



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELÉCTRONICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN  
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA  
VIRTUAL MEDIANTE UN DISPOSITIVO HÁPTICO PARA LA  
REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL  
ADQUIRIDO”**

**AUTOR: ANDRES DANIEL ACURIO SANTAMARIA**

**DIRECTOR: ING. EDWIN PRUNA**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA VIRTUAL MEDIANTE UN DISPOSITIVO HÁPTICO PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO”** realizado por **Andrés Daniel Acurio Santamaria** ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a **Andrés Daniel Acurio Santamaria** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, agosto de 2017

---

**Ing. Edwin Pruna**

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Andrés Daniel Acurio Santamaria**, con cédula de ciudadanía N°1804463402, declaro que este trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA VIRTUAL MEDIANTE UN DISPOSITIVO HÁPTICO PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, agosto de 2017

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Acurio', is written above a horizontal line.

**Andrés Daniel Acurio Santamaria**

**C.C.:1804625141**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Andrés Daniel Acurio Santamaria**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA VIRTUAL MEDIANTE UN DISPOSITIVO HÁPTICO PARA LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON DAÑO”** cuyo contenido, ideas y criterios es de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto de 2017

---

Andrés Daniel Acurio Santamaria

**C.C.:1804625141**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia en principal a mi madre Miriam Santamaria que ha sabido brindarme su amor y consejo incondicional en los momentos de necesidad, apoyándome para alcanzar mis ideales y ser siempre una mejor persona. A mi padre Hernán Acurio por darme el sustento económico, preocupación y apoyo en el transcurso de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar este proyecto agradezco a mis mentores que han sabido impartir de la mejor forma su conocimiento, para formarme como un profesional con valores humanos y dentro de la ética, en una Institución de excelencia como lo es la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

En especial agradezco al Ing. Edwin Pruna por saber guiarme en el transcurso de este proyecto, a la Ing. Ivon Escobar por su consejo y apoyo, encaminándome a la conclusión satisfactoria de esta etapa de mi vida.

Agradezco también a todas las personas y amigos que han pasado a través de esta experiencia universitaria, pues han sido parte fundamental para mi crecimiento personal.

Incluyo un agradecimiento especial a Piedad Semblantes y su familia que supieron darme su apoyo en la conclusión de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>

## CAPÍTULO I

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Justificación e Importancia.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4

## CAPÍTULO II

<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1. Antecedentes Investigativos.....	5
2.2. Fundamentación Teórica.....	5
2.2.1. Introducción a la Realidad Virtual.....	5
2.2.2. Definición de Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Virtualidad Aumentada.....	6

a.	Realidad Virtual (RV) .....	6
b.	Realidad Aumentada (RA) .....	7
c.	Virtualidad Aumentada (VA).....	7
2.2.3.	Daño Cerebral Adquirido (DCA).....	8
2.2.4.	Causas del DCA.....	9
a.	Traumatismo Craneoencefálico (TCE) .....	9
b.	Ictus .....	10
c.	Encefalopatía Hipóxica .....	11
2.2.5.	Consecuencias del DCA .....	12
2.2.6.	Discapacidad Motora .....	12
2.2.7.	Motricidad Fina.....	13
2.2.8.	Rehabilitación.....	14
2.2.9.	Rehabilitación motora tradicional .....	14
2.2.10.	Rehabilitación virtual motora.....	15
2.2.11.	Escala de ASWRTH 1+.....	16
2.2.12.	Sistemas de Tracking.....	17
a.	lotracker .....	17
b.	Wii Balance Board™ .....	17
c.	Dance Mat.....	18
d.	Fastrack®.....	19
e.	Codamotion.....	19
f.	EyeToy® .....	20
g.	Microsoft® Kinect® .....	20
h.	WebCam .....	21
i.	Smartphone.....	21
j.	DataGlove .....	22
k.	IPad.....	22
2.2.12.	Dispositivos Hápticos .....	23
2.2.14.	Geomagic Touch.....	26
2.2.15.	Características Geomagic Touch .....	27
2.2.16.	Test SUS.....	28
2.2.17.	Ponderaciones del Test SUS .....	29
2.2.18.	Interpretación de los resultados sus.....	30
2.2.19.	Unity 3D .....	30

2.3.	Variables de la investigación.....	35
2.3.1.	Variable Independiente .....	35
2.3.2.	Variable Dependiente.....	35
2.4.	Hipótesis .....	35

### **CAPÍTULO III**

	<b>DESARROLLO.....</b>	<b>36</b>
3.1.	Caracterización .....	36
3.2.	Hardware del Sistema.....	36
3.3.	Integración de los movimientos de Rehabilitación .....	37
3.4.	Desarrollo de la interfaz .....	39
3.4.1.	Desarrollo del ambiente virtual.....	40
a.	Diseño de Objetos Virtuales.....	40
b.	Integración de Dispositivo Háptico Geomagic Touch en Unity3D .	46
c.	Implementación de las Interfaces Virtuales.....	52
d.	Elaboración del menú principal .....	58
3.5.	Registro de datos .....	60
3.6.	Modo de Funcionamiento del Sistema .....	61

### **CAPÍTULO IV**

	<b>APLICACIÓN Y RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1.	Validación de Movimientos del Dispositivo Háptico .....	63
4.3.1.	Análisis General .....	67
4.3.2.	Pruebas con Pacientes con DCA .....	67
a.	Criterios de Inclusión.....	67
b.	Criterios de Exclusión .....	67
c.	Aplicación en los Pacientes .....	68
4.3.3.	Interfaz de Jardinería .....	69
4.3.4.	Interfaz de Recolección y Ordenamiento de Objetos .....	70
4.4.	Aplicación de Test SUS .....	70
4.5.	Comprobación de la hipótesis.....	73

## **CAPÍTULO V**

	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
5.1.	Conclusiones.....	75
5.2.	Recomendaciones .....	76
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1	Escala de ASWRTH 1+ .....	16
Tabla 2	Ponderación SUS .....	29
Tabla 3	Comparación de Ejercicios de Rehabilitación .....	37
Tabla 4	Test SUS en Paciente con DCA.....	71
Tabla 5	Test SUS en Usuarios Sanos.....	72

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1	Arquitectura Sistema iotracker .....	17
Figura 2	Dispositivo Wii Balance Board™.....	18

<b>Figura 3</b>	<b>Dispositivo Dance Mat.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4</b>	<b>Dispositivo Fastrak.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5</b>	<b>Unidad central Codamotion.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 6</b>	<b>Dispositivo EyeToy®.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 7</b>	<b>Microsoft® Kinect®.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 8</b>	<b>Dispositivo Webcam.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 9</b>	<b>Smartphone.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 10</b>	<b>Dispositivo Data Glove.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 11</b>	<b>Dispositivo iPad Air.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 12</b>	<b>Modelado Cinemático.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 13</b>	<b>Prueba de sensaciones hápticas con interfaz virtual.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 14</b>	<b>Ambiente Virtual y Actividades de la Vida Diaria.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 15</b>	<b>Respuesta del controlador PID.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 16</b>	<b>Geomagic Touch.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 17</b>	<b>Herramienta Assets.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 18</b>	<b>Game Objets.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 19</b>	<b>Componentes de un Game Object.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 20</b>	<b>Scripts Almacenados.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 21</b>	<b>Prefabs Almacenados.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 22</b>	<b>Diseño Regadera.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 23</b>	<b>Diseño Rosa.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 24</b>	<b>Diseño Maseta.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 25</b>	<b>Diseño Fuente.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 26</b>	<b>Diseño Flores.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 27</b>	<b>Diseño Rosas.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 28</b>	<b>Diseño Rastrillo.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 29</b>	<b>Diseño Vasija.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 30</b>	<b>Diseño Canasta.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 31</b>	<b>Diseño Error.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 32</b>	<b>Diseño Cara Feliz.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 33</b>	<b>Importar el paquete a Unity.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 34</b>	<b>Ubicación del paquete de Geomagic.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 35</b>	<b>Selección e importación de los paquetes en Unity 3D.....</b>	<b>49</b>

<b>Figura 36</b>	<b>Vista del proyecto en Unity 3D.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 37</b>	<b>Colocación del archivo ASimpleHapticPlugin.dll.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 38</b>	<b>Agregar una componente a un GameObject .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 39</b>	<b>Localización de Scripts .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 40</b>	<b>Objetos Virtuales Importados al Proyecto .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 41</b>	<b>Ventana Scene .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 42</b>	<b>Compilador de Código Visual Studio .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 43</b>	<b>Componente Haptic Properties.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 44</b>	<b>Aplicación Jardinería Vista Superior.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 45</b>	<b>Aplicación Jardinería Vista Frontal .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 46</b>	<b>Figura 44: Aplicación Jardinería Vista Lateral .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 47</b>	<b>Aplicación Organizar Vista Superior .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 48</b>	<b>Aplicación Organizar Vista Frontal.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 49</b>	<b>Aplicación Organizar Vista Lateral.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 50</b>	<b>Ventana Game .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 51</b>	<b>Menú Principal .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 52</b>	<b>Menú Ingreso de Datos.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 53</b>	<b>Menú de Selección de Dificultad .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 54</b>	<b>Registro Paciente Alejandro .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 55</b>	<b>Diagrama de Flujo de la aplicación de Jardinería .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 56</b>	<b>Diagrama de Flujo de la aplicación de Organizar.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 57</b>	<b>Movimientos del Dispositivo Háptico en el eje x.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 58</b>	<b>Movimientos del Dispositivo Háptico en el eje y.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 59</b>	<b>Movimientos del Dispositivo Háptico en el z.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 60</b>	<b>Movimiento Pinza Bidigital en interfaz Jardinería.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 61</b>	<b>Movimiento Extensión de Muñeca en interfaz Jardinería.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 62</b>	<b>Movimiento Flexión de Muñeca en interfaz Jardinería .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 63</b>	<b>Indicaciones previas a usar el sistema .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 64</b>	<b>Primer Objetivo Completado.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 66</b>	<b>Juego Organizar .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 67</b>	<b>Aplicación del Test SUS .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 68</b>	<b>Paciente1 Usando el Sistema .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 69</b>	<b>Paciente 2 Usando el Sistema .....</b>	<b>74</b>

## RESUMEN

El trabajo de titulación pretende el desarrollo de una herramienta virtual interactiva para rehabilitación integrando un ordenador, un dispositivo háptico y software libre. El sistema está enfocado a la rehabilitación motora fina de personas con Daño Cerebral Adquirido en especial para adultos, sin dejar de lado que puede ser utilizado por niños y jóvenes que sufran o no de esta enfermedad, además el proyecto puede servir en la rehabilitación de otras patologías y en la mejora de destrezas como es la habilidad ojo-mano. Mediante la interacción con el sistema el usuario recibe rehabilitación en la parte motora fina, a medida que va ejecutando las tareas propuestas realiza ejercicios como la flexión y extensión de muñeca y la pinza bidigital. Las interfaces que se muestran al paciente se presentan como actividades de la vida diaria, en este caso hay una tarea de jardinería en la que debe regar las plantas siguiendo una secuencia de objetivos y otra actividad de recolección de objetos y organización por color. Además de la terapia, el paciente recibe dos grados de inmersión por parte del sistema, las cuales son: una estimulación sonora cuando la acción se realizó correctamente y una realimentación de fuerza a través del dispositivo háptico. Para la validación de esta herramienta se utilizó el test de usabilidad SUS sobre un grupo de pacientes con Daño Cerebral Adquirido de nivel leve y moderado, el test mencionado es muy utilizado para evaluar el nivel de aceptación que tiene una aplicación de Realidad Virtual.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO**
- **REALIDAD VIRTUAL**
- **CEREBRO - REHABILITACION**

## **ABSTRACT**

The graduated work aims the development of an interactive virtual tool for rehabilitation integrating a computer, a haptic device and free software. The system is focused on the fine motor rehabilitation of people with Cerebral Damage Acquired especially for adults, without neglecting that it can be used by children and young people who suffer from this disease and the project can also serve in the rehabilitation of others Pathologies and in improving skills such as eye-hand skills. Through the interaction with the system the user receives rehabilitation in the fine motor part, as he is performing the tasks proposed he performs exercises such as flexion and extension of wrist and the bi-digital clamp. The interfaces that are shown to the patient are presented as activities of daily living; in this case there is a task of gardening in which you must water the plants following a sequence of objectives and another activity of collecting objects and organization by color. In addition to therapy, the patient receives two degrees of immersion by the system, which are a sound stimulation when the action was performed correctly and a force feedback through the haptic device. For the validation of this tool the SUS usability test was used on a group of patients with Acquired Cerebral Damage of mild and moderate level, the mentioned test is very used to evaluate the level of acceptance that a Virtual Reality application has.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

Actualmente en la rehabilitación tradicional los pacientes necesariamente deben presentarse en un centro de atención médica, con horarios preestablecidos. En las sesiones de terapia se realiza ejercicios definidos por el médico tratante, estos ejercicios muchas veces resultan tediosos, ya que se realizan en un largo plazo y siempre son los mismos, lo que genera un alto nivel de frustración y aburrimiento para el paciente.

La rehabilitación motora fina se centra en la recuperación de movimientos en los que intervienen pequeños grupos de músculos y coordinación de los mismos. Los pacientes presentan síntomas como la espasticidad y la hemiparesia; la primera es un trastorno donde los músculos se encuentran permanentemente contraídos y la segunda causa debilidad muscular. Estos síntomas provocan dificultad para realizar tareas simples como vestirse, asearse o coger objetos.

En algunos proyectos últimamente se opta por el uso de tecnología háptica, que brinda mayores beneficios en la recuperación de los pacientes. Todavía en Ecuador no se encuentra difundida este tipo de tecnología, es muy escasa, solo se ha utilizado como un complemento de ayuda para proyectos de investigación y no ha tenido la oportunidad de ser protagonista de una verdadera aplicación y menos aún en el ámbito de la realidad virtual y la rehabilitación.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Cómo influye la utilización de una herramienta virtual manipulada con un dispositivo háptico, en la rehabilitación de pacientes con Daño Cerebral Adquirido?

## **1.3. Antecedentes**

En países desarrollados la tasa de incidencia de pacientes con Daño Cerebral Adquirido (DCA) está en un número considerable. El DCA es causado por una lesión súbita o una hipoxia cerebral produciendo problemas cognitivos, físicos y emocionales; afectando al paciente en el desarrollo de actividades de la vida diaria (aseo, vestido, función de desplazamiento). La mejoría de estas actividades cotidianas es un concepto esencial tanto en rehabilitación como atención social, porque es importante la integridad y autonomía de los pacientes. (Nisa, 2015)

El control motor es uno de los principales problemas que se presenta en pacientes con DCA causados por lesiones en regiones frontales y parietales de los hemisferios cerebrales, dando lugar a una hemiplejía (parálisis de la mitad del cuerpo) o una hemiparesia (pérdida de fuerza y destreza en la mitad del cuerpo).

En la actualidad la rehabilitación de pacientes con DCA está utilizando tecnologías basadas en consolas de videojuegos, como la Wii de Nintendo con el Wii Balance Board, la Kinect de Microsoft, la cámara PlaystationEye, entre otros.

Hoy en día se está dando a conocer una nueva tecnología, la cual intenta transmitir el sentido del tacto a través de una realimentación de fuerzas a los pacientes con este trastorno, esta herramienta tecnológica es conocida con el nombre de dispositivo háptico. Un claro ejemplo es el Geomagic Touch, el cual está enfocado al desarrollo de aplicaciones que requieran una amplia precisión en cuanto a movimientos motrices.

Dichos instrumentos se encuentran bien difundidos alrededor del mundo, sus principales aplicaciones son el aprendizaje de habilidades médicas, de astronautas, mecánicas y consolas de video juegos. Dentro de aplicaciones médicas se utiliza especialmente en el aprendizaje de plataformas para cirujanos en grandes centros de estudio de medicina y en hospitales.

#### **1.4. Justificación e Importancia**

El auge tecnológico está brindando mayores beneficios en cuanto a rehabilitación; permitiendo desarrollar nuevas investigaciones para generar nuevas opciones de tratamiento de enfermedades como el DCA.

Considerando que los pacientes con DCA presentan frustración, por el hecho de sentirse incapaces de realizar los ejercicios comunes que se usa en la rehabilitación tradicional, por tal motivo se usará el dispositivo háptico, que tiene una alta precisión al momento de trasladar los movimientos del paciente a un entorno virtual.

La rehabilitación virtual ha logrado en la mayoría de pacientes un resultado alentador, al momento de recibir el tratamiento y participar en novedosas aplicaciones virtuales. Tomando en cuenta los resultados en pacientes que han sido tratados con rehabilitación tradicional, aparece la iniciativa de la utilización de dispositivos hápticos con el mismo propósito. Los dispositivos hápticos mediante su característica de realimentación de fuerzas, son los más idóneos al momento de ofrecer una alternativa interactiva y entretenida, pues al transmitir la sensación de peso y fuerza del objeto simulado, guía al paciente a la forma correcta de realizar la tarea programada.

Con este fin mejorar la experiencia de pacientes durante el proceso de rehabilitación, buscando mejorar su experiencia con un tratamiento de la enfermedad mucho más entretenido. Creando así una motivación que al mismo tiempo impulse al paciente a seguir en el tratamiento.

Durante el tratamiento el usuario se sentirá atraído hacia lo novedoso; esto lo impulsará a continuar con los ejercicios con un mayor ánimo y confianza, lo que desemboca en la constancia del paciente en seguir con el tratamiento.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Diseñar e implementar un entorno virtual para rehabilitar pacientes con daño cerebral adquirido.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Investigar el daño cerebral adquirido, así como las causas y síntomas, además la eficiencia del uso de rehabilitación virtual en pacientes de este tipo.
- Diseñar e implementar entornos virtuales con las herramientas de software libre adecuadas para el control del dispositivo háptico Geomagic Touch.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la aplicación con individuos que tienen completas sus funciones motoras para optimizar el desempeño del dispositivo háptico en conjunto con la aplicación virtual.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento mediante test enfocados a parámetros como repetitividad de éxito, tiempo para concluir las tareas; tomando en cuenta el desempeño del dispositivo háptico en sus 3 ejes para evaluar el correcto funcionamiento de la aplicación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes Investigativos**

La Realidad Virtual mejor conocida por su papel en el lanzamiento de video juegos para el entretenimiento, en la actualidad se introduce a nuevas materias como es la simulación de procesos, la educación y la rehabilitación médica.

La tecnología háptica era muy poco conocida alrededor del mundo, este tipo de elementos apenas se usaban como un apoyo en proyectos de controladores de equipos a distancia, su papel era dar una señal vibratoria sobre algún acontecimiento remoto.

Hoy en día esta tecnología ha empezado a expandirse con fuerza y a tomar el papel principal en importantes áreas como lo son el diseño, la industria y la medicina. La aplicabilidad de esta clase de dispositivos va desde la cirugía tele-operada, control remoto en operativos militares hasta el control de micro-robóts para la manipulación de piezas diminutas.

#### **2.2. Fundamentación Teórica**

La implementación de una herramienta virtual para la rehabilitación de personas con DCA aborda la temática que se detalla a continuación:

##### **2.2.1. Introducción a la Realidad Virtual**

La Realidad Virtual (RV) tiene la característica de brindar una gran experiencia sensorial al usuario. Las aplicaciones de RV se han diversificado en varios campos, desde la educación hasta la medicina, lo que hace que sea un tema muy atrayente en el mundo del entretenimiento. En cada uno de los campos en que se desarrolla la RV se ha expuesto diversos retos, en los

cuales cada uno de los desarrolladores deben buscar la respuesta más adecuada para la implementación de un ambiente de RV y los mejores dispositivos I/O que se usaran para el sistema de seguimiento. (Burdea & Coiffet, 2003)

Los sistemas de RV difieren de la simulación tradicional en que se basan menos en el objeto físico para modelar la simulación y son más flexibles y configurables. Los sistemas de RV se diferencian de los desarrollados previamente en que la interacción en tiempo real es facilitada, la percepción visual en tres dimensiones es mucho mejor que la habitual de dos, las interfaces humano máquina son multimodales y el operador se encuentra más inmerso en el ambiente generado por computadora. (Durlach & Mavor, 1995)

### **2.2.2. Definición de Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Virtualidad Aumentada**

A continuación, se detallará la correcta definición de los siguientes términos:

#### **2.2.2.1. Realidad Virtual (RV)**

La RV se define como una simulación, en donde gráficos de computadora son utilizados para crear un mundo realista. Este mundo sintético no es estático y responde a las órdenes de manipulación de un usuario. La principal característica de la RV es la interactividad en tiempo real. El tiempo real quiere decir que el ordenador es capaz de captar la actividad de entrada del usuario y realizar un cambio instantáneo en el mundo virtual. De esta manera quien esté utilizando el simulador, verá reflejados en la pantalla los cambios captados de acuerdo a los comandos que haya realizado. (Burdea & Coiffet, 2003)

### **2.2.2.2. Realidad Aumentada (RA)**

La RA es una variante de la RV, en este caso objetos virtuales y reales son mostrados a la vista del operador simultáneamente, la imagen virtual o artificial esta sobrepuesta sobre una imagen del mundo real. Crear un software adecuado para RA es una tarea complicada, pues se requiere un modelo completo tanto del mundo real como del mundo sintético. (Durlach & Mavor, 1995)

Los proyectos generados para RA se destinan generalmente a la portabilidad puesto que el usuario tiene que localizarse en el lugar del mundo real donde se desarrollará la tarea de RA. Por lo tanto, los dispositivos dedicados para RA deben tener un sistema autónomo integrado por un generador de escena, un HMD (Head Mounted Display o gafas de realidad virtual) y un sistema de seguimiento; además de tener una buena resistencia para estar expuesto al medio ambiente. (Azuma, 1997)

En la RA se ha enfocado a aplicar más sentidos además de la vista. La RA se ha extendido usando un sistema de sonido. Los sistemas de RA han sido equipados con auriculares y micrófonos en el exterior, así el usuario puede percibir sonidos 3D direccionados hacia los auriculares, mientras que los micrófonos recogen sonidos provenientes del ambiente real. (Azuma, 1997)

### **2.2.2.3. Virtualidad Aumentada (VA)**

En el caso de VA el concepto se acerca más a un ambiente completamente virtual, los aspectos de inmersión y realismo tienden a ser más importantes. En los ambientes de VA se incluye la participación de objetos reales introducidos en el ambiente virtual.

En algunos proyectos desarrollados con VA se han probado colocando fotos o videos del mundo real en un entorno virtual, lo que ha permitido elevar el nivel de realismo en dichos entornos. Además, que el usuario puede interactuar con objetos virtuales disponibles a su alrededor, este puede ser espectador de ambientaciones realistas implementadas con imágenes triadas del exterior. Podemos presenciar este tipo de VA cuando a través de un espacio virtual se pasan mediante videos y fotos hechos cronológicos de la historia.

En otro proyecto se ha utilizado la VA para generar una videoconferencia mucho más dinámica e inmersiva. Se ha diseñado un espacio virtual interactivo con una serie de objetos virtuales, en este escenario se proyectará la imagen real de los participantes de la video conferencia. Esta imagen es recogida a través de una webcam procesada e incluida en el entorno virtual. Así los participantes pasarán de una simple imagen en 2D a ser parte de un entorno total en 3D y a tener una videoconferencia mucho más interesante y recreativa. (H. Regembrecht, 2004)

### **2.2.3. Daño Cerebral Adquirido (DCA)**

El DCA se desarrolla después de haber sufrido una lesión de cualquier etiología que ha afectado de manera aguda a las estructuras cerebrales. Se presentan en personas que no habían tenido ningún tipo de daño previo y les causará un deterioro neurológico permanente de acuerdo a la lesión recibida, lo que compromete su capacidad funcional y su calidad de vida.

El DCA no es un síndrome clínico definido, sus causas son diversas y su afectación a las funciones del cerebro pueden ser una o varias y con distintos grados de gravedad.

#### **2.2.4. Causas del DCA**

Pueden existir diversas causas para que se produzca un DCA que condicione al cerebro y produzca diferentes discapacidades al individuo. Las causas principales y más comunes tenemos las siguientes:

##### **2.2.4.1. Traumatismo Craneoencefálico (TCE)**

El TCE puede ser causado debido a un grupo de factores que condicionen el cerebro después como haber recibido una fuerza externa, un impacto directo, un movimiento brusco del cerebro, al introducir un objeto extraño en el cráneo o por ondas de choque generadas por una explosión. El TCE produce reducción de conciencia y las facultades cognitivas, físicas y/o emocionales. (Nisa, 2015)

Una consecuencia del TCE es la pérdida de conciencia; su duración y grado está determinado por la gravedad del traumatismo. Después de que el paciente haya recuperado la conciencia y orientación, la mayoría se diagnostica con secuelas físicas, cognitivas y de comportamiento, dependiendo de la extensión y el área del cerebro afectada, además de los niveles de inteligencia y la personalidad que tenía el paciente antes del trauma. Debido a esto los problemas cognitivos más notorios se presentan en la regulación y control de la conducta, complicaciones en la abstracción de información y resolución de problemas, dificultades en el aprendizaje y memoria, así como también problemas de personalidad y emocionales. Las alteraciones físicas comprenden trastornos motores y/o sensoriales. (Nisa, 2015)

Un TCE se puede dar según dos tipos de proceso: una lesión primaria, la cual es causada por el impacto y lesiones secundarias, que se dan a causa de las complicaciones locales.

Dentro de las lesiones primarias podemos distinguir:

- Lesiones abiertas: En este tipo de lesiones se dan cuando un objeto fractura el cráneo, penetra en el cerebro y lesiona el tejido cerebral de forma instantánea.
- Lesiones cerradas: Este tipo de lesiones se producen cuando las conexiones nerviosas se ven afectadas a causa de un movimiento brusco del cerebro, debido a un golpe o impacto. En este caso el cerebro se ve violentamente sacudido a manera de contragolpe, impactando el cerebro dentro las cavidades craneales. Este movimiento genera normalmente lesiones en los lóbulos frontales, en el lóbulo occipital y en los temporales. En el interior de cráneo se genera una fuerza rotacional que afecta a los axones de las neuronas, alterando la comunicación entre las distintas áreas cerebrales; se le denomina daño axonal difuso. (Nisa, 2015)

Las lesiones secundarias se dan tiempo después del accidente. Por lo tanto las acciones médicas deben dirigir su atención a prevenir y tratar las consecuencias posteriores que se dan a causa de la lesión primaria. Entre las lesiones secundarias destacan: hemorragias, edema cerebral, hipoxias, infecciones, aumento de la presión intracraneal, hidrocefalias.

#### **2.2.4.2. Ictus**

El ictus es la afectación de los vasos sanguíneos encargados de llevar la sangre hacia el cerebro debido a una enfermedad cerebrovascular. En el momento en el que un vaso sanguíneo sufre una ruptura o es obstruido por un coagulo se produce un ictus. A causa del ictus el cerebro no cuenta con el flujo sanguíneo necesario. Debido a esto las células nerviosas que se encuentran en el área del cerebro afectada no reciben oxígeno, en consecuencia pierden su funcionalidad y después de unos minutos mueren. (DMedicina, 2015)

Los síntomas en caso de que el ictus afectara el lado izquierdo del cerebro se presentan en la parte derecha del cuerpo y pueden ser los siguientes:

- Parálisis del lado derecho del cuerpo.
- Problemas del habla o del lenguaje.
- Estilo de comportamiento cauto, enlentecido.
- Pérdida de memoria.

En el caso en el que el ictus afecte el lado derecho del cerebro, se verá afectada la parte izquierda del cuerpo con los siguientes problemas:

- Parálisis del lado izquierdo del cuerpo.
- Problemas en la visión.
- Comportamiento inquisitivo, acelerado.
- Pérdida de memoria.

#### **2.2.4.3. Encefalopatía Hipóxica**

Hipoxia cerebral, encefalopatía hipóxica o encefalopatía anóxica se presenta cuando la cantidad de oxígeno que llega al cerebro es insuficiente. La contrariedad se da debido a que el cerebro necesita una cantidad constante de oxígeno y nutrientes para tener un correcto funcionamiento. (DAM, 2017)

Los pacientes con encefalopatía hipóxica presentan síntomas de la hipoxia cerebral abarcan: Distracción, agnosia, descoordinación en los movimientos.

En el caso de que los síntomas de la hipoxia cerebral sean severos se puede presentar: Estado de inconsciencia y falta de reacción total, ausencia de respiración, ausencia de respuesta de la pupila ante la luz.

Las causas de la hipoxia cerebral pueden ser: Inhalación de humo, Intoxicación de CO, asfixia, Impedimento del movimiento de los músculos respiratorios, afectaciones en la tráquea, sofocamiento.

Las células que se encuentran en el cerebro tienen una sensibilidad extrema a la falta de oxígeno. Después de la interrupción del suministro de oxígeno las células van muriendo al cabo de cinco minutos. En consecuencia, de una hipoxia cerebral, se puede dar la muerte del paciente o presentar daño cerebral grave de forma rápida. (DAM, 2017)

### **2.2.5. Consecuencias del DCA**

A causa del DCA se puede producir una gran número de discapacidades, entre las más comunes y que se presenta con mayor índice en los pacientes son las discapacidades: visuales, auditivas, comunicación, aprendizaje y aplicación del conocimiento, movilidad, autocuidado, vida doméstica e interacciones personales.

### **2.2.6. Discapacidad Motora**

Una discapacidad motora se presenta en el momento en que se ven afectadas las motoneuronas superior e inferior.

La motoneurona superior se encuentra localizada en la corteza cerebral y extiende axones que forma la vía piramidal, los cuales siguen hasta las pirámides bulbares y se conectan a la médula. Cuando se lesiona la motoneurona superior se produce parálisis espástica, en esta se presentan síntomas como: músculos muy tensos y contraídos, articulaciones rígidas, debilidad muscular y marcha anormal. (RGS, 2016)

La motoneurona inferior se localiza en la asta anterior de la médula. Controla varias fibras musculares, que nos facultan para observar sucesos como las fasciculaciones. Las fasciculaciones son contracciones musculares involuntarias, en estas se reúnen algunas unidades motoras, por lo que es raro que produzcan movimiento de miembros. Si se lesiona la motoneurona inferior se puede producir parálisis flácida, la cual produce hipotonía muscular, abolición de reflejos tendinosos y cutáneos. (RGS, 2016)

Cuando se encuentra comprometida una motoneurona hay que saber que solo existirán síntomas motores y si hay síntomas sensitivos, cerebelosos u otros serán a causa de lesiones añadidas a las de las motoneuronas.

### **2.2.7. Motricidad Fina**

En la motricidad fina intervienen un conjunto de músculos, huesos y nervios que se utilizan para producir movimientos pequeños y precisos. El levantar un objeto utilizando los dedos índice y pulgar es una actividad en la que interviene la motricidad fina.

Los músculos de motricidad fina están en la vía espinotalámica lateral anterior, son los que conducen la motricidad fina, está dada por los músculos que permiten realizar acciones específicas como tomar un esfero para escribir, por otro lado cuando se hace un movimiento extenso con la extremidad superior como es agitar el brazo para saludar o la actividad de caminar, se utiliza el conjunto de músculos pertenecientes a la motricidad gruesa. (MedilinePlus, 2015)

Para determinar la edad de desarrollo de los niños, se utiliza el nivel de control de motricidad fina. Cuando se les enseña a los infantes las actividades que implican el control de motricidad fina, ellos desarrollan este tipo de destrezas. Los niños en la práctica de estas actividades necesitan: conocimiento y planeación, coordinación, fuerza muscular, sensibilidad normal. (MedilinePlus, 2015)

Cuando el sistema nervioso funciona de manera correcta se pueden realizar las siguientes tareas: recortar formas con tijeras, dibujar líneas o círculos, doblar ropa, sostener y escribir con un lápiz, apilar bloques y cerrar una cremallera.

### **2.2.8. Rehabilitación**

La rehabilitación mediante el tratamiento y diagnóstico de los problemas de salud permite elevar el nivel funcional de un paciente. La rehabilitación física y funcional se aplica en pacientes con deficiencias e incapacidades, estas pueden presentarse de forma temporal o permanente. La rehabilitación tiene el propósito de restituir o compensar la pérdida funcional para mejorar la interacción con el entorno, y de prevenir o reducir el deterioro funcional. Para cumplir con este propósito al paciente se le indica ejercicios y al mismo tiempo se le aconseja e instruye, también se le da ayuda técnica y se hace adaptaciones con el entorno.

### **2.2.9. Rehabilitación motora tradicional**

La rehabilitación es un proceso educativo hecho para disminuir y controlar la discapacidad y la minusvalía experimentadas como resultado de una enfermedad o lesión.

La rehabilitación está definida por el concepto de un conjunto de procedimientos para generar cambios activos por los cuales una persona con discapacidades adquiere los conocimientos y destrezas necesarias para una funcionalidad óptima en el aspecto físico, psicológico y social. (Pérez, 2014)

Los criterios de inclusión que debe tener un rehabilitador al momento de seleccionar un paciente con DCA son los siguientes: el deterioro físico y cognitivo (incluyendo alteraciones del lenguaje), edad, situación funcional previa, pronóstico funcional y situación sociofamiliar.

En pacientes con DCA las discapacidades cognitivas más frecuentes son: problemas de atención, velocidad de procesamiento a la hora de resolver problemas, dificultades de aprendizaje y organización, problemas de juicio, de percepción visual, desorientación, dificultades para comer y cambios en el comportamiento. (Pérez, 2014)

En el caso de las discapacidades motoras más comunes en este tipo de pacientes son: deficiencias en el control postural, alteraciones del equilibrio, movilidad y funcionalidad en las extremidades superiores e inferiores.

Los pacientes con DCA pasan por dos fases después de producirse la lesión:

1. La fase de hospitalización, con un promedio de duración de tres meses, donde normalmente se somete al paciente a tratamientos quirúrgicos y a fases tempranas de rehabilitación, antes de ser transferido a una unidad especializada en lesiones cerebrales.
2. Fase de rehabilitación ambulatoria, con un promedio de duración de uno a dos años. El periodo de duración depende de la edad del paciente, de la gravedad de la lesión y el nivel de discapacidad residual. (Pérez, 2014)

#### **2.2.10. Rehabilitación virtual motora**

Las tecnologías emergentes como pueden ser la Rehabilitación Virtual Motora (RVM) generan nuevas características que se pueden utilizar en la Rehabilitación Tradicional. Muchos estudios previos han mostrado las ventajas que proporcionan estos sistemas en la Rehabilitación Tradicional. La RVM se basa por lo general en un enfoque lúdico, el cual involucra a los pacientes y reduce el grado de aburrimiento, elevando la motivación y adherencia al tratamiento. Otra importante ventaja que ofrecen los sistemas de RVM es la localización de ciertas zonas del cuerpo del paciente en tiempo real, o también la localización de su Centro de Presión. Adquirir este tipo de información permite hacer el ajuste específico para cada uno de los pacientes, que utilizan los sistemas de RVM en tiempo real. Incluso, estos datos pueden ser almacenados, para ser utilizados en análisis posteriores y así hacer una evaluación de la progresión de los pacientes. (Pérez, 2014)

La nueva tecnología originalmente diseñada para consolas de videojuegos hoy en día ofrece nuevas e interesantes posibilidades dentro de las terapias de Rehabilitación Virtual.

### 2.2.11. Escala de ASWRTH 1+

La Escala ASWRTH 1+ o escala de Ashworth modificada, es usada en el área de fisioterapia para determinar y medir los niveles de espasticidad y obtener criterios de inclusión o exclusión de pacientes, lo que determinará si son aptos o no para participar en un proceso rehabilitación motora. El análisis de los niveles de espasticidad va de acuerdo a la siguiente tabla: (Carolina Arturo Agredo, 2005)

**Tabla 1**

#### **Escala de ASWRTH 1+**

Escala de ASWRTH 1+	Niveles
No hay cambios en la respuesta del músculo en los movimientos de flexión o extensión.	0
Ligero aumento en la respuesta del músculo al movimiento (flexión ó extensión) visible con la palpación o relajación, o solo mínima resistencia al final del arco del movimiento.	1
Ligero aumento en la resistencia del músculo al movimiento en flexión o extensión seguido de una mínima resistencia en todo el resto del arco de movimiento (menos de la mitad).	2
Notable incremento en la resistencia del músculo durante la mayor parte del arco de movimiento articular, pero la articulación se mueve fácilmente.	3
Marcado incremento en la resistencia del músculo; el movimiento pasivo es difícil en la flexión o extensión.	4
Las partes afectadas están rígidas en flexión o extensión cuando se mueven pasivamente	5

*Fuente:* (Carolina Arturo Agredo, 2005)

## 2.2.12. Sistemas de Tracking

Un Sistema de Tracking está compuesto de aquellos dispositivos que permite recoger y dar seguimiento a variables generadas por el movimiento o actividad de un objeto o usuario. Después de adquirir estas variables del exterior, estos dispositivos dan la posibilidad de digitalizar esta información y utilizarla en la creación de diversas aplicaciones y sistemas.

Entre algunos de estos dispositivos se puede nombrar los siguientes:

### 2.2.12.1. Iotracker

Como resultado de este dispositivo se obtuvo como conclusión, que el uso de elementos de retroalimentación es muy importante dentro de cualquier proceso terapéutico pues se observó una respuesta más rápida por parte del usuario. (Sergio Albiol, 2010) (Pita, 2014)



**Figura 1: Arquitectura Sistema iotracker**

*Fuente:* (Iotracker, 2005)

### 2.2.12.2. Wii Balance Board™

Se trata de un dispositivo que puede calcular la presión que se ejerce sobre este a través de su superficie, detectando movimientos como: realizar transferencias de peso, presiones, inclinar el cuerpo, girar las caderas, etc. (Board, s.f.)



**Figura 2: Dispositivo Wii Balance Board™.**

Fuente: (Ddeco, s.f.)

Los resultados obtenidos Con Wii Balanced Board reflejaron un incremento significativo en el equilibrio de los pacientes en comparación con los procesos de rehabilitación tradicional. (Lloréns R., 2012) Se consiguió obtener resultados que reflejaban un incremento en el control de la postura en pacientes con trastornos. (Albiol S., 2012.) (Pita, 2014) Con otro sistema después de un periodo de entrenamiento, estudios preliminares mostraron una mejora en el equilibrio de pacientes con parálisis cerebral. (Kachmar O., 2012)

### **2.2.12.3. Dance Mat**

Es un dispositivo con receptores sensitivos al contacto de los pies, creado para el entretenimiento. Se implementó un sistema se compone de una aplicación para el paciente, que se instala en un ordenador del hogar. Con esta aplicación se tuvieron resultados mostraron una pequeña mejoría del equilibrio en los pacientes que siguieron el periodo de dos semanas de ejercicios. (Kozyavkin V., 2013).



**Figura 3: Dispositivo Dance Mat.**

Fuente: (PiaCarrot, s.f.)

#### 2.2.12.4. Fastrack®

En estudios con este dispositivo el terapeuta tiene la posibilidad de crear numerosos ejercicios sobre entornos virtuales. Los resultados del estudio realizado sobre pacientes con DCA reflejaron una mejoría en sus habilidades motrices, por lo tanto esto sugieren que la realidad virtual puede actuar en la mejora de la cinemática y la funcionalidad, parámetros que están vinculados a aumentos significativos en la velocidad de deambulaci3n. (Luque-Moreno C., 2014)



**Figura 4. Dispositivo Fastrak.**

Fuente: (Fastrak, 2017)

#### 2.2.12.5. Codamotion

Se han hecho investigaciones de comparaci3n entre un dispositivo de tracking y Codamotion. Estos son capaces de estimar las posiciones de mu1ecas, codos y hombros de manera fiable. Por lo que se determina que este dispositivo ser3a 3ptimo en su utilizaci3n como entrada de datos para un sistema de rehabilitaci3n virtual. (Zhou H., 2007)



**Figura 5: Unidad central Codamotion.**

Fuente: (Codamotion, 2015)

### 2.2.12.6. EyeToy®

El estudio realizado con este dispositivo, concluye que debido a su bajo coste y a su simplicidad técnica, es un dispositivo apropiado para ayudar en un proceso de rehabilitación desde casa. (Rand D. K. R., 2008).



**Figura 6: Dispositivo EyeToy®.**

Fuente: (Pape, 2014)

### 2.2.12.7. Microsoft® Kinect®

Se realizaron varios estudios para validar la efectividad de este dispositivo en Rehabilitación. Se presentaron sistemas que utilizan la potencia de la realidad virtual para ofrecer a los pacientes una manera intuitiva y motivante para realizar los ejercicios de rehabilitación. (Lozano-Quilis J., 2013) Los resultados mostraron que Kinect® podía lograr un rendimiento competitivo, proporcionando además la posibilidad de la implantación de su uso tanto en clínicas como en los hogares de los pacientes. (Chien-Yen C., 2012) Además se demostró la fiabilidad de utilizar este tipo de sistemas para mejorar la funcionalidad de las extremidades superiores tras un ACV. (Kizony R., 2013)



**Figura 7: Microsoft® Kinect®**

Fuente: (Pita, 2014)

Se utilizó Kinect con el objetivo optimizar las sesiones terapéuticas y también mejorar la calidad de los datos recogidos durante el tiempo de juego o ejercicio. (Omelina L., 2014) Otra investigación concluyó que al momento de trabajar en entornos clínicos se debe tomar en cuenta el error en el seguimiento de movimientos de Kinect®. (Tao G., 2013) En otro trabajo un especialista clínico puede desarrollar de manera sencilla ejercicios de juego para la rehabilitación desde casa o en el mismo centro terapéutico. (Huber M., 2013)

#### **2.2.12.8. WebCam**

Se ha desarrollado un sistema de interacción para que el paciente acuda una vez a la semana al centro de rehabilitación y el resto de la semana haga ejercicios desde su casa, supervisados por el terapeuta a través de esta herramienta. (Eguiluz-Perez G., 2014)



**Figura 8: Dispositivo Webcam.**

Fuente: *(Commons, Wikimedia, 2008)*

#### **2.2.12.9. Smartphone**

Se realizó un estudio con pacientes de ACV y una herramienta interactiva, se concluyó que la diferencia entre los datos medidos por el Smartphone y las reales estaban dentro de los límites aceptables. Por medio de pruebas de usabilidad se demostró la aplicabilidad y el potencial motivacional de los juegos desarrollados. **(Ferreira C., 2014)**



**Figura 9: Smartphone**

Fuente: (Commons, 2016)

#### **2.2.12.10. DataGlove**

Este dispositivo es muy utilizado en la investigación y realización de ejercicios de RVM. Se ha desarrollado un sistema que permite a los pacientes con DCA moverse por un EV, en donde podían interactuar con objetos virtuales. Además de los DataGloves se utilizó sensores electromagnéticos desarrollados por la empresa Ascension. (McNeill M., 2014)



**Figura 10: Dispositivo Data Glove**

Fuente: (Commons, 2017)

#### **2.2.11.12. iPad**

En un trabajo de investigación los estudios preliminares demostraron la posibilidad y utilidad de las aplicaciones para iPad en el proceso de rehabilitación de manos que tienen deficiencias motoras después de un ACV. (Rand D. S.-M. T., 2013)



**Figura 11: Dispositivo iPad Air**

Fuente: (Commons, 2016)

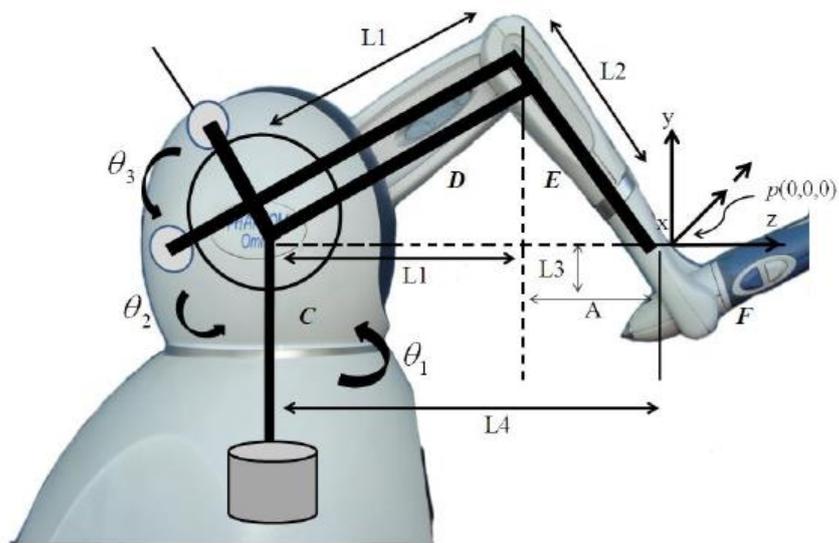
### **2.2.12. Dispositivos Hápticos**

Los Dispositivos Hápticos son aquellos dispositivos que realimentan una sensación táctil hacia el usuario, en respuesta a una acción externa. Los elementos que componen este tipo de dispositivos van desde simples vibradores hasta sistemas más complejos que se implementan con una serie de sensores y servomotores. Normalmente estos dispositivos son utilizados en operaciones remotas en donde el usuario requiere la información de un entorno al que no puede acceder físicamente. La aplicabilidad de estos dispositivos se ha extendido a ser utilizados en la investigación para realizar tareas como el control de robots, detección de colisiones, formar y evaluar habilidades, rehabilitación, nanomanipulación, diseño 3D, entretenimiento y realidad virtual entre otras.

### **2.2.13. Dispositivos Hápticos en la Rehabilitación**

Los Dispositivos Hápticos han incursionado en numerosos proyectos enfocados a la rehabilitación.

Se hizo un estudio en donde se puede verificar el modelado cinemático y dinámico de un Dispositivo Háptico comprobando su efectividad al momento de realizar movimientos en tres dimensiones y manejar cargas por medio de su realimentación de fuerzas. (Alejandro Jaramillo-Silva, 2009)



**Figura 12: Modelado Cinemático.**

Fuente: (Alejandro Jaramillo-Silva, 2009)

Se evaluó la característica de realimentación de fuerzas de un dispositivo háptico a través de la ejecución de tareas virtuales que disponían de una gran realimentación hacia el sentido del tacto. Mediante la manipulación de la herramienta háptica el usuario puede sentir las texturas, formas y pesos que se le presenta en la interfaz virtual. (Sung Min Kim, 2014)



**Figura 13: Prueba de sensaciones hápticas con interfaz virtual**

Fuente: (Sung Min Kim, 2014)

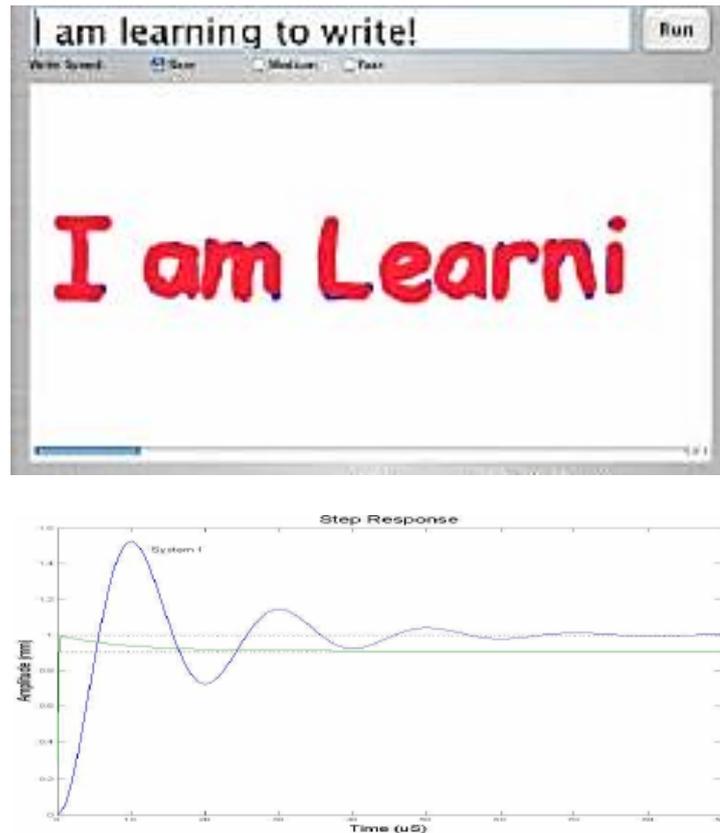
Se utilizó una herramienta háptica y un ambiente virtual que simula actividades de la vida diaria, en donde se puso a prueba la precisión del dispositivo para realizar las actividades propuestas y la sensación que proporciona a través de la realimentación de fuerzas. Se concluyó que este tipo de ambientes generan una mayor motivación sobre los usuarios. (L.D Lledo, 2014)



**Figura 14: Ambiente Virtual Enfocada en Actividades de la Vida Diaria**

Fuente: (L.D Lledo, 2014)

Se implementó un sistema Virtual para la rehabilitación de pacientes con Accidente Cerebro Vascular ACV, en donde se desarrolló un controlador PID para dirigir el dispositivo háptico en la simulación de movimientos de escritura. Con este experimento se verificó que el dispositivo tiene una respuesta aceptable al momento de seguir una consigna definida. (James Mullins, 2006)



**Figura 15: Respuesta del controlador PID después de realizar la tarea**

Fuente: (James Mullins, 2006)

#### 2.2.14. Geomagic Touch

El dispositivo háptico Geomagic Touch proporciona una auténtica navegación tridimensional y retroalimentación de fuerzas, integrando así el sentido del tacto a este sistema. Principalmente es utilizado en Diseño 3D en aplicaciones comerciales y de investigación. El dispositivo háptico Geomagic Touch puede medir de forma precisa la posición espacial 3D en los ejes X, Y, Z y la orientación de su manipulador en forma de lápiz. Este dispositivo utiliza motores para crear las fuerzas de retorno hacia la mano del usuario y así simula el tacto y la interacción con objetos virtuales.



**Figura 16: Geomagic Touch**

Fuente: (Systems, 2017)

### **2.2.15. Características Geomagic Touch**

El Dispositivo Háptico Geomagic Touch cuenta con las siguientes características:

- Portabilidad y tamaño compacto.
- Encoders digitales para sensor la posición del manipulador en 6 grados de libertad.
- Servomotores para realimentación de fuerzas en 3 grados de libertad.
- Comunicación serial para puerto USB con adaptador Ethernet para conector Rj45.
- Diseño ergonómico para la comodidad del usuario.
- Es compatible con las herramientas OpenHaptics y microAPI QuickHaptics.
- Está compuesto de partes metálicas y plásticas moldeadas por inyección.
- Cumple con la normativa de la CE.

### 2.2.16. Test SUS

El Test SUS o conocido también como la escala de usabilidad del sistema fue elaborado por Jhon Brooke en el año de 1996 con el propósito de validar servicios y productos considerando que estos se ven ligados estrechamente al hardware, software, aplicaciones, dispositivos móviles, etc. Esta herramienta a más de ser simple y precisa, es aplicable para la evaluación de cualquier tipo de sistema y se ha convertido en la preferida por muchos investigadores por más de 30 años lo que le proporciona mayor confiabilidad en este tipo de test al momento de determinar la aceptación que una aplicación puede alcanzar dentro del mercado.

Este test está conformado por 10 preguntas que permiten determinar si el consumidor está totalmente de acuerdo o no con la utilización del nuevo instrumento con una escala del 0 al 100 %. Además que para el uso de este prueba se debe tener en cuenta la presente consideración que establece que la evaluación debe hacerse una vez después de haber sido probado el sistema y antes de que se genere algún tipo discusión o informe relevante al tema analizado.

El test consta de 10 preguntas como se ve a continuación:

1. Pienso que me agradaría usar este sistema con frecuencia.
2. El sistema me pareció innecesariamente complejo.
3. Me pareció que el sistema era fácil de usar.
4. Creo que necesitaría el apoyo de una persona conocedora para poder usar este sistema.
5. Encontré que las funciones de este sistema estaban bien integradas.
6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
7. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente.
8. He encontrado el sistema muy engorroso de usar.
9. Me sentí muy confiado usando el sistema.
10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de poder seguir adelante con este sistema.

### 2.2.17. Ponderaciones del Test SUS

La escala con la que se trabaja en este tipo de evaluaciones es la de estilo Likert con ponderación de 1 al 5.

1	2	3	4	5

La ponderación implica que 1 representa la calificación más baja y 5 aquella calificación que posee mayor aceptación, mirar la tabla 2.

**Tabla 2**

#### Ponderación SUS

Ponderación	Significado
1	Desacuerdo en forma total el sistema no me parece interesante.
2	El sistema no me parece interesante estoy en desacuerdo
3	El sistema no me agrada (acuerdo) pero tampoco me desagrada (desacuerdo).
4	El sistema esta interesante por lo que considero que lo probaría (acuerdo)
5	Totalmente de acuerdo el sistema es muy interesante.

Hay que tener en cuenta que si el usuario no desea contestar alguna de estas preguntas, el evaluador deberá asignar el valor central de la escala a dicho ítem.

### 2.2.18. Interpretación de los resultados sus

Para determinar el resultado de la prueba se debe seguir la siguiente secuencia de pasos:

1. Sumar las ponderaciones de cada ítem teniendo en cuenta que si el ítem es impar (1, 3, 5, 7 y 9), la contribución estaría dada por la posición de la escala menos uno, y para el caso que el ítem sea par (2, 4, 6, 8 y 10), la contribución vendría a ser cinco menos la posición en la escala.
2. Multiplicar la sumatoria de los resultados por un valor de 2,5 para de esta forma conseguir el valor general.
3. Verificar que el valor resultante este entre el rango de 0 a 100.

Para que un sistema responda a una usabilidad aceptable el promedio general debe ser superior a una puntuación de 68.

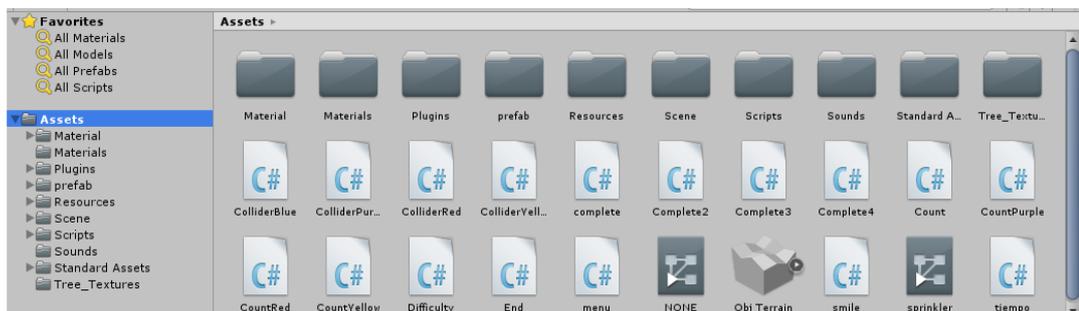
### 2.2.19. Unity 3D

Unity 3D es una herramienta de software o también conocida como motor gráfico de desarrollo, para la creación de juegos y contenidos 3D interactivos. Este software tiene la característica de ofrecer innumerables funcionalidades para facilitar el desarrollo de videojuegos, aplicaciones interactivas en las ramas de la medicina, ingeniería, etc. Unity 3D es multi-plataforma compatible con equipos como: PC, Mac, Flash, xBox, PS2/3/4, Android, PSVita e iPhone.

Una de las funcionalidades que Unity 3D provee es un editor visual muy útil y completo mediante el cual, por simples desplazamientos del mouse podremos importar nuestros modelos 3D, texturas, sonidos, etc. para después ir trabajando con ellos. Además incluye la herramienta de desarrollo MonoDevelop con la que se crea scripts en JavaScript, C# y un dialecto de Python conocido como Boo con los que extender la funcionalidad del editor, utilizando las API que provee y la cual encontramos documentada junto a tutoriales y recursos en su web oficial. (documentation, 2017)

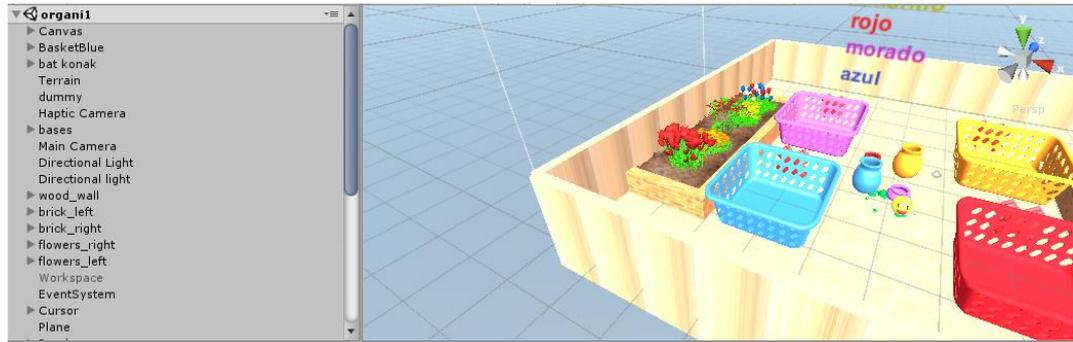
Entre las herramientas que proporciona este software tenemos las siguientes:

- **Assets.-** Esta herramienta se encuentra en la parte inferior izquierda del programa, mediante el cual permite visualizar y organizar cualquier ítem que se vaya a utilizar en la aplicación a desarrollar. Estos ítems pueden ser de tipo imagen, sonido o cualquier otro archivo creado fuera de Unity pero que sean compatibles con la herramienta. Por supuesto, también cuentan con archivos propios de Unity tales como: tipos de escenas, Animator Controller, Audio Mixer, Render Texture, etc. (documentation, 2017)



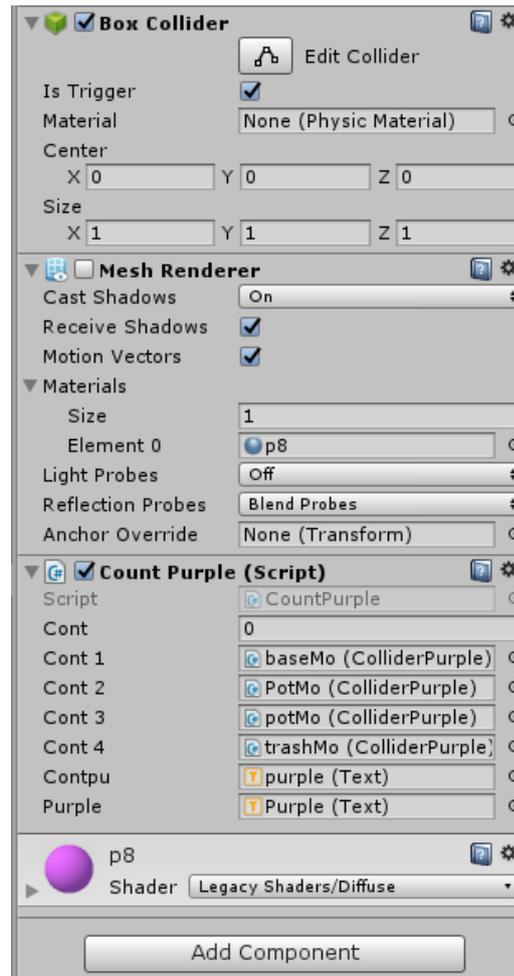
**Figura 17 Herramienta Assets**

- **Game Objects.-** Es la principal característica que cuenta Unity. Cada objeto en la aplicación es considerado un GameObject, por supuesto este no cuenta con una forma que se pueda visualizar y realizar una actividad por sí mismo. Por esta razón un GameObject necesita de una propiedad adicional tal como un personaje, un ambiente o un efecto especial para que pueda tener sentido el objeto. Una de las ventajas de utilizar estos GameObjects es que son considerados contenedores, los cuales permiten almacenar cualquier tipo de piezas de un personaje o ambiente que el programador requiera. (documentation, 2017)



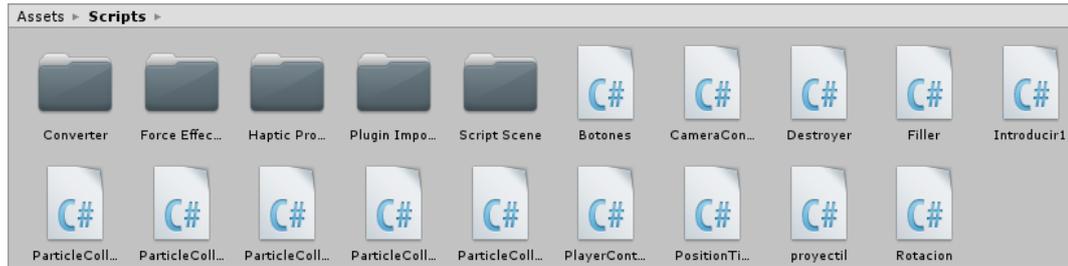
**Figura 18 Game Objets**

- **Components.-** Son considerados como las piezas o tornillos que dan funcionalidad a los GameObjects. Estos componentes pueden ser de tipo físicas, de scripts, transform, etc., esto dependerá de que función proveerá al GameObjects. Muchos componentes son creados a partir de scripts utilizando diversos ítems de la herramienta de Assets. (documentation, 2017)



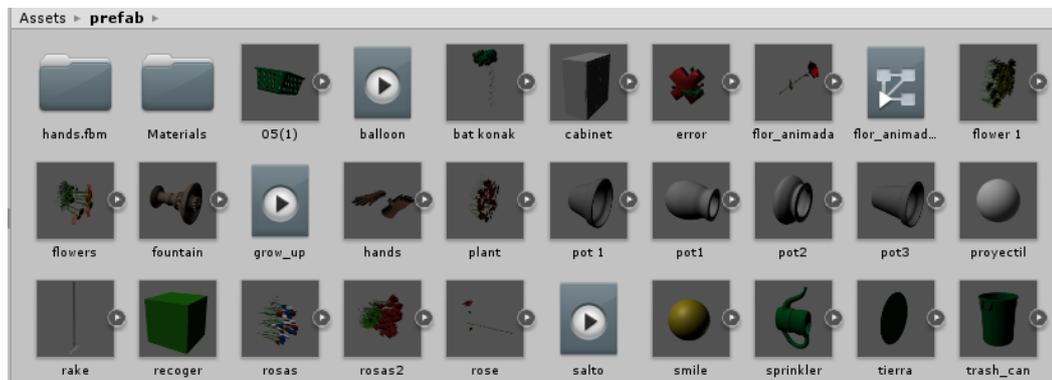
**Figura 19 Componentes de un Game Object**

- **Scripts.-** Esta herramienta es parte fundamental, esto se debe a que proporciona la activación de eventos dentro de la aplicación, modificar propiedades del Componente en el tiempo y responder al input del usuario de la forma que usted quiera. En si los scripts dan la funcionalidad a cada una de las aplicaciones que se desarrollen. Por lo general Unity soporta lenguajes tales como C# o también conocido C-sharp, mediante lenguajes estándar como java y C++, y el UnityScript, un lenguaje diseñado específicamente para uso con Unity y modelado tras JavaScript. (documentation, 2017)



**Figura 20 Scripts Almacenados**

- **Prefabs.-** Permite almacenar objetos o componentes con las mismas propiedades y características de los mismos, los cuales pueden ser utilizados en diversos puntos de los escenarios. (documentation, 2017)



**Figura 21 Prefabs Almacenados**

### **2.3. Variables de la investigación**

#### **2.3.1. Variable Independiente**

Diseño de una herramienta de rehabilitación virtual motora fina.

#### **2.3.2. Variable Dependiente**

Rehabilitación de pacientes con daño cerebral adquirido.

### **2.4. Hipótesis**

La implementación de una herramienta virtual permitirá la rehabilitación de pacientes con Daño Cerebral Adquirido.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO**

#### **3.1. Caracterización**

El sistema de rehabilitación virtual para pacientes con Daño Cerebral Adquirido se desarrolla en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, y se evaluará en el área de rehabilitación física del Hospital del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) de la ciudad de Latacunga, mediante la ayuda de un especialista que valorará mediante pruebas clínicas los beneficios que provee el sistema de rehabilitación a los pacientes.

Como primer punto a realizar, se realiza una investigación a profundidad sobre el Daño Cerebral Adquirido, obteniendo antecedentes de esta, y accediendo a información detallada de los ejercicios que incluye el Daño Cerebral Adquirido. Esto se llevará a cabo mediante la asistencia de diferentes sesiones de rehabilitación junto con el asesoramiento del profesional terapeuta, para determinar los diversos movimientos que pueden ser compatibles y desarrollables con el dispositivo Háptico GEOMAGIC TOUCH.

#### **3.2. Hardware del Sistema**

El sistema de rehabilitación analizado para pacientes con Daño Cerebral Adquirido se diseña para ser utilizado con un Dispositivo Háptico, el cual permita realizar los movimientos observados en las sesiones de rehabilitación. Por tal razón se selecciona el dispositivo GEOMAGIC TOUCH, donde el usuario visualizará la acción de los objetos en el entorno virtual mientras que manipula el Dispositivo Háptico, dando movimientos a los objetos que se encuentren en la aplicación. El Dispositivo Háptico GEOMAGIC TOUCH proporciona la realimentación de fuerza al sujeto que interactúa con el entorno virtual y traslada una sensación de presencia de los objetos al operador.

### 3.3. Integración de los movimientos de Rehabilitación con Geomagic Touch

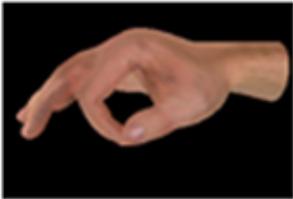
Para dar el correcto enfoque a la aplicación de rehabilitación se requiere conocer los movimientos de rehabilitación que se pueda ejecutar por medio de la manipulación del Dispositivo Háptico Geomagic Touch.

Después de investigar a fondo el funcionamiento del Geomagic Touch y teniendo en cuenta los ejercicios de rehabilitación previamente seleccionados con la ayuda del médico profesional, se compara los diferentes movimientos patrones y los ejercicios realizados por el paciente. A continuación, se muestra en la tabla 3 la comparación de los diferentes movimientos realizados por el paciente.

**Tabla 3**

#### ***Comparación de Ejercicios de Rehabilitación***

##### **CUADRO COMPARATIVO DE LOS MOVIMIENTOS**

TERAPEUTICOS	GEOMAGIC TOUCH
 <p data-bbox="485 1608 587 1648"><b>Pinza</b></p>	



Con la comparación de los movimientos realizados por el paciente en una terapia normal y los movimientos que utilizará mientras se manipula el dispositivo háptico, se pretende dar movimientos a los objetos virtuales que se encuentren en la aplicación. El Dispositivo Háptico GEOMAGIC TOUCH proporciona la realimentación de fuerza al sujeto que interactúa con el entorno virtual, este dispositivo dará una sensación de presencia de los objetos virtuales al operador.

Con esto obtenemos una combinación que formará el sistema de rehabilitación con el dispositivo Háptico, los ejercicios de rehabilitación y el software para la implementación del entorno virtual, además es necesario tener en cuenta un sistema de gestión de datos que brinde al paciente y al terapeuta el progreso de las sesiones mediante el registro de datos obtenidos posteriormente. No hay que olvidar que se utilizará un sistema de

configuración para el terapeuta, con esto obtenemos que el médico pueda configurar diversas funciones del entorno virtual.

### **3.4. Desarrollo de la interfaz**

El desarrollo de la interfaz del sistema de rehabilitación para personas con Daño Cerebral Adquirido implica la integración del Dispositivo Háptico Geomagic Touch, software de desarrollo Unity 3D, software de diseño Blender y el software compilador de código Visual Studio.

En primera instancia se analizan de forma individual, para que en el transcurso del proyecto sean vinculados entre sí, para obtener al final un prototipo de Rehabilitación Virtual que pueda trabajar de manera adecuada y en tiempo real.

Para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema propuesto, se elabora detalladamente el ambiente de Realidad Virtual que interactuará junto con el paciente en la ejecución de la tarea propuesta por el rehabilitador.

Las interfaces serán diseñadas de acuerdo a una actividad de la vida diaria. En el primer ambiente interactivo se mostrara un entorno que asemeja un jardín habitual con plantas, flores, masetas y objetos que normalmente se encuentran en este tipo de lugar. En el segundo entorno se presentará como una tarea de organización con vasijas virtuales que tendrán colores predefinidos y canastas con los mismos colores que serán el objetivo donde deben ser posicionados cada vasija.

Las interfaces estarán formadas por pantallas de bienvenida, configuraciones y menús de ingreso a los 2 juegos de Realidad Virtual, los mismos que son suficientemente intuitivos y amigables para el paciente, además que contará con un gestor de datos que le proporcionan al rehabilitador el seguimiento de la evolución del paciente, finalmente se elaborará el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema propuesto, como también la descripción completa del mismo.

Este tipo de aplicaciones serán diseñadas con el motivo de aumentar la inmersión de las mismas y captar la atención del usuario, para de esta forma motivarlo a realizar la rutina de ejercicios que se le propondrá.

### **3.4.1. Desarrollo del ambiente virtual**

La presente sección aborda la temática del desarrollo del sistema implementado el cual se basa en una arquitectura de interacción entre el paciente y el entorno de Realidad Virtual por medio de un Dispositivo Háptico que actúa como intermediario y que a través de un conjunto de escenarios pretenden rehabilitar los problemas dejados por el Daño Cerebral Adquirido a nivel leve o moderado, no obstante este sistema se implementa por niveles de dificultad que acorde con el estado del paciente y guiados por el terapeuta ayuden a estimular la función mecánica de la moto neurona superior que se encuentra lesionada.

#### **3.4.1.1. Diseño de Objetos Virtuales**

Para el diseño del ambiente de Realidad Virtual se debe ubicar cada uno de los objetos 3D que serán vinculados en la terapia como por ejemplo las flores, macetas, canastas, entre otros; estos objetos serán construidos en el software de diseño Blender, puesto que este es uno de los software que tienen la finalidad crear texturas, mallas, renderizado y color, que le proporcionan un mayor realismo al ambiente virtual, además de tener la característica de exportar archivos de extensión .fbx que son compatibles con el motor gráfico Unity 3D.

A continuación, se puede observar los objetos virtuales diseñados para la ambientación de la interfaz de Jardinería. Los mismos pasaron por un proceso de construcción de malla y modelado a partir de figuras básicas como el cubo, para al final obtener un objeto tridimensional llamativo a la vista del usuario.

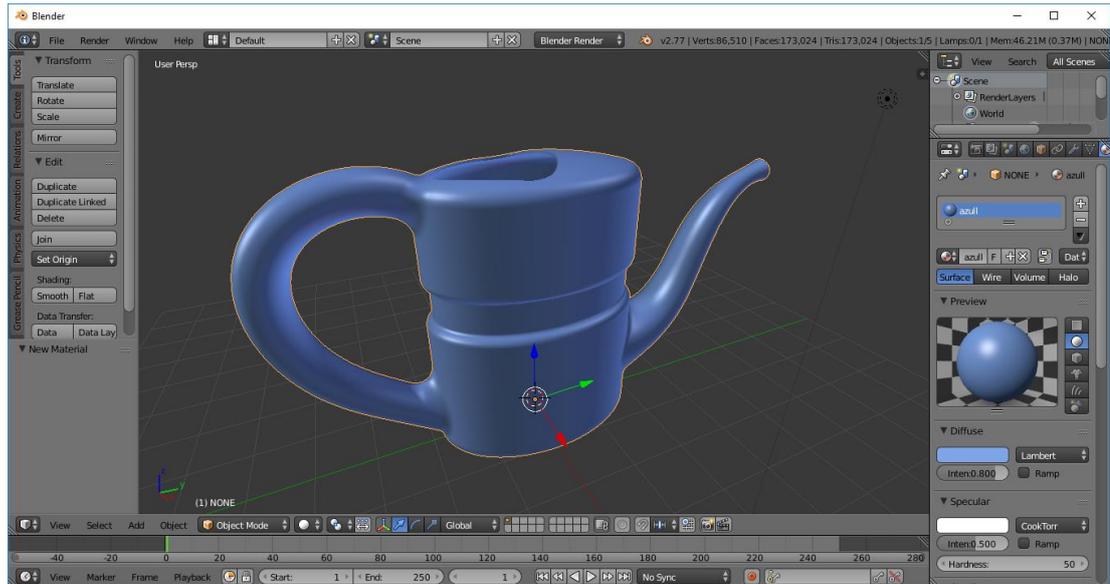


Figura 22 Diseño Regadera

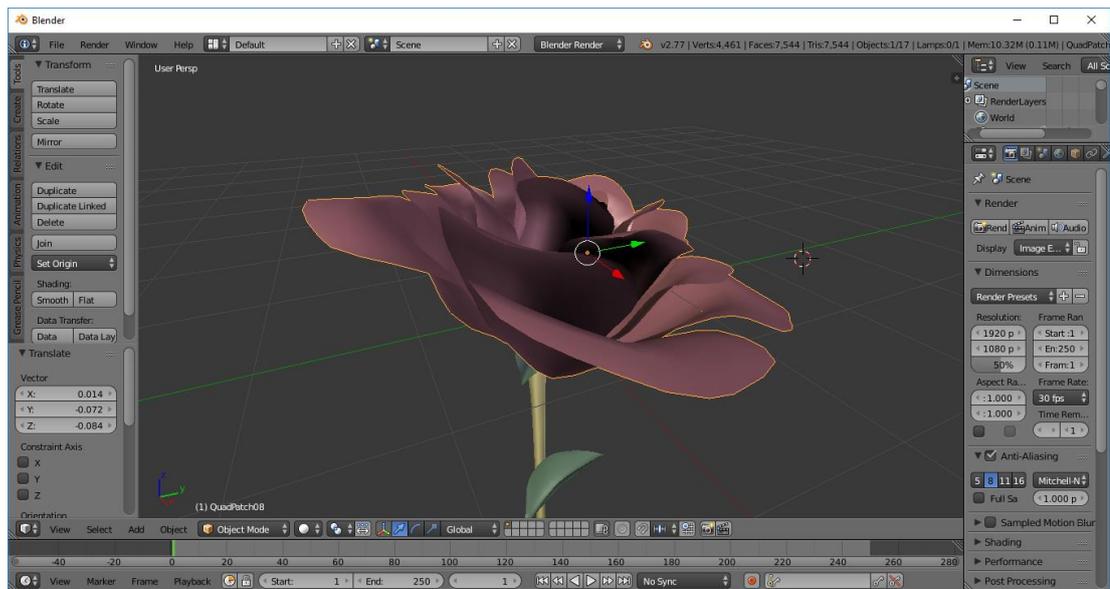


Figura 23 Diseño Rosa

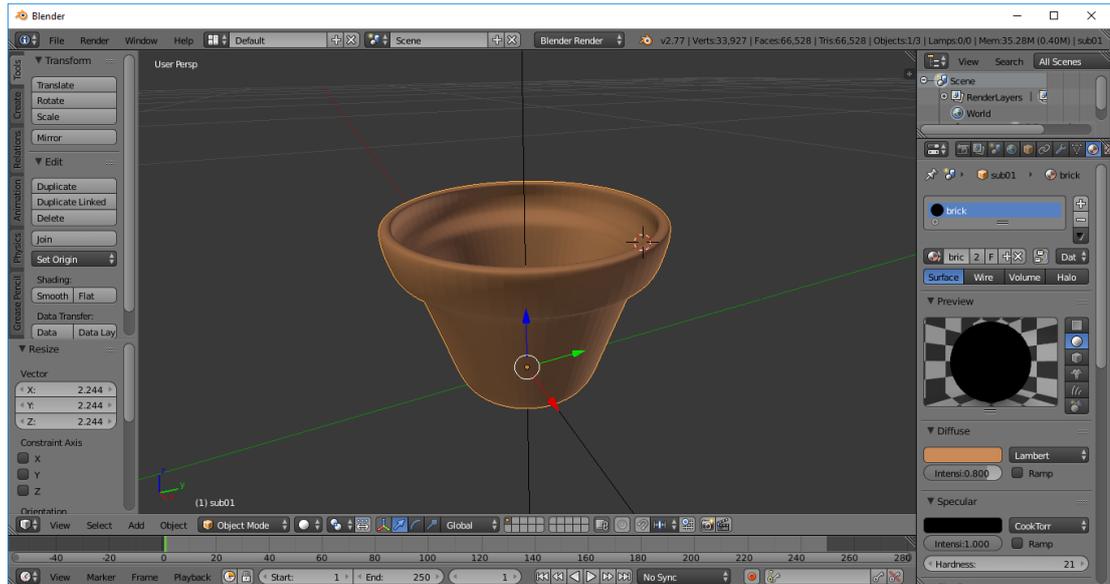


Figura 24 Diseño Masetta

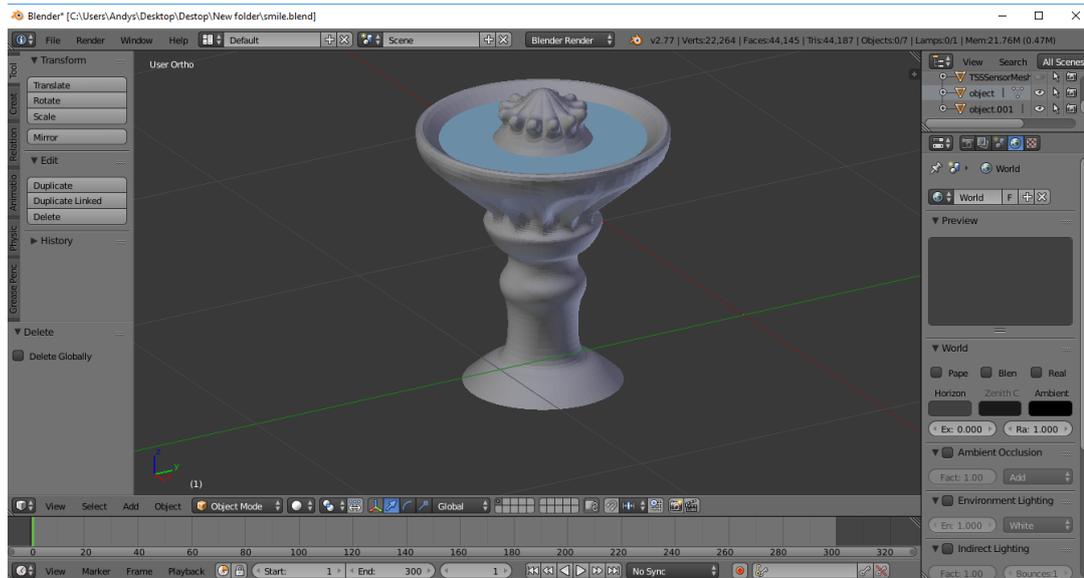
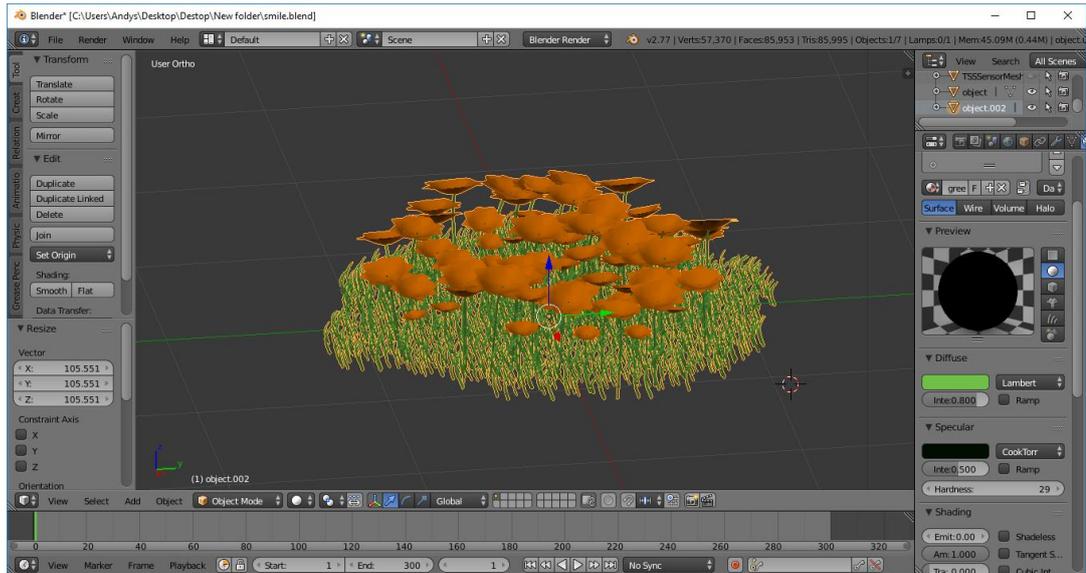
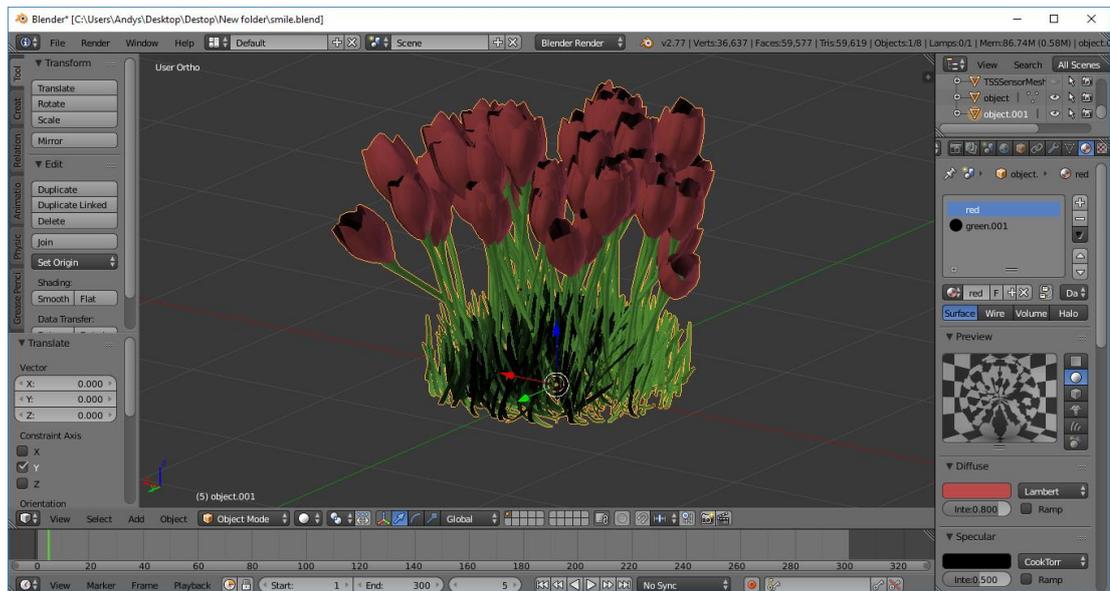


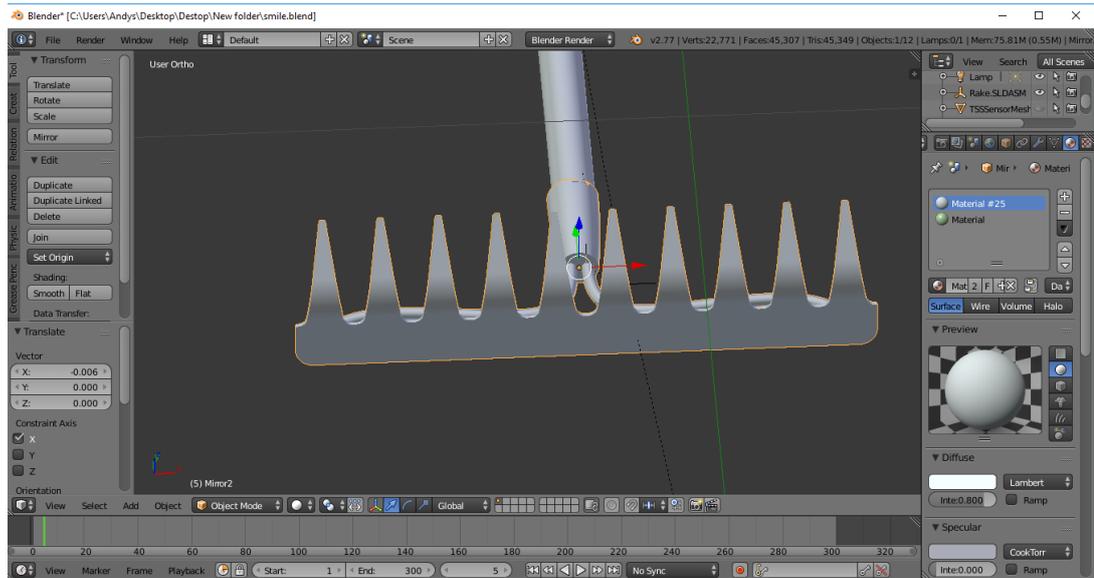
Figura 25 Diseño Fuente



**Figura 26 Diseño Flores**

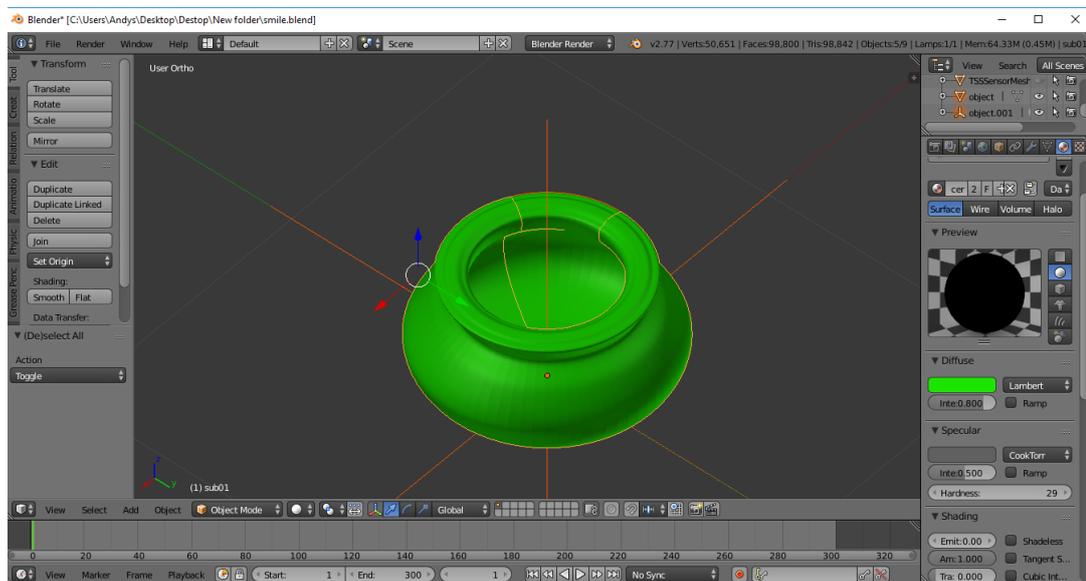


**Figura 27 Diseño Rosas**



**Figura 28: Diseño Rastrillo**

Para la interfaz de la actividad de recolección y organización se realiza los diseños de los siguientes objetos.



**Figura 29 Diseño Vasija**

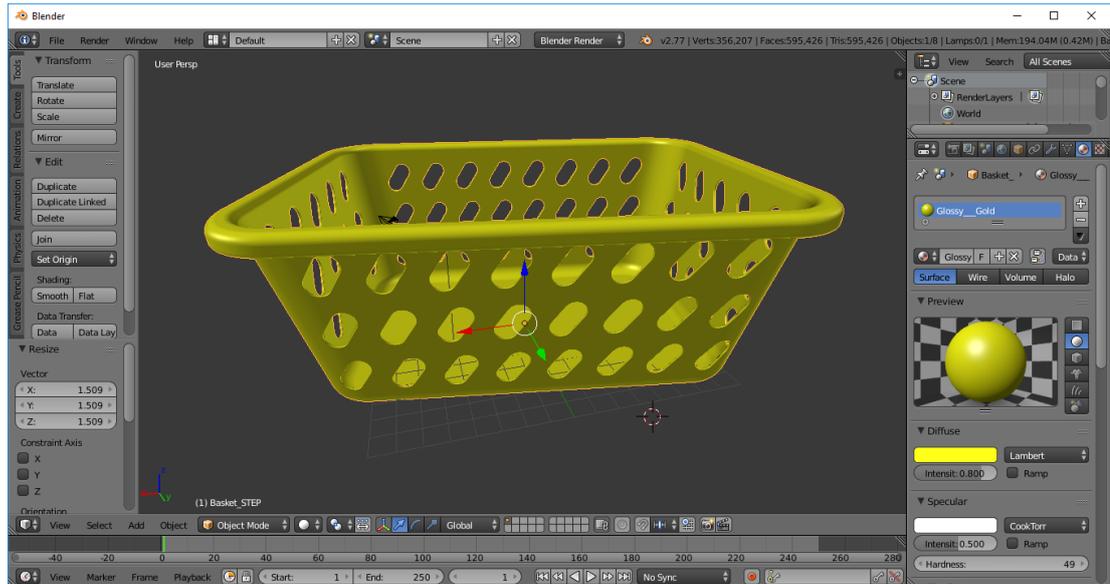


Figura 30 Diseño Canasta

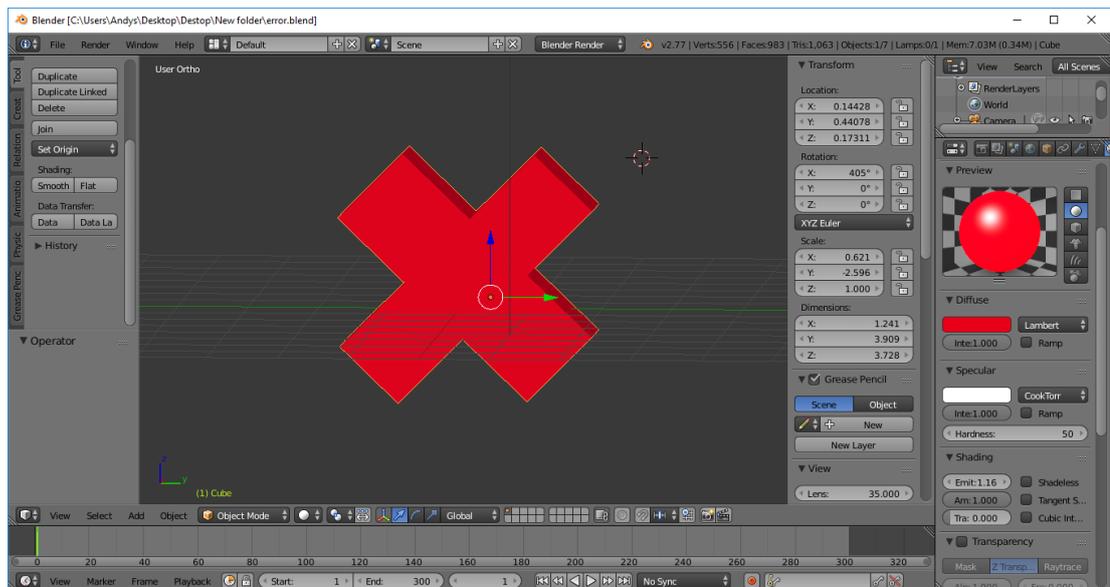


Figura 31 Diseño Error



**Figura 32 Diseño Cara Feliz**

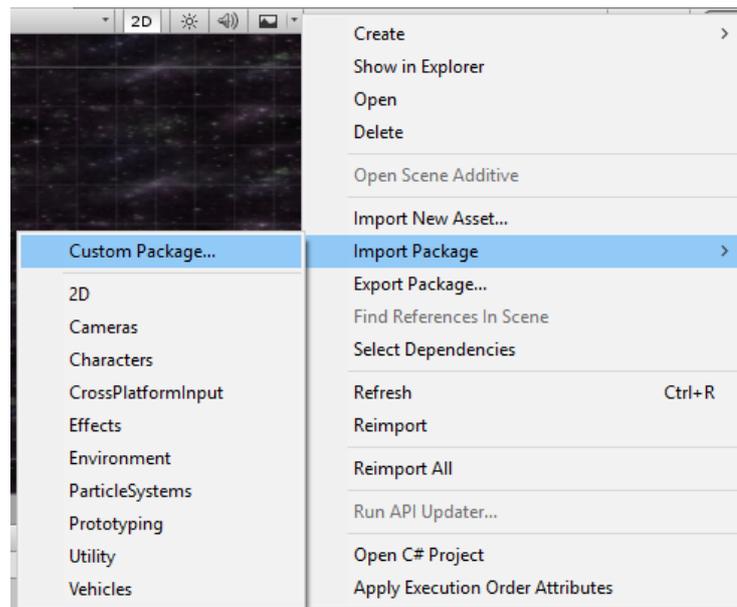
Luego de haber diseñado todos los objetos virtuales se deben exportar con formato .fbx, para ser integrados dentro de la interfaz del ambiente virtual que será implementado con el motor gráfico Unity 3D.

#### **3.4.1.2. Integración de Dispositivo Háptico Geomagic Touch en Unity3D**

Para establecer la comunicación entre el dispositivo Haptico Geomagic Touch y el motor gráfico Unity 3D es esencial instalar y calibrar el dispositivo de realimentación de fuerzas Touch como se indica en el Anexo A. Acotando que para el presente trabajo se utiliza un ordenador con sistema operativo Windows 10, procesador Intel Core i5 con características básicas.

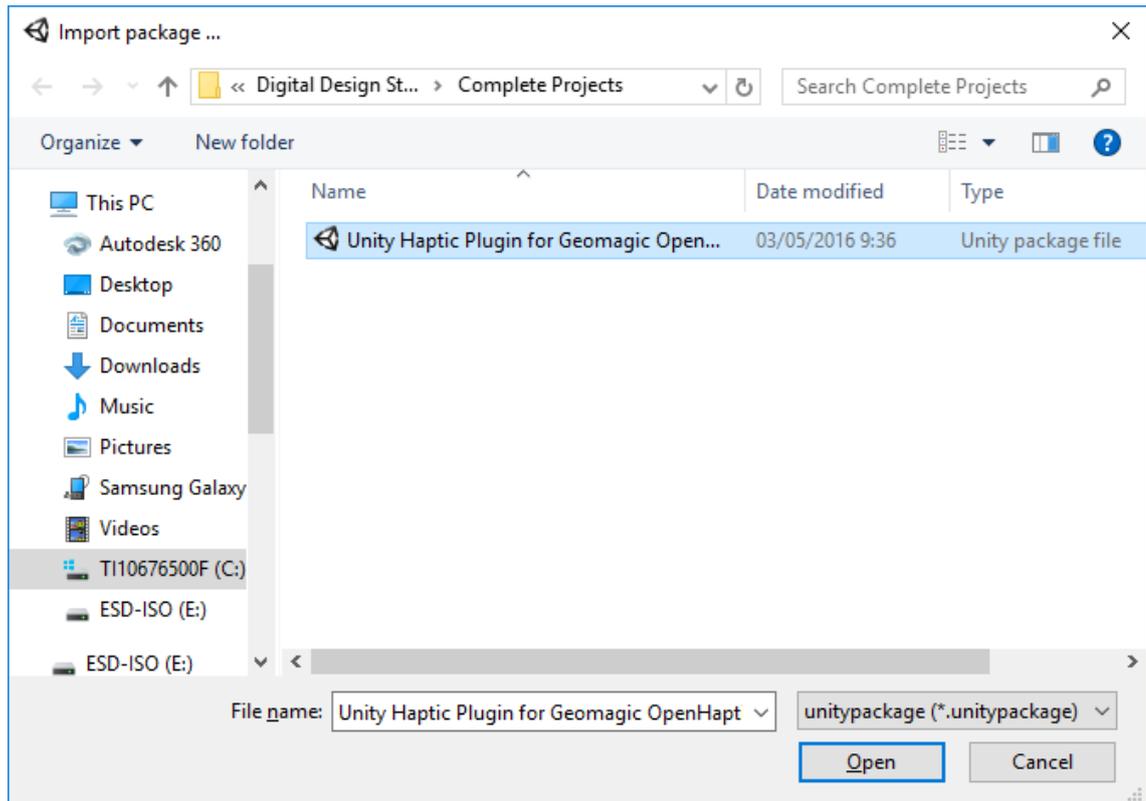
Mediante la descarga e instalación del paquete que contiene el Plugin del dispositivo Háptico, se puede conseguir la integración del dispositivo en el entorno de desarrollo Unity 3D, el paquete al que se hace referencia contiene toda la información necesaria, para que este pueda ser entendido y manipulado en el software, a continuación, se detalla el proceso a seguir en la integración del dispositivo.

1. Descargar e instalar el motor gráfico Unity 3D desde la página del propietario.
2. Descargar y extraer el paquete que contiene el Plugin for Geomagic OpenHaptics, desde la página de Assets Store.
3. Ejecutar un nuevo proyecto en Unity 3D.
4. Vaya a **Activos** -> Seleccione **importar paquete** -> elija **paquete personalizado**



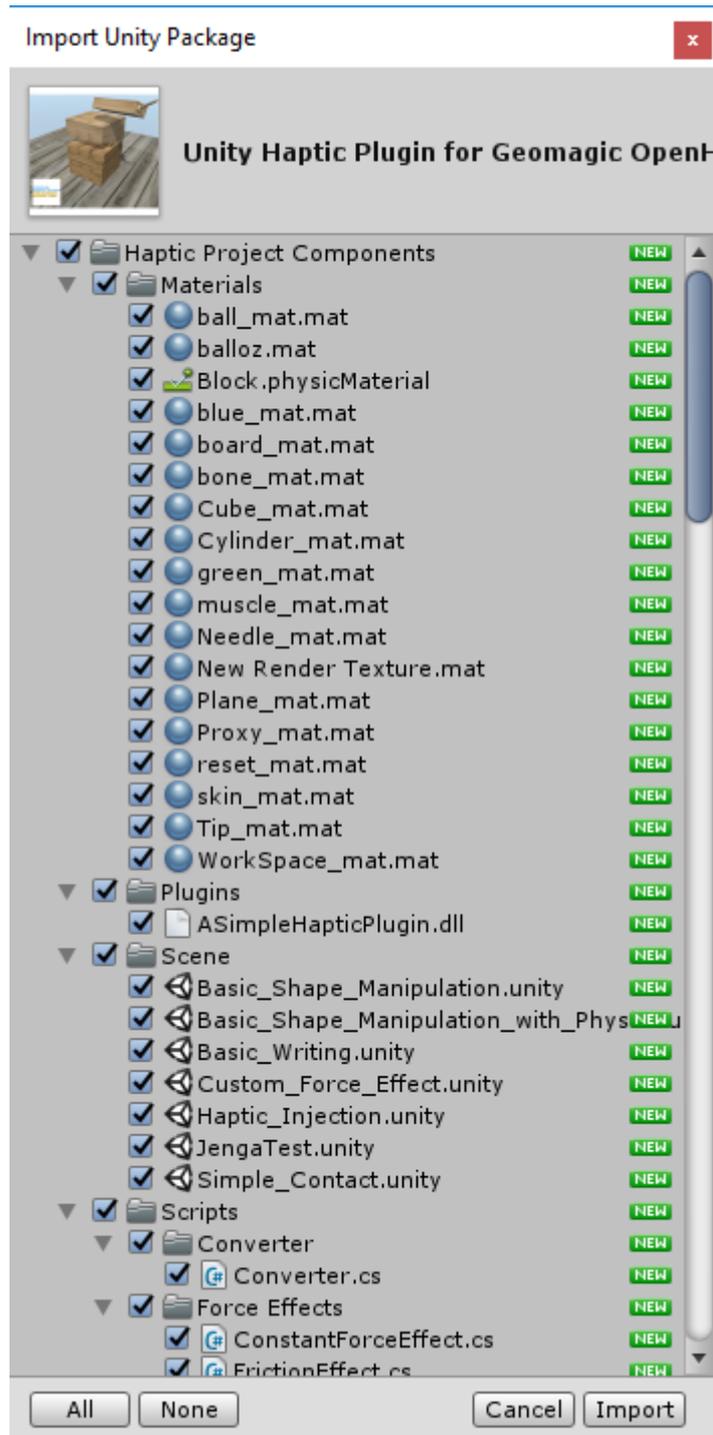
**Figura 33 Importar el paquete a Unity**

5. Ubicarse en el fichero donde se encuentra extraído el paquete del plugin del dispositivo y seleccione *Unity Haptic Plugin for Geomagic Open. Unity package*.



**Figura 34 Ubicación del paquete de Geomagic.**

6. Se debe importar todos los paquetes, esto asegurará el correcto funcionamiento del dispositivo Háptico en Unity 3D.

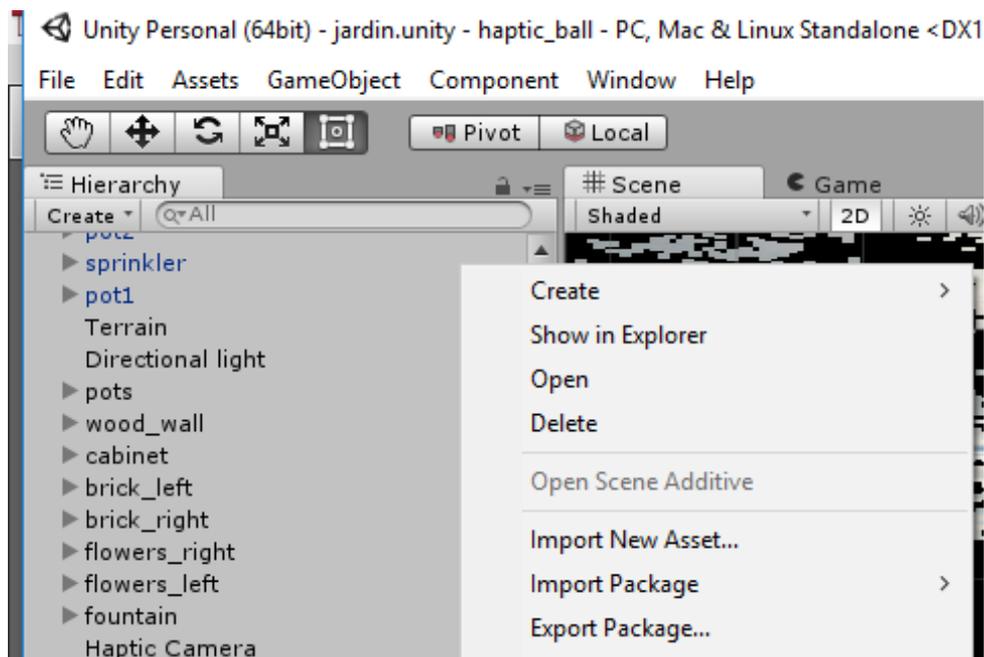


**Figura 35 Selección e importación de los paquetes en Unity 3D**

Se debe tener en cuenta que si se está usando la versión PRO de Unity no es necesario realizar algún otro proceso adicional, pero en el caso de tener solamente la licencia personal se debe seguir la siguiente secuencia de pasos adicionales.

Copiar el archivo ASimpleHapticPlugin.dll mismo que se encuentra en la carpeta plugins, luego colocarlo en la carpeta del proyecto principal seguido de borrar la carpeta Plugins. Seguir las siguientes instrucciones:

1. En la vista de proyecto, en la carpeta de plugins, seguido de clic derecho y mostrar en explorador.



**Figura 36 Vista del proyecto en Unity 3D**

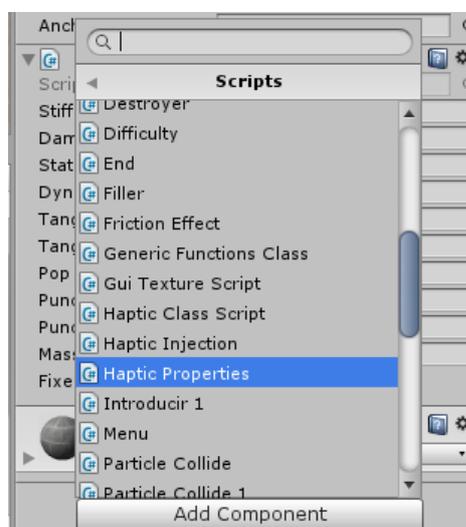
2. Copiar el archivo ASimpleHapticPlugin.dll
3. Ubicarse en la carpeta base del proyecto (contenedora de Assets).
4. El archivo ASimpleHapticPlugin.dll debe ser pegado.

Name	Date modified	Type	Size
.vs	23/12/2016 11:59	File folder	
Assets	14/10/2016 15:22	File folder	
Library	31/07/2017 18:51	File folder	
ProjectSettings	31/07/2017 17:47	File folder	
Temp	31/07/2017 17:53	File folder	
<input checked="" type="checkbox"/> ASimpleHapticPlugin.dll	09/10/2014 15:52	Application extens...	47 KB
<input checked="" type="checkbox"/> Assembly-CSharp.csproj	01/03/2017 7:21	Visual C# Project f...	7 KB
<input checked="" type="checkbox"/> Assembly-CSharp-vs.csproj	01/03/2017 7:21	Visual C# Project f...	7 KB
Assembly-UnityScript.unityproj	02/08/2016 12:47	UNITYPROJ File	4 KB
Assembly-UnityScript-firstpass.unityp...	01/03/2017 7:21	UNITYPROJ File	4 KB
Assembly-UnityScript-firstpass-vs.unit...	01/03/2017 7:21	UNITYPROJ File	4 KB
Assembly-UnityScript-vs.unityproj	02/08/2016 12:47	UNITYPROJ File	4 KB
<input checked="" type="checkbox"/> haptic_ball.CSharp.csproj	31/07/2017 17:49	Visual C# Project f...	10 KB
<input checked="" type="checkbox"/> haptic_ball.sln	31/07/2017 17:48	Microsoft Visual S...	1 KB
haptic_ball.userprefs	13/05/2017 18:39	USERPREFS File	1 KB
<input checked="" type="checkbox"/> haptic_ball-csharp.sln	13/05/2017 16:49	Microsoft Visual S...	2 KB

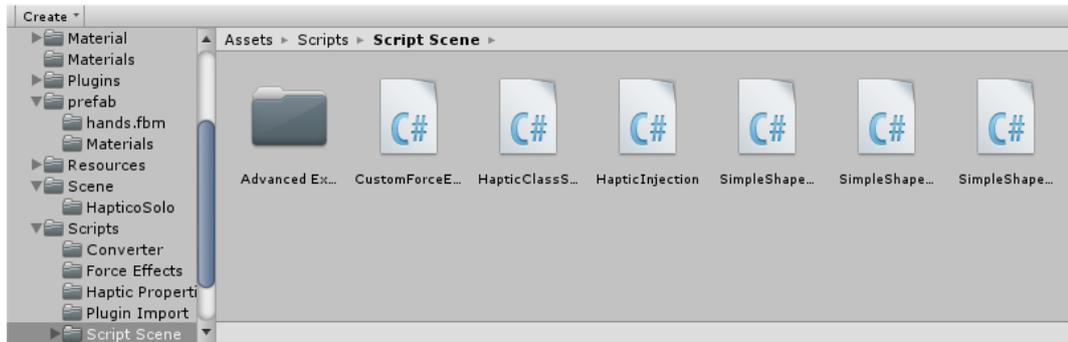
**Figura 37 Colocación del archivo ASimpleHapticPlugin.dll en la carpeta base del proyecto**

5. Regresar a la carpeta llamada Assets y borrar la carpeta Plugins

Con los pasos anteriores se habrá logrado la comunicación entre el Dispositivo Háptico y el software Unity3D. Para poner en marcha una aplicación que tenga propiedades hápticas vinculadas a Geomagic Touch y nos permita utilizar la realimentación de fuerzas y la lectura de movimientos de este dispositivo, es necesario agregar a los GameObjects (Objetos virtuales de Unity) los siguientes componentes de Script: *SimpleShapeManipulation*, *GenericFucntionsClass* y *HapticProperties*. Dichos códigos se encuentran en la carpeta Script Scene dentro de la ventana del Proyecto.



**Figura 38 Agregar una componente a un GameObject**



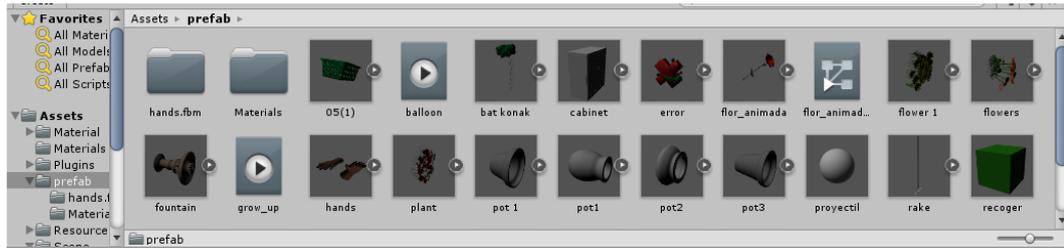
**Figura 39 Localización de Scripts**

En el Anexo B y C se puede observar la codificación de cada uno de estos Scripts y el manual de utilización de las funciones que incorporan estos códigos.

### 3.4.1.3. Implementación de las Interfaces Virtuales

En este apartado se detallará el procedimiento usado en la implementación de los elementos con los que el paciente interactuará en el ambiente de Realidad Virtual, destacando los GameObjects que recibirán acciones determinadas mediante código para generar la dinámica de la aplicación y los Paneles o Canvas los mismos que en el proyecto son usados para almacenar objetos UI (User Interface) como botones, entradas de datos, textos estáticos, imágenes, entre otros; de esta manera el desarrollador puede elaborar y presentar interfaces intuitivas, las mismas que se pueden ajustar automáticamente sin importar la resolución de la pantalla donde se esté presentando el sistema de rehabilitación, a continuación se explicará detenidamente la construcción de la interfaz de las interfaces virtuales.

Como primer paso, el proyecto debe contener los objetos virtuales 3D que fueron diseñados e importados previamente desde Blender.



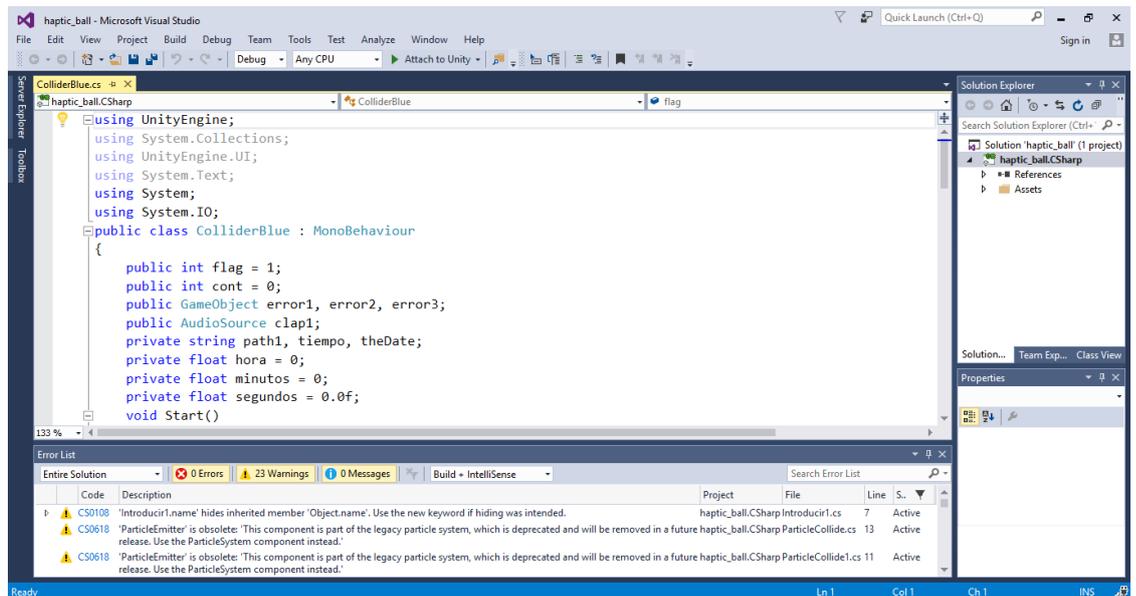
**Figura 40 Objetos Virtuales Importados al Proyecto**

Después se deberá colocar cada uno de estos elementos virtuales dentro de la interfaz del ambiente virtual. Para esto basta con seleccionar cada elemento y moverlo hacia la ventana de Scene, donde se puede girar, mover y expandir cualquiera de los elementos; de esta forma se acomodarán en el lugar adecuado y se construirá el entorno virtual de la aplicación.



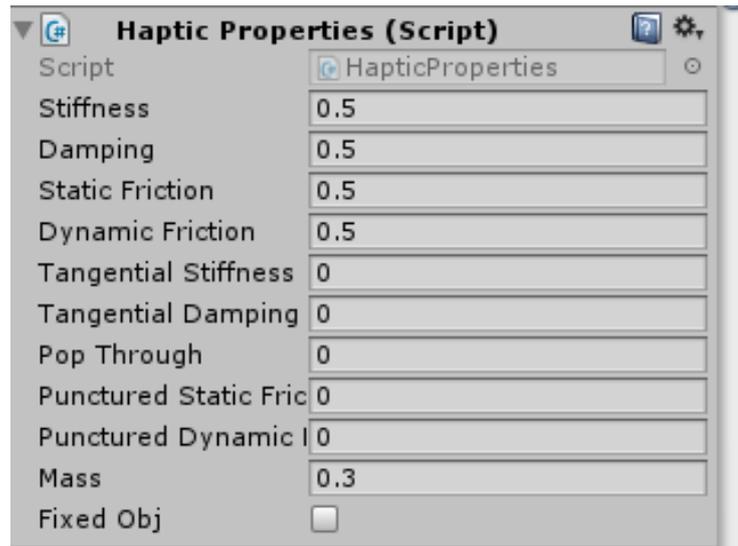
**Figura 41 Ventana Scene**

En la siguiente fase se debe agregar el dinamismo a las aplicaciones, para esto se codifica una serie de Scripts en lenguaje de programación C# en el compilador Visual Studio. Con las funciones declaradas en el código, se da las órdenes de las acciones que debe cumplir cada uno de los objetos virtuales dentro de la dinámica del juego.



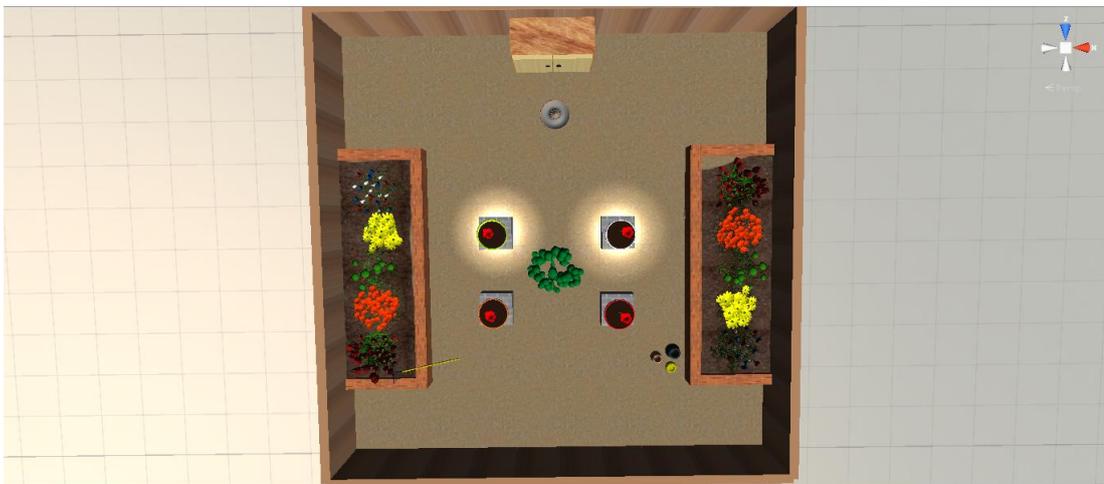
**Figura 42** Compilador de Código Visual Studio

En el caso de los objetos que van a interactuar en la realimentación de fuerzas, se debe agregar los componentes de script de Geomagic, para que el objeto adquiera las propiedades hápticas. El Script que se debe añadir es *HapticProperties*, la codificación incluida en este script permitirá agregar funciones al objeto como: Rigidez, Textura, Fricción Estática, Fricción Dinámica, Fuerzas Tangenciales entre otros. Para la aplicación de jardinería, los objetos contienen funciones que permiten tocarlos, cuando se encuentran en contacto con el cursor y de tal forma se pueda sentir su superficie a través del Dispositivo Haptico. Para el caso de la interfaz de organización se utilizan estas propiedades hapticas con el fin de dar una sensación de peso al momento de cargar los objetos con el cursor.



**Figura 43 Componente Haptic Properties**

Con el propósito de apreciar de forma detalla se muestra a continuación los entornos completos con cada una de las vistas que compone una interfaz tridimensional.



**Figura 44 Aplicación Jardinería Vista Superior**



**Figura 45 Aplicación Jardinería Vista Frontal**



**Figura 46 Figura 44: Aplicación Jardinería Vista Lateral**



**Figura 47 Aplicación Organizar Vista Superior**



**Figura 48 Aplicación Organizar Vista Frontal**



**Figura 49 Aplicación Organizar Vista Lateral**

Finalmente, al terminar el diseño de las interfaces puede correr las aplicaciones como un proyecto completo, para lo cual se debe seleccionar el botón de Play que se encuentra en la parte superior de la pantalla. Después de ejecutar esta acción, el programa cambiara automáticamente a la ventana de Game para que se pueda comprobar el trabajo realizado.



**Figura 50 Ventana Game**

#### **3.4.1.4. Elaboración del menú principal**

Para el desarrollo del menú principal se parte de la creación de un GameObject Canvas o conocido también como contenedor de objetos, que servirá como lienzo para plasmar todo aquello que se desea contenga la interfaz de inicio, estos elementos UI deben estar dentro de un GameObject Canvas, para este caso se colocaron tres botones con funcionalidad definida montados sobre imágenes relevantes al proyecto, así tenemos el botón “JARDIN” para comenzar el juego de jardinería y el botón “ORDENAR” que despliega un submenú donde se puede elegir el juego de rehabilitación que desea realizar según el nivel. El juego ORDENAR tiene niveles de dificultad en función al daño cerebral que se pretende rehabilitar, una vez concluido el juego, se guardarán los resultados en un gestor de datos para que el galeno pueda evaluar la evolución satisfactoria del paciente. Con respecto al botón de “DATOS” se puede decir que al presionar, éste muestra un submenú donde le presenta la opción de ingresar los datos del paciente a ser tratado usando este tipo de rehabilitación los parámetros que el programa le solicita es nombre y edad los cuales se guardan en el gestor datos, el que llevara el control de la evolución del paciente, finalmente consta de un botón “SALIR” que aborta la ejecución de la aplicación.



Figura 51 Menú Principal



Figura 52 Menú Ingreso de Datos



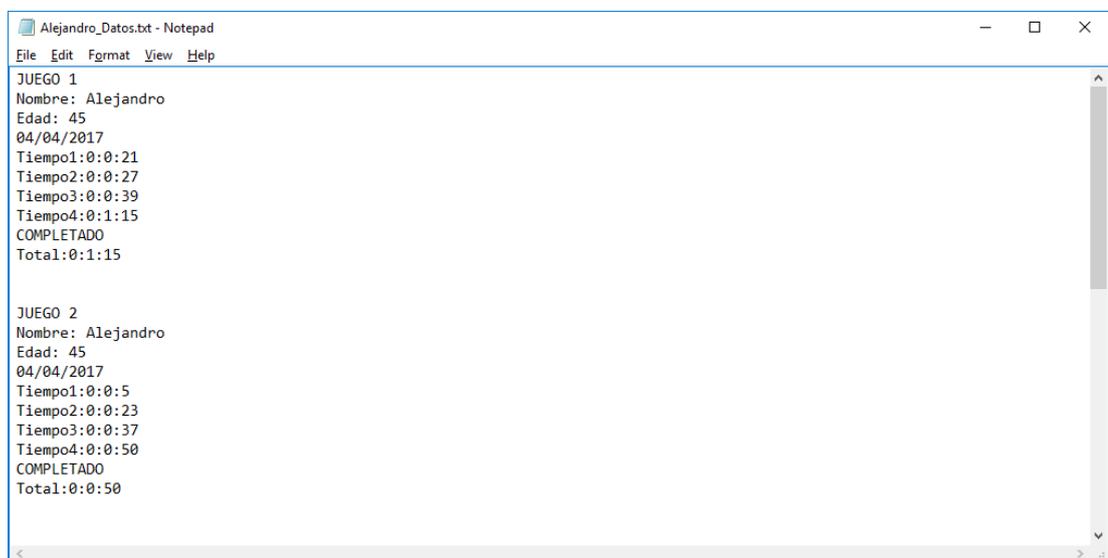
Figura 53 Menú de Selección de Dificultad

### 3.5. Registro de datos

Como se mencionó anteriormente, una parte importante dentro del proyecto, es la creación de un registro de datos con la información de las sesiones de rehabilitación de cada paciente, la cual almacena información esencial del paciente como sus datos y los resultados de la ejecución de los ejercicios de la terapia virtual.

El registro de datos está desarrollada en Visual Basic, el mismo que esta direccionado junto con Unity 3D, este es un sistema que permite gestionar los datos mediante manejo de archivos, el cual recibe los tiempos de finalización de cada tarea, tan pronto como es completado el sistema de rehabilitación presentado.

La primera y principal parte del desarrollo del registro de datos, es la programación de los tiempos de cada objeto que se realiza en Visual Basic mediante los archivos tipo txt. La programación de visual Basic de estos registros se encuentra en el ANEXO B.



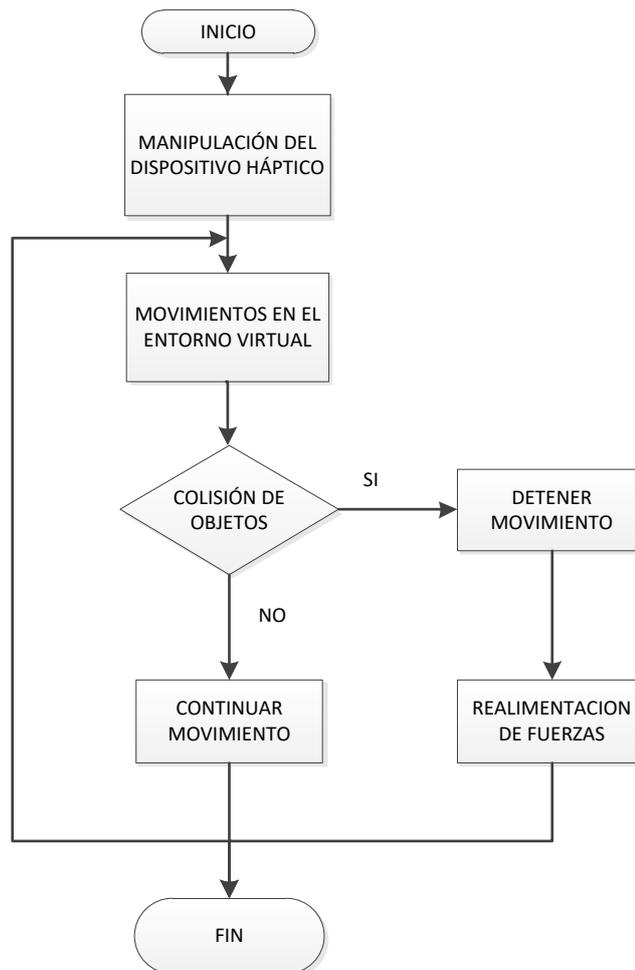
```
Alejandro_Datos.txt - Notepad
File Edit Format View Help
JUEGO 1
Nombre: Alejandro
Edad: 45
04/04/2017
Tiempo1:0:0:21
Tiempo2:0:0:27
Tiempo3:0:0:39
Tiempo4:0:1:15
COMPLETADO
Total:0:1:15

JUEGO 2
Nombre: Alejandro
Edad: 45
04/04/2017
Tiempo1:0:0:5
Tiempo2:0:0:23
Tiempo3:0:0:37
Tiempo4:0:0:50
COMPLETADO
Total:0:0:50
```

**Figura 54 Registro Paciente Alejandro**

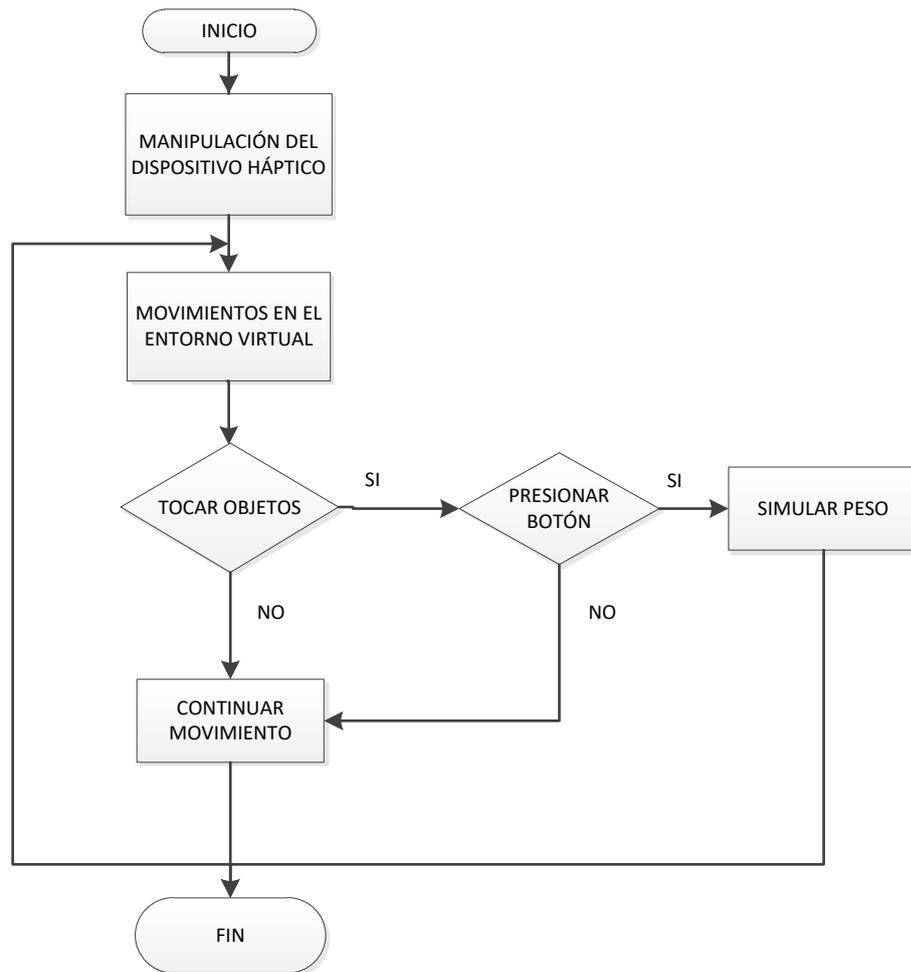
### 3.6. Modo de Funcionamiento del Sistema

En esta sección se detalla el modo de funcionamiento del sistema de rehabilitación el cual sigue la secuencia indicada en los diagramas de flujo que se ven a continuación.



**Figura 55 Diagrama de Flujo del funcionamiento de la aplicación de Jardinería**

En la interacción con la interfaz de jardinería cuando se produce una colisión entre objetos virtuales se generará una realimentación de fuerzas hacia el usuario por medio del dispositivo Haptico, haciéndole sentir la presencia del objeto virtual en el espacio real.



**Figura 56 Diagrama de Flujo del funcionamiento de la aplicación de Organizar**

En el caso de usar la aplicación “Organizar” la misma que tiene una funcionalidad extra que simula el peso de los objetos virtual. Esta acción actúa en el momento en que colisionan dos objetos virtuales y el usuario hizo uso del botón que se encuentra en el manipulador del dispositivo Háptico, entonces se genera una realimentación de fuerzas dirigida hacia abajo que simula la masa del objeto.

## CAPÍTULO IV

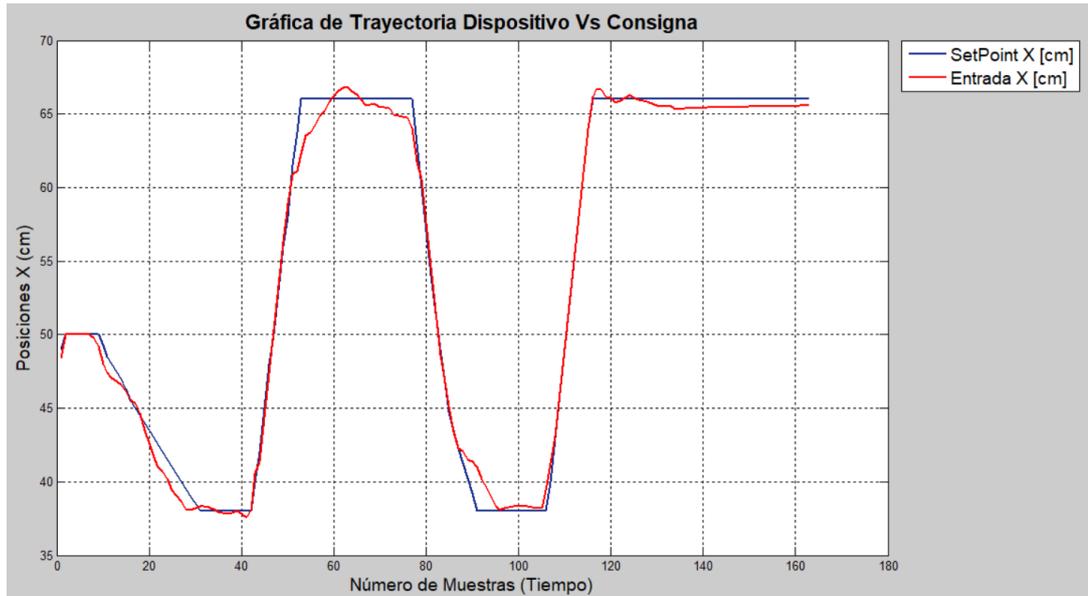
### APLICACIÓN Y RESULTADOS

#### 4.1. Validación de Movimientos del Dispositivo Háptico

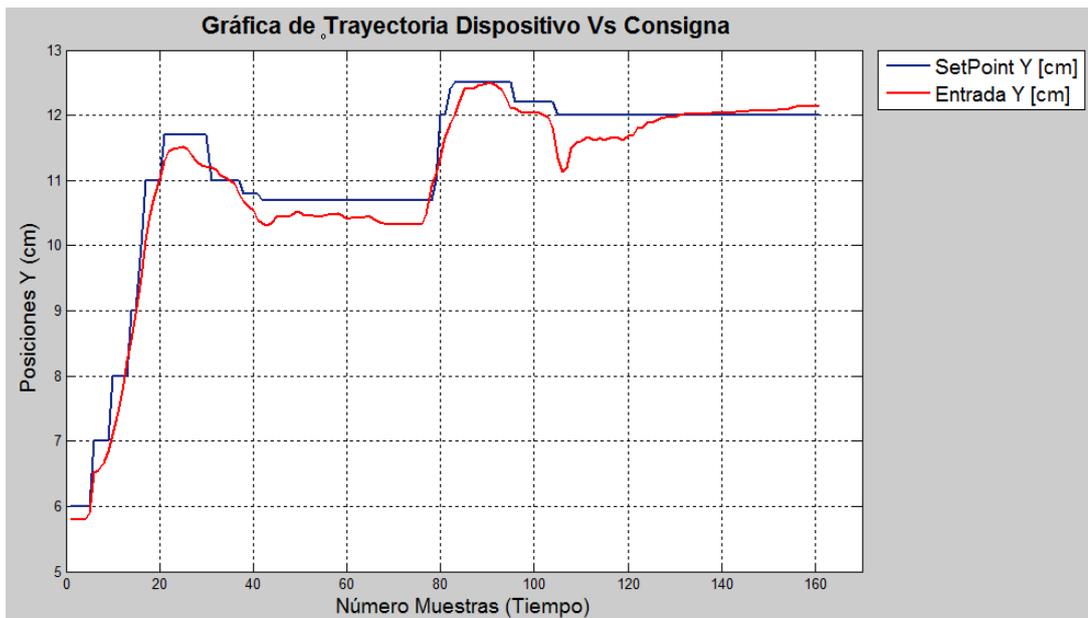
El experimento se realiza con la comparación de dos señales:

- **Referencia** – Se genera una trayectoria automática sobre la ejecución completa de la aplicación de jardinería, de esta señal se toma el movimiento completo de los vectores de posición en los ejes x, y, z.
  
- **Entrada** – Esta señal de muestra se toma del movimiento que realiza el usuario al manipular el dispositivo háptico para completar la tarea de jardinería.

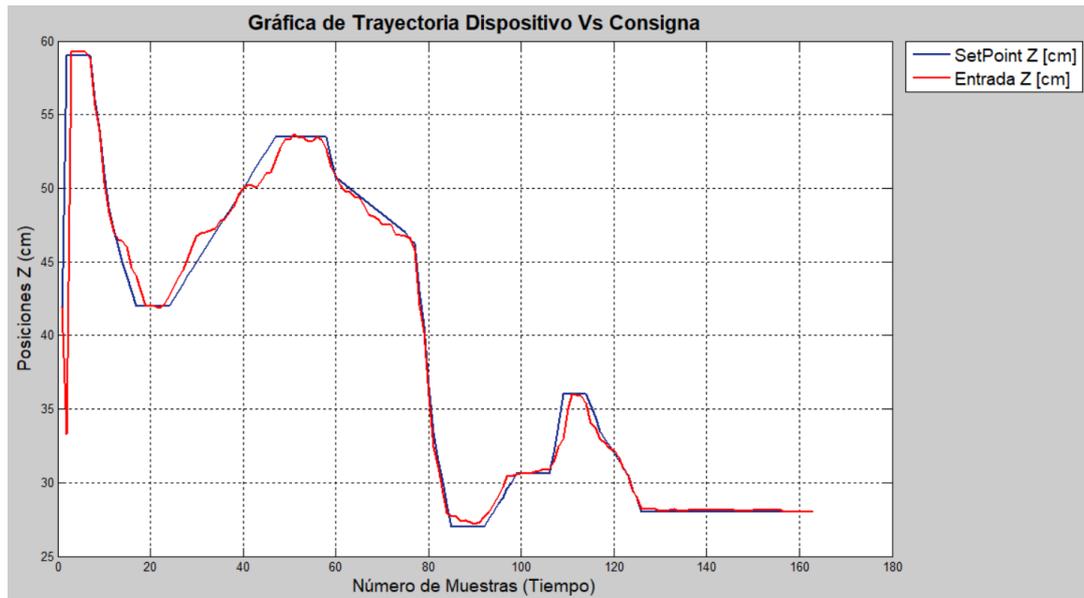
Al obtener los datos necesarios para la prueba se procede a graficar dichas señales por cada uno de los ejes x, y, z para realizar su comparación y análisis como se nota en la figura 57.



**Figura 57 Movimientos del Dispositivo Háptico en el eje x**



**Figura 58 Movimientos del Dispositivo Háptico en el eje y**



**Figura 59 Movimientos del Dispositivo Háptico en el z**

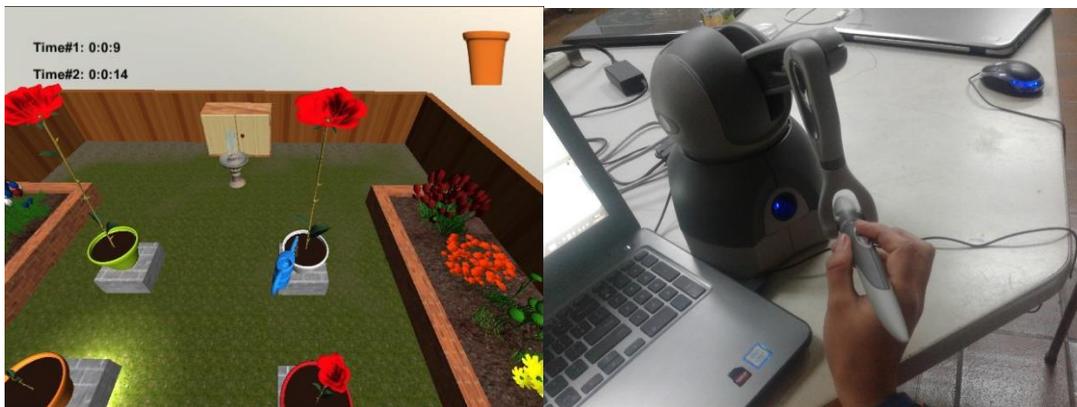
Del análisis de los resultados se calcula la distancia que existe entre señales y se obtiene un promedio de error mínimo de 0.5%. Este pequeño umbral de error comprueba que el Dispositivo Háptico Geomagic Touch es un elemento confiable al momento de trasladar en tiempo real su movimiento tridimensional en el espacio real hacia el entorno de realidad virtual.

#### **4.2. Validación de los movimientos para Rehabilitación**

Para verificar la ejecución de movimientos de rehabilitación enfocados a la recuperación motora fina, el sistema fue evaluado por un especialista en terapia física. Después de probar la herramienta virtual se pudo concluir que se puede realizar 3 movimientos efectivos para rehabilitación como son flexión y extensión de muñeca y pinza bidigital.



**Figura 60 Movimiento Pinza Bidigital junto a interfaz Jardinería**



**Figura 61 Movimiento Extensión de Muñeca junto a interfaz Jardinería**



**Figura 62 Movimiento Flexión de Muñeca junto a interfaz Jardinería**

### **4.3. Aplicación del Sistema de Realidad Virtual en Pacientes con Daño Cerebral Adquirido (RVDCA)**

#### **4.3.1. Análisis General**

Para comenzar el experimento se requiere la aprobación de las autoridades del Hospital IESS de Latacunga y se necesita la supervisión del rehabilitador a cargo. Luego se aplica el sistema de RVDCA en pacientes con DCA que se presentan en el área de rehabilitación del hospital para realizar la terapia física.

#### **4.3.2. Pruebas con Pacientes con DCA**

Para el experimento se presentan 5 paciente como sujetos de prueba, los mismos que se seleccionan según los criterios de exclusión e inclusión que resultaron del análisis de la escala de ASWRTH +1. Las pruebas se realizaron en 2 sesiones por paciente, en donde los sujetos probaron cada una de las aplicaciones y luego contestaron las preguntas de un test de usabilidad.

##### **4.3.2.1. Criterios de Inclusión**

- Pacientes hombres y mujeres con edades de entre 20 y 85.
- Pacientes diagnosticados con DCA y hemiplejia o hemiparesia leve o moderada.
- Pacientes dispuestos a ser parte del actual experimento.

##### **4.3.2.2. Criterios de Exclusión**

- Pacientes menores de edad.
- Pacientes diagnosticados con rigidez severa en las extremidades.

#### 4.3.2.3. Aplicación en los Pacientes

Como primer paso, se debe colocar al usuario en posición sentado y cómodo de forma que este pueda manipular el dispositivo háptico con todo el rango de movimiento que le permite su muñeca. Seguidamente se le da al paciente una rápida explicación sobre las actividades que debe realizar en la ejecución de los juegos, además de como manipular el entorno virtual para cumplir con las tareas propuestas. Antes de la interacción con los juegos, los datos del paciente deben ser ingresados en el sistema, para la posterior creación del registro de la sesión de terapia.



**Figura 63** Indicaciones previas a usar el sistema

A continuación, se pondrá a prueba al paciente en la aplicación seleccionada por el rehabilitador según el nivel de patología que tenga. Las aplicaciones están propuestas en semejanza a tareas de la vida diaria, se dispone de dos interfaces:

#### 4.3.3. Interfaz de Jardinería

El paciente se ubica en el ambiente virtual, donde aparece una regadera que porta el agua para hacer crecer las plantas del jardín. Se debe posicionar la regadera encima de cada una de las masetas y dejar caer el agua por un tiempo determinado, para que la planta crezca. En caso de que la regadera no se encuentre por encima de la maseta y colisione con esta, se produce una realimentación de fuerzas dando al paciente la sensación de presencia del objeto virtual. Completado el primer objetivo aparece en la parte superior derecha del entorno virtual el color de la maceta a ser regada, el movimiento entre objetivos está determinado por un sistema de colores que indica el siguiente movimiento del paciente. En total el entorno virtual consta de 4 objetivos que deben ser completados.



**Figura 64 Primer Objetivo Completado**

#### 4.3.4. Interfaz de Recolección y Ordenamiento de Objetos

Se presenta con varios objetivos de diferente color que deben ser colocados en el destino correcto según indica su color.

Para la selección de uno de los objetivos el cursor debe estar tocando virtualmente dicho objeto, entonces el usuario procederá a presionar el botón que se encuentra en el manipulador del dispositivo háptico. El usuario debe cargar con el peso del objetivo y colocarlo en la posición desea. El juego termina en el momento que todos los objetivos hayan sido colocados en su correcta posición.



**Figura 65 Juego Organizar**

#### 4.4. Aplicación de Test SUS

Mediante este test se realiza la evaluación del nivel de aceptación que tienen las aplicaciones de Realidad Virtual por parte del usuario. Se puso a prueba a 5 pacientes con DCA leve o moderado según la escala de ASWRTH 1+ y también se aplicó la evaluación en un grupo de 5 personas que tenía completas sus funciones motoras, ambos grupos contestaron el cuestionario después de haber realizado las tareas propuestas en el entorno virtual.

Después de obtener las respuestas del test, estos datos se reúnen para su análisis. En las tablas, se observa los resultados individuales que los usuarios dieron en cada pregunta, además del total de cada cuestionario y el promedio global. Teniendo en la tabla 4 los resultados de los pacientes con DCA mientras que en la tabla 5 se encuentran los resultados de los usuarios sanos. Según los estándares propuestos por el test SUS los promedios globales debe superar la puntuación de 68 para que se valide la aplicación como usable.

Según los resultados propuestos en la tabla 4, se verifica una puntuación de 79.5 en el total global, lo que valida el Sistema de Rehabilitación Virtual como una aplicación de un nivel de usabilidad apto. En comparación con los resultados de la tabla 2, donde los usuarios sanos contribuyeron con un puntaje de 81.5 validando la usabilidad de este sistema en este grupo.

**Tabla 4**

**Test SUS en Paciente con DCA**

	PACIENTE 1	PACIENTE 2	PACIENTE 3	PACIENTE 4	PACIENTE 5
PREGUNTA 1	5	5	4	5	4
CÁLCULO 1	4	4	3	4	3
PREGUNTA 2	3	2	4	1	2
CÁLCULO 2	2	3	1	4	3
PREGUNTA 3	4	3	5	4	5
CÁLCULO 3	3	2	4	3	4
PREGUNTA 4	3	2	3	3	2
CÁLCULO 4	2	3	2	2	3
PREGUNTA 5	5	4	3	5	4
CÁLCULO 5	4	3	2	4	3
PREGUNTA 6	2	2	1	1	3
CÁLCULO 6	3	3	4	4	2
PREGUNTA 7	5	4	4	3	4
CÁLCULO 7	4	3	3	2	3
PREGUNTA 8	2	2	1	1	3
CÁLCULO 8	3	3	4	4	2
PREGUNTA 9	5	5	5	5	5
CÁLCULO 9	4	4	4	4	4
PREGUNTA 10	3	1	1	2	1
CÁLCULO 10	2	4	4	3	4
SUMATORIA	31	32	31	34	31
TOTAL	77.5	80	77.5	85	77.5
INDIVIDUAL					
TOTAL GLOBAL	79.5				

Tabla 5

## Test SUS en Usuarios Sanos

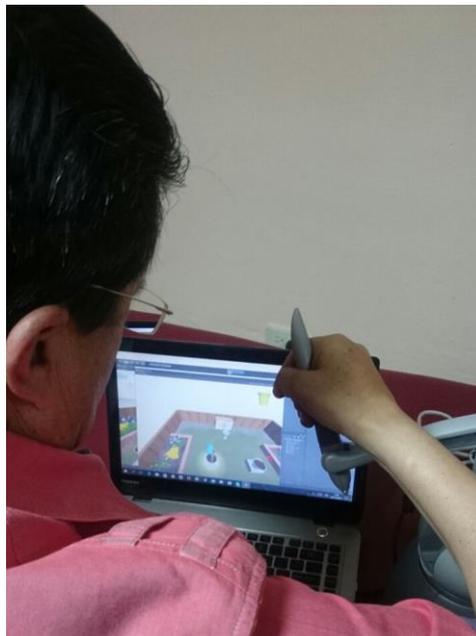
	USUARIO 1	USUARIO 2	USUARIO 3	USUARIO 4	USUARIO 5
PREGUNTA 1	4	5	5	5	5
CÁLCULO 1	3	4	4	4	4
PREGUNTA 2	2	2	1	3	2
CÁLCULO 2	3	3	4	2	3
PREGUNTA 3	5	4	4	4	3
CÁLCULO 3	4	3	3	3	2
PREGUNTA 4	2	2	2	3	2
CÁLCULO 4	3	3	3	2	3
PREGUNTA 5	5	5	5	3	3
CÁLCULO 5	4	4	4	2	2
PREGUNTA 6	2	2	2	1	1
CÁLCULO 6	3	3	3	4	4
PREGUNTA 7	5	5	3	4	3
CÁLCULO 7	4	4	2	3	2
PREGUNTA 8	3	2	2	2	1
CÁLCULO 8	2	3	3	3	4
PREGUNTA 9	5	4	5	5	5
CÁLCULO 9	4	3	4	4	4
PREGUNTA 10	1	1	2	1	2
CÁLCULO 10	4	4	3	4	3
SUMATORIA	34	34	33	31	31
TOTAL	85	85	82,5	77,5	77,5
INDIVIDUAL					
TOTAL GLOBAL	81.5				



**Figura 66 Aplicación del Test SUS después de la utilización del Sistema**

#### **4.5. Comprobación de la hipótesis**

En el experimento, el sistema es puesto a prueba con pacientes entre las edades de 50 y 85 años y con la patología DCA. Para validar que mediante la interacción con el sistema el usuario ejecuta movimientos útiles en rehabilitación motora fina.



**Figura 67 Paciente1 Usando el Sistema**



**Figura 68 Paciente 2 Usando el Sistema**

Mediante la supervisión de un especialista en el área de rehabilitación se determina que el sistema provee específicamente los siguientes movimientos útiles para rehabilitación: flexión y extensión de muñeca y pinza bidigital.

Además el sistema genera un histórico de la última sesión realizada con datos relevantes sobre el usuario y tiempos la ejecución de las tareas virtuales. Estos archivos le servirán al terapeuta para dar seguimiento al paciente y evaluar su evolución.

Con los resultados anteriores se ha verificado que este tipo de herramientas virtuales son de gran ayuda en la rehabilitación de personas con DCA, convirtiéndose al mismo tiempo en un complemento para la rehabilitación tradicional, proporcionando respuestas más rápidas en la mejora de los pacientes.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- De acuerdo a la literatura científica revisada, la rehabilitación virtual mediante dispositivos hápticos ha proporcionado una ayuda en la rehabilitación en pacientes con Daño Cerebral Adquirido (ACV).
- Se diseñó e implementó un sistema virtual para rehabilitación motora fina, el mismo que consta de entornos virtuales (actividades de la vida diaria) desarrollados en Unity3D, así como también para la adquisición de los movimientos del paciente se vinculó un dispositivo háptico, el mismo que permite realizar ejercicios como: flexión y extensión de muñeca y pinza bidigital.
- Se desarrolló un registro de usuarios, que ayudará al rehabilitador en el seguimiento de la evolución de los pacientes.
- Realizada las pruebas de seguimiento de trayectoria (En la ejecución de una tarea), se verifica que existe un error de 0.5% entre la consigna y el movimiento realizado por el usuario, lo que permite al paciente cumplir los objetivos propuestos en las tareas de rehabilitación.
- El test de usabilidad (SUS), fue aplicado a 5 pacientes con DCA leve o moderado y edades entre 50 y 85 años; como resultado se obtiene una puntuación de 79.5, puntaje que está dentro del rango aceptable (superior a 68) e indica que el sistema tiene una aceptación por parte de los pacientes para ser utilizado en rehabilitación.
- El sistema de Rehabilitación Virtual resulta ser un complemento para las rutinas de ejercicios que se dan en una rehabilitación tradicional.

## 5.2. Recomendaciones

- Se debe verificar que el paciente este colocado de forma ergonómica en relación al sistema para que no sea un procesos casado la aplicación de esta herramienta.
- Se recomienda instalar la versión 5.x de Unity para no tener problemas de incompatibilidad con los Plugin del Geomagic Touch.
- Es recomendable realizar una calibración del dispositivo háptico en el software de diagnóstico que provee esta herramienta, para asegurar que la respuesta del dispositivo sea de alta fiabilidad.
- Se recomienda utilizar el sistema de forma sutil dejándose guiar por el mismo, para no desgastar la herramienta de hardware que se utiliza en este.
- Para abaratar costos en la replicación futura de este trabajo, se puede adquirir dispositivos hápticos de menor costo como Falcon Nonvint.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albiol S., G.-G. J. (2012.). Use of the Wii balance board system in Vestibular Rehabilitation. *XIII Congreso Internacional de Interacción Persona Ordenador*, 147-150.
- Alejandro Jaramillo-Silva, O. A. (2009). Phantom Omni Haptic Device: Kinematic and Manipulability. *IEEE*, 193-198.
- Azuma, R. (1997). *A survey of Augmented Reality*. Malibu.
- Board, N. W. (s.f.). Obtenido de <http://www.nintendo.com/consumer/downloads/wiiBalanceBoard.pdf>
- Burdea, G., & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Carolina Arturo Agredo, J. M. (2005). Validación Escala de Ashworth modificada. *EFISIOTERAPIA*.
- Chien-Yen C., B. L. ( 2012). Towards Pervasive Physical Rehabilitation Using Microsoft Kinect. *The 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*.
- Codamotion. (2015). Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <http://www.codamotion.com/>
- Commons, W. (2008). *Wikimedia*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de Wikimedia: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>
- Commons, W. (2016). Obtenido de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IPad\\_Air.png#mediaviewer/Archivo:IPad\\_Air.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IPad_Air.png#mediaviewer/Archivo:IPad_Air.png)
- Commons, W. (2016). Recuperado el 1 de Enero de 2017, de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Smartphone\\_white.svg#mediaviewer/Archivo:Smartphone\\_white.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Smartphone_white.svg#mediaviewer/Archivo:Smartphone_white.svg)
- Commons, W. (2017). Recuperado el 1 de Enero de 2017, de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AC89-0437-20\\_a.jpeg#mediaviewer/File:AC89-0437-20\\_a.jpeg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AC89-0437-20_a.jpeg#mediaviewer/File:AC89-0437-20_a.jpeg)
- DAM, C. (2017). *www.clinicadam.com*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <https://www.clinicadam.com/salud/5/001435.html>
- Dd deco, W. B. (s.f.). *commons.wikimedia.org*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wii\\_Balance\\_Board.JPG#mediaviewer/File:Wii\\_Balance\\_Board.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wii_Balance_Board.JPG#mediaviewer/File:Wii_Balance_Board.JPG)
- DMedicina. (24 de 09 de 2015). <http://www.dmedicina.com>. Recuperado el 2 de Enero de 2017, de <http://www.dmedicina.com/enfermedades/neurologicas/ictus.html>
- documentation, U. (1 de enero de 2017). *docs.unity3d.com.es*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/>

- Durlach, N., & Mavor, A. (1995). *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*. United States of America: Committee on Virtual Reality Research and Development.
- Eguiluz-Perez G., G.-Z. B. (2014). Telerehabilitation web application for health care professionals and adults with multiple sclerosis. *2nd Patient Rehabilitation Research Techniques Workshop*.
- Fastrak, P. (2017). *Polhemus*. Obtenido de <http://polhemus.com/motion-tracking/all-trackers/fastrak>
- Ferreira C., G. V. (2014). Gamification of stroke rehabilitation exercises using a smartphone. *2nd Patient Rehabilitation Research Techniques Workshop*.
- H. Regembrecht, T. L. (2004). Using Augmented Virtuality for Remote Collaboration. 338-354.
- Huber M., L. M. (2013). Development of a low-cost, adaptive, clinician-friendly virtual rehabilitation system. *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013 International Conference on*, 26-29.
- Iotracker, S. (2005). *Iotracker*. Obtenido de <http://www.iotracker.com/>
- James Mullins, C. M. (2006). Haptic Handwriting Aid for Training and Rehabilitation. *IEEE*.
- Kachmar O., K. V. (2012). Web-based home rehabilitation gaming system for balance training. *Proc. 9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies*, P. M. Sharkey, E. Klinger (Eds), 10-12.
- Kizony R., W. P.-C. (2013). Evaluation of a Tele-Health System for upper extremity stroke rehabilitation. *Virtual Rehabilitation (ICVR) 2013 International Conference*, 80-86.
- Kozyavkin V., K. B. (2013). Stepping games with Dance Mat for motor rehabilitation. *Virtual Rehabilitation (ICVR) International Conference on*, 26-29.
- L.D Lledo, S. E. (2014). Implementation of 3D Visualization applications based on physical-haptics principles to perform rehabilitation tasks. *IEEE*, 421-425.
- Lloréns R., A. S.-G. (2012). Balance rehabilitation using custom-made Wii Balance Board exercises: clinical effectiveness and maintenance of gains in acquired brain injury population. *9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies (ICDVRAT)*.
- Lozano-Quilis J., G.-G. H.-G.-P. (2013). Virtual reality system for multiple sclerosis rehabilitation using KINECT. *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) 2013 7th International Conference on*, 366-369.
- Luque-Moreno C., O.-P.-V. A.-B. (2014). Virtual reality to improve lower extremity function, kinematic parameters, and walking speed post-stroke: A case series. *2nd Patient Rehabilitation Research Techniques Workshop*.
- McNeill M., P. L. (2014). Immersive virtual reality for upper limb rehabilitation following stroke. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2783-2789.

- MedlinePlus. (2015). *medlineplus.gov*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002364.htm>
- Nisa, H. (2015). *www.neurorhb.com*. Obtenido de <https://www.neurorhb.com/traumatismo-craneoencefalico/>
- Omelina L., J. B. (2014). Therapeutic Interaction Detection for Serious Games in Physical Rehabilitation. *2nd Patient Rehabilitation Research Techniques Workshop, REHAB 2014 Oldenburg*.
- Pape, D. (2014). *Wikimedia Commons*. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EyeToy.png>
- Pérez, S. A. (2014). *Rehabilitacion Virtual: Una evaluación al tratamiento de pacientes con Daño Cerebral Adquirido*. Valencia.
- PiaCarrot, D. C. (s.f.). *wikimedia.org*. Obtenido de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DDR\\_Controllers.jpg#mediaviewer/File:DDR\\_Controllers.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DDR_Controllers.jpg#mediaviewer/File:DDR_Controllers.jpg)
- Pita, I. V. (2014). *VRSPHERO – Virtual Rehabilitation Sphero: Un novedoso enfoque a la rehabilitación motora fina tradicional*. Zaragoza.
- Rand D., K. R. (2008). The Sony PlayStation II EyeToy: low-cost virtual reality for use in rehabilitation. *Journal of neurologic physical therapy*, 155-163.
- Rand D., S.-M. T. (2013). The use of the iPad for poststroke hand rehabilitation; A pilot study. *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013 International Conference on*, 26-29 .
- RGS, U. d. (2016). <http://neurorgs.net/>. Obtenido de <http://academia.utp.edu.co/basicoclinica/files/2012/06/Enfermedad-Motoneurona-inferior-y-superior.pdf>
- Sergio Albiol, G.-G. A. (2010). Influence of tracking feedback in user motor response in rehabilitation therapy. *Stud Health Technol Inform*, 34-38.
- Sung Min Kim, M. Y. (2014). A Haptic Gaming System for Tactile textures and 3D Shapes Discrimination. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 319-344.
- Systems, 3. (2017). *3D Systems*. Recuperado el 1 de Enero de 2017, de <https://es.3dsystems.com/haptics-devices/geomagic-touch>
- Tao G., A. P. (2013). Evaluation of Kinect skeletal tracking in a virtual reality rehabilitation system for upper limb hemiparesis. *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013 International Conference on*, 26-29.
- Zhou H., H. H. (2007). Inertial sensors for motion detection of human upper limbs. *Sensor Review*, 151-158.

# **ANEXOS**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: ANDRÉS DANIEL ACURIO SANTAMARIA

En la ciudad de Latacunga a los 09 días del mes de agosto de 2017.

Aprobado por:

.....  
Ing. Edwin Pruna  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

.....  
Ing. Franklin Silva  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

.....  
Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO**