



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÁPTICO CON REALIDAD VIRTUAL, QUE PERMITA LA MANIPULACIÓN, MONTAJE Y DESMONTAJE DE PIEZAS DE EQUIPOS MECATRÓNICOS”

Autor:

Pilatasig Sarabia Juan Carlos

Director:

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo



RESUMEN



- El presente Proyecto de titulación fue desarrollado dentro del motor de video juegos Unity 3D, en donde se implementó el dispositivo electrónico de reconocimiento gestual del movimiento de las manos Leap Motion Controller, mismo que permite tener un control interactivo del usuario con la aplicación de Realidad Virtual, además de un dispositivo de percepción háptica que permite generar una retroalimentación al sistema táctil. El sistema de Realidad Virtual da a conocer la parte de la transmisión de movimiento mecánico de un brazo robótico de tipo antropomórfico permitiendo fortalecer el conocimiento a estudiantes de ingeniería mecatrónica en la materia de mecanismos y robótica industrial.



INTRODUCCIÓN



- El sistema educativo está cambiando gracias al avance de la tecnología y la demanda de estudiantes que exigen una formación más flexible, multi-soporte y personalizada. La realidad virtual dentro de la educación está siendo la tecnología de gran importancia, ya que permite estimular el proceso de aprendizaje en estudiantes y puede cambiar el modelo educativo actual abriendo un mundo de posibilidades sin movernos del aula o laboratorio y poder utilizarlo en todas las materias existentes de la etapa educativa. La tecnología háptica proporciona varias ventajas al utilizarla junto con la realidad virtual, proporcionando al usuario una mayor inmersión, concentración y atención prestada que da como resultado una mejora en el proceso de aprendizaje de una actividad



OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema háptico con realidad virtual, que permita la manipulación, montaje y desmontaje de piezas de equipos mecatrónicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

• INVESTIGAR

• ANALIZAR Y SELECCIONAR

• DISEÑAR

• CONSTRUIR

• DESARROLLAR

• VALIDAR

La **Háptica** es la ciencia que se encarga del estudio del sentido del tacto que proporciona información de nuestro sistema propioceptivo, táctil y vestibular.

Sistema propioceptivo: Determina la posición relativa de las partes corporales y su respectiva orientación.

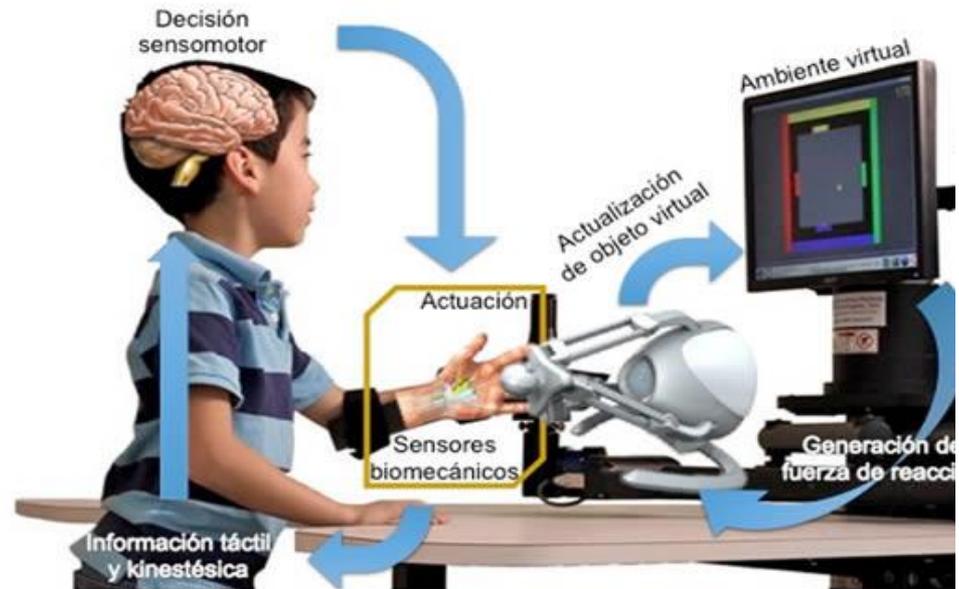
Sistema Táctil: Determinar información como temperatura presión o textura.

Sistema Vestibular: En realidad virtual, estos sistemas engañan al usuario jugando con la forma de percibir la aceleración o la inercia.

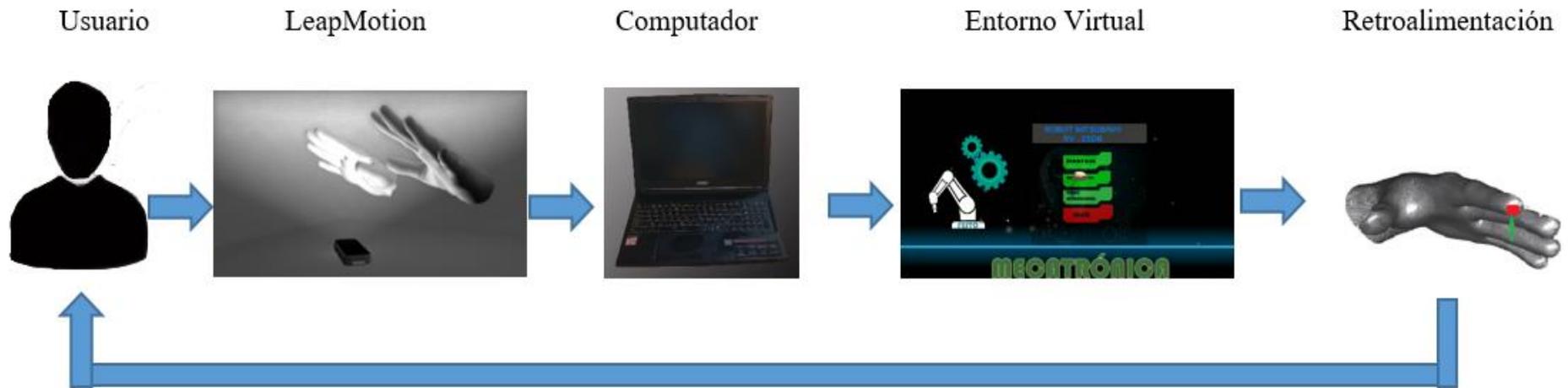
MARCO TEÓRICO

La **Realidad Virtual** es una realidad alternativa utilizada para describir un ambiente tridimensional generado por un computador, en donde una persona puede explorar e interactuar con el entorno virtual.

Partes de la Realidad Virtual



ESQUEMA DEL PROYECTO



SELECCIÓN DE SOFTWARE

Blender 3D



- Licencia.
- Interfaz gráfica.
- Manual de Usuario.
- Tutoriales en línea.
- Coste computacional.
- Curva de aprendizaje.

UNITY 3D



- Licencia.
- Interfaz gráfica.
- Calidad de Resultados Gráficos.
- Lenguaje de programación.
- Coste computacional.
- Curva de aprendizaje.



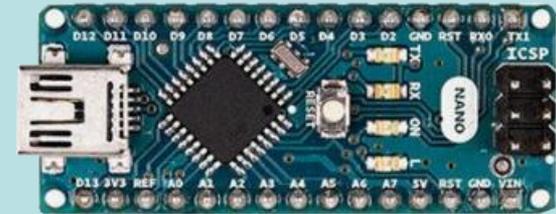
SELECCIÓN DE HARDWARE

Leap Motion.



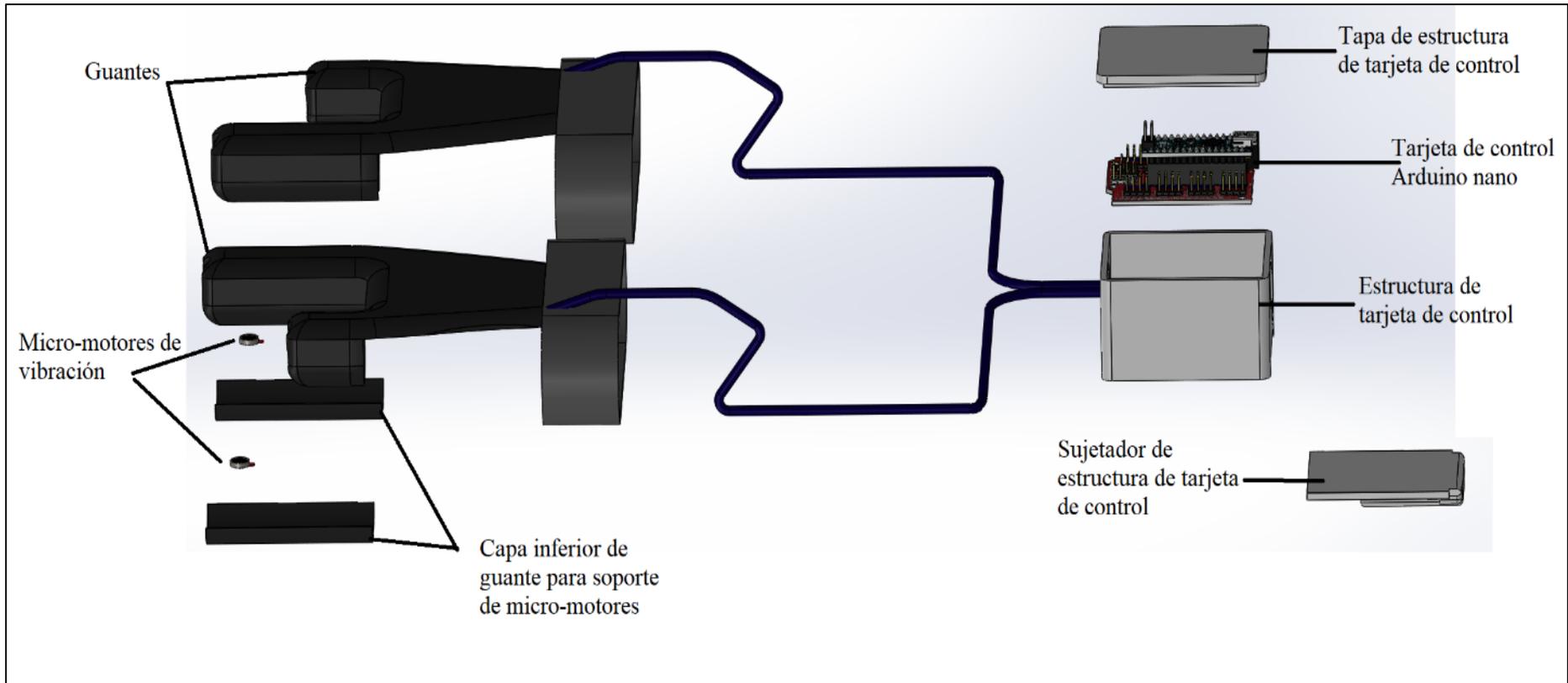
- Tasa de flujo de datos.
- Integración con motores de videojuegos.
- Reconocimiento de manos y dedos.
- Manejo de varios lenguajes de programación.

Arduino nano

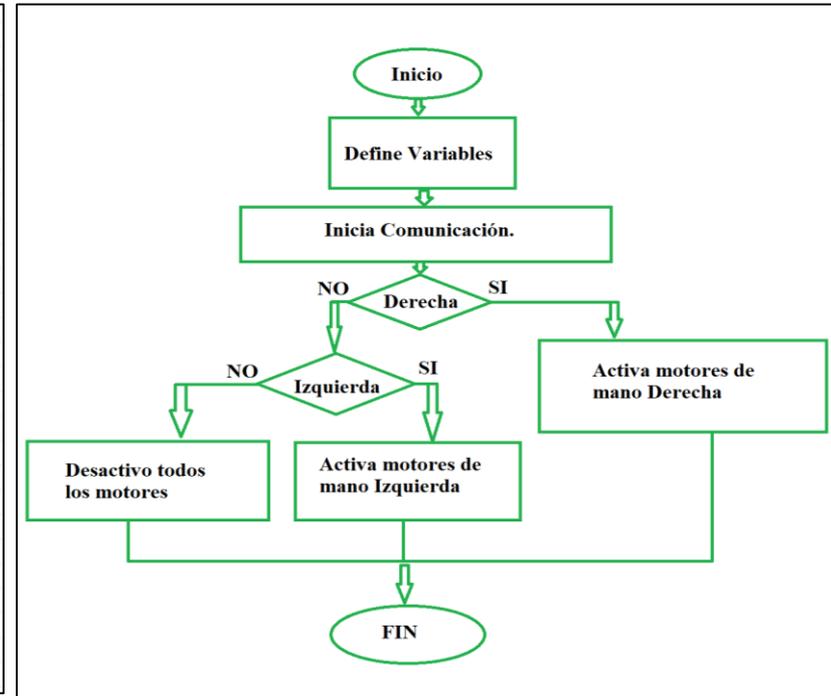
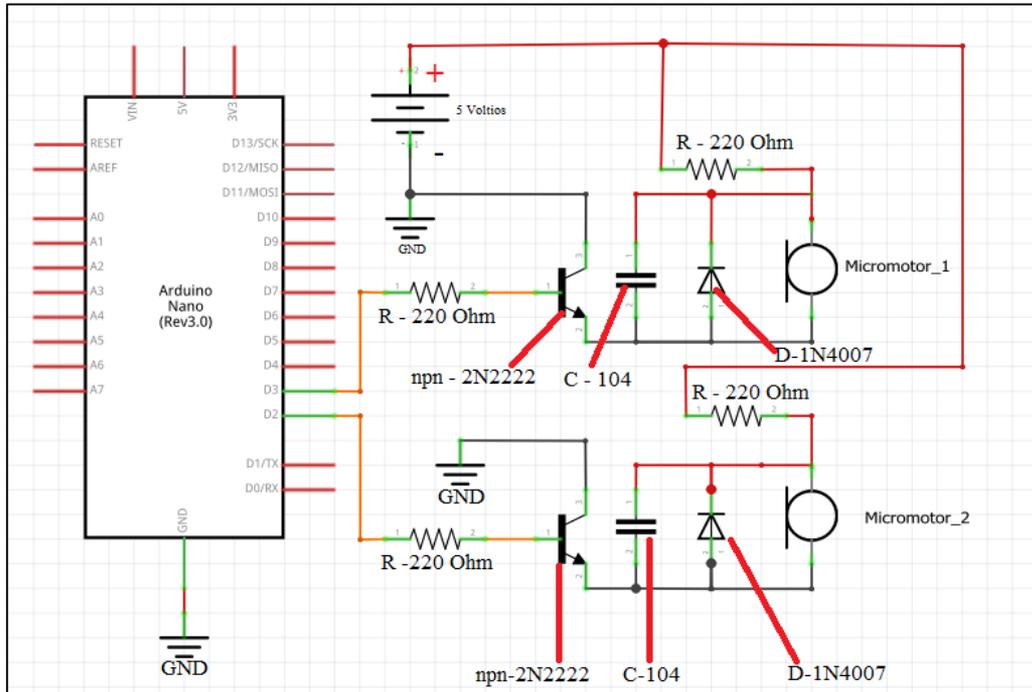


- Soporte para comunicación con la PC.
- Implementación en PCBs.
- Tamaño reducido.
- Precio económico.

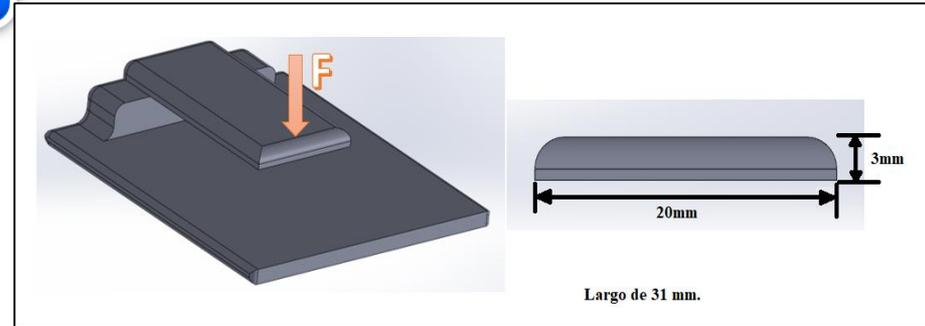
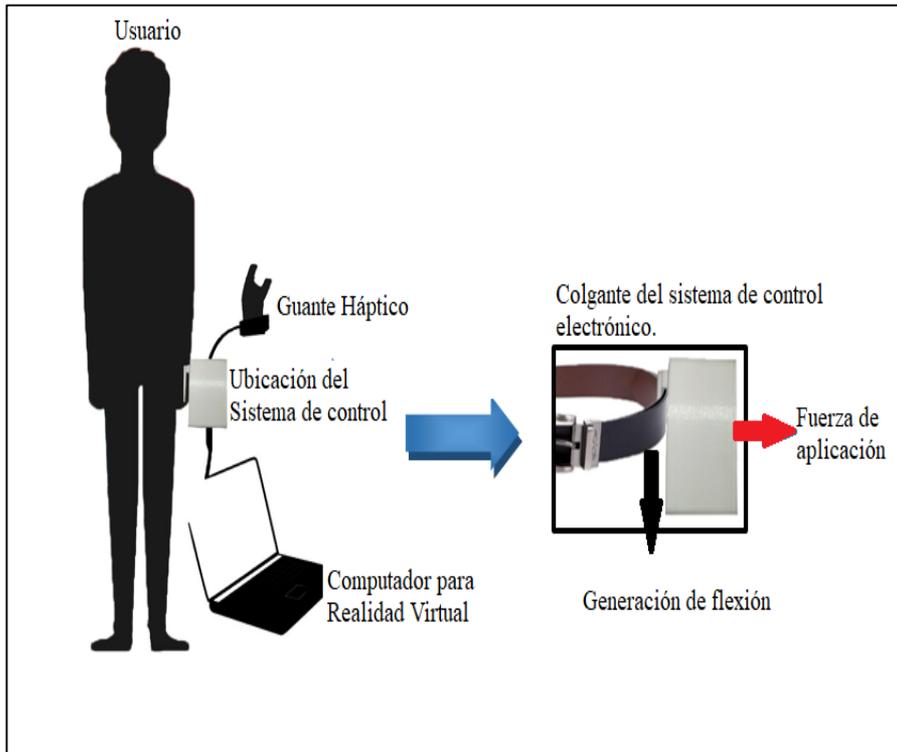
SISTEMA HÁPTICO



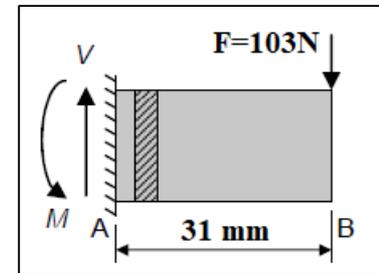
SISTEMA HÁPTICO



SISTEMA HÁPTICO



La teoría de falla para materiales compuestos que se aplica para determinar el buen diseño es la *teoría de falla de la máxima tensión*.



SISTEMA HÁPTICO

$$\sum F = 0; \quad \text{Ec.1}$$

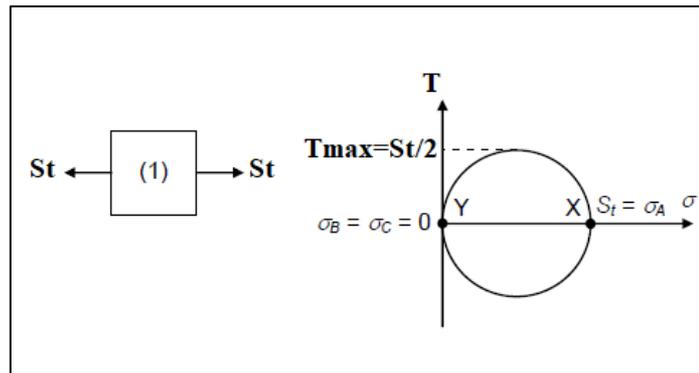
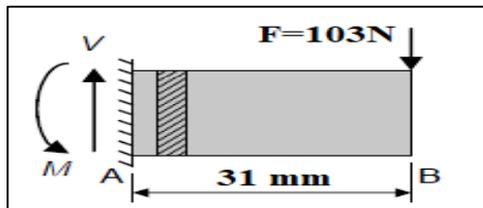
$$V - 103 [N] = 0$$

$$V = 103 [N]$$

$$+\text{SentidoHorario} \sum M_A = 0; \quad \text{Ec.2}$$

$$(103 [N])(0.031 [m]) - M = 0;$$

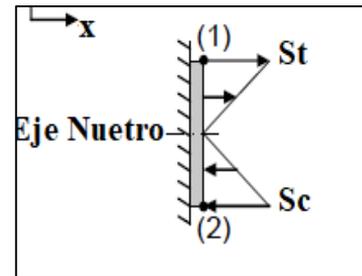
$$M = 3.193 [Nm];$$



Esfuerzo sometido a flexión.

$$S_{xx} = \frac{\pm Mc}{I}; \quad \text{Ec.3}$$

Donde: $M = 3.193 [N - m]; \quad c = 1.5mm;$



$$I = \frac{1}{12}(b * h^3); \quad \text{Ec.4}$$

$$I = 4.5 \times 10^{-11} [m^4];$$

$$S_{xx} = \pm 106.43 [MPa];$$

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_A = 106.43 [MPa], \\ \sigma_2 &= \sigma_3 = 0; \quad \tau_{max} \\ &= 53.215 [MPa]. \end{aligned}$$



SISTEMA HÁPTICO

$$\sigma_1 = \sigma_A = 106.43 \text{ [MPa]}, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0; \tau_{max} = 53.215 \text{ [MPa]}.$$

$$Fs = \frac{Sut}{\tau_{max}};$$

$$Fs = \frac{70.32 \text{ [MPa]}}{53.215 \text{ [MPa]}};$$

$$Fs = 1.32 \therefore \text{Si cumple}$$

$$y_{max} = \frac{-P x^3}{3EI} = \frac{-(103)(.031)^3}{3(4495.38 \times 10^6)(4.5 \times 10^{-11})} = \frac{N(m^3)}{\left(\frac{N}{m^2}\right)(m^4)};$$

$$y_{max} = -5.0562428 \times 10^{-3} m = -5.0562428 \text{ mm};$$

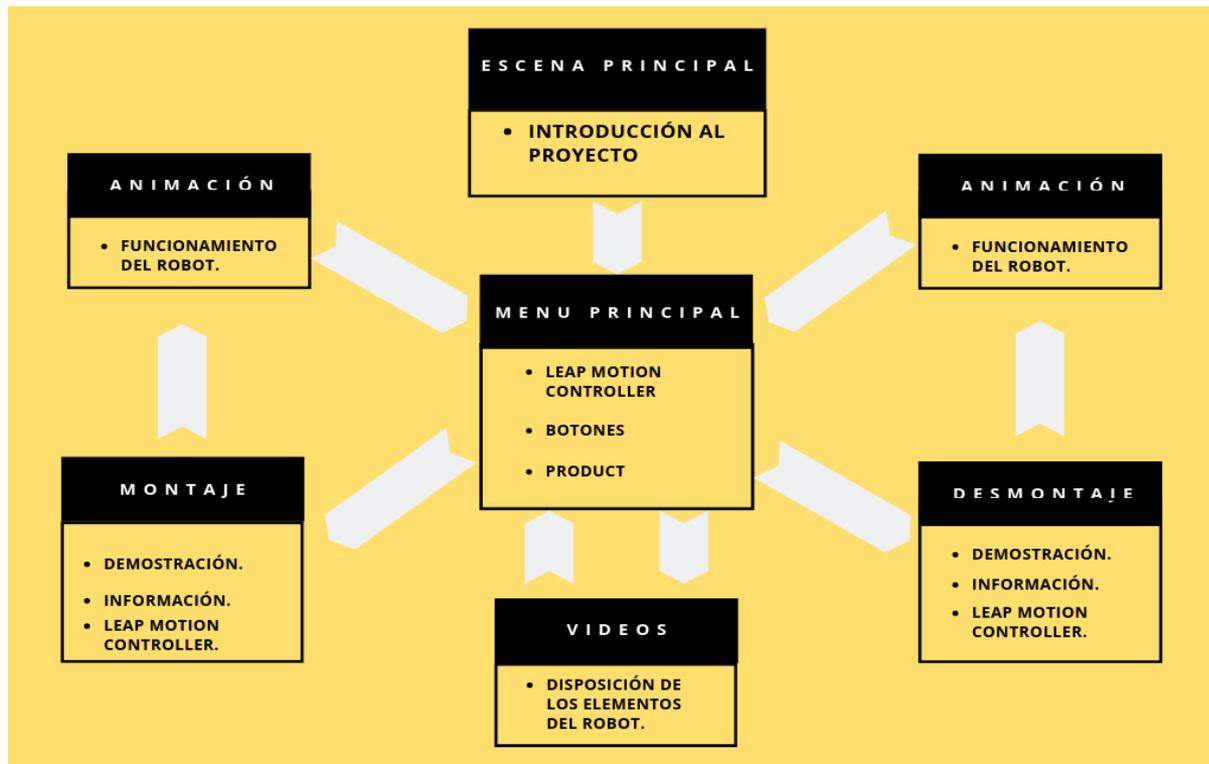


SISTEMA HÁPTICO



ENTORNO VIRTUAL

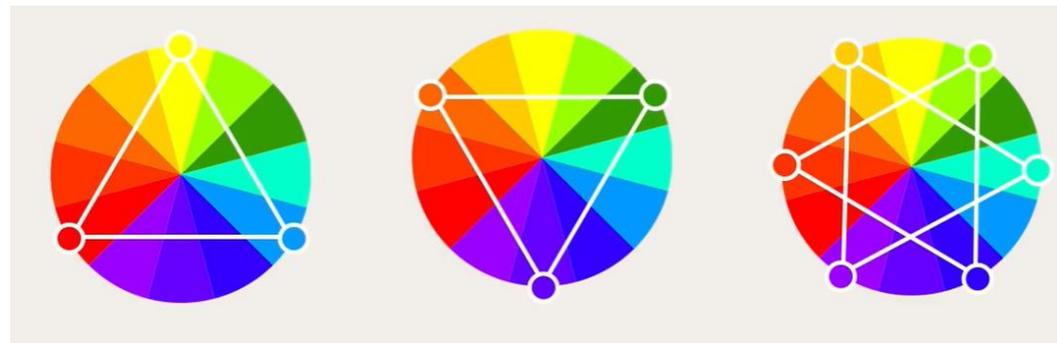
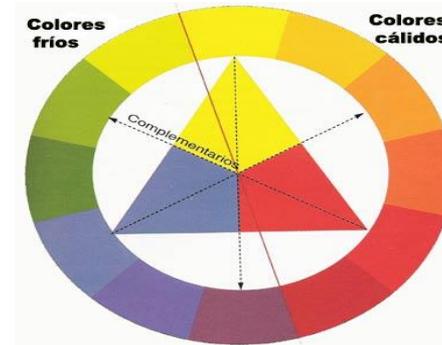
Esquema del Sistema



ENTORNO VIRTUAL

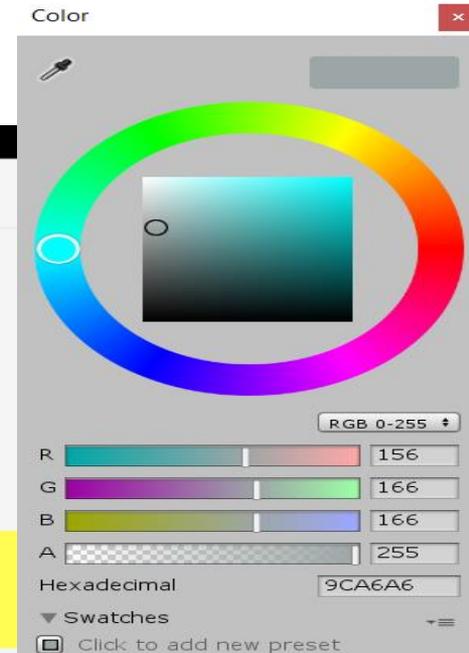
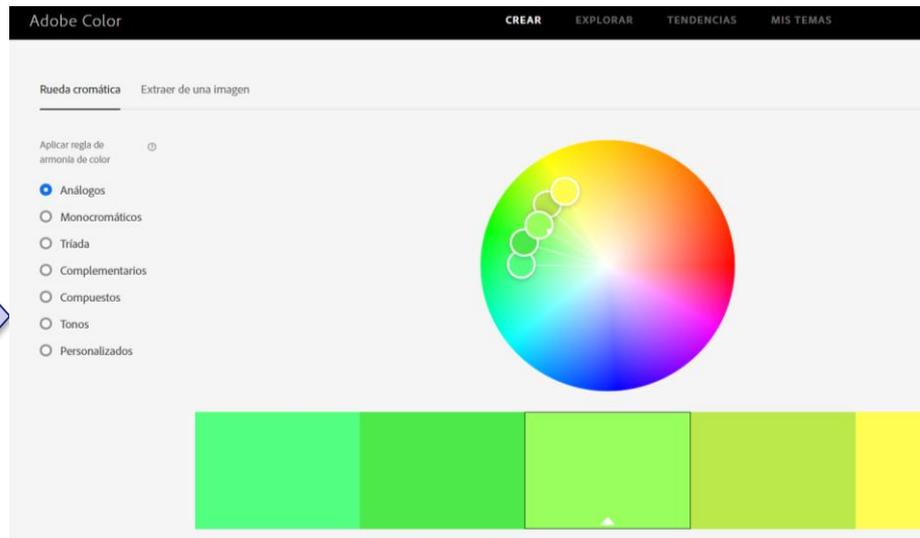
Psicología de color.

El uso del color dentro de cualquier aplicación es de suma importancia ya que afecta de manera muy compleja hacia el cerebro, causando sensaciones y respuestas por parte del usuario



ENTORNO VIRTUAL

Paleta de colores.



</> MODOS Y CÓDIGOS DE COLOR

RGB 128, 144, 166	RGB 33, 37, 38	RGB 55, 61, 64	RGB 176, 191, 191	RGB 152, 166, 166
HSV 214, 23, 65	HSV 197, 15, 15	HSV 197, 14, 25	HSV 180, 8, 75	HSV 180, 8, 65
CMYK 23, 13, 0, 35	CMYK 15, 4, 0, 85	CMYK 14, 4, 0, 75	CMYK 8, 0, 0, 25	CMYK 8, 0, 0, 35
LAB 59, -1, -13	LAB 14, -1, -2	LAB 25, -2, -2	LAB 76, -5, -2	LAB 67, -5, -2



ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ENTORNO VIRTUAL

CREACIÓN DE ESCENAS

Menú Principal



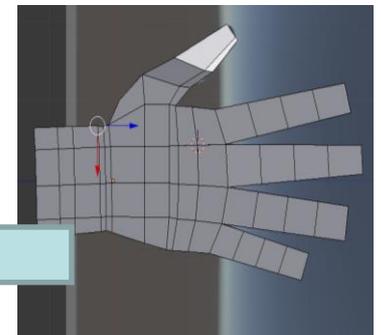
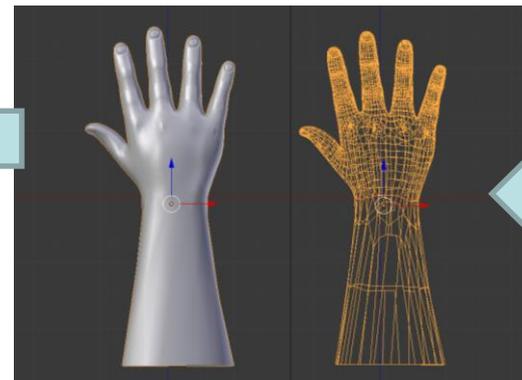
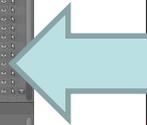
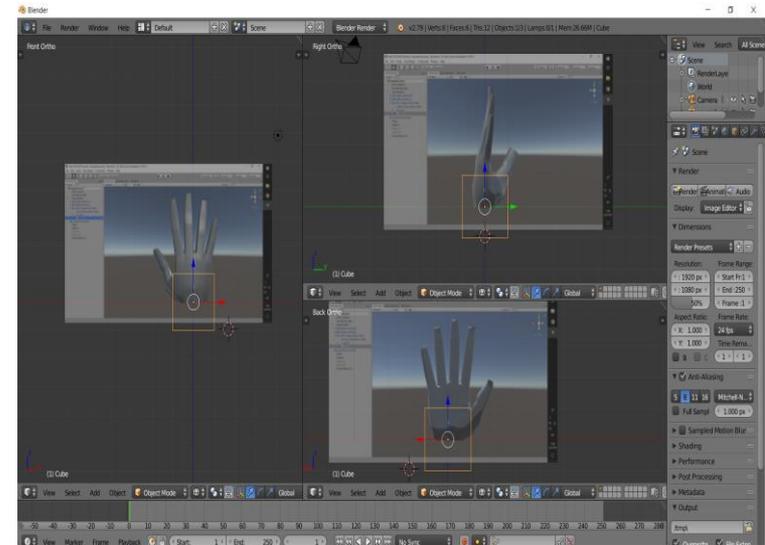
Leap Rig		Leap Rig
Main Camera	Camera + LeapXRServiceProvider	
▼ Hand Model Manager	Hand Model Manager & Hand Models	
Capsule Hand (Left)		
Capsule Hand (Right)		
▼ Interaction Manager	Interaction Manager & Interaction Controllers	
Interaction Hand (Left)		
Interaction Hand (Right)		
XR Oculus-style Controller (Left)		
XR Oculus-style Controller (Right)		
Interaction Cube (1)		Interaction Objects (outside of the rig)
Interaction Cube (2)		
Interaction Cube (3)		



ENTORNO VIRTUAL

CREACIÓN DE ESCENAS

Modelado de mano

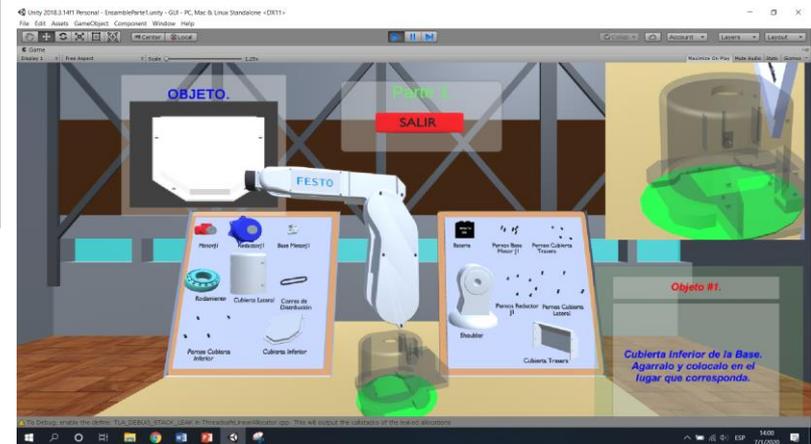
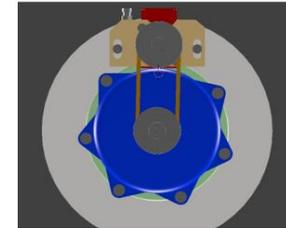
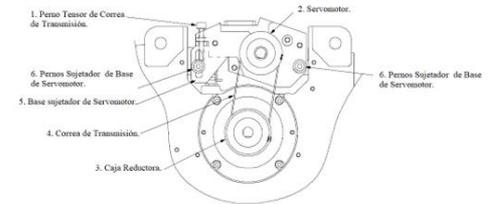
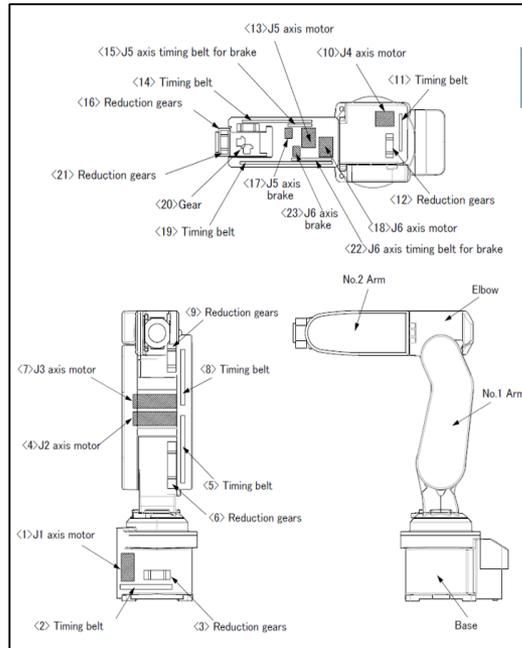


ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ENTORNO VIRTUAL

CREACIÓN DE ESCENAS

Modelado de Piezas del Robot.

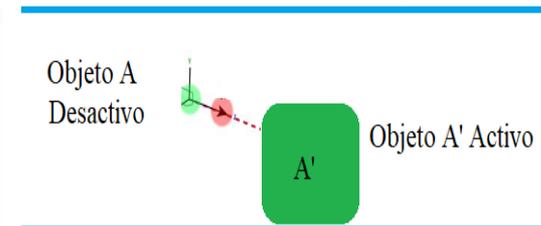
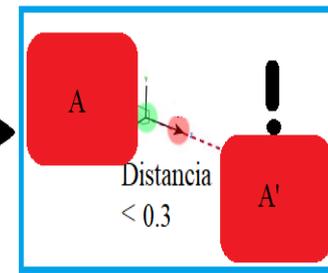
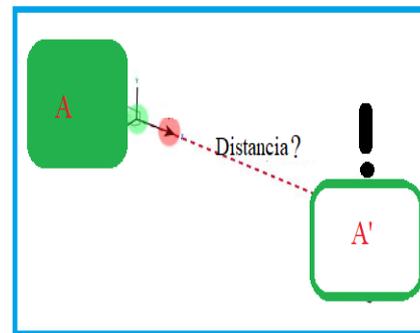
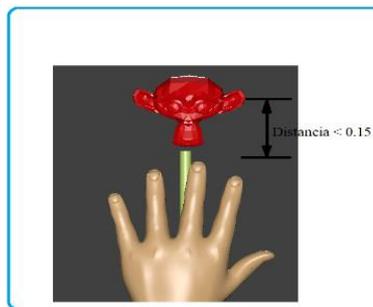
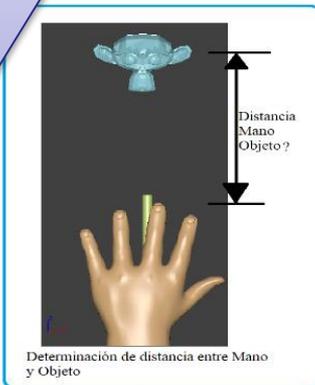


ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ENTORNO VIRTUAL

CREACIÓN DE ESCENAS

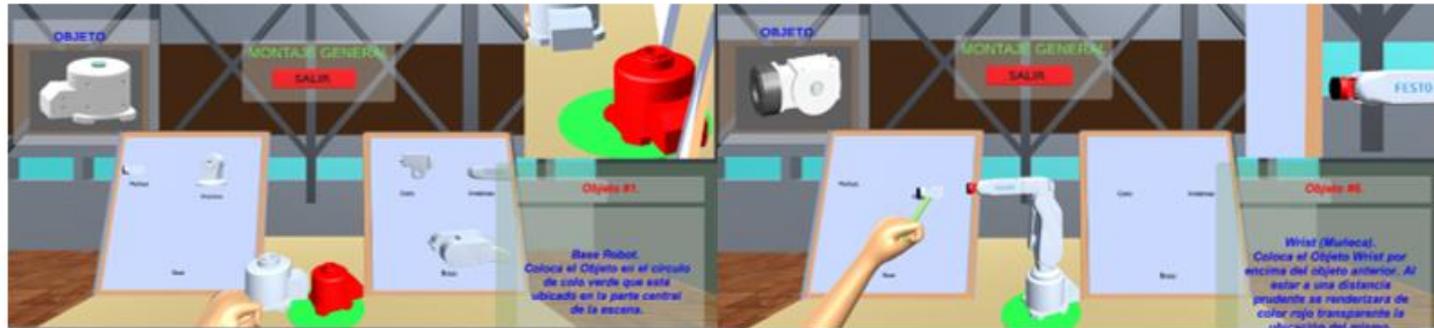
Algoritmo de control



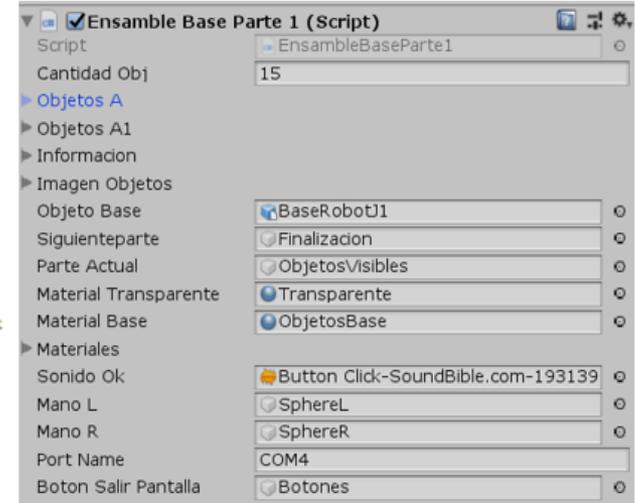
ENTORNO VIRTUAL

CREACIÓN DE ESCENAS

Algoritmo de control



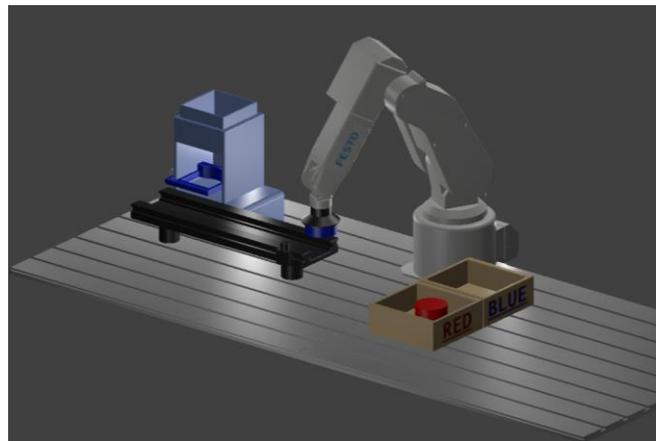
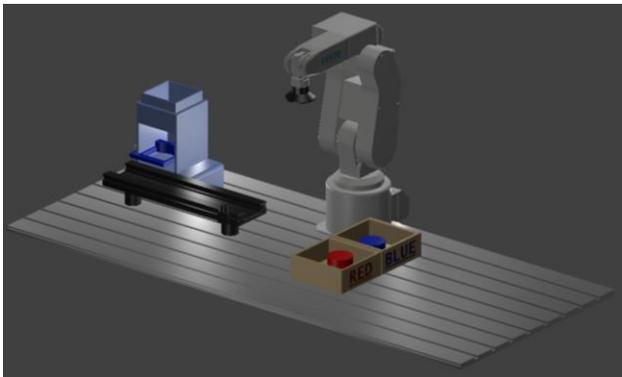
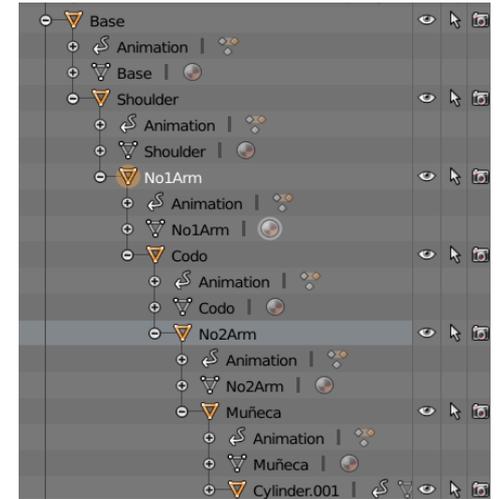
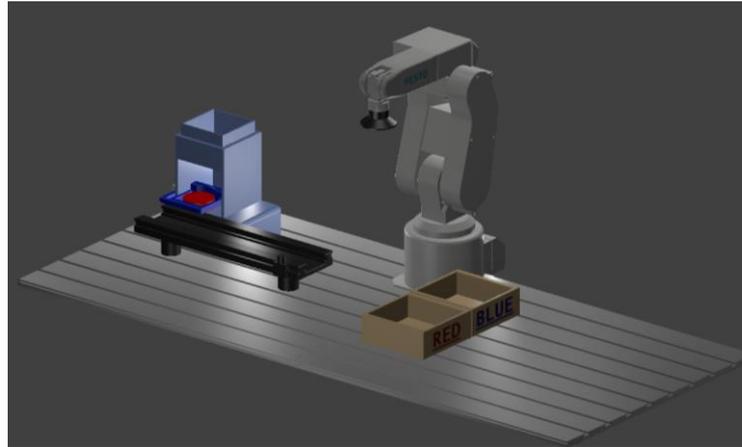
```
public int cantidadObj;  
public GameObject[] ObjetosA;  
public GameObject[] ObjetosA1;  
public GameObject[] informacion;  
public GameObject[] imagenObjetos;  
public GameObject ObjetoBase;  
public GameObject Siguieteparte;  
public GameObject parteActual;  
public Material materialTransparente;  
public Material materialBase;  
public Material[] materiales;  
public AudioClip sonidoOk;  
private AudioSource fuente;  
public GameObject ManoL;  
public GameObject ManoR;  
float distanciaManoR;  
float distanciaManoL;  
SerialPort arduino;  
public string portName = "COM4";
```



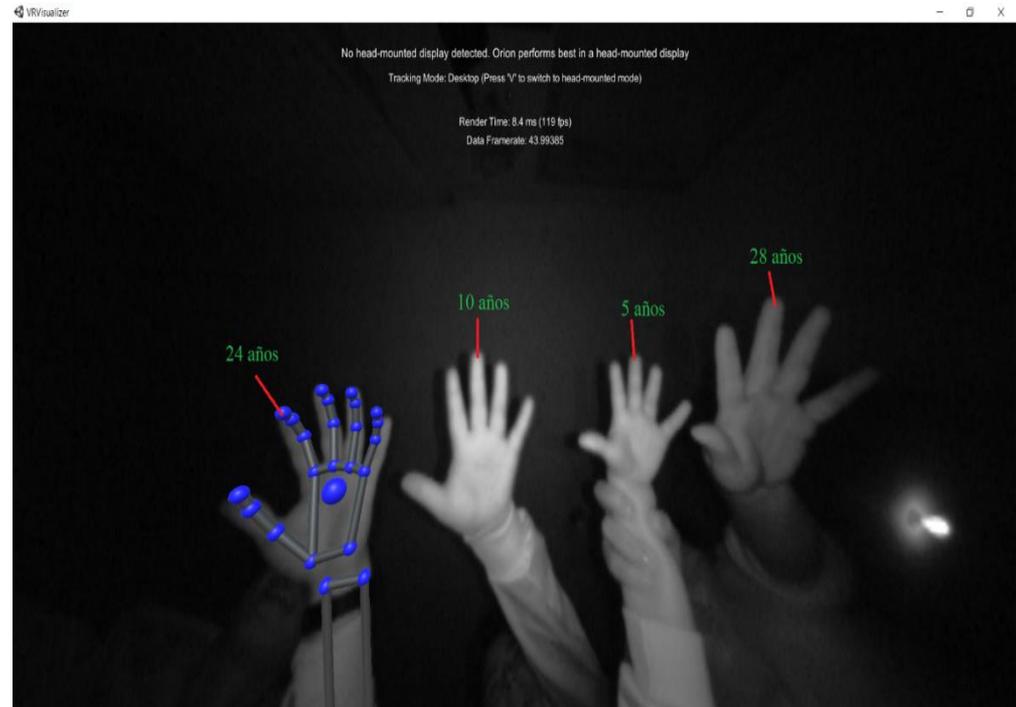
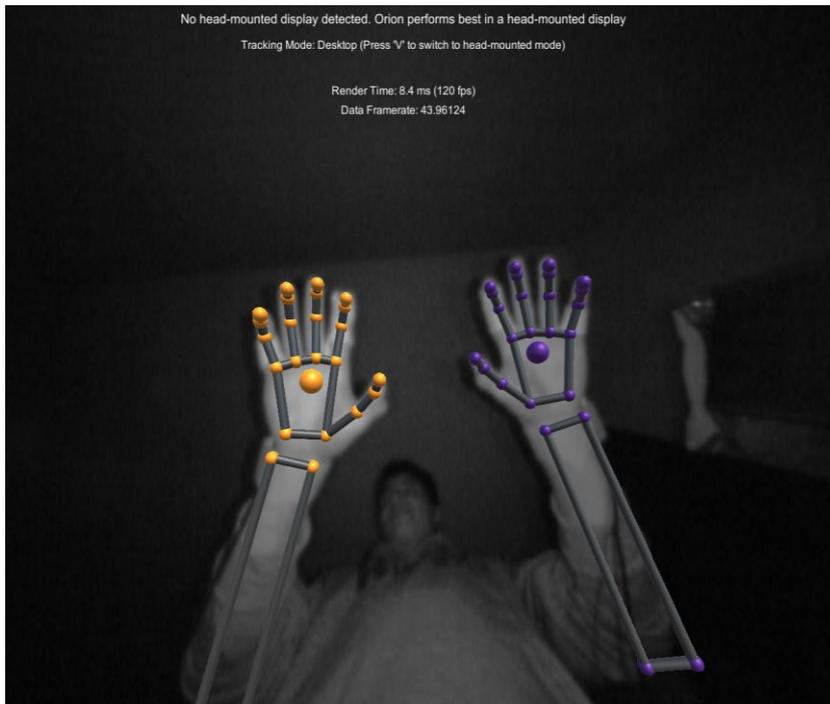
ENTORNO VIRTUAL

CREACIÓN DE ESCENAS

Animación del
funcionamiento
del robot.



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



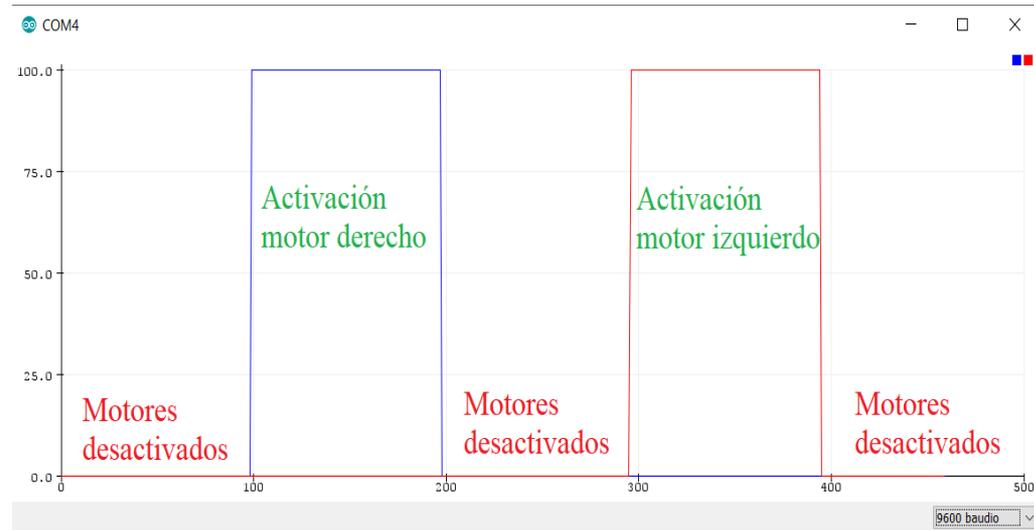
Leap Motion.



ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

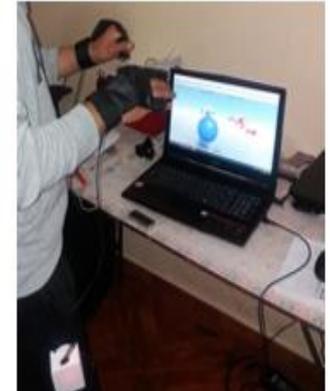
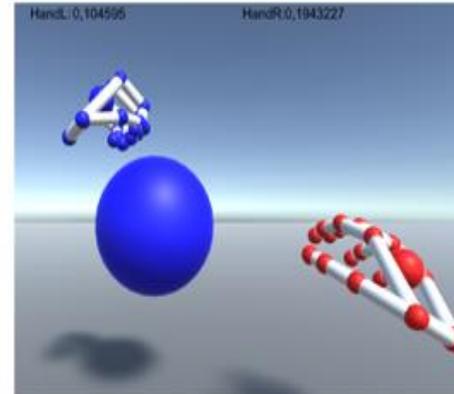
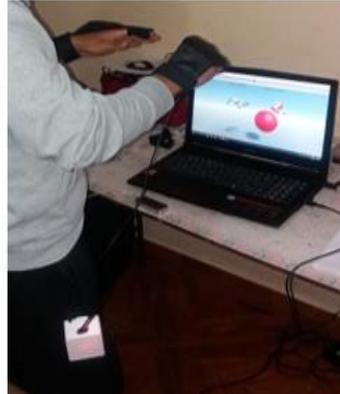
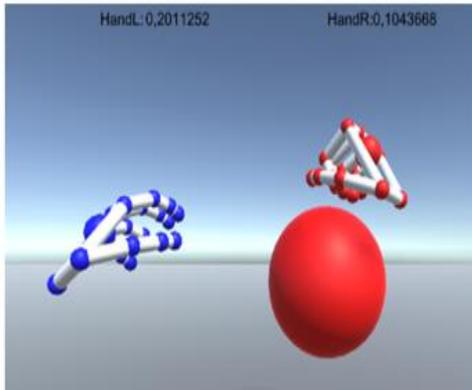
```
if(control>200 && control<300){
Serial.print(0);
Serial.print(",");
Serial.println(0);
digitalWrite(pin11,LOW);
digitalWrite(pin12,LOW);
digitalWrite(pin13,LOW);
digitalWrite(pin21,LOW);
digitalWrite(pin22,LOW);
digitalWrite(pin23,LOW);
}
if(control>300 && control<400){
Serial.print(0);
Serial.print(",");
Serial.println(100);
digitalWrite(pin11,LOW);
digitalWrite(pin12,LOW);
digitalWrite(pin13,LOW);
digitalWrite(pin21,HIGH);
digitalWrite(pin22,HIGH);
digitalWrite(pin23,HIGH);
}
if(control>400){
Serial.print(0);
Serial.print(",");
Serial.println(0);
digitalWrite(pin11,LOW);
digitalWrite(pin12,LOW);
digitalWrite(pin13,LOW);
digitalWrite(pin21,LOW);
digitalWrite(pin22,LOW);
digitalWrite(pin23,LOW);
}
```



SISTEMA HÁPTICO



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



SISTEMA HÁPTICO

```
if (distanciaR <= 0.15 & grasping == true)
{
    arduino.Write("1");
    esfera.GetComponent<Renderer>().material = rojo;
}
else {
    arduino.Write("0");
    esfera.GetComponent<Renderer>().material = verde;
}
if (distanciaL <= 0.15 & grasping == true)
{
    arduino.Write("2");
    esfera.GetComponent<Renderer>().material = azul;
}
else
{
    arduino.Write("0");
    esfera.GetComponent<Renderer>().material = verde;
}
```



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



¿El diseño del sistema háptico con realidad virtual, permitirá mejorar la habilidad de montar y desmontar piezas de equipos mecatrónicos?

- **Hipótesis alternativa:** El diseño del sistema háptico con realidad virtual, permite mejorar la habilidad de montar y desmontar piezas de equipos mecatrónicos.
- **Hipótesis nula:** El diseño del sistema háptico con realidad virtual, no permite mejorar la habilidad de montar y desmontar piezas de equipos mecatrónicos.

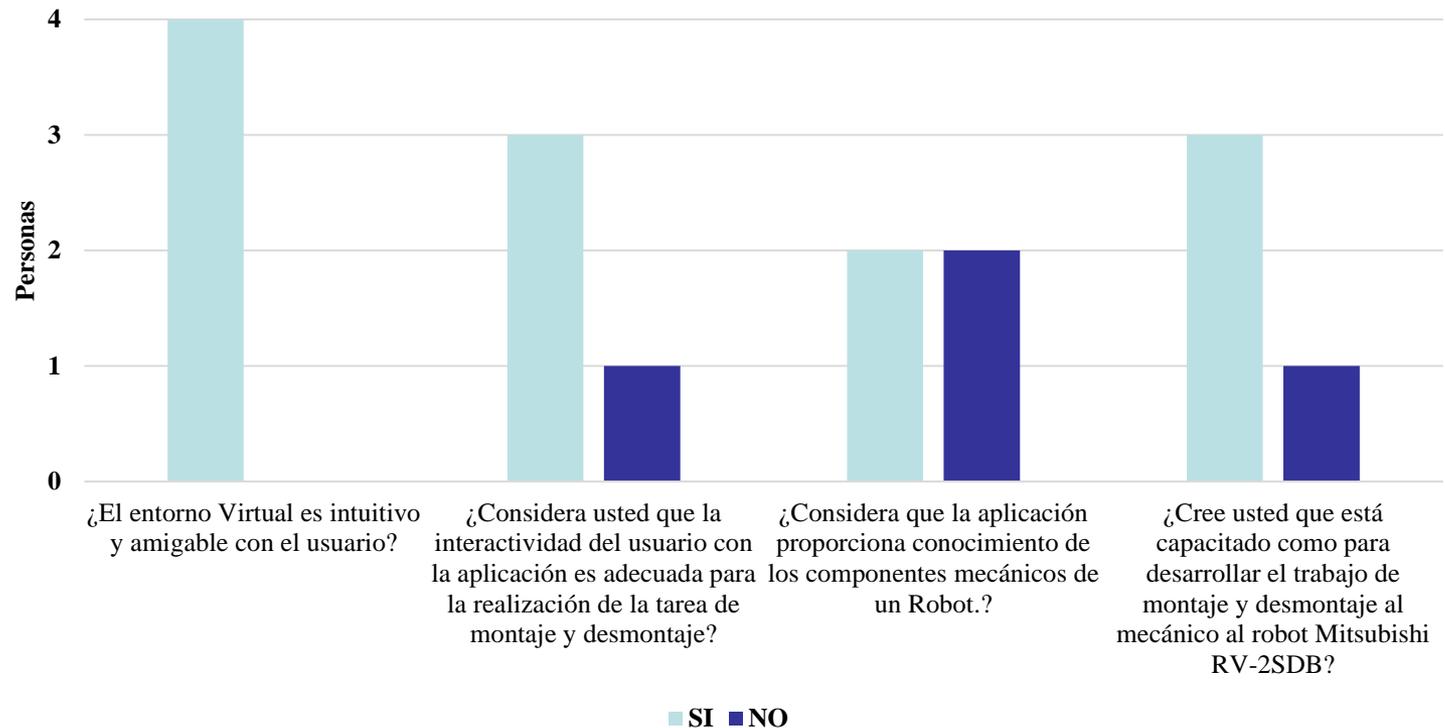
Validación de la Hipótesis



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Resultados de SI/NO sobre uso y calidad y propósito del Sistema.



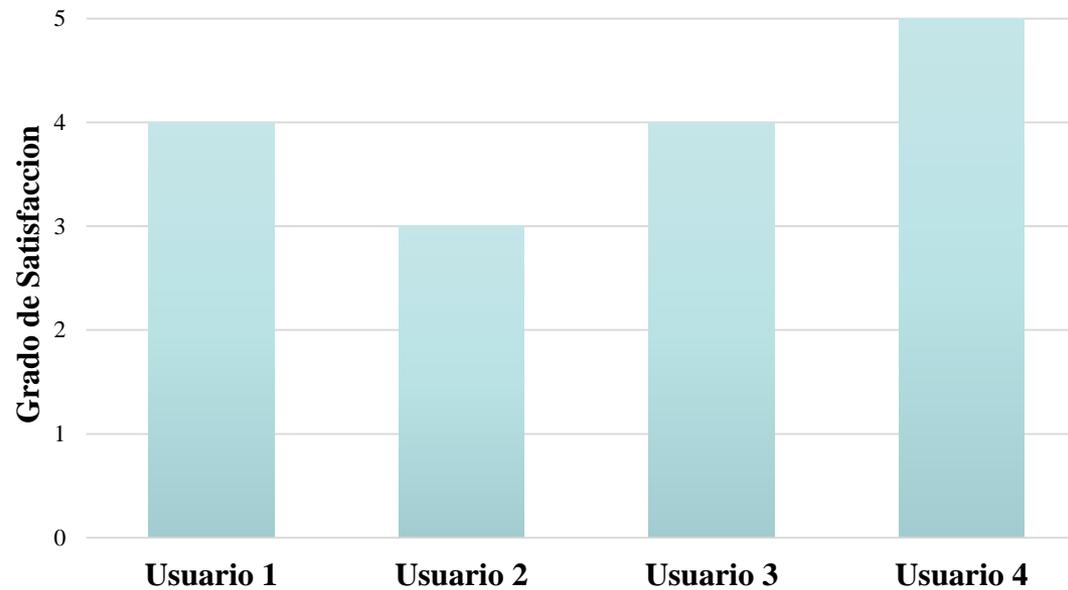
Validación de la Hipótesis



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



¿Considera que el sistema de percepción háptico dentro del entorno virtual proporciona una mayor inmersión?



Validación de la Hipótesis



ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

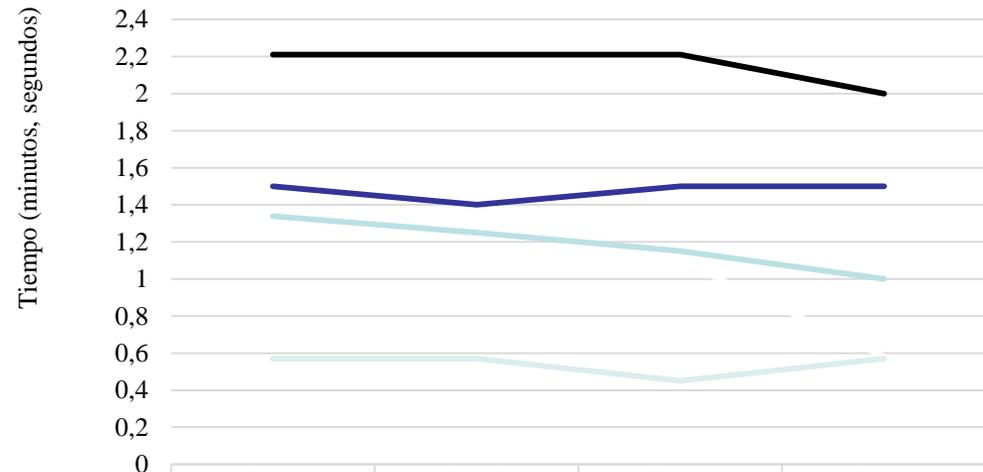
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Características de toma de datos y su validación:

1. Variable: tiempo de respuesta.
2. Formula de aplicación: $X = \text{tiempo}$.
3. Interpretación: Entre más corto mejor.

Gráfico de tiempo Usuario 1 en modo Montaje



	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Parte 1	1,34	1,25	1,15	1
Parte 2	1,5	1,4	1,5	1,5
Parte 3	1,1	1,1	1,1	0,58
Parte 4	2,21	2,21	2,21	2
Parte 5	0,57	0,57	0,45	0,57

Validación de la Hipótesis



IMPACTO

No.	UNIDADES DE ESTUDIO Y SUS CONTENIDOS	EVIDENCIA DEL APRENDIZAJE DE TAREAS
Unidad 1:	ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE MECANISMOS	MEMORIA DE CÁLCULO DEL CINEMÁTICO DE UN MECANISMO (APLASTADOR DE LATAS, CILINDROS Y VARILLAS).
1.1. FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA DE LOS MECANISMOS.	<p>Análisis topológico de los mecanismos</p> <p>Clasificación de los mecanismos</p> <p>Grupo de enlaces de un mecanismo</p> <p>Condición de Grashof</p> <p>Inversión cinemática y curvas de acoplador</p>	<p>Tarea principal 1.1: Analizar cinemáticamente un mecanismo</p> <p>Tarea principal 1.2: Modelar en Working Model 2D un mecanismo</p> <p>Tarea principal 1.3: Prácticas de laboratorio de los mecanismos</p>
1.2. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE MECANISMOS.	<p>Métodos gráficos y analíticos de Análisis del Movimiento, Velocidad, Aceleración, Ventaja Mecánica, Ángulos de Transmisión, Curvas de acoplador, Aceleración de Centros de Gravedad en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mecanismos manivela corredera - Mecanismo de cuatro barras - Cadenas cinemáticas en serie - Mecanismo de retorno rápido - Mecanismo de corredera invertida - Mecanismos de eslabonamientos y engranajes - Mecanismos de eslabonamientos y engranajes planetarios 	

EMEC-20079	MECANISMOS		
EMEC-24053	EXCT-11305		4

EMEC 44050	ROBÓTICA INDUSTRIAL			
ELEE-30033	ELEE-30095	EMEC-33058		3

1.1 Antecedentes históricos	
1.1.1 Antecedentes históricos	Tarea 1: Resumen de evolución histórica del robot industrial
1.2 DEFINICIONES	
1.2.1 DEFINICIONES	
1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS	Tarea 2: Clasificación del robot industrial según diferentes criterios: Evolución del sistema de control; Generación del robot
1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS	

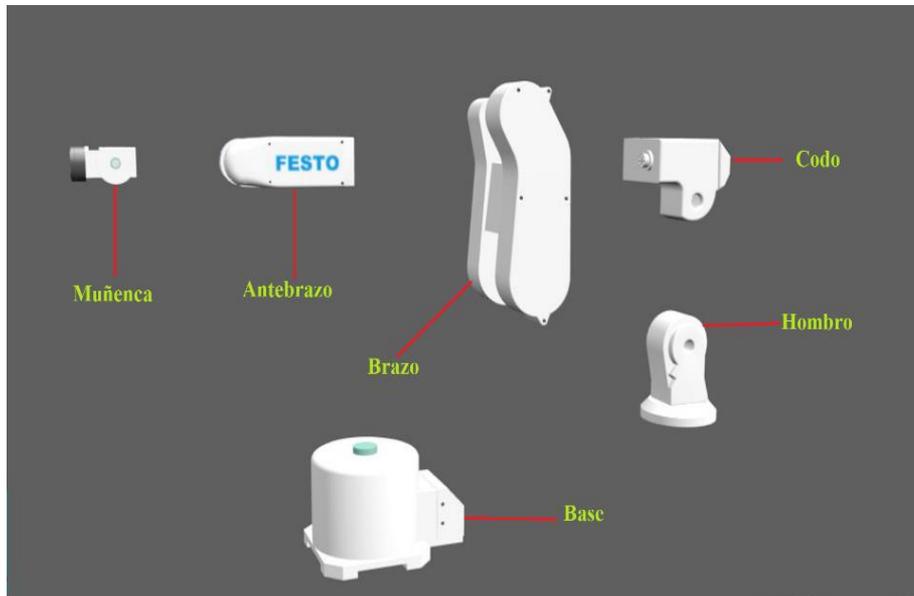
CÓDIGO: SGC.DI.321
VERSIÓN: 1.3
FECHA ÚLTIMA REVISIÓN: 23/09/14

Página 1 de 7

 	
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE Vicerrectorado de Docencia	
PROGRAMA DE ASIGNATURA - SÍLABO	
2. SISTEMA DE CONTENIDOS Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE	
1.4 MORFOLOGÍA DEL ROBOT MANIPULADOR	
1.4.1 MORFOLOGÍA DEL ROBOT MANIPULADOR	Tarea 3: Sistemas de transmisión de movimiento y reductores de velocidad del robot industrial
1.5 ELEMENTOS Y COMPONENTES DE UN ROBOT.	
1.5.1 ELEMENTOS Y COMPONENTES DE UN ROBOT.	
1.6 ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DE UN ROBOT.	
1.6.1 ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DE UN ROBOT.	
1.7 SUBSISTEMAS DE UN ROBOT.	
1.7.1 SUBSISTEMAS DE UN ROBOT.	
1.8 GRADOS DE LIBERTAD Y ESPACIO DE TRABAJO	
1.8.1 GRADOS DE LIBERTAD Y ESPACIO DE TRABAJO	

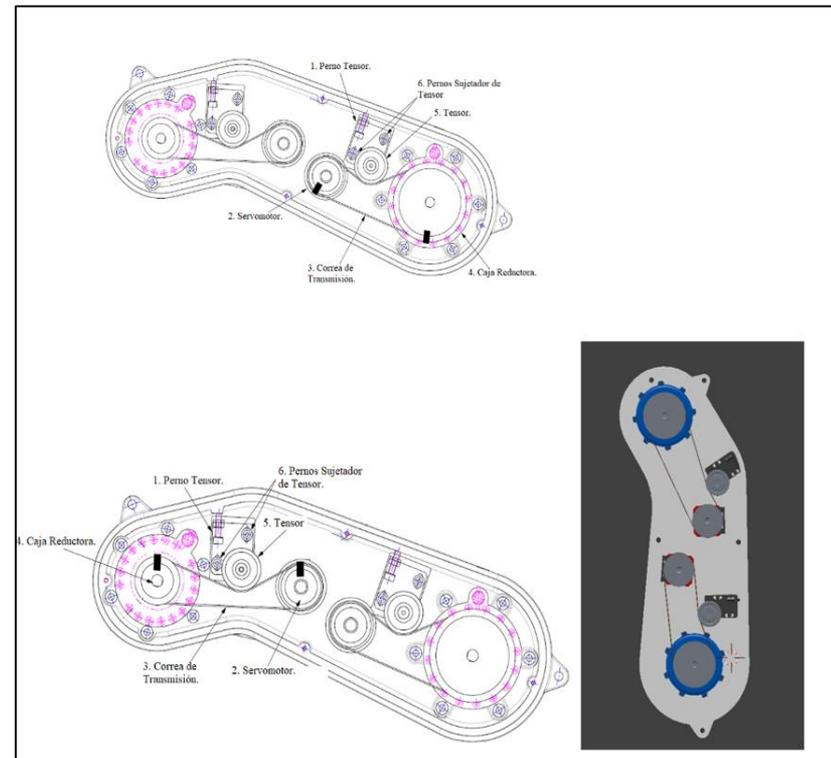
Beneficios

IMPACTO



Robot Mitsubishi RV-2SDB -- Tipo antropomórfico

Sistema de transmisión.



Beneficios

IMPACTO



Para las mejoras del software se tiene lo siguiente:

- Como se tiene un programa modular utilizado tanto para la parte de Montaje y Desmontaje se puede crear más escenas de las existentes con las mismas tareas, pero con otras máquinas o agregar más componentes a las existentes tales como los finales de carrera entre otros elementos.
- El uso de herramientas adecuadas para el uso de montaje o desmontaje de las piezas del robot, como puede ser destornilladores o llaves.

Para las mejoras del hardware se tiene lo siguiente:

- La utilización de gafas de Realidad Virtual como objetivo de incrementar el grado de inmersión por parte del usuario dentro del aplicativo.

Mejoras



CONCLUSIONES



- El sistema háptico de realidad virtual que permite la manipulación, montaje y desmontaje de piezas de equipos mecatrónicos como herramienta educativa permite a los usuarios conocer la parte mecánica que conforma un Robot Mitsubishi RV-2SDB.
- La técnica de captura de gestos y movimiento que aplica el dispositivo Leap Motion Controller presenta mayor eficiencia dentro de aplicaciones de Realidad Virtual, teniendo como características principales su tasa de flujo de datos de un valor de 120 fps y su soporte para trabajar dentro los motores de video juegos 3D.
- Mediante el uso de la metodología cualitativa por puntos se logró dar una selección tanto de software y hardware de manera objetiva, tomando en consideración las características técnicas y las respectivas ventajas y desventajas correspondiente a cada alternativa.



CONCLUSIONES



- El sistema háptico de realidad virtual que permite la manipulación, montaje y desmontaje de piezas de equipos mecatrónicos como herramienta educativa permite a los usuarios conocer la parte mecánica que conforma un Robot Mitsubishi RV-2SDB.
- La técnica de captura de gestos y movimiento que aplica el dispositivo Leap Motion Controller presenta mayor eficiencia dentro de aplicaciones de Realidad Virtual, teniendo como características principales su tasa de flujo de datos de un valor de 120 fps y su soporte para trabajar dentro los motores de video juegos 3D.
- Mediante el uso de la metodología cualitativa por puntos se logró dar una selección tanto de software y hardware de manera objetiva, tomando en consideración las características técnicas y las respectivas ventajas y desventajas correspondiente a cada alternativa.



CONCLUSIONES



- Con la ayuda de la técnica de modelado 3D “Box Modeling” implementada en Blender 3D, se logró obtener el modelo tridimensional del miembro superior con excelentes características visuales para su implementación dentro del proyecto investigativo de Realidad Virtual.
- El dispositivo háptico dentro del Entorno de Realidad Virtual permite interactuar con los objetos pieza del Robot Mitsubishi RV-2SDB generando al usuario una retroalimentación vibro-táctil de manera efectiva dando como resultado a su correspondiente evaluación un promedio ponderado equivalente a 4 dentro del rango de satisfacción de usabilidad de 0 a 5 por parte de los cuatro usuarios.



CONCLUSIONES



- La estructura correspondiente al soporte de la tarjeta electrónica de control fue construida por medio de la tecnología de impresión 3D con el método modelado por deposición fundida (MDF) utilizando como material ácido poliláctico (PLA) dando como resultado una buena resistencia a esfuerzo de deflexión y corte con un valor en su factor de diseño de 1.3 mismo que es mayor a 1 y se considera que el diseño es correcto para la fuerza máxima aplicada.
- El aplicativo permite al usuario tener la capacidad de conocer las piezas correspondientes al sistema mecánico de transmisión de movimiento de un Robot, manipularlas y realizar las tareas de montaje y desmontaje de forma individual, proporcionando una ayuda a los estudiantes de ingeniería mecatrónica sobre el conocimiento básico de un robot antropomórfico



CONCLUSIONES



- La habilidad dentro del aplicativo para el proceso de montaje y desmontaje por parte de los usuarios van mejorando conforme mayor vez lo utilicen, dado como resultado la medida del tiempo correspondiente al último uso un valor mucho menor referente a su primera vez dentro del aplicativo.



RECOMENDACIONES



- Para mejorar la habilidad en el proceso de montaje y desmontaje de piezas de equipos mecatrónicos se debe emplear varias sesiones del uso del aplicativo, manteniendo siempre un tiempo prudente entre cada sesión, esto con el objetivo de que el usuario no experimente cansancio muscular y visual.
- El aplicativo consume grandes recursos computacionales por lo que es necesario para su implementación disponer de un computador con características mínimas de: Tarjeta Gráfica NVIDIA GTX 970 / AMD R9 290 equivalente o mayor, memoria RAM de 8GB entre otras no muy relevantes.
- Para que el dispositivo de percepción háptica entre en funcionamiento con el aplicativo es necesario que el puerto USB que está conectado sea el puerto COM4, esto debido a que dentro de la programación se le asigne ese nombre al objeto de la clase Serial.IO como parte de la inicialización de la comunicación serial.



MUCHAS
GRACIAS