



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE PERCEPCIÓN HÁPTICA CON REALIDAD AUMENTADA PARA SIMULAR ACTIVIDADES BÁSICAS EN EL ÁREA DE ODONTOLOGÍA”

### **Autores:**

Pusdá Mejía, Karla Estefanía  
Saigua Parra, Johanna Alejandra

### **Director:**

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo



## RESUMEN

El presente proyecto es un sistema mecatrónico de percepción háptica con realidad aumentada que se basa en una combinación de tecnologías, los dispositivos de percepción háptica, la realidad aumentada y software para desarrollo de videojuegos, aplicado a la simulación de actividades básicas de odontología.

## JUSTIFICACIÓN

Hasta el momento, no existen simuladores basados en hápticos y realidad virtual en la mayoría de universidades del Ecuador que ofertan la carrera de Odontología, especialmente en las universidades públicas ya que un equipo que integre estas tecnologías tiene un alto costo en el mercado extranjero.

## IMPORTANCIA

La importancia del presente proyecto consiste en proveer un simulador odontológico basado en un sistema háptico y realidad virtual realizado con software para desarrollo de videojuegos 3D, multiplataforma; brindando a estudiantes de odontología la capacidad de realizar prácticas simuladas con el fin de desarrollar y afianzar sus conocimientos, experimentando una nueva forma de potenciar sus habilidades y minimizando la probabilidad de cometer errores durante la atención a pacientes.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema mecatrónico de percepción háptica con realidad aumentada para simular actividades básicas en el área de odontología.

### OBJETIVO ESPECÍFICO

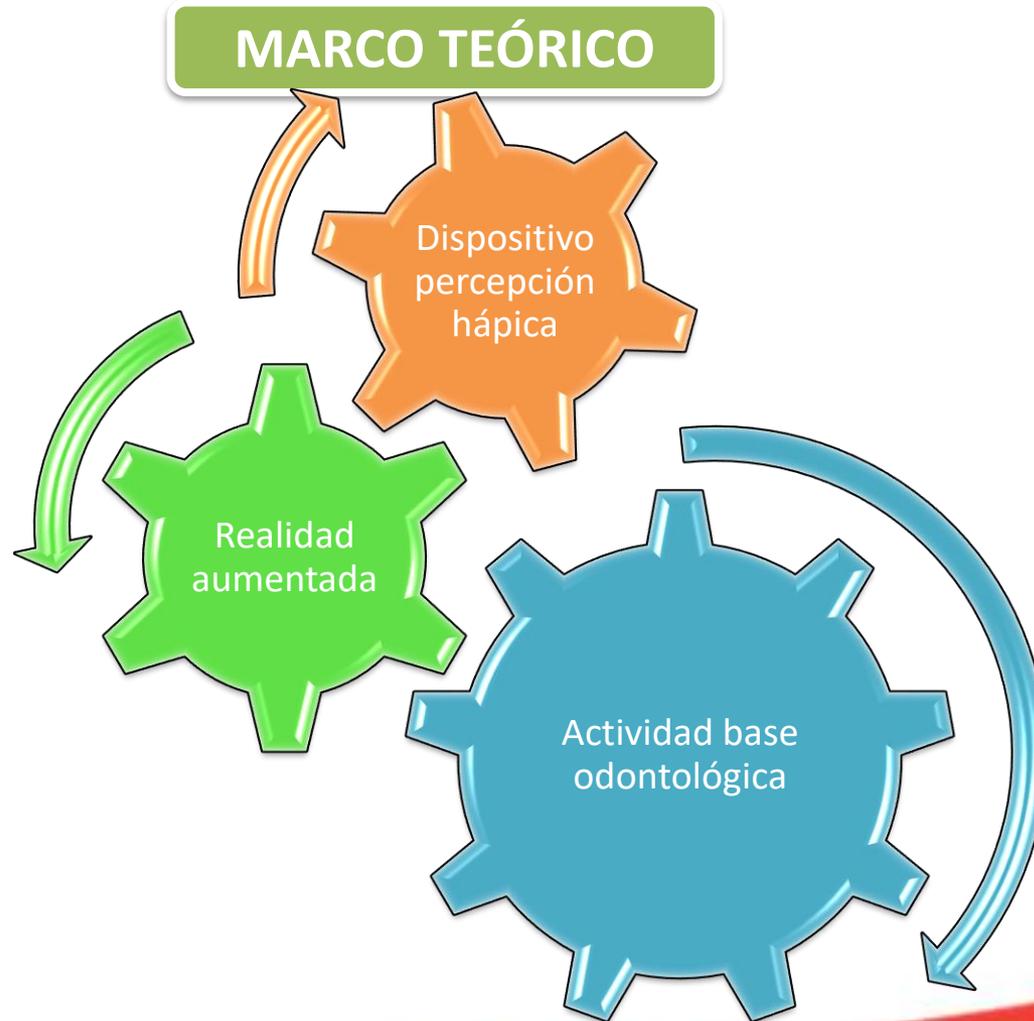
INVESTIGAR

DISEÑAR

CONSTRUIR

DESARROLLAR

VALIDAR



## MARCO TEÓRICO

# ACTIVIDADES BÁSICAS DE ODONTOLOGÍA

Exploración dental

Profilaxis dental semi profunda

Blanqueamiento dental



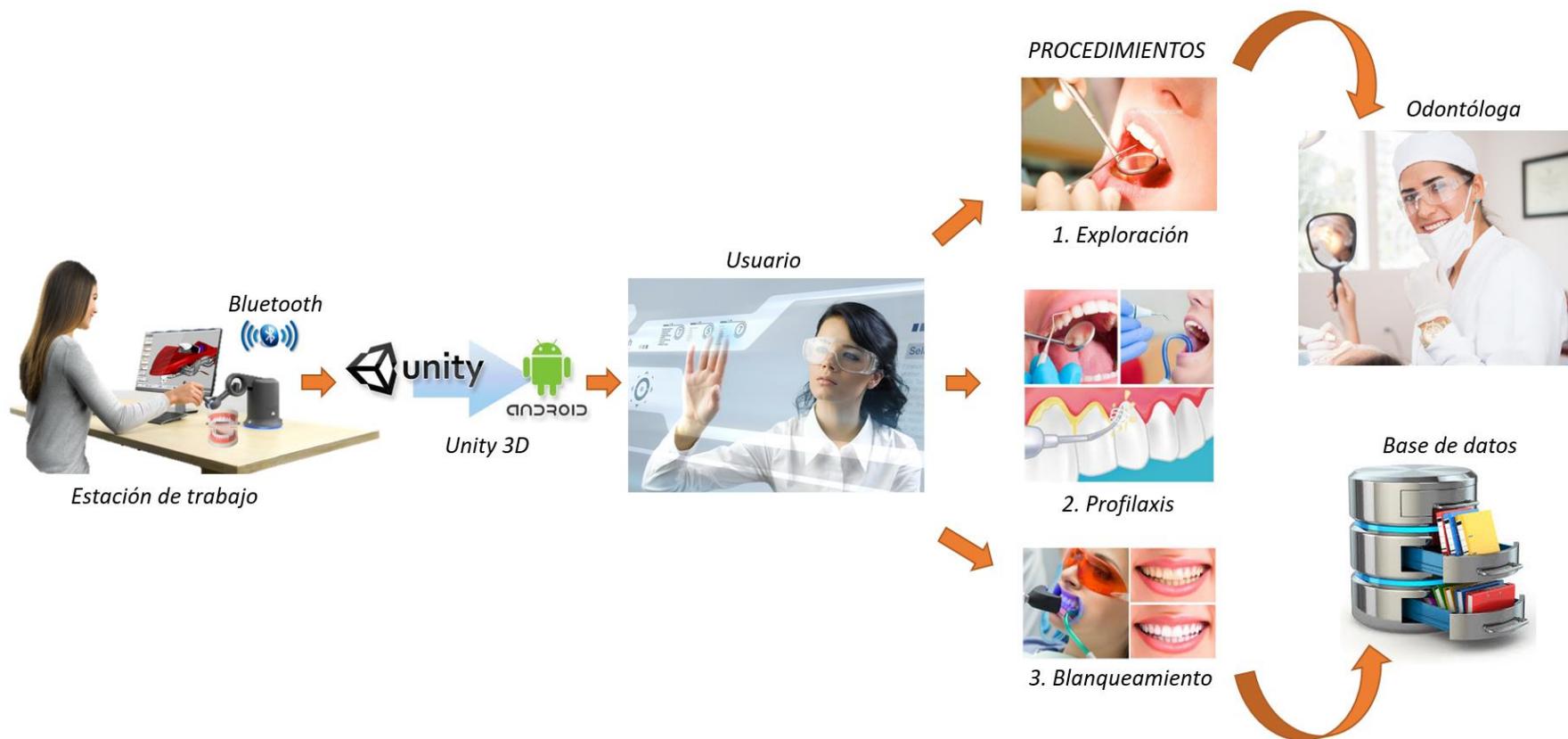
## MARCO TEÓRICO

### REALIDAD AUMENTADA

Tecnología que consiste en combinar en tiempo real la información digital por medio de oportunas interfaces computarizadas.



# DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE SISTEMA

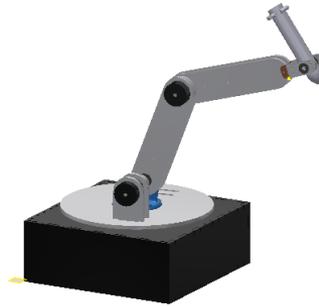


## PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA

**Dispositivo  
Android**



**Dispositivo de  
percepción háptica**

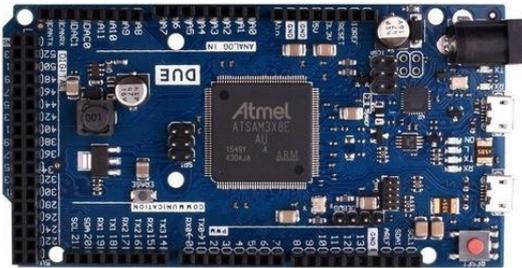


**Fantoma**



## SELECCIÓN DE COMPONENTES

**Arduino DUE**



**Pulsador**



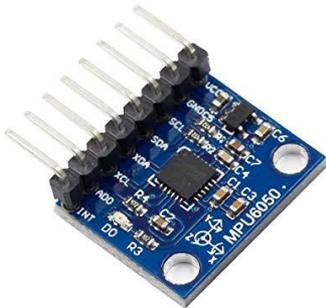
**Pulsador**



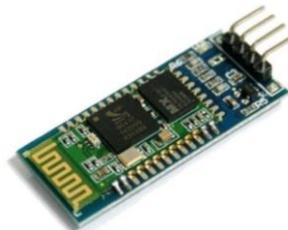
**Encoders**



**Módulo MPU6050**



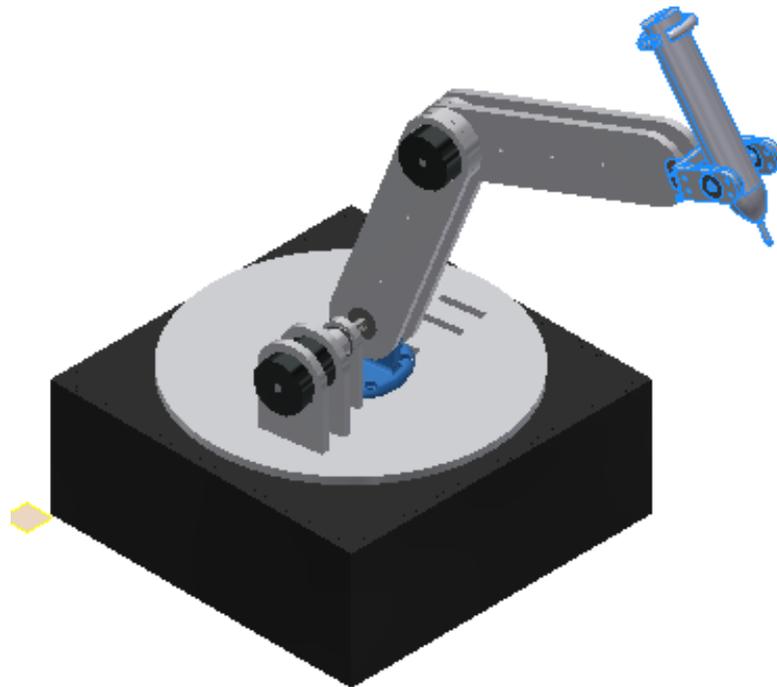
**Módulo HC-06**



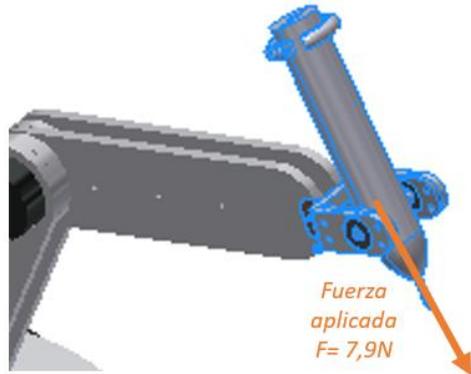
**Motor vibrador**



## DISEÑO CAD DEL DISPOSITIVO HÁPTICO



## CÁLCULOS DEL DISEÑO



Reemplazar en la (Ecuación 4) los valores de fuerza  $F=5.9N$ , longitud inicial  $L=140$  mm, área

$\left(A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(12.5mm)^2}{4}\right)$   $A= 122.718$  mm<sup>2</sup> y el módulo

de elasticidad  $E=3\ 500$  MPa para obtener la

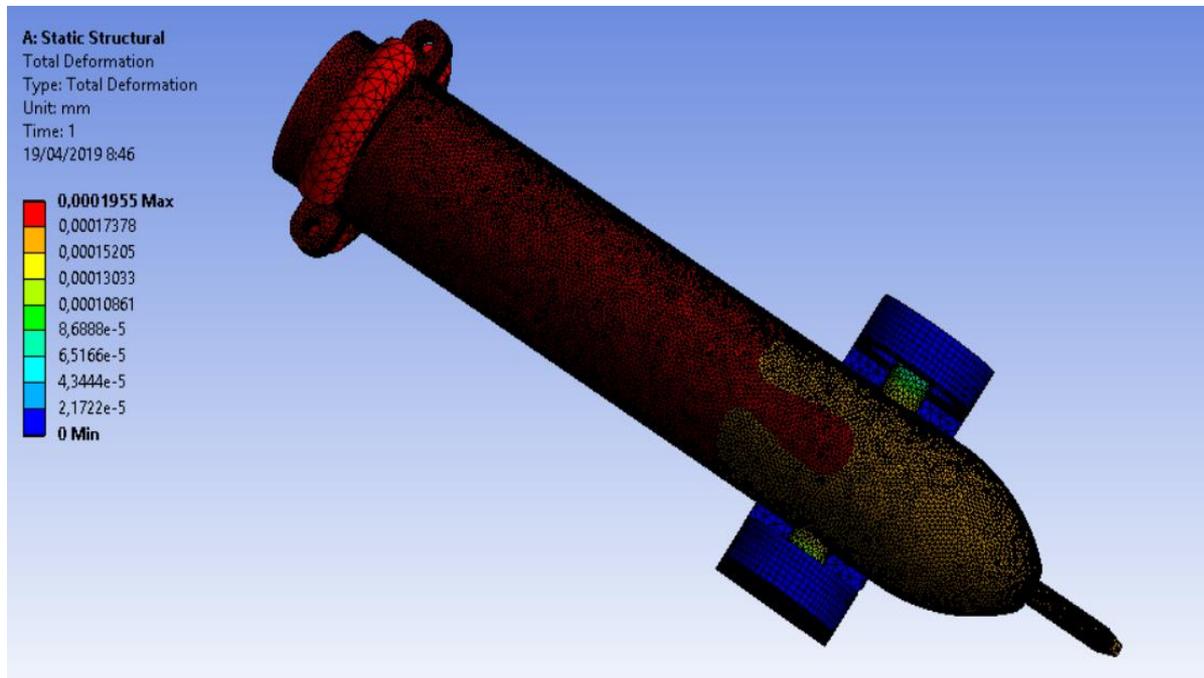
deformación total:

$$\delta = \frac{(5.9N)(140\ mm)}{(122.718\ mm^2)(3\ 500\ N/mm^2)}$$

$$\delta = 0.001923\ mm$$

## CÁLCULOS DEL DISEÑO

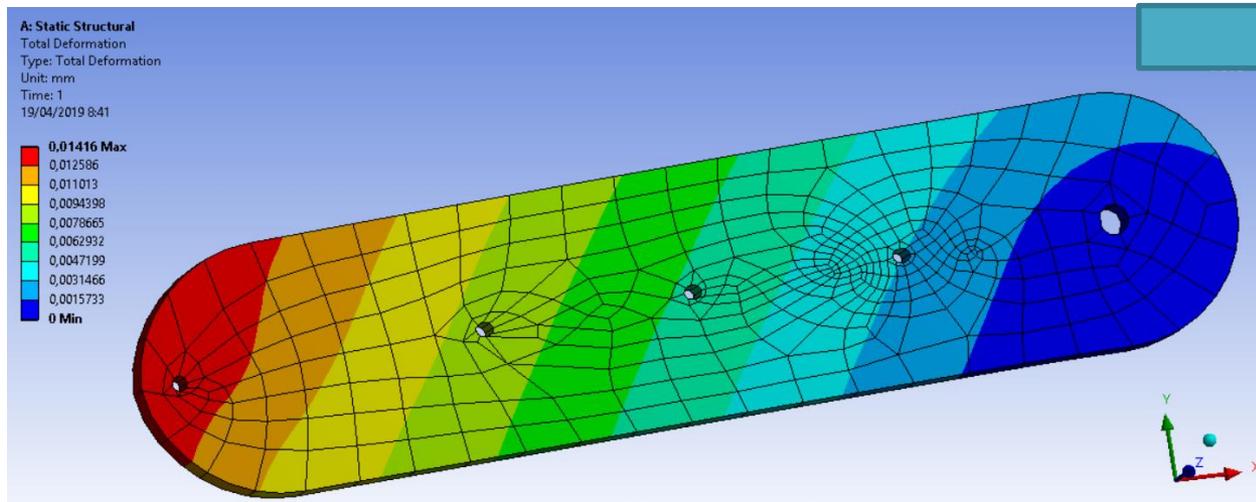
Deformación total es 0.0001955 mm  
obtenida por software.



## CÁLCULOS DEL DISEÑO

Reemplazar los valores de fuerza  $F=5.9\text{N}$ , longitud inicial  $L=180\text{ mm}$ , área  $A=23\ 105\text{ mm}^2$  y el módulo de elasticidad  $E=4\ 000\text{ MPa}$  para obtener la deformación total:

Deformación total es  $0.01416\text{ mm}$  mm obtenida por software.



## CÁLCULOS DEL DISEÑO

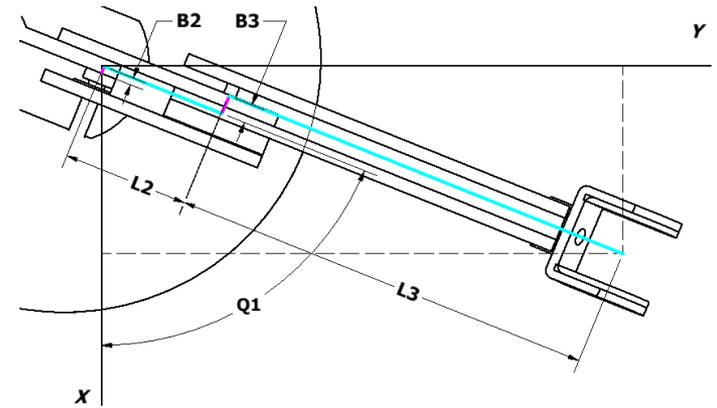
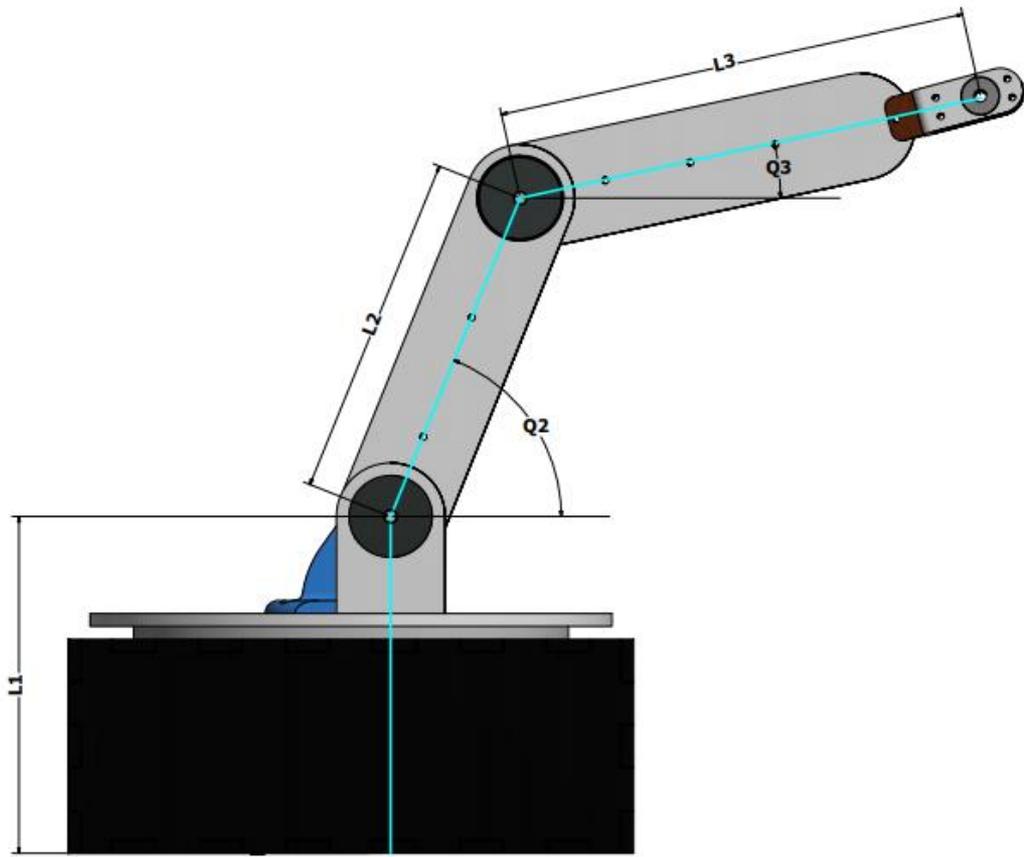
### Tensión de Von Mises

