



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



“INVESTIGACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROL VISUAL BASADO EN POSICIÓN PARA COMANDAR EL MOVIMIENTO DE UN BRAZO ROBÓTICO QUE PERMITA LA ALIMENTACIÓN INDEPENDIENTE DE PERSONAS AFECTADAS CON OSTEOARTRITIS”

**AROCA REMACHE, KATHERINE ESTEFHANIA
JIMÉNEZ BONILLA, ARTURO FABIÁN**

DIRECTOR: ING. DARÍO MENDOZA

RESUMEN



- ▶ Este trabajo de titulación se enfoca a la investigación de la metodología más adecuada para el control de un brazo robótico de cinco grados de libertad, que permite la alimentación independiente de personas con osteoartritis, pues tienen dificultad al mover sus manos por el dolor y deformación causado en sus cartílagos.
- ▶ El mismo que está conformado por un sistema mecatrónico que consta de una parte mecánica; formada por una mesa de soporte con altura ajustable con espacio disponible para un brazo robótico asistencial; tres platos de comida; correspondientes a sopa, arroz, postre y un vaso de bebida con sorbete; la parte electrónica, con sensores de peso, pulsadores y cámara web, y su correspondiente parte de control.

ANTECEDENTES



- ▶ La artrosis de las manos, es una enfermedad que afecta directamente a las articulaciones de la muñeca, la mano y los dedos, causando rigidez, inflamación, dolor, deformidad, y debilidad; lo cual produce que la persona no pueda sujetar y tomar los objetos para realizar con normalidad las actividades cotidianas como: abrir un frasco, dar la vuelta a una llave o coger una cuchara



- ▶ Dentro de las discapacidades físicas de una persona, la capacidad que se dificulta en mayor proporción es la independencia a la hora de su alimentación, es por ello que se han desarrollado proyectos de tecnología asistida.





OBJETIVO GENERAL

- ▶ Investigar, diseñar e implementar un algoritmo de Control Visual Basado en Posición para comandar el movimiento de un brazo robótico que permita la alimentación independiente de personas afectadas con osteoartritis

OBJETIVO ESPECÍFICOS



- ▶ Investigar, recopilar información y requerimientos sobre robots asistenciales que permiten la alimentación de personas con discapacidad, y sistemas de Control Visual Basado en Posición
- ▶ Diseñar y construir la estructura mecánica del sistema, en la que el usuario podrá regular la altura de la misma según su necesidad
- ▶ Investigar y diseñar el algoritmo de Control Visual basado en Posición para comandar las trayectorias del brazo robótico



- ▶ Diseñar e implementar el sistema electrónico semiautomático y automático, para que el modelo ofrezca mayor movilidad y eficiencia
- ▶ Realizar pruebas de funcionamiento y movilidad del prototipo de brazo robótico para la alimentación de personas con osteoartritis

SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA MESA

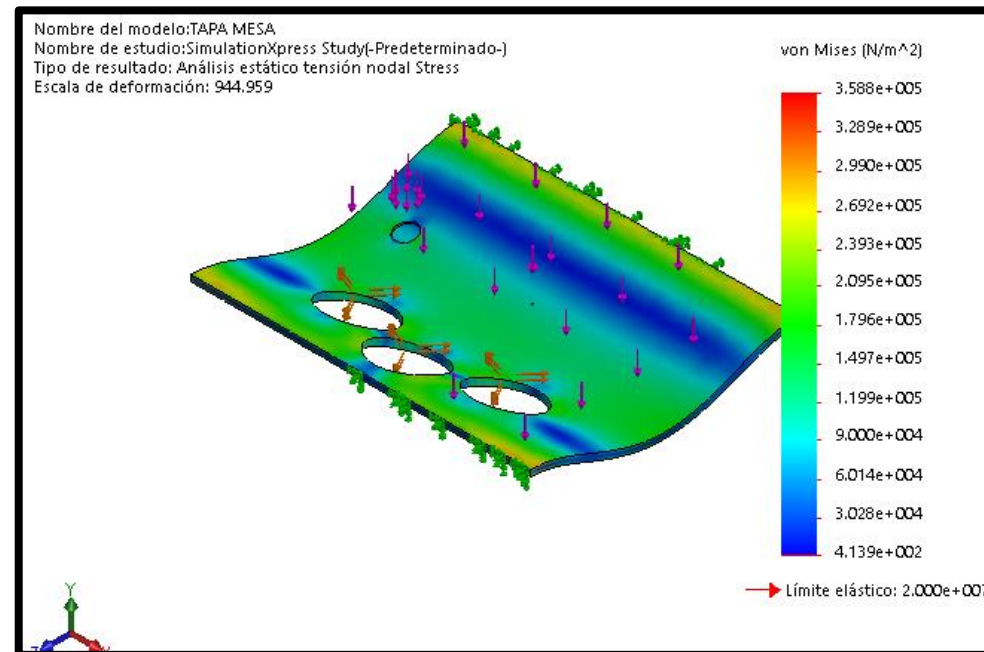


DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MASA g
Platos	3	466,5
Vaso	1	39,63
Brazo robótico	1	592,26
Monitor 7 pulgadas LCD	1	379,00
Porta cuchara y cuchara	-	85,77
Otros	-	543,00
Masa de los brazos de la persona sobre la mesa	-	16417,96

VON MISES

- La mayor tensión de Von Mises se encuentra donde se recibe todo el peso de la superficie con un valor de 0,358MPa. La tensión máxima a la tracción de diseño del material a usar es de 0,4MPa(madera), es así que se cumple:

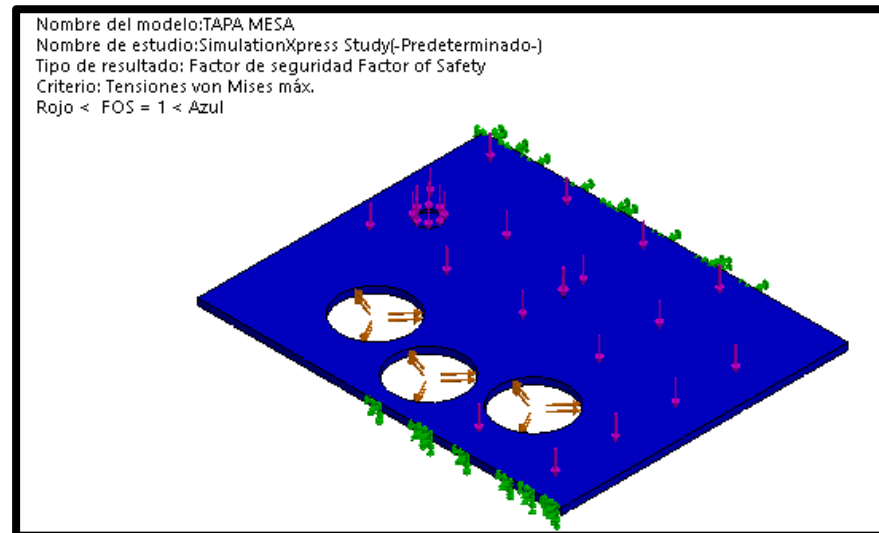
$$\sigma' < \sigma_d$$
$$0,385Mpa < 0,4Mpa$$



FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO MÍNIMO



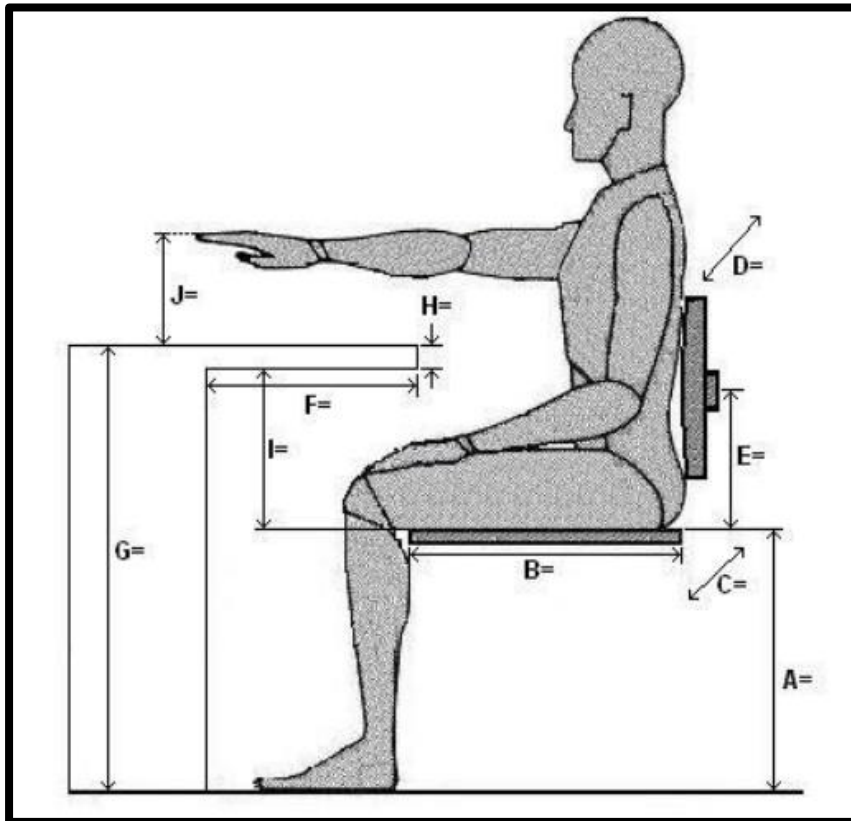
- El factor de seguridad estático mínimo para los ensayos en la madera es de 1, en la figura se observa que el valor cumple el requerimiento de diseño para evitar la falla estructural con un valor de 1.



DETERMINACIÓN DEL INTERVALO DE ALTURA AJUSTABLE



- ▶ Para la determinación del intervalo de altura regulable se utiliza la NORMA INEN 1641.



$$h_{\text{codo}} = A + E$$

Dimensión del espacio desde la silla hasta el codo **E**

Altura poplíteica en posición sentado **A**

$$h_1 = (570 + 180)\text{mm} = 750\text{mm}$$

La altura mínima calculada es de 750mm, pero este caso se establecerá una altura de 800mm hasta máximo 920mm, para la comodidad de cada usuario.

MECANISMO DE REGULACIÓN DE ALTURA



- ▶ Para el mecanismo de regulación del intervalo de altura se usará la transmisión de movimiento circular a lineal, con los elementos piñón y cremallera, para reducción de costos y comodidad del usuario.
- ▶ Es indispensable también que los elementos piñón y cremallera cumplan con ciertos requisitos de diseño para evitar posibles fallos durante el movimiento del mecanismo, como el choque de la punta del diente del piñón y el chaflán o raíz del diente de la cremallera.

PARÁMETROS DE DISEÑO DEL PIÑÓN Y CREMALLERA



- ▶ Espacio mínimo de referencia para ubicación del piñón 92mm
- ▶ Piñón de 21 dientes
- ▶ La longitud de la cremallera de 120mm que es determinada por el intervalo de altura regulable
- ▶ Material el nylon, con una tensión por flexión permisible de 40MPa
- ▶ La carga crítica en un diente se va a generar cuando la carga está en el punto más alto de contacto en un solo diente por lo que la fuerza tangencial a usar es el valor de la masa que va a ser levantada con un valor de 36,16Kg, esta genera un esfuerzo por flexión calculado que debe ser mayor a la tensión por flexión permisible.

CÁLCULO DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN



$$\sigma_t = \frac{W_t}{FmJ} \frac{K_a K_s K_m K_B}{K_v}$$

- ▶ $W_t = 36,16 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 354,73 N
- ▶ $J =$ factor de geometría para el piñon 0,33
- ▶ $J =$ factor de geometría para la cremallera 0,3
- ▶ $Fm =$ ancho de la cara 50mm
- ▶ $K_a =$ factor de aplicación para la resistencia a la flexión 1
- ▶ $K_s =$ factor de tamaño para la resistencia a la flexión 1
- ▶ $K_m =$ factor de distribución de carga para la resistencia a la flexión 1,126
- ▶ $K_B =$ factor de espesor de la corona 1
- ▶ $K_v =$ factor de dinámica para la resistencia a la flexión 0,85



Esfuerzo calculado por flexión en el piñón:

$$\blacktriangleright \sigma_t = \frac{354,73}{50 \times 4 \times 0,33} \frac{1 \times 1 \times 1,126 \times 1}{0,85} = 7,12 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo calculado por flexión en la cremallera:

$$\blacktriangleright \sigma_{tc} = \sigma_{tp} \left(\frac{J_p}{J_c} \right) = 7,12 \times \left(\frac{0,33}{0,35} \right) = 6,71 \text{ MPa}$$

AJUSTE DEL ESFUERZO POR FLEXIÓN



Asumiendo una confiabilidad de 99,9% el valor de $K_R = 1,25$ y un factor de seguridad $SF = 1,5$ se tiene, factor de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo $Y_N = 0,75$:

$$\frac{K_R(SF)}{Y_{Np}} S_t = \frac{1,25 \times 1,5}{0,75} (7,12\text{MPa}) = 18,04 \text{ Mpa}$$
$$18,04\text{MPa} < S_{at}$$
$$18,04\text{MPa} < 41 \text{ Mpa}$$

$$\frac{K_R(SF)}{Y_{Nc}} S_t = \frac{1,25 \times 1,5}{0,75} (6,71\text{MPa}) = 16,78 \text{ MPa}$$
$$16,78 \text{ MPa} < S_{at}$$
$$16,8 \text{ MPa} < 41 \text{ MPa}$$

ESTRUCTURA MECÁNICA

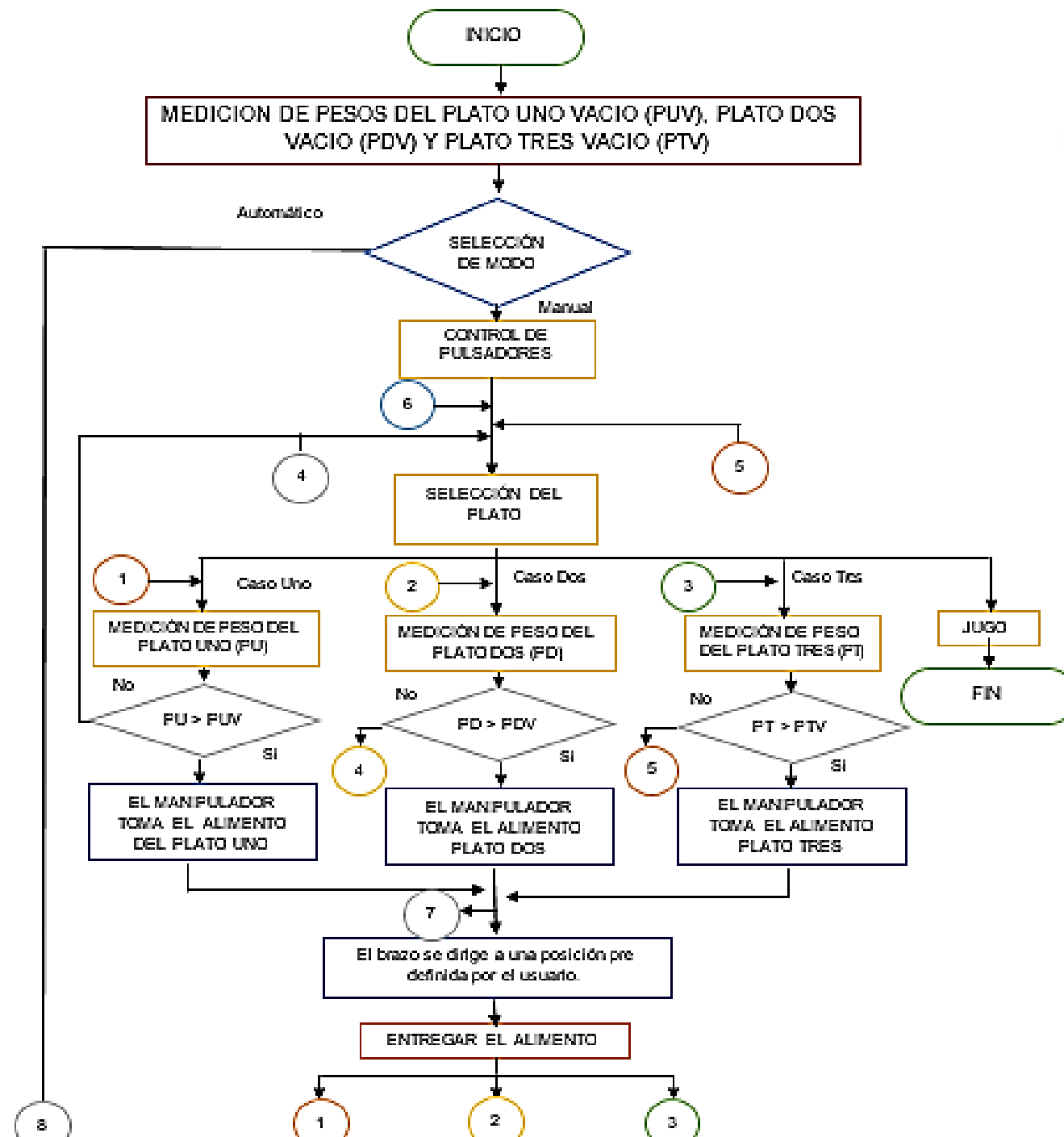


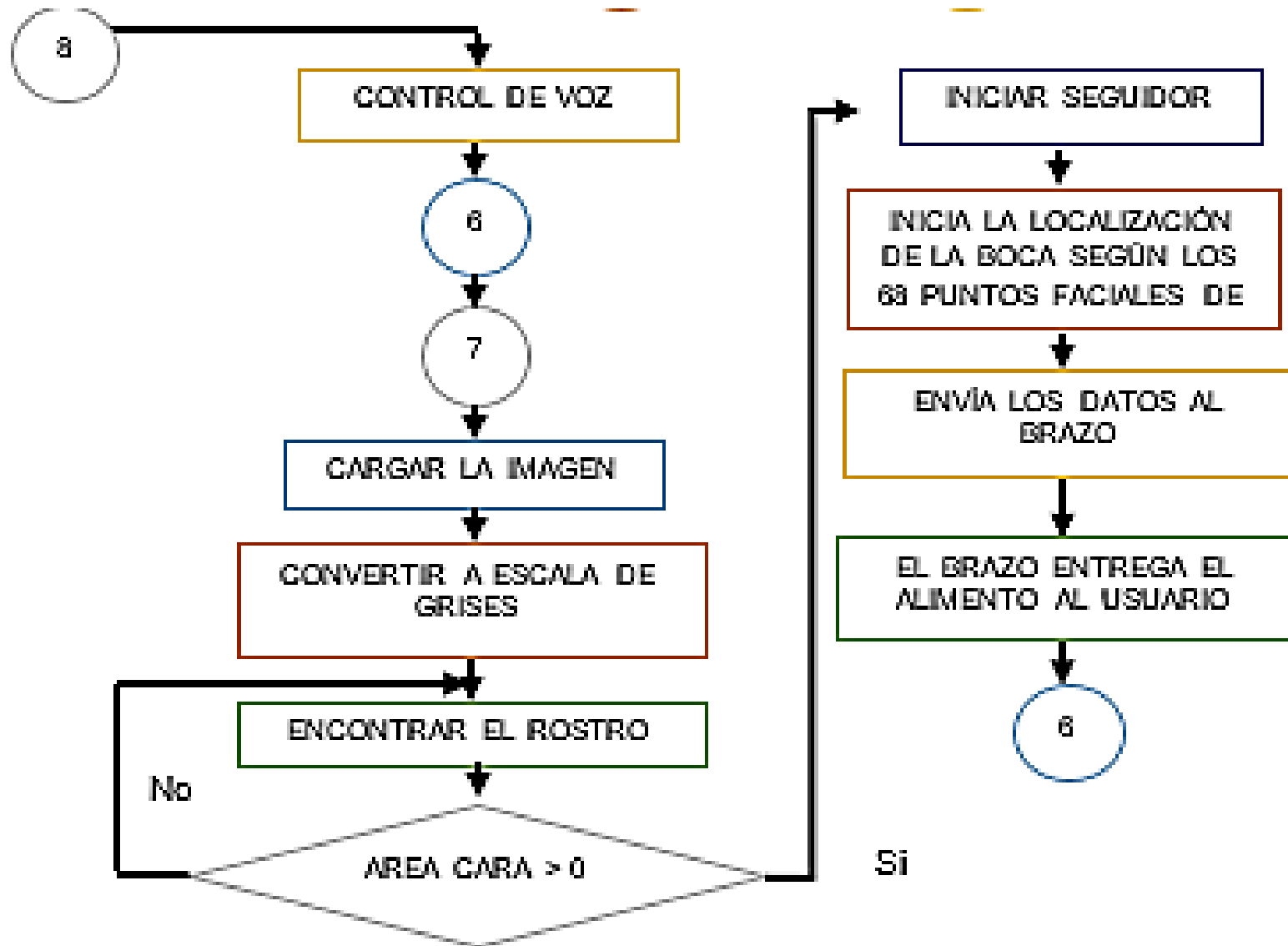
Número	Elementos
1	Área de trabajo o zona de alimentación
2	Mecanismo de regulación
3	Base de accionamiento
4	Cables de alimentación y control





DIAGRAMA DE FLUJO





ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES



- ▶ El sistema de peso para los platos, consta de 3 galgas extensiométricas
- ▶ Las señales obtenidas son conectadas a las entradas analógicas A0, A1 y A2 de los sensores y las envía al Arduino



APLICACIÓN “SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ARKAZ 2.0”



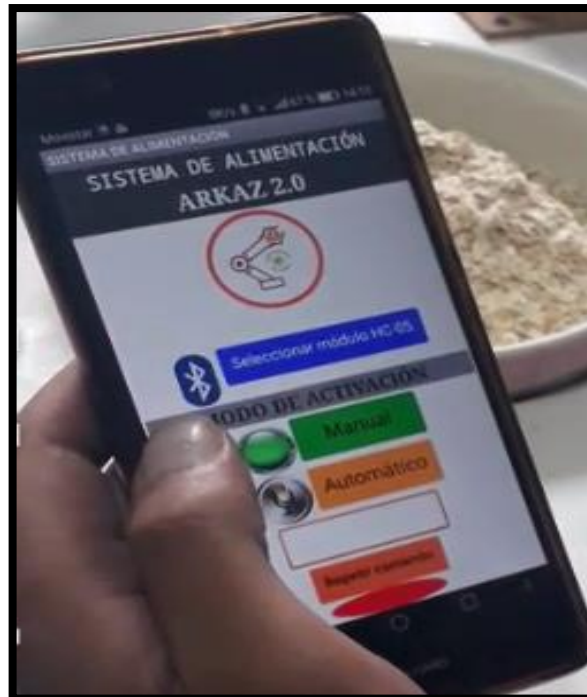
- ▶ La aplicación se desarrollada en APP Inventor, la misma que es compatible con el Sistema Operativo Android



ACTIVACIÓN DEL SISTEMA



- ▶ Para activar la forma manual o automática; se utiliza la aplicación “**SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ARKAZ 2.0**”.



FUNCIÓN MANUAL



- ▶ La función manual es la que controla el brazo robótico a través de los pulsadores



1	2	3	4	5
Pulsador arroz	Pulsador sopa	Pulsador postre	Pulsador bebida	Pulsador stop

FUNCIÓN AUTOMÁTICA



- ▶ Controla al manipulador por medio de comandos por voz
- ▶ La función automática funciona de forma similar a la **manual** con la diferencia que es activada por voz en el celular y después de recoger la comida del plato se proceda a llamar a la función **comunicación** y el brazo puede encontrar y seguir la boca del usuario.

COMANDOS DE VOZ

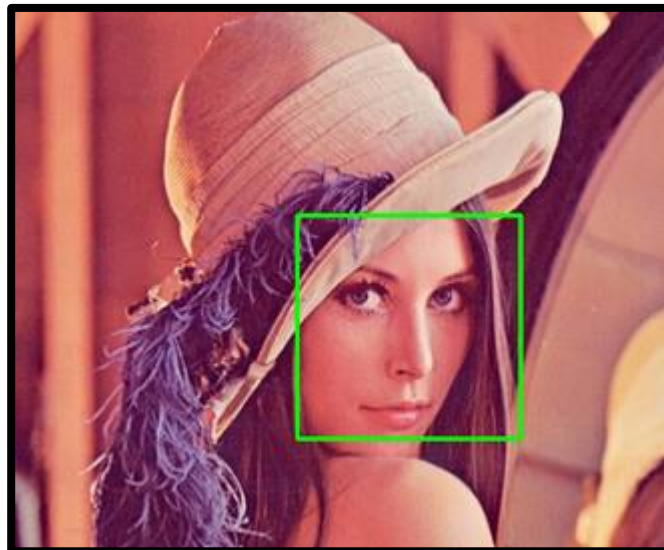


- ▶ **Sopa:** Con este comando el brazo robótico se dirige al plato de sopa que se encuentra en el medio
- ▶ **Segunda:** Mediante este comando el manipulador robótico se dirige al plato fuerte que es el plato del extremo derecho.
- ▶ **Fruta:** Mediante este comando el robot se dirige al plato del extremo izquierdo.
- ▶ **Agua:** Con este comando el brazo toma el vaso y se lo entrega al usuario para que pueda beber y regresa al brazo a su lugar

ALGORITMO DE SEGUIMIENTO DEL ROSTRO



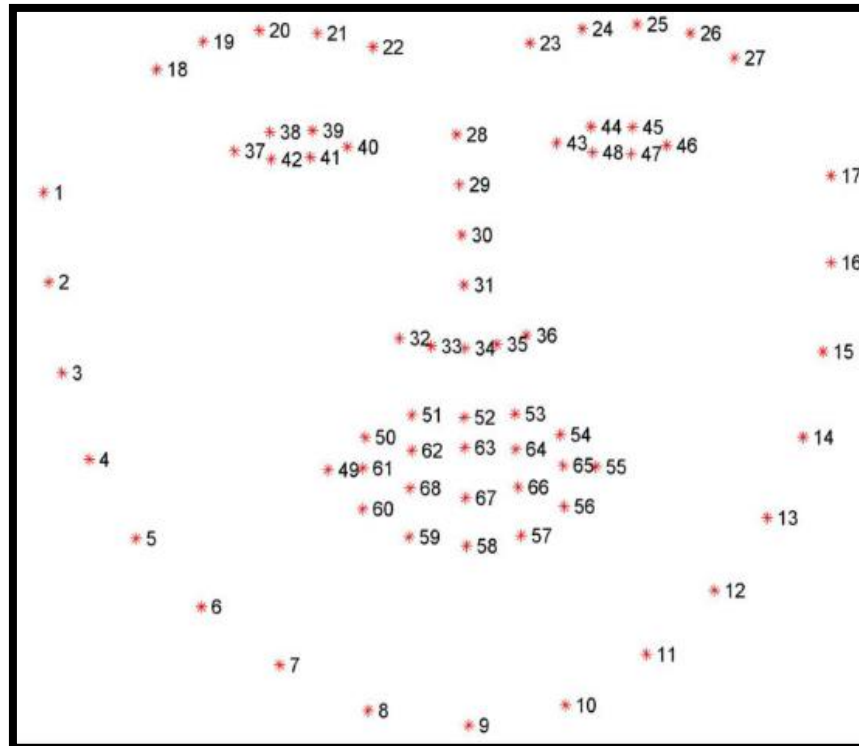
- ▶ En los videos de tiempo real, no es necesario aplicar la detección de rostros en cada trama. En su lugar, se puede utilizar algoritmos de seguimiento pues resulta más sencillo enfocar el rostro durante el video.



SEGUIMIENTO DE LA BOCA



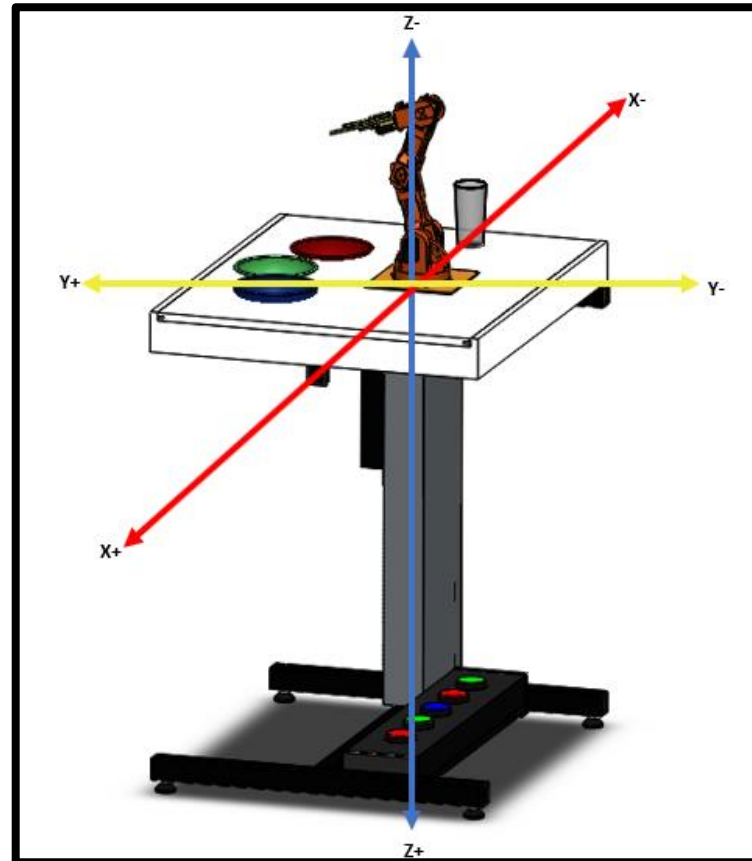
- En la detección de la boca se usa un detector de Dlib, que es un modelo preformado de detección de puntos de referencia por medio del alineamiento de la cara.



FUNCIÓN IK_ARM



- Para realizar el correcto posicionamiento de la muñeca o efector final del brazo robótico es necesario obtener su cinemática inversa.



ANÁLISIS PARA EL TIEMPO DE ALIMENTACIÓN DEL USUARIO



- ▶ El tiempo de duración para ingerir la suficiente cantidad de alimento en una persona es aproximadamente de 30 minutos a una hora
- ▶ En el caso de un adulto mayor, el tiempo de duración para ingerir la suficiente cantidad de alimento en un adulto mayor de 30 minutos a una hora y media.



PRUEBAS DE LEVANTAMIENTO CANTIDADES CON EL BRAZO ROBÓTICO

Cuchara	Capacidad(g)	Logra levantar
Vacía	15	Si
Sopa	17	Si
Arroz	21	Si
Postre (fruta picada)	22	Si

PRUEBAS DE LEVANTAMIENTO DE CANTIDADES CON EL BRAZO ROBÓTICO



Vaso	Capacidad(g)	Logra levantar
Vacío	30	Si
Cuarto	100	Si
Medio	200	Si peso recomendable
Tres cuartos	300	Si con dificultad
Lleno	330	No

PRUEBA MODO MANUAL

- ▶ En este modo se evalúan el tiempo de demora en alimentar al usuario, y el porcentaje de comida que se consume



PRUEBA MODO MANUAL



Usuario	Porcentaje consumido en alimentos sólidos	Porcentaje en líquidos	Tiempo total (min)
Usuario Uno	90,7%	80,1%	34,23
Usuario Dos	80,99%	84%	36,45
Usuario Tres	90,88%	84%	28,54
Usuario Cuatro	89,04%	80,56%	40,27
Usuario Cinco	86,57%	81,61%	31,25
Promedio	87,64%	82,05%	34,148

PRUEBA MODO AUTOMÁTICO



- ▶ En las siguientes pruebas se observa el comportamiento del sistema en modo automático, aquí se evalúan el tiempo de demora del sistema en alimentar al usuario, el porcentaje de comida que consume el usuario, la detección y seguimiento de la boca.



PRUEBA MODO AUTOMÁTICO



Usuarios	Porcentaje consumido en alimentos sólidos	Porcentaje en líquidos	Tiempo total (min)
Usuario Uno	84.77%	85.4%	38.67
Usuario Dos	83.65%	81.95%	38.65
Usuario Tres	87.82%	86.61%	37.75
Usuario Cuatro	81.67%	89.07%	43.15
Usuario Cinco	80.83%	81.50%	43.05
Promedio	83.75%	84.91%	40.25

CONCLUSIONES

- ▶ Debido a que la tensión de Von Mises ($0,358\text{MPa}$) es menor al límite de tensión ($0,4\text{MPa}$) y el factor de seguridad estático (1) es el mínimo requerido para la falla estructural, la madera, esta es aceptada como material a usar para la construcción de la mesa de la estructura mecánica.
- ▶ El material adecuado para el piñón y cremallera, que servirán para el mecanismo de regulación de una altura con un intervalo de 120mm y una masa total para ser levantada de $36,16\text{kg}$ es el nylon, pues el esfuerzo de tensión que se espera debido a la flexión en el piñón ($7,18\text{Mpa}$) es un valor menor al esfuerzo de flexión permisible (41Mpa). Y para la cremallera el esfuerzo de tensión que se espera debido a la flexión en el piñón es de ($16,8\text{Mpa}$) que es un valor menor al esfuerzo de flexión permisible con un valor de (41Mpa).
- ▶ Este proyecto se realizó en un software libre para reducir costos, dado que no tiene costo alguno a diferencia de los softwares con sistemas robóticos privados.



- ▶ Python es un lenguaje de programación de propósito general, muy usado por su ser claridad y facilidad de código. También se destaca por compatibilidad con otros programas como Arduino. Pues su entorno electrónico es de código abierto en donde su software y hardware son fáciles de usar por su sencillez.
- ▶ La plataforma App Inventor, permitió realizar la aplicación de interacción con el usuario, permitiendo el accionamiento manual y automático del sistema de alimentación.
- ