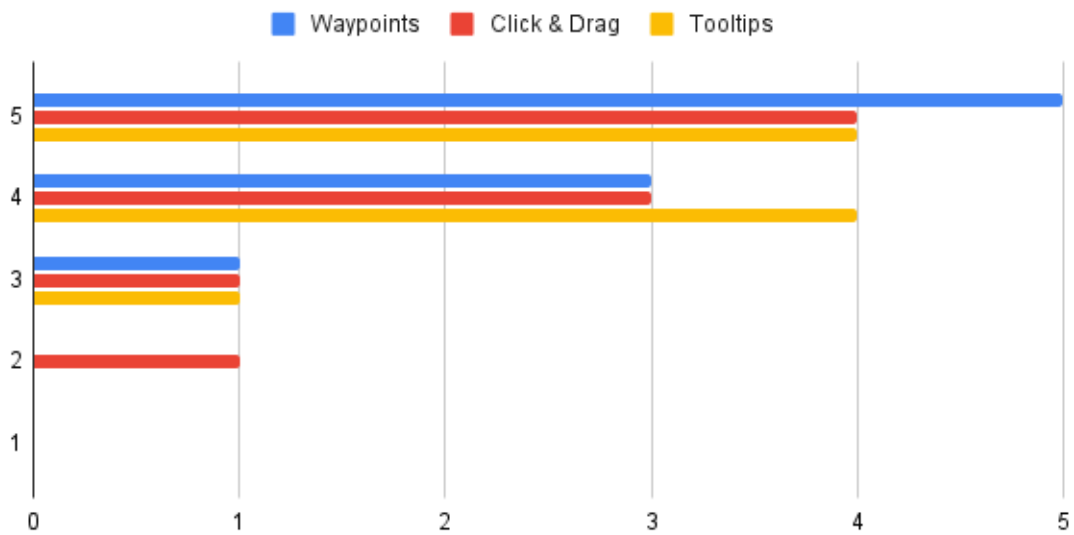
¿La mecánica permite comunicarse de manera verbal con la persona en el ambiente virtual?



Nota. Distribución de respuestas sobre la comunicación verbal de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Figura 221
 Resultado de la quinta pregunta de la segunda fase

¿La mecánica permite comunicarse de manera no verbal con la persona en el ambiente virtual?



Nota. Distribución de respuestas sobre la comunicación no verbal de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Luego de realizar la observación y encuestas del tutorial, se lograron identificar puntos clave de mejora para la siguiente fase:

- Tener un indicador que permita reconocer la ubicación del jugador en el ambiente virtual.
- Cambiar la posición de los *tooltips* para que no interrumpen al usuario en el ambiente virtual.
- Mantener consistente el idioma en el que se presentan los textos.

Por otro lado, los puntos positivos fueron los siguientes:

- El uso de las mecánicas son simples de utilizar, debido a que únicamente requieren un click.
- El movimiento de cámara era cómodo a la vista y fácil de utilizar.
- El símbolo utilizado para indicar los *tooltips* ayudaba a reconocer lo que había disponible.

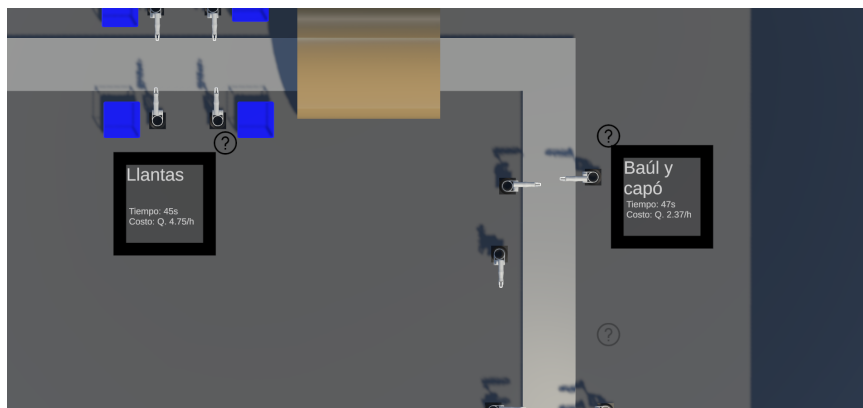
4. Tercera fase

a. Desarrollo de la implementación

Una vez evaluado el tutorial, se realizó la implementación de los elementos disponibles en un escenario real, el cual es presentado a continuación.

Figura 222

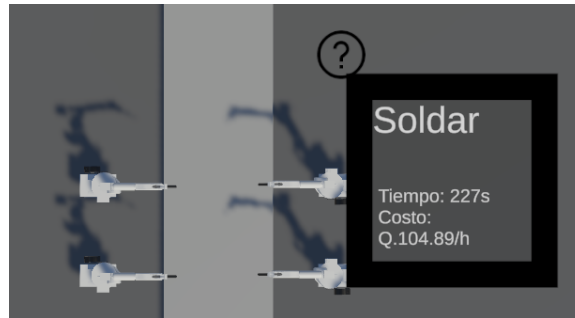
Escenario de gameplay



Nota. Captura de pantalla de una escena de la simulación.

Figura 223

Tooltip con información real de la simulación



Nota. Captura de pantalla de un *tooltip* con información real.

Figura 224

Indicador de posición jugador



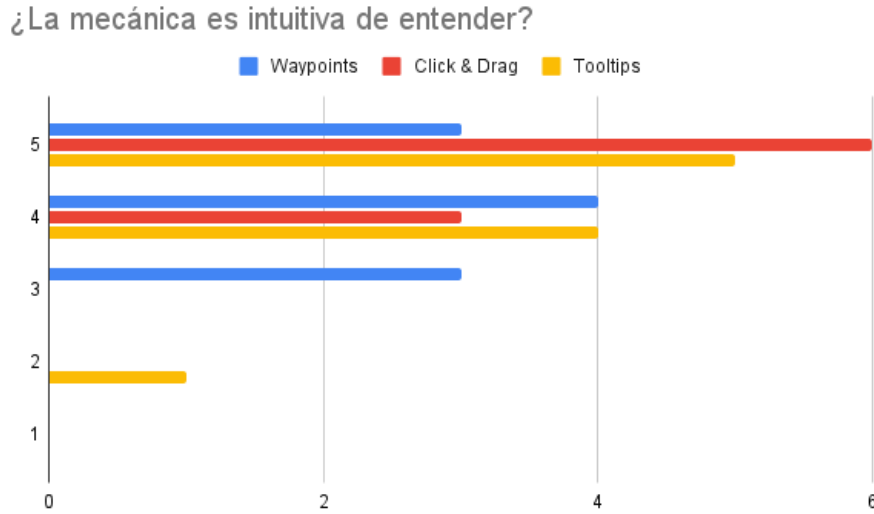
Nota. Captura de pantalla del indicador de posición de usuario en ambiente virtual.

b. Evaluación del escenario asimétrico real

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la tercera fase.

Figura 225

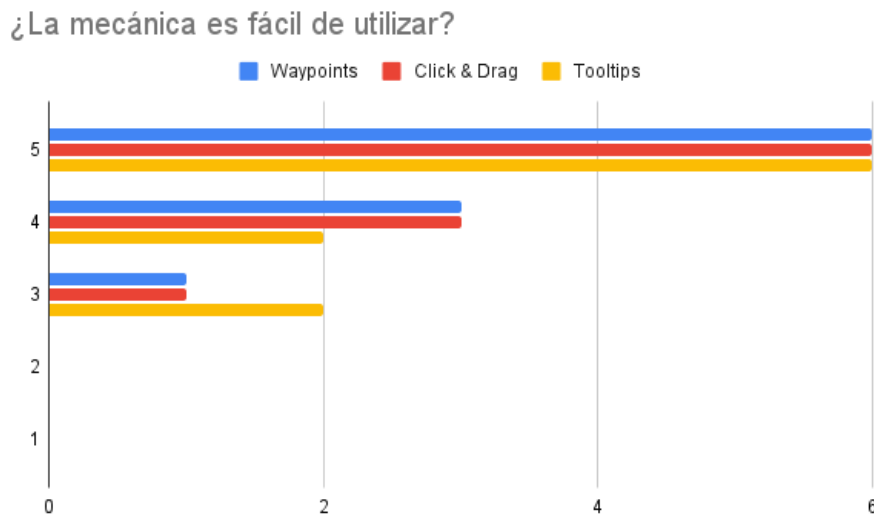
Resultado de la primera pregunta de la tercera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre el entendimiento de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Figura 226

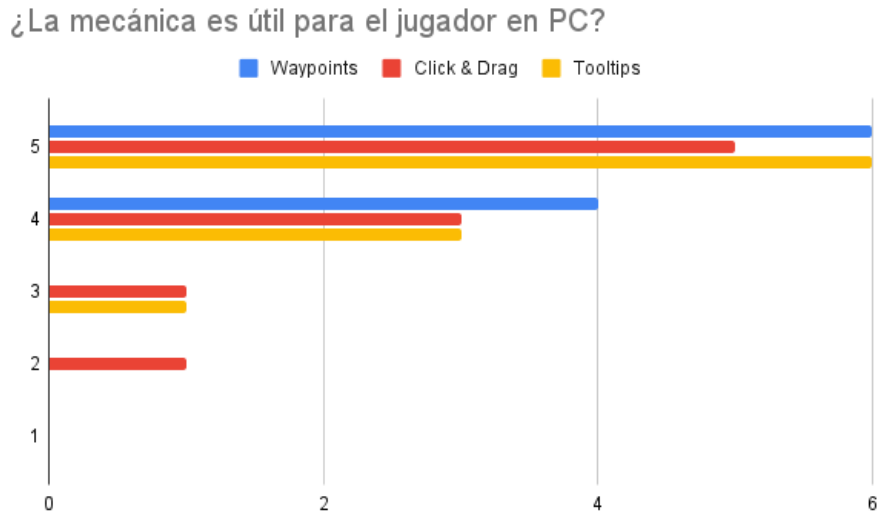
Resultado de la segunda pregunta de la tercera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre el uso de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Figura 227

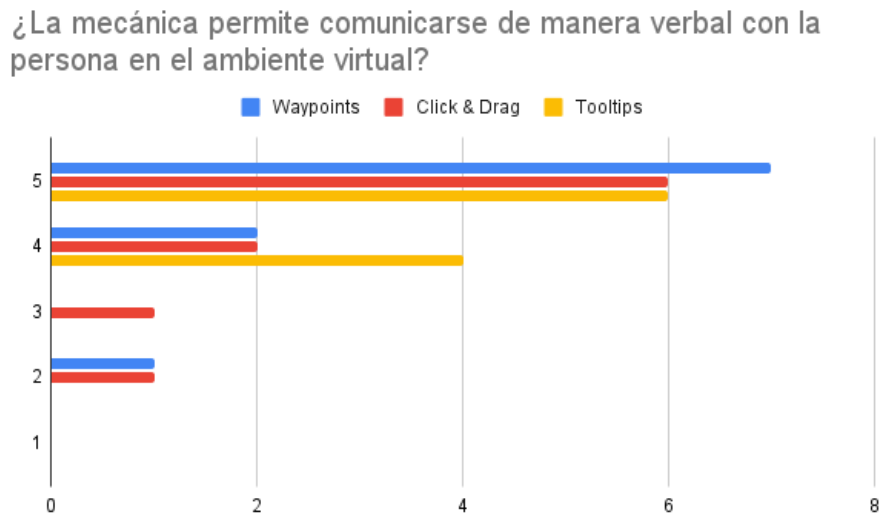
Resultado de la tercera pregunta de la tercera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre la utilidad de la mecánica para el jugador en PC, representada en un gráfico de barras.

Figura 228

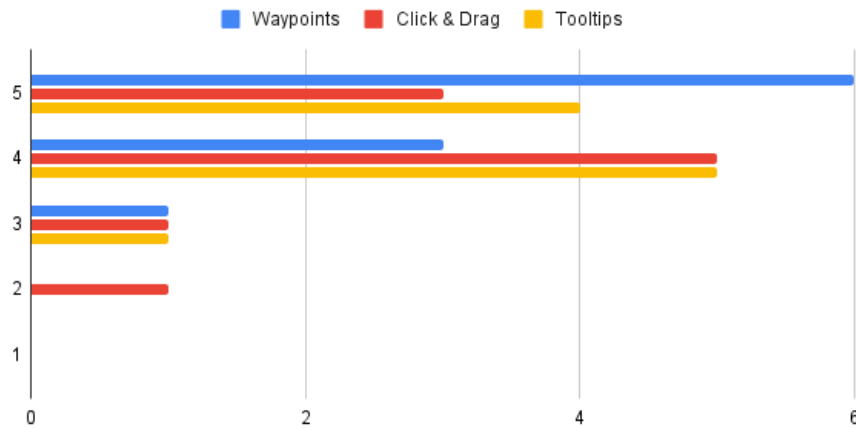
Resultado de la cuarta pregunta de la tercera fase



Nota. Distribución de respuestas sobre la comunicación verbal de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Figura 229
 Resultado de la quinta pregunta de la tercera fase

¿La mecánica permite comunicarse de manera no verbal con la persona en el ambiente virtual?



Nota. Distribución de respuestas sobre la comunicación no verbal de la mecánica, representada en un gráfico de barras.

Al observar como los usuarios utilizando la computadora interactuaban con los usuarios en el ambiente de realidad virtual, se pudo observar lo siguiente:

- El uso de los *waypoints* provee una manera de comunicación tanto verbal como no verbal, pues no se necesitan dar direcciones precisas, sino únicamente indicar que el *waypoint* esta en la meta.
- El movimiento de la cámara completamente independiente es una gran herramienta para poder investigar el mundo virtual, pues los usuarios, una vez lograban utilizarlo bien, podían adelantarse a leer información que todavía no estaba disponible para los usuarios de realidad virtual.

- El diseño y planificación de 2 escenarios de ensamble automotriz fue completado, junto con su capacidad productiva, selección de maquinaria, planos de planta y análisis de costos, y se realizó su traslado al equipo de sistemas para la fase de desarrollo de la aplicación de realidad virtual.
- Al incorporar maquinaria moderna y automatizada, como lo son brazos robóticos, grúas automáticas, montadoras de llantas y bandas transportadoras, se comprobaron los efectos de la automatización de procesos, denotando que el efecto de la automatización puede ser mínimo si no se determinan adecuadamente las operaciones a automatizar. Como se puede ver, la soldadura automática muestra un mejor tiempo de procesamiento de 24 minutos, en comparación con los 46 minutos que requiere el proceso de ensamble final automático.
- En base a las 2 simulaciones de proceso semi-automatizado, se pudo visualizar las capacidades de cada proceso diseñado, junto con sus respectivos cuellos de botella. Resultando en la capacidad del proceso semi-automatizado 1 como un total de 367 unidades de producción, con un tiempo de ciclo de 24 minutos, y en el caso del semi-automatizado 2, una capacidad de 122 unidades, con un tiempo de 46 minutos. Indicando un incremento en la capacidad productiva al automatizar el proceso de soldadura.
- En cuanto a los planos del área de planta de producción, utilizando las medidas de las máquinas seleccionadas junto con las distribuciones de operaciones determinadas en las simulaciones se definió un área de trabajo de 3787m² para la simulación en realidad virtual.
- Por medio del estado de costo de producción de ambos escenarios, compuestos por los costos de materia prima, mano de obra, servicios, depreciaciones y gastos de personal, se determinó que el costo de producción del escenario 1 es de Q65,694.56 y el costo en el escenario 2 es de Q66,033.26, indicando una diferencia de Q338.70 entre ambos escenarios. Esto muestra que resulta más barato semi-automatizar la soldadura para conseguir una mayor capacidad productiva.
- El diseño de los procesos en los escenarios manual y automatizado de una planta automotriz se logró con éxito mediante la implementación de herramientas clave. Un exhaustivo diagrama de operaciones delineó un proceso compuesto por 25 operaciones y 4 áreas de trabajo, mientras que la Lista de Materiales detalló la presencia de 211 componentes en el vehículo. Además, el Diagrama Relacional de Operaciones estableció la proximidad y secuencia de las áreas de trabajo, y el plan de producción proyectó la cantidad de materiales necesarios para 22 días

de trabajo. Este diseño integral proporcionó una base sólida para identificar las necesidades y requerimientos, facilitando así la comparativa efectiva entre los escenarios.

- Con la elaboración de planos y el análisis de relación de operaciones, se logró crear un espacio productivo de 75.3 metros por 50.3 metros, que permitiera un flujo adecuado de material, espacios apropiados para la realización de cada operación y la reducción de tiempos muertos; con el fin de crear un ambiente didáctico que se pueda utilizar en la aplicación de realidad virtual y que ejemplifique el espacio de una planta automotriz eficiente.
- La simulación del escenario automatizado y manual revelan que la capacidad productiva en un mes es superior para el escenario automatizado, por una diferencia de 5,434 unidades. Lo que comprueba que un proceso automatizado es más eficiente con respecto a la elaboración de vehículos que el proceso manual.
- Aumentar el tiempo de ciclo en 8.95 minutos para el escenario manual y 3.55 minutos para el escenario automatizado resultó en una disminución de 33,633 unidades generadas en el proceso manual y 33,370 unidades en el escenario automatizado. Este ajuste condujo a la generación de menos material desperdiciado o destruido, demostrando de manera concluyente que estabilizar el tiempo de ciclo del proceso es una herramienta esencial para mitigar el efecto del cuello de botella.
- En conclusión, a pesar de que el costo de producción por vehículo es ligeramente mayor en el escenario tradicional, alcanzando Q66,221.81 en comparación con Q65,609.05 en el escenario automatizado, la producción adicional de 5,434 vehículos en el entorno automatizado compensa esta diferencia. Esto demuestra que, a pesar de los mayores costos unitarios, la opción automatizada se vuelve más económica y eficiente en términos de producción total. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que el escenario automatizado conlleva gastos significativos, reflejados en el análisis de costo de producción, donde alcanza Q531,170,871.32 en comparación con los Q176,282,462.12 del escenario manual. Esto resalta la necesidad de evaluar cuidadosamente los beneficios a largo plazo frente a los gastos asociados con la implementación de la automatización en un área de producción.
- La animación, el modelado y el diseño de nivel son tres aspectos fundamentales de la creación de un juego de RV. Cada uno de ellos juega un papel importante en la creación de una experiencia de juego atractiva e inmersiva, ya que una buena animación puede ayudar a crear un sentido de realismo y presencia, un modelo bien hecho ayuda a crear que el mundo del juego se vea visualmente atractivo y realista, y un buen diseño de nivel crea una experiencia desafiante y divertida.
- La elección de herramientas como Blender, Unity y Mixamo se ha demostrado acertada, ya que ofrecen un conjunto de recursos y capacidades versátiles para el desarrollo de este proyecto de realidad virtual, facilitando la creación y animación de modelos 3D de manera eficaz.
- La creación de *assets* reutilizables como *prefabs* y la optimización de materiales y animaciones fueron decisivas para lograr un entorno interactivo de alta calidad, cumpliendo con las metas de rendimiento.
- Los conceptos teóricos de realidad virtual, diseño de niveles, modelado 3D y animación sirvieron como base fundamental para tomar decisiones técnicas y creativas acertadas durante el desarrollo.
- El desarrollo de un simulador de línea de ensamblaje en realidad virtual emerge como una solución innovadora y eficiente para mejorar tanto la capacitación de operarios como la optimización de procesos en la industria automotriz. Este enfoque ofrece beneficios económicos al reducir costos asociados con la capacitación tradicional y garantiza una experiencia de aprendizaje enriquecedora y segura.

- La utilización de modelos 3D y un diseño de niveles adecuado aumenta la efectividad del simulador, permitiendo una interacción más natural y realista. Además, la adaptación del simulador a un entorno educativo específico, como el de la Universidad del Valle de Guatemala, enfatiza su diferenciación y su potencial para contribuir significativamente al mejoramiento continuo en la formación de profesionales en ingeniería industrial.
- La aplicación cumplió con el objetivo general del módulo ya que la última iteración obtuvo un porcentaje de satisfacción del 81.25 %. Esto, a su vez, se ve reflejado por los comentarios positivos recibidos durante las pruebas de usuario, así como los comentarios que algunos de los usuarios aportaron al llenar el formulario. El aumento de este porcentaje fue más evidente luego del prototipo 1 y se mantuvo estable durante el prototipo 2 y el prototipo final.
- La experiencia brindada a los usuarios por medio de la simulación puede calificarse como positiva gracias a las palabras con las que los usuarios asociaron el sistema. Asimismo, cabe hacer énfasis en que las palabras más asociadas durante las tres iteraciones fueron: interesante, innovadora y divertida, permitiendo concluir que los usuarios encuentran el uso de la realidad virtual como interesante y algo fuera de lo común, además de ser un método considerablemente entretenido para aprender.
- Los factores que se toman en cuenta durante el proceso de desarrollo hacen una gran diferencia en el resultado final, influenciando fuertemente elementos como la comodidad, la inmersión, la semejanza y la intuitividad de la simulación. Es importante que este tipo de consideraciones utilicen algunos principios de diseño como guía, ya que permiten tomar mejores decisiones respecto a los requerimientos que se tienen y a cómo llevarlos a cabo. Esto se ve reflejado en el incremento del porcentaje de comodidad entre el prototipo 1 y el prototipo final.
- Se logró implementar un alto nivel de independencia en la aplicación, evidenciado por los comentarios positivos sobre la facilidad de comprensión de las instrucciones y el uso adecuado de los controles. No obstante, aún existen aspectos que pueden considerarse para incrementar la accesibilidad de la solución, tomando en cuenta las preferencias de los usuarios en cuanto a elementos estéticos o subjetivos.
- De acuerdo con la sección de resultados, se logró diseñar y desarrollar un controlador de personaje. El usuario en prueba caminó, agarró objetos y visualizó el proceso de ensamblación de carros dentro del mundo de realidad virtual. Los usuarios entrevistados y encuestados respondieron con un positivismo del 80 % desde la segunda iteración del prototipo.
- Por otro lado, desde la segunda iteración del prototipo, se logró implementar una experiencia con Oculus Quest 2 y Elite Virtualizer 2. Gracias a la retroalimentación de resultados, se obtuvo un nivel de satisfacción del 85 %. La aplicación tiene el potencial de continuar aumentando este porcentaje de satisfacción y se espera que alcance más con un mayor número de usuarios de prueba.
- Si se planea lanzar este prototipo, tomará alrededor de dos o tres años pulir en su estado actual. De igual manera, se espera que la simulación integre más características y especificaciones para que el usuario pueda tener una experiencia más inmersiva y un uso didáctico. Con esto en mente, se concluye que la mejor estrategia de monetización es lanzar el *software* gratis con posibilidad a compras en la aplicación, estos pueden ser desde expansiones como nuevas características de jugabilidad o nuevos modelos de carros o máquinas con los cuales el usuario desee experimentar.
- Se alcanzaron los tres objetivos específicos y el objetivo general con el prototipo. Se logró crear un prototipo funcional que pueda ser usado de manera didáctica para enseñar sobre el proceso de ensamblaje.
- Se logró realizar una implementación de un sistema virtual que permite a usuarios observar el flujo de funcionamiento de una planta automotriz.

- Las mecánicas de asimetría proveen herramientas para que usuarios fuera del ambiente virtual puedan involucrarse.
- Los diferentes niveles de interacción que existen para los usuarios en PC permiten el apoyo a los usuarios dentro del ambiente virtual.
- Los *waypoints* proveen una manera sencilla y rápida para que el usuario en PC pueda guiar al usuario con el *headset* de manera no verbal.
- El *Click & Drag* provee una manera de movimiento independiente para el usuario en la PC.
- Los *tooltips* le proveen un grado de independencia al acceso de información al usuario en PC para poder relegar esta si es necesario al usuario con el *headset*.
- Con una implementación de diversos tipos de asimetría, como lo son de interfaz y de información, se provee una experiencia asimétrica que permite el apoyo de un alumno externo al ambiente virtual.

Recomendaciones

- Se recomienda variar las operaciones que se automatizan y las que se quedan manuales con el fin de obtener un escenario distinto con mayor capacidad de procesamiento y menor costo.
- Se recomienda hacer nuevos procesos que incluyan más partes del ensamble de carrocería con el fin de evaluar si la automatización tiene un mayor efecto en la fabricación del vehículo.
- Se recomienda intentar la realización de más simulaciones y diseños de proceso con otro tipo de productos con el fin de ver qué otros efectos tiene la semi-automatización.
- Se le recomienda al equipo encargado de continuar con el proyecto variar las cantidades de maquinarias y operarios para evaluar posibles mejoras en tiempos de ciclo y la mejora de cuellos de botella entre los escenarios.
- Se recomienda al equipo encargado de continuar con el proyecto evaluar la inclusión de más información financiera para evaluar más a detalle la rentabilidad de este negocio en la vida real.
- Se recomienda al equipo encargado de continuar con el proyecto evaluar otras presentaciones de materia prima o realizar una planificación de compra para obtener mejores costos.
- Se recomienda al equipo encargado de continuar el proyecto conseguir el contacto de fábricas y proveedores de piezas y vehículos con el fin de tener más certeza en los costos.
- Se recomienda establecer un público objetivo y, a partir de este, hacer una segmentación de la demanda y así tener un dato semejante a ventas reales. Con esto y los datos de este trabajo de graduación, se podría realizar un estado de resultados a largo plazo y así verificar si la implementación de automatización en la planta es rentable.
- Desarrollar un plan de producción anual que incorpore una planificación flexible, considerando las fluctuaciones y variaciones en las ventas a lo largo del año. Este enfoque permitirá ajustar la producción según la demanda, asegurando una capacidad de respuesta efectiva en épocas de mayor actividad, optimizando los recursos durante periodos de menor demanda.
- Se recomienda utilizar fuentes relacionadas con el proceso y tomas de tiempo de un modelo, línea y marca de vehículo específico con la intención de que el proceso a simular sea lo más apegado a la realidad y que, a su vez, se puedan verificar los datos reales del vehículo seleccionado.

- Para emplear los efectos de esta investigación, es recomendable hacer el diseño de la planta completa, incluyendo área administrativa, bodega, transporte, entre otros, debido a que las áreas deberían ser incluidas en la inversión inicial de la empresa. Con esto determinar a partir de qué periodo de tiempo se empieza a generar ganancias, haciendo uso de una proyección de flujo de efectivo.
- Para un aprendizaje más profundo del ensamblaje de un auto, se recomienda desglosar los procesos en pasos más pequeños y específicos. Esto permitirá a los usuarios comprender mejor cada etapa y mejorar la retención de información. La implementación se puede lograr subdividiendo las estaciones existentes o proporcionando información adicional. Al desglosar los procesos, la aplicación se convertirá en una herramienta de aprendizaje aún más valiosa para comprender el proceso completo de fabricación de un automóvil.
- Para la pintura del auto, se están utilizando dos *prefabs*, uno con el color gris y otro con el color deseado, el cual se activa al momento de pasar en la cabina de pintura. Para evitar cargar tanto la aplicación y seguir mejores prácticas, es más sencillo activar y desactivar el material con el color deseado, no cambiar de *prefab*. De esta manera se optimiza el rendimiento al no tener que cargar dos *prefabs* completos, y solo se activa el material requerido en tiempo real.
- Por cuestión de tiempo, en la estación de corte de materia prima solo sale el material una sola vez, ya que los carros que lo transportan solo van a esa estación una única vez. Para que esto parezca más realista, sería bueno implementar que estos carros de carga se muevan cada cierto tiempo para traer más materia prima. El *script* para generar más material ya está implementado, los materiales están asociados en una lista a la cual se le indica el tiempo de *delay* y la cantidad de piezas a generar. Por el momento solo genera una pieza, pero se debe principalmente a que el carrito transportador solo hace un recorrido. Implementar recorridos repetitivos del transportador permitiría aprovechar el *script* existente para generar material de forma periódica y realista.
- En caso de tener la intención de comercializar el proyecto, se recomienda sustituir los *assets* de los operadores de ensamblaje y del automóvil, empleando alternativas que estén debidamente licenciadas, ya sea adquiriendo la licencia adecuada del modelo o bien, sustituirlo por completo.
- Con respecto a la mejora de animaciones, para que estas se vean más realistas, es recomendable utilizar la técnica *motion capture* la cual lleva sensores o marcadores en puntos específicos del cuerpo de un ser humano, para luego ser transferidos a un modelo tridimensional (3D).
- En el contexto del diseño de niveles, se sugiere la incorporación de elementos decorativos con el fin de emular fielmente una planta de ensamblaje real. Esto implica la disposición estratégica de elementos como tuberías, texturas en el suelo y paredes, entre otros, con el propósito de conferir autenticidad y coherencia visual al entorno diseñado.
- Para una mejor y realista experiencia de usuario, se puede mejorar la estación de rotación. Esta tiene un *script* 'StationRotateManage' el cual se encarga de cambiar la dirección del automóvil. Sin embargo, esta rotación es muy abrupta, por lo que se podría rotar el automóvil progresivamente al llegar a la estación de rotación. Por otro lado, también se podría comenzar a rotar el automóvil después de salir de la estación de choques, capó y baúl.
- Un cambio importante para la optimización de la simulación es eliminar la variante del automóvil que se creó para el cambio de color. Esta variante resultó ser innecesaria ya que la diferencia entre el original y su variante es la utilización de un material global en sus piezas. La variante posee este material global para cambiar el color del carro una vez entra a la estación de pintura, sin embargo este material también se puede asignar al original y desde el *script* de 'BeginStation' recibir una referencia al material global y el color que se quiere para el automóvil. Es óptimo porque no se debe crear otra variante cada vez que un automóvil entra a la estación de pintura.

- Existen modelos digitales ya creados de las máquinas que se replicaron. Estos diseños son más precisos en cuanto a diseño y más agradables a la vista, por lo que, para tener una experiencia, más inmersiva se pueden comprar estos modelos e implementarlos en la simulación.
- Para futuras implementaciones o una continuación del proyecto actual, se recomienda considerar la integración del SDK de Oculus, ya que este cuenta con una mayor funcionalidad para dispositivos Oculus. Considerando que el equipo utilizado es el Oculus Quest 2, esto resultaría conveniente para aprovechar al máximo toda la accesibilidad que tiene, incluyendo el sistema háptico (para interactuar de manera táctil con interfaces gráficas) y funcionalidades más recientes como el *hand tracking*.
- Asimismo, se recomienda conseguir equipo para agilizar el proceso de desarrollo de la aplicación. En el caso específico del proyecto actual, se consiguió acceso a un casco Meta Quest 2 (modelo hermano del Oculus Quest 2) con el que se pudo agilizar el desarrollo de funcionalidades y la integración con la realidad virtual en general. También fue de extrema utilidad para realizar labores de testeo y *debugging*, sin mencionar la capacidad de prestarle mayor atención a los detalles como la posición de los objetos al sostenerlos, la altura de los objetos, entre otros.
- Es crucial mantener un alto nivel de compromiso con los requisitos iniciales del proyecto para evitar retrasos, conflictos y trabajo innecesario. Se recomienda establecer requisitos claros y concisos desde el inicio, minimizar cambios innecesarios y mantener una comunicación efectiva entre todas las partes involucradas. Al seguir estas recomendaciones, se puede optimizar el proceso de desarrollo, reducir costos y entregar un producto final que cumpla con las expectativas de los usuarios.
- Respecto a las funcionalidades que se pueden agregar en futuras iteraciones, se recomienda considerar una experiencia más interactiva en las simulaciones. Esto se puede lograr agregando más botones y algún tipo de indicador que le permita al usuario saber a dónde dirigirse. También se pueden agregar sonidos para lograr una mayor responsividad. En cuanto a los datos que se muestran en la simulación, es posible realizar los cálculos en tiempo real para visualizar la información en vivo y tener un mayor control sobre las decisiones tomadas durante la simulación.
- Dentro de la simulación se pueden aumentar las decisiones que el usuario puede tomar, por ejemplo seleccionar el color del vehículo a ensamblar. También es posible agregar un avatar al usuario para incrementar el nivel de inmersión, y un proceso de preparación en el menú principal donde el usuario se coloque un casco de seguridad y todo el equipo necesario para mostrar el procedimiento adecuado para ingresar a un área de ensamble de automóviles.
- A futuros desarrolladores, se recomienda que puedan reunirse con trabajadores de una planta de ensamble de automóviles. Esto con el fin de tener conocimiento sobre los procesos reales y contrastar qué procesos de la simulación se asemejan o no.
- Así también, que tomen una muestra más amplia (edad, género, carrera, gustos personales) para tener mayor retroalimentación. Al momento, la simulación en su mayoría fue probada por estudiantes de cuarto y quinto año de la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación, en su mayoría, jóvenes de 21-23 años de edad y el género predominante fue masculino.
- Por último, que se investigue a profundidad las herramientas que el SDK de Oculus trae. Esto puede ser de vital importancia para crear una mejor aplicación y que incremente el porcentaje de inmersión en usuarios.
- Se recomienda considerar la retroalimentación de docentes del departamento de Ingeniería Industrial, de igual manera, se recomienda trabajar con docentes de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica o Ingeniería Electrónica para integrar más partes de fabricación en los procesos actuales.

- Se recomienda integrar esta simulación en clases relacionadas a desarrollo de procesos en la Universidad del Valle de Guatemala para innovar las cátedras que se imparten. Esta simulación puede estimular a un mejor aprendizaje y el estudiante puede optar por un nuevo método de estudio. Además, logrará dar curiosidad al estudiante para conocer más sobre los procesos de ensamblación.
- Implementar diferentes niveles que permitan interactuar con diferentes escenarios industriales.
- Abstractar elementos para la implementación de realidad virtual en diferentes cursos o diferentes carreras.
- Uso de realidad aumentada para ser más accesible.
- Se realizaron las siguientes observaciones, las cuales pueden ser investigadas para futuras iteraciones:
 - Los usuarios tienden a utilizar el movimiento de la cámara para salir de los límites de la planta de ensamblaje.
 - Los *waypoints* eran utilizados para bloquear la vista del usuario en realidad virtual.
 - Los *tooltips* se mantenían abiertos y los usuarios no los cerraban.
- En cuanto a los *waypoints*, se puede investigar y realizar las siguientes mejoras:
 - Indicador textual.
 - Indicador con ícono.
 - Removerlo del mapa.
- Investigar y diseñar diferentes movimientos de cámara, por ejemplo:
 - Hacer *zoom* con la rueda de *scroll* del *mouse*.
 - Incorporar movimiento con teclado en conjunto con el *mouse*.

Referencias

- Adobe. (s.f.-a). *Carrying turn on default character* (Inf. Téc.). <https://www.mixamo.com/?page=1query=Carrying+turn>.
- Adobe. (s.f.-b). *Cow milking on default character* (Inf. Téc.). <https://www.mixamo.com/?page=1query=Cow+milking>.
- Adobe. (s.f.-c). *Push start on default character* (Inf. Téc.). <https://www.mixamo.com/?page=1query=push+to+start>.
- Adobe. (s.f.-d). *Standing torch inspect forward on soldermech2* (Inf. Téc.). <https://www.mixamo.com/?page=1query=standing+torch>.
- Adobe. (s.f.-e). *Standing torch light from fire on soldermench2* (Inf. Téc.). <https://www.mixamo.com/?page=1query=standing+torch>.
- Adobe. (s.f.-f). *Standing w/briefcase idle* (Inf. Téc.). <https://www.mixamo.com/?page=1query=brief>.
- Adobe. (2023). *Mixamo* (Inf. Téc.). <https://www.adobe.com/es/products/mixamo.html>.
- Alqahtani, A. S., Daghestani, L. F., y Ibrahim, L. F. (2017). Environments and system types of virtual reality technology in stem: A survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 8(6).
- Alsop, T. (2023, 31 de 08). *Virtual reality (vr) - statistics & facts*. <https://www.statista.com/topics/2532/virtual-reality-vr/#topicOverview>.
- Andrade, A. (2015). Game engines: a survey. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, 2, 150615. Descargado de https://www.researchgate.net/publication/283657797_Game_engines_a_survey doi: 10.4108/eai.5-11-2015.150615
- Aponte, L., y Bautista, V. (2019). *Efectividad de las capacitaciones en terremotos a través de la realidad virtual vs la enseñanza tradicional*. (Tesis Doctoral no publicada). Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Aresti, M. J. (2023, 6 de 07). *La primera empresa manufacturera de autos chinos llega a guatemala*. <https://republica.gt/automotriz/la-primera-empresa-manufacturera-de-autos-chinos-llega-a-guatemala-20237615330>.
- Arruda, W. (2022). 3 reasons virtual reality can amp up employee training.
- Avendaño, G. (2023, 17 de 02). *Latinoamérica será punto de fabricación y ensamble de carros eléctricos*. <https://www.motor.com.co/industria/Latinoamerica-sera-punto-de-fabricacion-y-ensamble-de-carros-electricos-20230217-0008.html>.

- AWS. (2023, 18 de 06). *¿qué es el sdk? - explicación del sdk - aws. amazon aws.* <https://aws.amazon.com/es/what-is/sdk/>.
- Barrientos A., A. R. (1997). Fundamentos de robótica. , 1, 93. Descargado de <https://eltrasteroloco.files.wordpress.com/2017/03/267380685-fundamentos-de-robotica.pdf>
- Bartle, R. (2003). *Designing virtual worlds*. New Riders.
- Bellini, S., y CicoGnani, E. (2018). The impact of industry 4.0 on the workforce. *International Journal of Manpower*, 39, 1074-1093. doi: 10.1108
- Brown, U. (2023). *Rigid body kinematics*. Descargado de https://www.brown.edu/Departments/Engineering/Courses/En4/notes_old/RigidKinematics/rigkin.htm (Accessed on 2023-07-20)
- Carbajal-Suárez, Y., y Morales-Fajardo, E. (2017, 15 de 03). El sector automotriz en México y Brasil: Un análisis desde la perspectiva comercial. *Internext*, 11(3), 4-21. doi: 10.18568/1980-4865.1134-21
- Carrasco, A. (2018, 4 de 07). *¿qué es un motor de videojuegos? - observatorio del gabinete de tele-educación.* <https://blogs.upm.es/observatoriorogate/2018/07/04/que-es-un-motor-de-videojuegos/>.
- Cartusia-Interactive. (2017, 28 de 09). *Production line: Car factory simulation.* https://store.steampowered.com/app/591370/Production_Line__Car_factory_simulation/.
- Carufel, R. (2018). Industry 4.0 and its impact on the manufacturing sector. *Journal of Industrial Production Engineering*. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.03.010
- Castro, S. (2008). Juegos, simulaciones y simulación-juego y los entornos multimediales en educación ¿mito o potencialidad? *Revista de Investigación*, 32(65), 223-246. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142008000300011.
- Clarke, E. (2021). Virtual reality simulation—the future of orthopaedic training? a systematic review and narrative analysis. , 6.
- Curiel, N. (2017, 1 de 05). *Principales procesos y operaciones en la ind automotriz - principales procesos y operaciones.* <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-tecmilenio/quimica-industrial-y-sostenibilidad/principales-procesos-y-operaciones-en-la-ind-automotriz/9115904>.
- Cyberith. (2019a). *Cybsdk unity documentation.* <https://developer.cyberith.com/docs/unity/>.
- Cyberith. (2019b, 9 de 03). *Virtualizer elite 2: "the motion platform motion platform".* https://www.cyberith.com/virtualizer-elite/?gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1AZgYurVonc7_eIUxZ4AVBU1nLoZhBojsCO17z7ImBA_fJyBRXiRBoCf8IQAuD_BwE.
- Cyberith. (2020, 25 de 02). *The cyberith sdk for vr locomotion: Native sdk in c#, c++ & python.* <https://medium.com/cyberith-virtualizer-vr-treadmills/the-cyberith-sdk-for-vr-locomotion-native-sdk-in-c-c-python-27abc86b7663>.
- Cyberith. (2023). *Actively powered vr treadmill - cyberith virtualizer elite 2.* Descargado de <https://www.cyberith.com/virtualizer-elite/> (Accedido por última vez 19 de octubre del 2023)
- Cyberith-Medium. (2020). *Medium.* <https://medium.com/@cyberith>.
- Diana, G. (2022). La realidad virtual como herramienta educativa en el ámbito universitario. *Binariame*, 12(2). Descargado de <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/binariame/article/view/5843/7368> (Accessed on 2023-07-20)
- Dias, P., Silva, F., Campilho, R., Ferreira, L., y Santos, T. (2019). Analysis and improvement of an assembly line in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 38, 1444-1452.
- Documentation, B. (s.f.). Hook modifier. <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/deform/hook/>
- Doherty, M. (s.f.). *A software architecture for games* (Inf. Téc.). <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.89.2884rep=rep1type=pdf>.
- economipedia.com. (2023). *Definición de automóvil.* Descargado de <https://economipedia.com/definiciones/automovil.html> (Accessed on 2023-07-20)
- Epic-Games. (2018). *What is the battle pass? where can i learn more? - fortnite support.* <https://www.epicgames.com/help/en-US/fortnite-c5719335176219/gameplay-c19319245850651/>

- what-is-the-battle-pass-where-can-i-learn-more-a5720283337115.
- Esposito, N., y Reinerová, L. (2015, 15 de 02). (pdf) a short and simple definition of what a videogame is. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/221217421_A_Short_and_Simple_Definition_of_What_a_Videogame_Is.
- Fagerholt, E., y Lorentzon, M. (2009). *Beyond the hud: User interfaces for increased player immersion in fps games*.
- Fernández, Y. (2023, 05 de 06). *Realidad aumentada: qué es y en qué se diferencia con la realidad virtual*. <https://www.xataka.com/basics/realidad-aumentada-que-que-se-diferencia-realidad-virtual>.
- Foster. (s.f.). *Rejilla arya acero inoxidable* (Inf. Téc.). <https://www.fosterspa.com/es-ww/rejilla-arya-8803-000.aspx>.
- Foundation, B. (2023a). *Armature*. Descargado de <https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/armatures/introduction.html>
- Foundation, B. (2023b). *Blender*. Descargado de <https://www.blender.org/about/#:~:text=The%20Software,pipeline%20and%20responsive%20development%20process>.
- Foundation, B. (2023c). *Inverse kinematics*. Descargado de https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/armatures/posing/bone_constraints/inverse_kinematics/introduction.html
- Freina, L., y Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *The international scientific conference elearning and software for education*, 1(133), 10-1007.
- Frenhlich, C. (2020). *Immersive learning: A practical guide to virtual reality's superpowers in education*. Rowman Littlefield Publishers.
- Gaina, M. (2022, 17 de 03). State-of-the-art review on immersive virtual reality interventions for colonoscopy-induced anxiety and pain. *PubMed*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35329993/>.
- Gandhi, R. D., y Patel, D. S. (2018). Virtual reality – opportunities and challenges. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5, 482-490.
- Gandolfi, E. (2018). You have got a (different) friend in me: Asymmetrical roles in gaming as potential ambassadors of computational and cooperative thinking. *Sage Journals*.
- García-Sánchez, y. S.-F. E., P. (2023). *Realidad virtual y realidad aumentada*. Descargado de https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/063001.pdf (Accessed on 2023-07-20)
- Garzón, B. (2015). *Diseño y desarrollo de un videojuego en 3d basado en la defensa de una plataforma, haciendo énfasis en el estudio de controles para pantalla táctil de los dispositivos móviles* (Inf. Téc.). Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Goncalves, D., Rodrigues, A., Richardson, M. L., De Sousa, A. A., Proulx, J., M., y Guerreiro, T. (2021). Exploring asymmetric roles in mixed-ability gaming. *Academia*.
- González, L., y Vasán, V. (2023). *Asociación de realidad extendida en españa* (Inf. Téc.). XR4Europe.
- González-Martín, y. M.-M. L., I. (2022). El videojuego como herramienta educativa: una revisión de la literatura. *Revista Éticanet*, 10(1). Descargado de <https://www.ugr.es/~sevimeco/revistaeticanet/numero10/Articulos/Formato/articulo2.pdf> (Accessed on 2023-07-20)
- Hamad, A., y Jia, B. (2022). How virtual reality technology has changed our lives: An overview of the current and potential applications and limitations. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(11278).
- Harris, J., Hancock, M., y Scott, S. D. (2016). Leveraging asymmetries in multiplayer games: Investigation design elements of interdependent play. *ResearchGate*.
- IBM. (2023). *Sdk vs. api: What's the difference?* Descargado de <https://www.ibm.com/blog/sdk-vs-api/> (Accedido por última vez 29 de octubre del 2023)
- Jetstream14. (2016). *2016 nissan versa note sr toon shaded modelo 3d* (Inf. Téc.). <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/versa-note-sr-toon-3d-obj/1031012>.

- Johnson, D. W., y Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *AERA*.
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., y Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10, 85-119.
- KUKA. (2023). *Kr 1000 titan*. Descargado de <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/kr-1000-titan>
- Llamas, L. (2023, 08 de 08). *Seguridad en construcción*. <https://www.luisllamas.es/programacion-que-es-una-biblioteca/>.
- Lu, L. X., y Swaminathan, J. M. (2015). Supply chain management. *ResearchGate*.
- Magallanes, J., Rodríguez, Q., Ángel Carpio, y López, M. (2021). Simulación y realidad virtual aplicada a la educación. *RECIAMUC*, 5(2), 101-110.
- Magee, M. (2006). State of field review: Simulation in education. *Alberta Online Learning Consortium (AB)*.
- Malewicz, M., y Malewicz, D. (2020). *Designing user interfaces*.
- Manninen, T., y Thurlin, T. (2002). Non-verbal communication forms in multi-player game session. *ResearchGate*.
- Marrón, D. (2022, 12 de 04). *Aprende diseño de videojuegos*. <https://www.linkedin.com/learning/aprende-diseno-de-videojuegos>.
- McCready, M. J., Covaci, A., y Tabbaa, L. (2023). Enhancing player experience in asymmetric virtual reality gameplay. *University of Kent*.
- Merriam-Webster. (2023). *Quaternion*. Descargado de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/quaternion> (Accedido por última vez 29 de octubre del 2023)
- Meta. (2022). *Meta quest 2: gafas inmersivas de realidad virtual todo en uno | meta store*. <https://www.meta.com/es/quest/products/quest-2/>.
- Meta. (2023). *Meta quest 2*. Descargado de <https://www.meta.com/quest/products/quest-2/tech-specs/> (Accedido por última vez 19 de octubre del 2023)
- More, M. (2022, 06 de 07). *¿qué es la ux y la ui?* <https://www.iebschool.com/blog/que-es-la-ux-y-la-ui-analitica-usabilidad/>.
- Murray, J. W. (2014). *C game programming cookbook for unity 3d*. CRC Press.
- Nagalingam, V., y Ibrahim, R. (2015). User experience of educational games: A review of the elements. *Procedia Computer Science*, 72, 423-433.
- Neto, A., Cardoso, P., y Carvalhais, M. (2023). Asymmetric gameplay: Types and perspectives. *Springer*.
- Norman, D. (1988). *The design of everyday things*. Basic Books.
- Ocstard. (s.f.). *Obrero modelo 3d* (Inf. Téc.).
- Pareja, A. (2018). *La estrategia de monetización de fortnite es digna de estudio*. <https://www.mundogamers.com/noticia/la-estrategia-de-monetizacion-de-fortnite-es-digna-de-estudio/21445>.
- PhonlamaiPhoto. (s.f.). *Fondo de cinta transportadora cinturón* (Inf. Téc.). <https://www.fosterspa.com/es-ww/rejilla-arya-8803-000.aspx>.
- Pimlott, S. (2022). Compensation claim advice for car manufacturing workers. *AWH Solicitors*.
- Ramos, M., de la Cruz, J. C., Fernández, J., y Martínez, A. (2023). Intervención socieducativa con tic en la sociedad del conocimiento. En (cap. 3 De la videoconsola al escritorio. Toys to life y realidad virtual y aumentada en entornos educativos). Dykinson, S.L.
- Rane, A., y Sunnapwar, V. (2017, 03). Assembly line performance and modeling. *Journal of Industrial Engineering International*. Descargado de https://www.researchgate.net/publication/314193667_Assembly_line_performance_and_modeling doi: 10.1007/s40092-017-0189-7
- Rebelo, F., Noriega, P., Duarte, E., y Soares, M. (2012). Using virtual reality to assess user experience. *Human Factor and Ergonomics Society's Journal*, 54, 1-15.
- Red-Dot-Games. (2022, 6 de 12). *Car mechanic simulator vr*. https://store.steampowered.com/app/1088770/Car_Mechanic_Simulator_VR/.
- Rekiek, B., Delchambre, A., Dolgui, A., y Bratcu, A. (2002). Assembly line design: A survey. *IFAC Proceedings Volumes*, 35(1), 155-166. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/>

- science/article/pii/S1474667015400680 (15th IFAC World Congress) doi: <https://doi.org/10.3182/20020721-6-ES-1901.01647>
- Robots, M. I. (2023). *Mir250*. Descargado de <https://www.mobile-industrial-robots.com/es/soluciones/robots/mir250/>
- Rouse, R. (2005). *Game design: Theory & practice*. Wordware Publishing, Inc.
- Ruiz Mendoza, R. X. (2019, 9 de 03). *La monetización en la industria de los videojuegos*. <https://www.linkedin.com/pulse/la-monetizaci%C3%B3n-en-industria-de-los-videojuegos-circularinnova/?originalSubdomain=es>.
- Statista-Research-Department. (2023, 15 de 06). *Producción de vehículos en américa latina por tipo 2022*. <https://es.statista.com/estadisticas/1114051/vehiculo-produccion-america-latina-por-tipo/>.
- Stefyn, N. (2022, 9 de 05). *How video games are made | the game development process*. <https://www.cgspectrum.com/blog/game-development-process>.
- Stephenson, I. (2007). Essential renderman. En (cap. 12 The Standard Surface Types). Springer, London.
- Stiller, J. (2014). *Cómo corregir problemas de física comunes en tu juego* (Inf. Téc.). <https://code.tutsplus.com/es/como-corregir-problemas-de-fisica-comunes-en-tu-juego-cms-21418a>.
- Sukati, I., Hamid, A. B., Baharun, R., y Yusoft, R. M. (2012). The study of supply chain management strategy and practices on supply chain performance. *ScienceDirect*.
- Szewkis, E., Nussbaum, M., Rosen, T., Abalos, J., Denarding, F., Caballero, D., ... Alcoholado, C. (2011). Collaboration within large groups in the classroom. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*.
- Sánchez, J. (2019). Diseño y modelación de proyectos en dos y tres dimensiones.
- Technologies, U. (2020). *Creating physically based materials - 2019.3* (Inf. Téc.). <https://learn.unity.com/tutorial/creating-physically-based-materials-unity-2019-35de7945bedbc2a005601a0a4>.
- Technologies, U. (2021a). *Colliders*. Descargado de <https://docs.unity3d.com/es/2021.1/Manual/CollidersOverview.html>
- Technologies, U. (2021b). *Prefabs*. Descargado de <https://docs.unity3d.com/es/2021.1/Manual/Prefabs.html>
- Technologies, U. (2021c). *Rigidbody*. Descargado de <https://docs.unity3d.com/es/2021.1/Manual/class-Rigidbody.html>
- Technologies, U. (2021d). *Visión general del sistema de animación*. Descargado de <https://docs.unity3d.com/es/2021.1/Manual/AnimationOverview.html>
- The-Core-School. (2022). *¿qué son los videojuegos aaa o triple a? - the core*. <https://www.thecoreschool.com/blog/que-son-los-videojuegos-aaa-o-triple-a/>.
- Tkatchenko, R. (2011a). The evolution of the car making industry. , 4, 38-45.
- Tkatchenko, R. (2011b). The evolution of the car-making industry. *ResearchGate*.
- Touaa, M., Boutaleb, R., y Merouani, S. (2022, 22 de 05). *How video games are made*. https://medium.com/@microclub_usthb/how-video-games-are-made-608caced8f.
- Two-Point-Studios. (2018, 20 de 12). *Wrench*. <https://store.steampowered.com/app/936720/Wrench/>.
- Unity-Learn. (2023, 25 de 08). *Create with vr*. <https://learn.unity.com/course/create-with-vr>.
- Unity-Manual. (2019, 9 de 03). *Xr interaction toolkit | xr interaction toolkit | 2.3.2*. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.3/manual/index.html>.
- Unity-Technologies. (2022, 15 de 12). *Unity 2021.3.16*. <https://unity.com/releases/editor/whats-new/2021.3.16>.
- Unity-Technologies. (2023a). *Unity - scripting api: Charactercontroller*. <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/CharacterController.html>.
- Unity-Technologies. (2023b). *Unity user manual 2021.3 (lts)* [Manual de software informático]. Descargado de <https://docs.unity3d.com/2021.3/Documentation/Manual/UnityManual.html> (Accedido por última vez 22 de octubre del 2023)

- Unity-Technologies. (2023c). Xr interaction toolkit [Manual de software informático]. Descargado de <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.5/manual/index.html> (Accedido por última vez 22 de octubre del 2023)
- Valem. (2019, 9 de 03). *How to make a vr game in unity - part 1*. <https://www.youtube.com/watch?v=HhtTtvBF5bI&t=611s&pp=ygURdW5pdHkgdnIgdHV0b>.
- Viswanathan, K., y Yazdinejad, A. (2022). Security considerations for virtual reality systems. *Cryptography and Security*.
- Weech, S., Kenny, S., y Barnett-Cowan, M. (2019, 16 de 01). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00158/full>.
- Xie, B., Liu, H., Alghofaili, R., Zhang, Y., Jiang, Y., Lobo, F., ... Yu, L.-F. (2021). A review on virtual reality skill training applications. , 2, 1-19.

A. Diseño de dos escenarios de estudio de línea de ensamblaje automotriz semiautomatizada

En la siguiente sección A, se muestra como referencia el resto de Planificaciones de Materia Prima de los escenarios semi automatizados en un periodo de producción mensual. Estos a pesar de que no fueron utilizados al final del proyecto, sirvieron como una herramienta para la especulación de la capacidad productiva del proceso a largo plazo y con un mayor alcance.

Figura 230
Planificación de Materia Prima mensual para Armazón Escenario 1

		Armazon												
Piezas de Component	Cantidad de MP	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Piso Frontal	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Piso	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Estructura Delantera	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Estructura Tablero	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Estructura Matorero	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Armazon Lateral	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Elisagras	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Armazon Lateral	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Elisagras	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Chasis	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Suspension	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Amortiguadores	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Pierrottes	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Perchales	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Ejes de	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Ejes	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Vigas de Ejes	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	193,755
Direccion	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Ruedas	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Aros	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Llantas	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Frenos	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292	387,510
Chuchos	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	193,755	2,326,069
Techo	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Sellador	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877

Nota. en la *Figura 230* se muestra el *MRP* de la producción mensual de armazones junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 231

Planificación de Materia Prima mensual para Baúl Escenario 1

Baúl														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Puerta Baúl	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Bisagras	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	16,146	193,755
Cerradura	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Manija de Baúl	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Luz Interna	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Kit de Cableado	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877

Nota. en la *Figura 231* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Baúl junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 232

Planificación de Materia Prima mensual para Capó Escenario 1

Capó														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Puerta Capó	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Bisagras	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Soportes Plásticos	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755

Nota. en la *Figura 232* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Capó junto con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 233

Planificación de Materia Prima mensual para Guardafangos y Costados Escenario 1

Guardafangos y Costados														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Guardafangos Derecho	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Guardafangos Izquierdo	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Costado Izquierdo	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Costado Derecho	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877

Nota. en la *Figura 233* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Guardafangos y Costados junto

con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 234
Planificación de Materia Prima mensual para Bómperes Escenario 1

Bómperes														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Bomper Delantero	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Luces	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Bomper Trasero	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Luces	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Kit de Cableado	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877

Nota. en la *Figura 234* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Bómperes junto con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 235
Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Delanteras Escenario 1

Puertas Delanteras														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Paneles Externos	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Planchas de Aluminio	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Kit de Tuercas	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Manijas	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	387510
Sellantes	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Retrovisores	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Carcasas Plastica de Retrovisor	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Vidrio Reflectante de Retrovisor	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Cerradura de Puerta	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Sistema de Bloqueo	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Ventanas	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Vidrio	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Motor de Elevacion	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Kit de Cableado	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Paneles Internos	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Planchas de Aluminio	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877

Nota. en la *Figura 235* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Puertas Delanteras junto con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 236

Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Traseras Escenario 1

Puertas Traseros														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Paneles Externos	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Planchas de Aluminio	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Kit de Tuercas	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Manijas	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	32292	387510
Sellantes	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Cerradura de Puerta	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Sistema de Bloqueo	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Ventanas	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Vidrio	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Motor de Elevacion	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Cableado	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Paneles Internos	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Planchas de Aluminio	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877

Nota. en la *Figura 236* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Puertas Traseras junto con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 237

Planificación de Materia Prima mensual para Interior Escenario 1

Interior														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Timon	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	104951
Parabrisas	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	209901
Retrovisor Interno	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	104951
Palanca	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	104951
Asientos	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	524753
Cinturones de Seguridad	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	40366	524753
Tablero de Instrumentos	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	104951
Kit de Cuero Interno	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	104951
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	104,951

Nota. en la *Figura 237* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Interiores junto con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 238

Planificación de Materia Prima mensual para Motor Escenario 1

Motor														
Pieza	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Motor	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	104951

Nota. en la *Figura 238* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Interiores junto con sus componentes. Esta tiene el objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 239
Planificación de Materia Prima mensual para Armazón Escenario 2

Armazon														
Componente	MP	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Annual
Piso Frontal	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Piso Trasero	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Estructura Delantera	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Estructura Tablero	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Estructura Maletero	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de Tuercas	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Izquierdo	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Bisagras	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Derecho	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Bisagras	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Chasis	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Suspension	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Amortiguadores	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Resortes	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Puntuales	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Ejes de llantas	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Ejes	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Vigas de Ejes	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	64,416
Direccion	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Ruedas	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Aros	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Llantas	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Frenos	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	10,736	128,832
Chuchos	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	64,416	772,392
Techo	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Sellador	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208

Nota. en la *Figura 239* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Armazones junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 240
Planificación de Materia Prima mensual para Baúl Escenario 2

Baul														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Puerta Baul	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Bisagras	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	5,368	64,416
Cerradura	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Manija de Baul	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Luz Interna	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Kit de Cableado	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208

Nota. en la *Figura 240* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Baúl junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 241
Planificación de Materia Prima mensual para Capó Escenario 2

Capó														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Puerta Capó	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Planchas de Aluminio	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	8073	96877
Kit de tornillos	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	8,073	96,877
Bisagras	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755
Soportes Plásticos	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	16146	193755

Nota. en la *Figura 241* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Capó junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 242
Planificación de Materia Prima mensual para Guardafangos y Costados Escenario 2

Guardafangos y Costados														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Guardafangos Derecho	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Guardafangos Izquierdo	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Costado Izquierdo	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Costado Derecho	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208

Nota. en la *Figura 242* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Guardafangos y Costados junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 243
Planificación de Materia Prima mensual para Bómperes Escenario 2

Bómperes														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Bómpere Delantero	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Luces	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Bómpere Trasero	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Planchas de Aluminio	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Luces	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208
Kit de Cableado	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208

Nota. en la *Figura 243* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Bómperes junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 244
Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Delanteras Escenario 2

Puertas Delanteras														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Paneles Externos	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Planchas de Aluminio	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Kit de Tuercas	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Manijas	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	128832
Sellantes	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Retrosvisores	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Carcasas Plastica de Retrovisor	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Vidrio Reflectante de Retrovisor	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Cerradura de Puerta	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Sistema de Bloqueo	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Ventanas	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Vidrio	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Motor de Elevacion	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Kit de Cableado	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Paneles Internos	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Planchas de Aluminio	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208

Nota. en la *Figura 244* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Puertas Delanteras junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 245
Planificación de Materia Prima mensual para Puertas Traseras Escenario 2

Puertas Traseras														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Paneles Externos	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Planchas de Aluminio	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Kit de Tuercas	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	32208
Manijas	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	10736	128832
Sellantes	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Cerradura de Puerta	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Sistema de Bloqueo	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Ventanas	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Vidrio	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Motor de Elevacion	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Cableado	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Paneles Internos	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Planchas de Aluminio	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	64416
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	32,208

Nota. en la *Figura 245* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Puertas Traseras junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 246
Planificación de Materia Prima mensual para Interior Escenario 2

Interior														
Piezas de Componente	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Timon	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	34832
Parabrisas	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	5368	69784
Retrovisor Interno	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	34832
Palanca	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	34832
Asientos	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	174460
Cinturones de Seguridad	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	13420	174460
Tablero de Instrumentos	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	34832
Kit de Cuero Interno	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	34832
Kit de tornillos	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	2,684	34,832

Nota. en la *Figura 246* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Interiores junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

Figura 247

Planificación de Materia Prima mensual para Motor Escenario 2

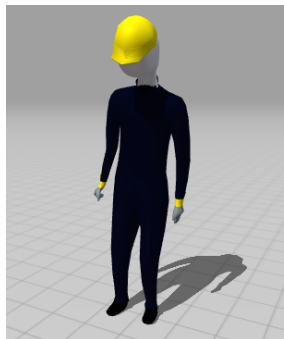
	Motor													
Pieza	Total Mensual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
Motor	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	2684	34892

Nota. en la *Figura 247* se muestra el *MRP* de la producción mensual de Motores junto con sus componentes. Esta tiene el principal objetivo de delimitar cuanto va ser el consumo de materiales requerido para poder mantener a largo plazo el volumen y ritmo de producción de la planta con el proceso diseñado.

B. Diseño de nivel, modelación y animación

Figura 248

Animación para mecánico inspector



Nota. El nombre de la animación es *Standing w/briefcase idle*, se utilizó para el operador supervisor en la estación de materia prima (Adobe, s.f.-f).

Figura 249

Textura de reja



Nota. Textura seleccionada para el piso de la estación de pintura (Foster, s.f.).

Figura 250

Modelo de mecánico realista



Nota. Obrero modelo 3D se adquirió con una licencia estándar y se empleó en los procesos de soldadura y ensamblaje del automóvil (Ocstard, s.f.).

Figura 251

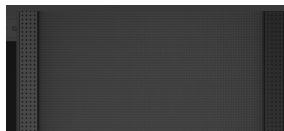
Modelo de automóvil completo



Nota. Modelo 3D gratuito Nissan Versa Note sr Toon Shaded del año 2016, cuenta con la licencia estándar y fue empleado para ensamblar el vehículo (Jetstream14, 2016).

Figura 252

Textura del cinturón de una cinta transportadora



Nota. Banda cortadora es el nombre de la textura utilizada en la estación de materia prima (PhonlamaiPhoto, s.f.).

Figura 253

Animación para mecánico soldador 1



Nota. *Standing torch light from fire on soldermench2* es el nombre de la animación que se usó en operarios soldados (Adobe, s.f.-e).

Figura 254

Animación para mecánico soldador 2



Nota. *Standing torch inspect forward on soldermech2* es el nombre de la segunda animación que se utilizó en operarios soldados (Adobe, s.f.-d).

Figura 255

Animación para mecánico que coloca las llantas

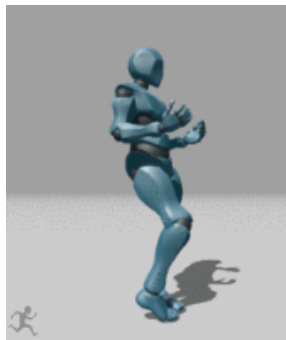


Cow Milking

Nota. *Cow milking on default character* es el nombre de la animación que se empleó en operarios encargados de colocar las llantas (Adobe, s.f.-b).

Figura 256

Animación para mecánico que carga



Carrying Turn

Nota. *Carrying turn on default character* es el nombre de la animación que se aplicó a los operarios al momento de cargar partes a ensamblar (Adobe, s.f.-a).

Figura 257

Animación que muestra a un mecánico aplicando fuerza para ensamblar componentes



Push Start

Nota. *Push start on default character* es el nombre de la animación que se utilizó en los operarios al momento de ensamblar (Adobe, s.f.-c).

C. Próximas funcionalidades

En este apartado se detalla el proceso que se debe seguir para la creación de robots y animaciones, así como también implementarlos y algunas ideas para dar seguimiento al proyecto. A partir del análisis de la ficha técnica del robot deseado y la recolección de imágenes y vídeos que ilustran sus movimientos, se inicia el proceso de modelado en herramientas de diseño 3D. Al modularizar el modelo 3D permite la creación de una armadura que facilita la animación, asegurando el comportamiento del robot a su diseño original. Por otra parte, se consideran aspectos de seguridad industrial dentro de la simulación, evidenciando la importancia de medidas preventivas y de concienciación para un entorno de trabajo seguro.

1. Nuevos robots

Para la creación de nuevos robots se parte por la ficha técnica del robot que se desea replicar. En esta ficha técnica se encuentran las medidas, grados de libertad (articulación) y las limitaciones de movimiento que tiene. Posterior a esto, se buscan imágenes en diferentes ángulos y vídeos de los movimientos. En caso de encontrar un diseño ya creado es recomendable contactar al autor para adquirirlo o bien comprarlo. Una vez con las imágenes y vídeos del robot se inicia un proyecto nuevo en alguna herramienta de diseño 3D, en este caso blender, a partir de objetos como cilindros y cubos se crea cada sección del robot.

La sección de un robot es aquella que tiene movimiento (una articulación) por ejemplo, la base por la cual rota sobre sí mismo 360 grados es una sección, otras son los brazos del robot. Una vez modelado el robot con sus articulaciones independientes, es decir si tenemos un robot con tres grados de libertad debemos tener cuatro objetos, uno que es la base fija y tres que son sus partes movibles. A cada objeto se establece su centro hacia el punto en el que debe rotar según el diseño del robot, no su centro de masa ni geométrico, sino sobre qué punto rota.

Se debe crear una armadura para animar al robot con mayor facilidad. Se inicia creando un hueso sobre la base, luego por cada sección se crea otro hueso en el punto en el que rota, después se asigna cada hueso a la sección que le corresponde manteniendo el *offset*. En el último hueso se crea uno adicional, este será utilizado como guía, por lo tanto se asigna el módulo de *inverse kinematics*. Desde el modo *pose* se puede mover el hueso guía dando como resultado que todos los huesos del robot siguen a este. Cabe mencionar que se debe limitar los ángulos de rotación y los ejes en los que no se debe mover el robot (*Bone Properties*), de esta manera se consigue que el robot replique los movimientos originales.

Finalmente se crean las animaciones, para esto se recomienda duplicar el robot la cantidad de veces con respecto a la cantidad de animaciones, esto significa que si se requieren cinco animaciones diferentes del

mismo robot, se crearán cinco copias, así no hay problemas con las *actions*. Se exporta como *fbx*, del lado de unity es necesario crear un objeto vacío y asignar como hijo al robot, luego se agregan los componentes de *SingleAnimationController (Script)* y el *Animator* con su *AnimatorController*, este último debe tener un estado con la animación y un *trigger* para activarse, a su vez el *script* de *EventBoneAnimation*. Por último, si el robot interactúa con otros objetos para moverlos, se debe agregar la *tag* (etiqueta) de *Holder* al extremo final del robot y el *script* de *PickUpActivate* o bien *PickUpSetParent*, el objeto para interactuar debe tener la *tag PickupablePart*.

2. Audio

Para una experiencia más inmersiva se necesita de audios en los robots. Al realizar movimientos, al colocar la pieza, al iniciar la estación, al terminar la estación, una alarma por si los autos se estancan en una estación, al iniciar la línea de ensamblaje, cada vez que sale un auto ensamblado, al momento de pintar el auto, al colocar las llantas, al caminar, cuando se cambie una estación, cuando los carros de transporte se muevan, cuando las piezas del auto salen de su propia línea, al detener por completo la línea de ensamblaje, cuando se entra en una zona prohibida. Todos estos sonidos en conjunto crearán el ambiente de estar en una planta de ensamblaje de autos. La implementación de estos sonidos debe realizarse en cada componente y no en un controlador, de esta manera si se necesita crear otra línea de ensamblaje no se crea todo desde cero, solo se agrega el modelo (*prefab*) con esas propiedades.

3. Seguridad industrial

Con respecto a la seguridad industrial dentro de la planta de ensamblaje se pueden realizar dos implementaciones importantes. La primera es al momento de chocar con un carro de transporte o contra un robot cuando realiza un movimiento o subir a la banda transportadora, la línea se detenga por completo hasta que el usuario haya salido de esa zona y reanude la línea de ensamblaje. Limitar las áreas también es válido sin embargo, esto limita la experiencia de usuario ante los accidentes dentro de una planta. Implementar una sección donde el usuario pueda colocarse un casco de seguridad, botas y ropa, en el caso de omitir esta sección y colisiona con un objeto mostrar un mensaje el cual indique que ha sufrido un accidente grave y dar por terminada la simulación, de esta manera se evidencia la importancia de estos objetos. En caso de implementar ambos y el usuario con los objetos puestos colisionó con un objeto en movimiento detener la línea y dar la opción de reanudar.

D. Observaciones y comentarios

Tabla 145

Comentarios de las pruebas de usuario.

Comentarios de las pruebas de usuario
“No había usado VR antes, por eso me cuesta un poco.”
“¿La cámara se puede mover? Sería bueno agregar instrucciones de eso.”
“Sería cool que hubiera una canasta de basketbol para hacer tiros.”
“Siento que le hace falta color al juego.”
“¿Cómo se puede volver al menú?”
“Se siente raro caminar.”

Nota. En esta tabla se muestran algunos comentarios que guiaron cambios en las iteraciones realizados en las pruebas de usuario.

E. Pruebas de usuario

La sección D de los anexos contiene fotografías de las pruebas de usuario realizadas con la aplicación. Estas imágenes ofrecen información valiosa sobre la interacción de los usuarios con la aplicación, complementando los datos recopilados durante la investigación.

Figura 258

Prueba de usuario no. 1



Nota. Prueba no. 1 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 259

Prueba de usuario no. 2



Nota. Prueba no. 2 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 260

Prueba de usuario no. 3



Nota. Prueba no. 3 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 261

Prueba de usuario no. 4



Nota. Prueba no. 4 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 262

Prueba de usuario no. 5



Nota. Prueba no. 5 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 263

Prueba de usuario no. 6



Nota. Prueba no. 6 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 264

Prueba de usuario no. 7



Nota. Prueba no. 7 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 265

Prueba de usuario no. 8



Nota. Prueba no. 8 - usuario haciendo uso de la caminadora.

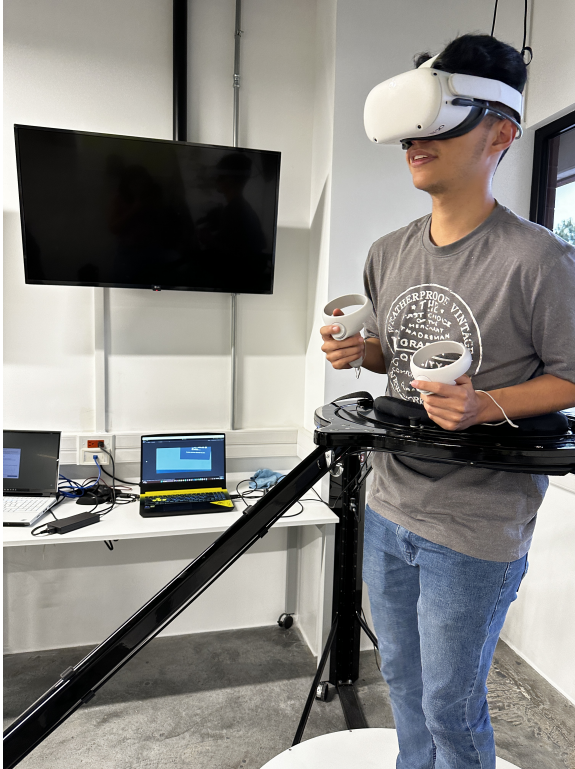
Figura 266

Prueba de usuario no. 9



Nota. Prueba no. 9 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 267
Prueba de usuario no. 10



Nota. Prueba no. 10 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 268
Prueba de usuario no. 11



Nota. Prueba no. 11 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 269

Prueba de usuario no. 12



Nota. Prueba no. 12 - usuario haciendo uso de la caminadora.

Figura 270
Prueba de usuario no. 12 - catedrático



Nota. Prueba no. 1 - catedrático haciendo uso de la caminadora.

F. *Brief de tooltips*

El *brief* desarrollado para la mecánica de *tooltips*.



Overview

Concepto de la mecánica

La mecánica consiste en la implementación de una interfaz de usuario específica para el usuario en la PC, que le permita ver la información más relevante de un objeto.

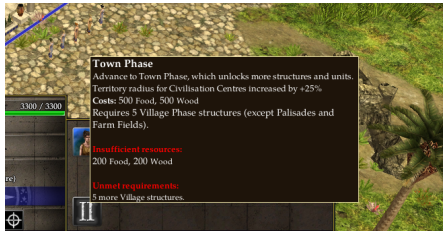
Como se utiliza la mecánica

La interfaz tiene como misión los siguientes puntos:

- El 'jugador' en la PC hace click sobre algún icono de tooltip
- Un tooltip se le muestra al 'jugador' en la PC
- El tooltip le provee toda la información necesaria para tomar decisiones.
- El 'jugador' en la PC le puede compartir la información necesaria a su compañero.



Tooltip en 'Albedon Wars'



Wild Fire



Knights and Merchants



Previewing at the gates

Meta Final

El objetivo final es proveer al usuario de la PC la información necesaria a través de tooltips en el UI. Esto le permite conocer la misma información que el jugador con el headset sin depender de él.

The Project

El objetivo de esta mecánica es permitir que el 'jugador' en la computadora pueda acceder toda la información necesaria de manera independiente para luego interpretar y apoyar al 'jugador' con el headset.

Goals

1. El acceso independiente a la información
2. Comunicación efectiva entre jugadores

Objectives

1. Una experiencia de usuario satisfactoria para ambos 'jugadores'
2. Permitir la implementación abstracta y concreta de nuevas mecánicas

Target Audience

User Persona	'Jugador' en la PC
Demographic Traits	Estudiante de Ingeniería Industrial <ul style="list-style-type: none">• 18 años• Mujer
Habits	Estudiante que juega videojuegos seguido
Goals	Que la mecánica implementada le permita usarla de manera intuitiva
How will they perceive or use this project's outputs?	La estudiante puede utilizar las dos mecánicas principales implementadas hasta el momento sin que estas interactuen entre ellas: <ul style="list-style-type: none">• Camera Drag• Waypoints• Tooltips

Creative Direction

Concept Moodboard

- Diferentes implementaciones de Tooltips en videojuegos.

G. Brief de *click and drag*

El *brief* desarrollado para la mecánica de *click and drag*.



Overview

Concepto de la mecánica

La mecánica consiste en la implementación de un Click and Drag para la cámara que controla el jugador en la PC.

Como se utiliza la mecánica

La mecánica de Click and Drag tiene múltiples puntos que se deben resaltar:

- El 'jugador' en la PC hace Click en la pantalla
- Al mover el mouse, la cámara se mueve haciendo Drag.
- Al soltar el click, la cámara será estática.



Click and Drag Representation

The Project

El objetivo de esta mecánica es permitir que el 'jugador' en la computadora tenga a su disponibilidad una manera de conocer el ambiente virtual de manera independiente a la persona utilizando el headset.

Goals

1. Exploración independiente
2. Experiencia de usabilidad sencilla e intuitiva

Objectives

1. Una experiencia de usuario satisfactoria para el 'jugador' en PC
2. Permitir la implementación abstracta y concreta de nuevas mecánicas

Target Audience

User Persona	'Jugador' en la PC
Demographic Traits	Estudiante de Ingeniería Industrial <ul style="list-style-type: none">• 22 años• Hombre
Habits	Estudiante que juega casualmente
Goals	Que la mecánica implementada le permita usarla de manera intuitiva
How will they perceive or use this project's outputs?	La estudiante puede utilizar las dos mecánicas principales implementadas hasta el momento sin que estas interactuen entre ellas: <ul style="list-style-type: none">• Camera Drag• Waypoints

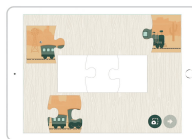
Creative Direction

Concept Moodboard

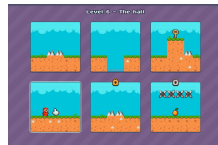
- Diferentes implementaciones de Click and Drag.



By Edoardo Galati



Panda Suite



G Develop Forum

Meta Final

Lo que se busca alcanzar es que el usuario en PC se sienta cómodo navegando por el mundo de manera completamente independiente

H. Brief de waypoints

El brief desarrollado para la mecánica de waypoints.



Overview

Concepto de la mecánica

La mecánica consiste en la implementación de 'waypoints' en la experiencia asimétrica para que el 'jugador' en la computadora pueda darle guías al 'jugador' con el headset sobre direcciones.

Como se utiliza la mecánica

La mecánica de waypoints tiene múltiples puntos que se deben resaltar:

- El 'jugador' en la PC hace click sobre su pantalla
- Si no existe un waypoint, se pone uno en este lugar
- Si ya existe un waypoint, se quita el original, y se pone uno nuevo.
- Cuando el 'jugador' con el headset se acerca al waypoint, este desaparece.



Battlefield V



Death Stranding

Meta Final

Lo que se busca alcanzar es una manera no intrusiva e intuitiva para que el 'jugador' con el headset pueda guiarse con el waypoint, y que el 'jugador' en la computadora pueda reconocer donde está ubicado actualmente este mismo.

Una implementación que se buscaría asimilar es 'The Legend of Zelda: Breath of the Wild' y 'The Legend of Zelda: Tears of the Kingdom' que utilizan waypoints de luz (llamados 'beacon' dentro del juego).



The Project

El objetivo de esta mecánica es permitir que el 'jugador' en la computadora tenga a su disponibilidad una manera de comunicación no verbal con el 'jugador' utilizando el headset.

Goals

1. La comunicación no verbal entre 'jugadores'
2. Una manera de guiar al 'jugador' en el headset con cues visuales

Objectives

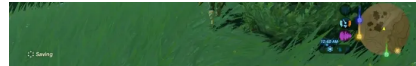
1. Una experiencia de usuario satisfactoria para ambos 'jugadores'
2. Permitir la implementación abstracta y concreta de nuevas mecánicas

Target Audience

User Persona	Jugador' en la PC
Demographic Traits	Estudiante de Ingeniería Industrial <ul style="list-style-type: none"> • 20 años • Mujer
Habits	Estudiante que no suele jugar videojuegos
Goals	Que la mecánica implementada le permita usarla de manera intuitiva
How will they perceive or use this project's outputs?	La estudiante puede utilizar las dos mecánicas principales implementadas hasta el momento sin que estas interactuen entre ellas: <ul style="list-style-type: none"> • Camera Drag • Waypoints

Deliverables

Designer	Deliverables	Specification	Schedule



Martin Amado	Waypoints	<input type="checkbox"/> Un video que demuestre la implementación de la mecánica	2 semanas
Se encontrará en la entrega de Canvas y en la carpeta de drive			
Presentation for Client: 25/09/2023 tentativo			

Creative Direction

Concept Moodboard

- Diferentes implementaciones de waypoints en videojuegos.



Back 4 Blood



I. Estructura de *assets*

Estructura de los *assets* utilizados en la implementación asimétrica.

Figura 271

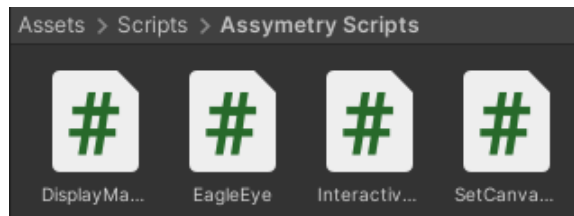
Estructura de *prefabs* de elementos asimétricos



Nota. Ubicación de los elementos utilizados en la implementación asimétrica.

Figura 272

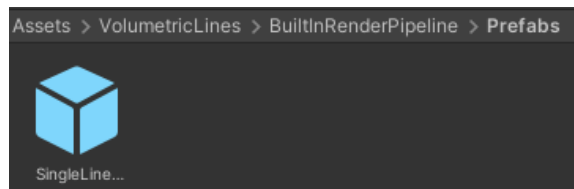
Estructura de *scripts* de elementos asimétricos



Nota. Ubicación de los *scripts* utilizados en la implementación asimétrica.

Figura 273

Ubicación del *asset* utilizado para el *waypoint*

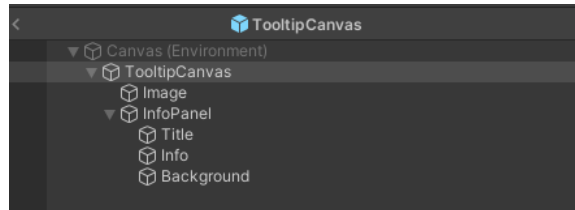


Nota. Ubicación del elemento utilizado en la implementación del *waypoint*.

J. Estructura elementos

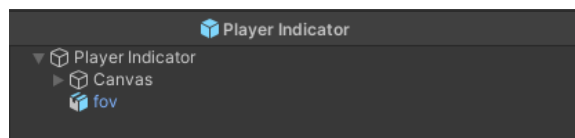
Estructura de los elementos utilizados en la implementación asimétrica.

Figura 274
Estructura del *tooltip*



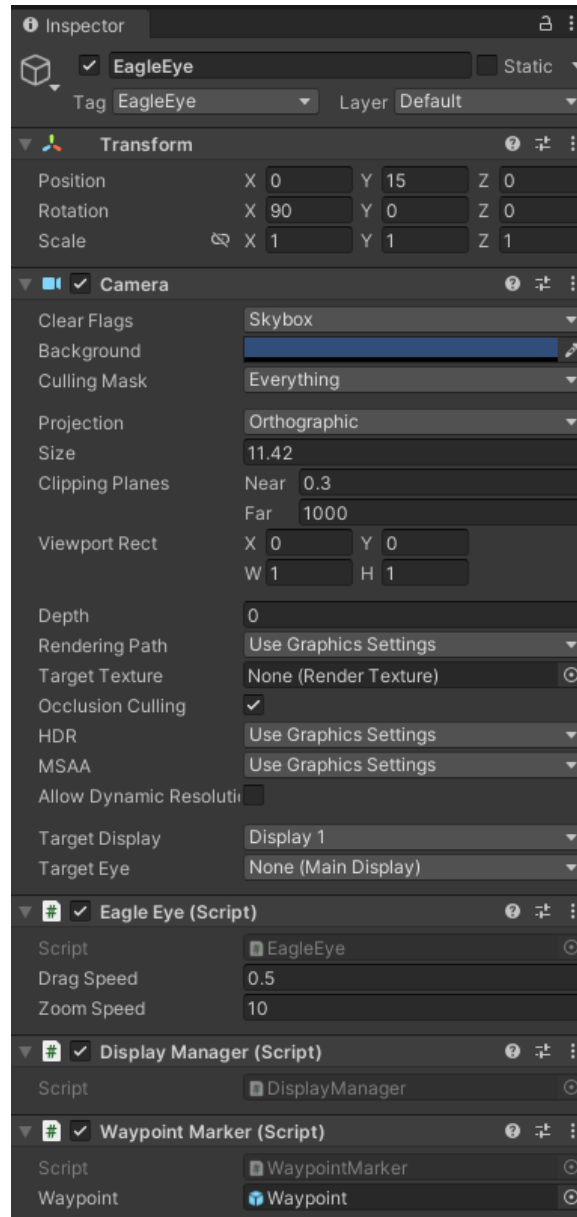
Nota. Estructura del *tooltip* dentro de la jerarquía.

Figura 275
Estructura del indicador de jugador



Nota. Estructura del indicador del jugador dentro de la jerarquía.

Figura 276
Configuración de la cámara *eagle eye*



Nota. Estructura del *eagle eye* dentro de la jerarquía.

K. Respuestas preguntas libres

Respuestas escritas para cada una de las preguntas realizadas en la implementación asimétrica.

1. Fase 1

a. *Waypoints*

- Un añadido importante puede ser el mostrar a quién pertenece cada waypoint. Esto ayuda a dar contexto a los jugadores, lo que apoya a la comunicación.
- Esta mecánica es super importante, debido a que en ciertas ocasiones es más fácil observar el objetivo que intentar explicar a donde se desea llegar.
- La mecánica de los waypoints son muy utilizadas en los videojuegos sin embargo estas suelen combinarse muchas veces con texto o imágenes que ayudan a representar más detalladamente dónde se hace el waypoint

b. *Click and drag*

- Me parece que cumple con el objetivo claramente al ser fácil de comprender cuál es la meta
- Sería completamente de probar qué tan fácil es de controlar la cámara con un drag and drop, como jugador estoy acostumbrado a manejar dos ejes de un plano con teclas del teclado y la dirección de la cámara con el mouse como es común en videojuegos y no tanto con un drag

c. *Tooltips*

- Me parece que cada moodboard representa muy bien al público target
- Esta mecánica es muy útil para el jugador en la PC para que luego proceda a comunicar esa información pero es más una mecánica individual, si los dos jugadores pueden enfocar el mismo elemento y ver ese tooltip sí sería una mecánica muy buena para el programa pero no para la comunicación en sí, si es solo el jugador en la PC el que puede ver el tooltip sí es una mecánica más de comunicación pero entonces ¿por qué el jugador con el headset no puede enfocar al objeto para ver el tooltip también en una interfaz?

2. Fase 2 y 3

a. *Waypoints*

- ¿La mecánica es intuitiva de entender?
 - En la independiente no se sabía muy bien el objetivo del waypoint
 - Los botones de los controles son un tanto difíciles sin poder verlos
 - Todo es muy sencillo
 - Fue en cuestión de segundos que entendí cómo interactuar con la simulación
 - Al inicio no entendía como funcionaba
 - Porque utiliza controles parecidos de otras apps
 - Con un solo click se puede guiar el jugador
- ¿La mecánica es fácil de utilizar?
 - Una vez se entiende, es sencilla de usar
 - Interacciones sencillas

- Los cuadros son claros y concisos
- A veces no se ejecutaba la acción
- No es compleja o requiere de mucho conocimiento
- ¿La mecánica es útil para el jugador en PC?
 - Tal vez incluir comando para el keyboard
 - Es útil saber informacion de donde esta el usuario y ayuda a poder guiarlo
 - Es fácil entender la UI
 - Porque permite sentirse involucrado
 - No se necesita de conocimiento de videojuegos
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera verbal con la persona en el ambiente virtual?
 - Los tutoriales ayudan mucho
 - Me comuniqué con mi compañero para completar la simulación
 - Solo vi comunicación no verbal
 - Al estar ambos cerca se puede comunicar fácilmente
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera no verbal con la persona en el ambiente virtual?
 - En la virtual no hay una manera de avisar al que está supervisando
 - Sin tutoriales ni instrucciones, es difícil captar la simulación
 - Es totalmente divertido poder participar en equipo
 - Si por medio de los waypoints
 - Se puede observar claramente el panorama de la fábrica y orientar mejor a la persona que está en la caminadora
 - Al poner en waypoint el jugador sabe a dónde ir

b. *Tooltips*

- ¿La mecánica es intuitiva de entender?
 - El símbolo escogido ayuda
 - Muy simple y concisa para entender
 - No entendí para que servia
 - El símbolo ayuda a saber
- ¿La mecánica es fácil de utilizar?
 - Con un click basta
 - Muy divertida e intuitiva
 - Si sabia donde hacer click
 - Las instrucciones dicen todo lo que es necesario hacer
- ¿La mecánica es útil para el jugador en PC?
 - Es ideal porque no tiene muchas
 - No entendí para que funcionaba
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera verbal con la persona en el ambiente virtual?
 - El tutorial ayuda
 - Es una instrucción única para PC creo
 - No vi la funcionalidad del tooltip en la simulación
- ¿La mecánica permite comunicarse de manera no verbal con la persona en el ambiente virtual?
 - Con solo poner el waypoint se puede saber a dónde ir

c. *Click and drag*

- ¿La mecánica es intuitiva de entender?
 - La cámara se mueve de manera sencilla
 - Fácil de entender cómo funciona
 - Cuesta un poco comprender cómo funciona
- ¿La mecánica es fácil de utilizar?
 - No hay como “tutorial” o guías de cómo usarlo, además las instrucciones están en inglés y la simulación en español
 - Solo hay que moverse y no hay más controles
- ¿La mecánica es útil para el jugador en PC?
 - Para poder analizar el espacio

- Bibliotecas** Alojjan subprogramas que facilitan la programación gracias a sus funciones de ayuda. A diferencia de un framework, una librería se desarrolla para ser usada de una manera determinada y posee, para ello, funciones que han sido ajustadas las unas a las otras.. 211
- briefs** Documento que contiene la información de un producto para concretar los objetivos.. 260
- capacidad cruzada** Capacidad de poder ser cruzado. En el ámbito de juegos, experiencias que puedan ser disfrutadas por jugadores con diferentes capacidades.. 255
- click and drag** Gesto que se hace con el ratón de una computadora al hacer click izquierdo y luego moverlo.. 263
- cuaternión** Los cuaterniones o cuaternios son un sistema numérico que resulta de la extensión de los números reales y parecido a los números complejos. En la rama de la física simbolizan la rotación en el espacio, gracias a sus cuatro componentes base: 1, i, j, k. Por ello, son utilizados frecuentemente en las gráficas por computadora, ya que representan la orientación de un objeto dentro de un espacio tridimensional (Merriam-Webster, 2023).. 170
- Joystick** es un periférico de entrada que consiste en una palanca que gira sobre una base e informa su ángulo o dirección al dispositivo que está controlando.. 219
- Mecánicas de juego** Una mecánica en un videojuego puede considerarse desde la acción más simple a la acción más compleja.. 214
- Realidad aumentada** La integración de tecnología de punta puede ayudar a mantener la competitividad de su negocio.. 205
- Renderizar** Es la generación de una imagen 2D a partir de los polígonos de modelos 3D, sus materiales aplicados y la iluminación de la escena.. 204
- SDK** Un kit de desarrollo de software (por las siglas en inglés, SDK) es un conjunto de herramientas de creación específicas de plataformas para desarrolladores.. 211
- SDK** Un Kit de Desarrollo de Software o por sus siglas en inglés SDK(Software Development Kit) es un conjunto de herramientas de desarrollo para una plataforma específica. Estas herramientas pueden incluir compiladores, código de ejemplo, librerías de programación, herramientas de análisis y testeo, documentación y debuggers (IBM, 2023).. 176
- tooltips** Elemento de la interfaz de usuario que sirve como guía para los usuarios.. 263

Waypoints Los waypoints son simplemente posiciones en un mapa que, cuando se navegan en secuencia, producen una ruta.. 209

waypoints Indicador visual de coordenadas específicas dentro del ambiente virtual.. 263