$$\sigma_{VonMises} < \sigma_{LímiteElástico}$$

El valor máximo de la tensión de Von Mises proporcionado por el software es de 0,00047642 MPa

$$4.7[MPa] < 150 [MPa]$$

**CINEMÁTICA**



Denominación	Dimensión (mm)
L1	157,31
L2	160,31
L3	177,11
B2	3,46
B3	9,51

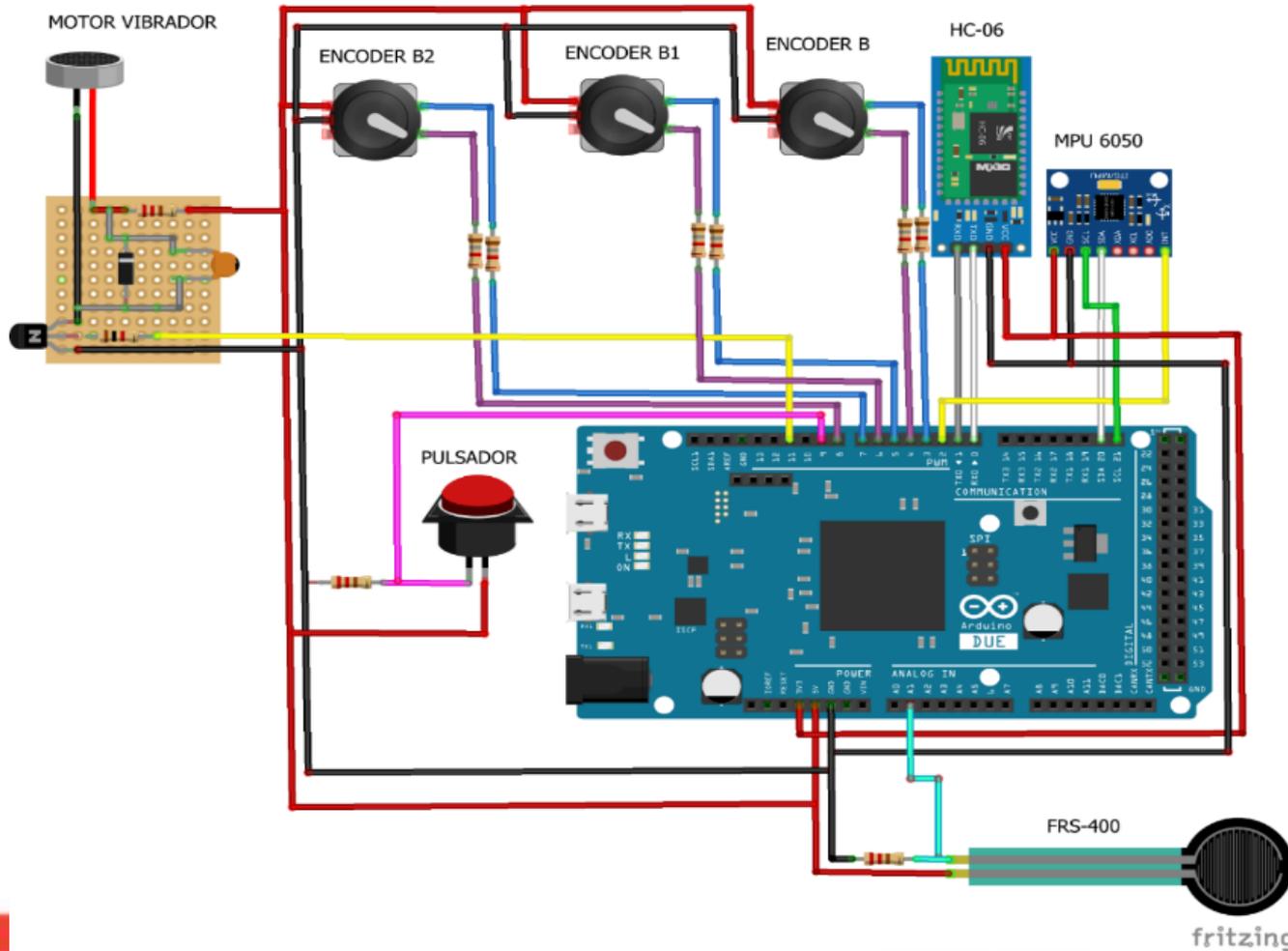
## CINEMÁTICA

$$x = (160,31 * \text{sen}(Q2) + 177,11 * \text{sen}(Q2 + Q3)) * \cos(Q1) + (12,97) * \text{sen}(Q1)$$

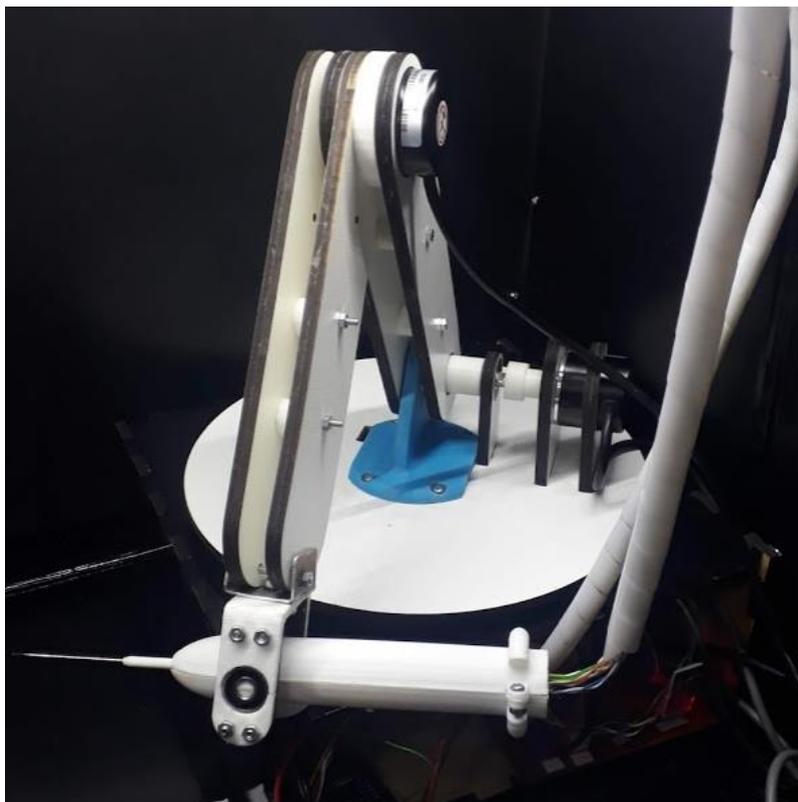
$$y = (160,31 * \cos(Q2) + 177,11 * \cos(Q2 + Q3)) * \text{sen}(Q1) - (12,97) * \cos(Q1)$$

$$z = 157,31 + 160,31 * \text{sen}(Q2) + 177,11 * \text{sen}(Q2 + Q3)$$

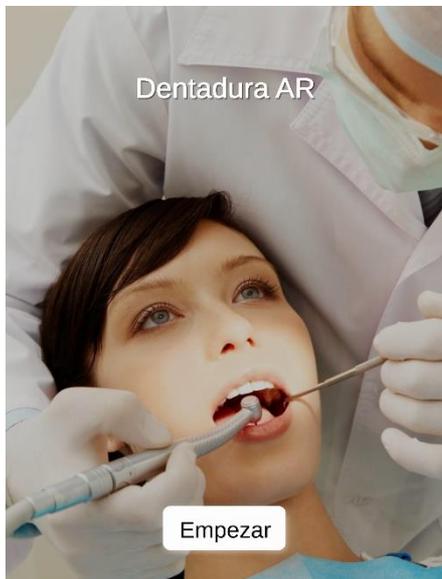
# DISEÑO ELECTRÓNICO



## ENSAMBLE FINAL



## IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



### LOG IN

email

password

Login

[Nuevo usuario](#)

### REGISTRO

Nombre

Apellido

E-mail

Password

Registrar

### TAREAS

Tarea 1

Tarea 2

Tarea 3

#### Exploración

Es un proceso con el que se analiza la salud bucodental de un paciente. Consta de dos partes, la inspección extraoral y la inspección intraoral. En la exploración extraoral analizamos partes que están fuera de la boca, pero que pueden influir en la salud bucodental, la fase intraoral analiza tanto los tejidos internos de la boca como las piezas dentales.

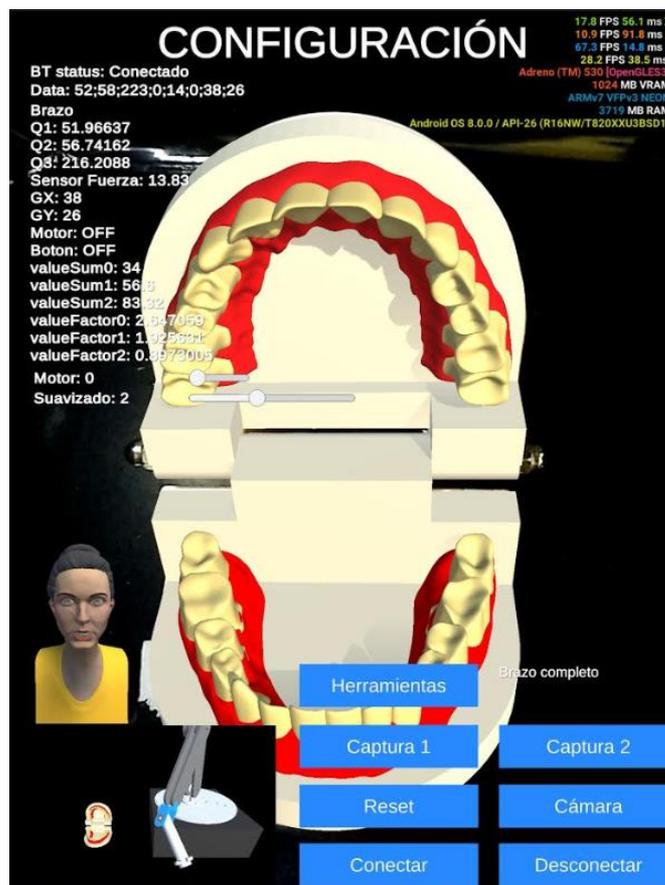


Resultados

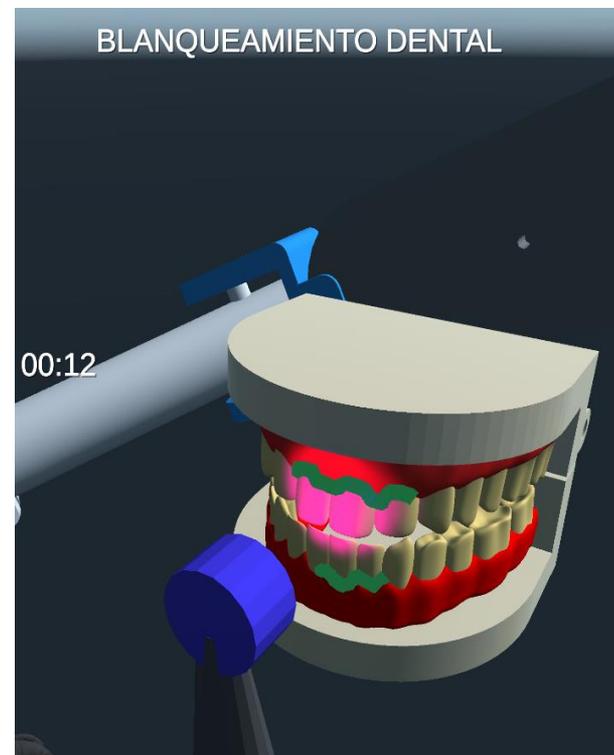
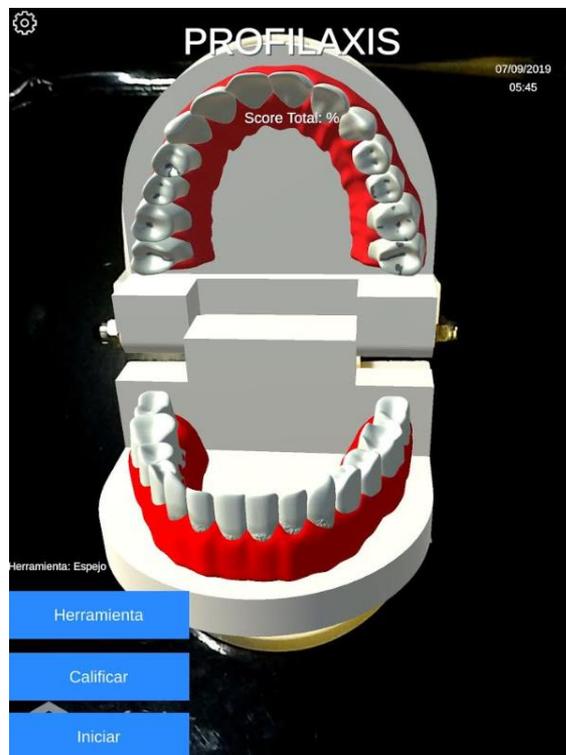
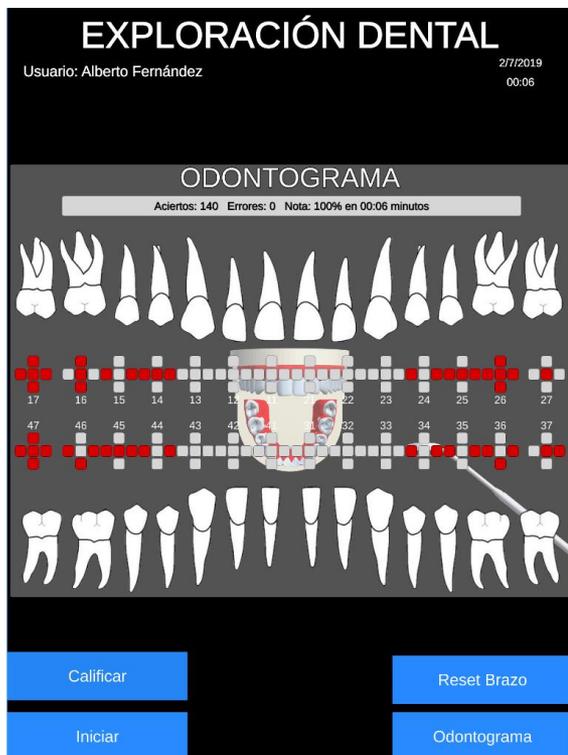
Realizar

Conexión

## IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



## IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



## HIPOTESIS

¿El sistema mecatrónico de percepción háptica con realidad aumentada simulará actividades básicas en el área de odontología?

## VALIDACION DE HIPOTESIS

### MÉTODO CHI-CUADRADO

- **Hipótesis alternativa ( $H_i$ ):** El sistema mecatrónico de percepción háptica con realidad aumentada simulará actividades básicas en el área de odontología.
- **Hipótesis nula ( $H_o$ ):** El sistema mecatrónico de percepción háptica con realidad aumentada no simulará actividades básicas en el área de odontología.

Tarea	Estudiante	Funciona	No funciona	Referencia
Procedimiento 1	Estudiante 1	67,00	33,00	100,00
		68,00	32,00	100,00
		76,00	24,00	100,00
	Estudiante 2	61,00	39,00	100,00
		79,00	21,00	100,00
		80,50	19,50	100,00
	Estudiante 3	49,50	50,50	100,00
		62,50	37,50	100,00
		66,00	34,00	100,00
Procedimiento 2	Estudiante 1	65,00	35,00	100,00
		73,50	26,50	100,00
		79,50	20,50	100,00
	Estudiante 2	57,00	43,00	100,00
		74,00	26,00	100,00
		80,50	19,50	100,00
Procedimiento 3	Estudiante 1	62,00	48,00	100,00
		71,00	29,00	100,00
		69,00	31,00	100,00
	Suma total	1241	569	1800

**VALIDACIÓN DE  
HIPÓTESIS  
CHI-CUADRADO**

## VALIDACION DE HIPOTESIS

Frecuencia esperada:

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O}$$

$$E_{ij} = \frac{100 * 1241}{1800} = 68,94$$

$$E_{ij} = \frac{100 * 569}{1800} = 31,0$$

## VALIDACION DE HIPOTESIS

Tarea	Estudiante	Funciona	No funciona
Procedimiento 1	Estudiante 1	0,05	0,12
		0,01	0,03
		0,72	1,60
	Estudiante 2	0,91	2,03
		1,47	3,26
		1,94	4,30
	Estudiante 3	5,48	12,17
		0,60	1,34
		0,13	0,28
Procedimiento 2	Estudiante 1	0,23	0,50
		0,30	0,67
		1,62	3,59
	Estudiante 2	2,07	4,59
		0,37	0,82
		1,94	4,30

Frecuencia esperada:

## VALIDACION DE HIPOTESIS

Grados de libertad:

$$v = (i - 1)(j - 1)$$

$$v = (18 - 1)(2 - 1) = 17$$

Considerando un 95% de confiabilidad, se obtiene:

$$\lambda^2_{tabulado} = 35,72$$

## VALIDACION DE HIPOTESIS

$$\lambda^2_{calculado} \geq \lambda^2_{tabulado}$$

$$67,58 \geq 35,72$$



El valor del Chi-cuadrado calculado es mayor que el tabulado, por tanto, el sistema mecatrónico de percepción háptica simula actividades básicas de odontología.

## CONCLUSIONES

- El sistema de percepción háptica con realidad aumentada permite simular actividades básicas de odontología ya que proporciona a los estudiantes de una retroalimentación sensorial vibro táctil y un ambiente con RA y herramientas para su desarrollo.
- Mediante la aplicación del diseño concurrente aplicando el método ordinal corregido de criterios ponderados fue posible seleccionar sensores, actuadores, materiales y diferentes componentes para el dispositivo háptico, este método permite realizar una selección de las alternativas de diseño con la finalidad que cumplan los requisitos para la correcta implementación.

## CONCLUSIONES

- El dispositivo háptico consta de una estructura mecánica serial de cinemática abierta con 5 grados de libertad, del cual se realizó un modelo CAD y posteriormente se utilizó la técnica de corte láser e impresión 3D para su construcción.
- Los cálculos de esfuerzos y deformaciones de las partes del dispositivo háptico indican que la estructura de construcción mixta es funcional y con un costo menor que al ser realizado con un solo material.
- El análisis cinemático permitió corregir errores de posicionamiento debido a ruido en la lectura de las señales de los encoders.

## CONCLUSIONES

- Para la selección del motor de videojuegos Unity 3D se tomó en cuenta la compatibilidad con diferentes componentes, las múltiples herramientas y librerías para el desarrollo, y la amplia documentación propia y creada por la comunidad de usuarios.
- La plataforma de desarrollo Unity 3D cuenta con herramientas que ayudan a lograr el cambio de color en los dientes de la aplicación al realizar el blanqueamiento y la limpieza, teniendo un correcto uso de los recursos que brinda la plataforma de desarrollo.

## CONCLUSIONES

- La aplicación con realidad aumentada cuenta con tres actividades básicas mismas que consisten en la exploración dental, profilaxis dental semi profunda y el blanqueamiento dental. Estas actividades se consideran básicas debido a que se aprenden en los primeros semestres de la Carrera de odontología.

## CONCLUSIONES

- Las pruebas de valoración experimental del sistema mecatrónico de percepción háptica con realidad aumentada se realizaron con estudiantes de diferentes universidades que cursan la Carrera de Odontología en sus primeros niveles. Los estudiantes muestran una respuesta positiva debido a que el sistema les resulta amigable por ser similar a un juego, en base al análisis de los resultados obtenidos se comprueba que la aplicación si permite simular las tres actividades básicas.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar la impresión 3D y corte láser de piezas es necesario tener en consideración las tolerancias de las máquinas, para realizar una compensación y evitar problemas en el ensamblado.
- Es necesario actualizar la librería de Bluetooth para Unity a una de las últimas versiones debido a que suelen presentarse problemas en la transmisión de datos.
- El uso del sistema de percepción háptica con RA debe usarse para evaluación de estudiantes de primero a tercer nivel de la Carrera de Odontología, debido a que cuenta con actividades básicas.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Gracias

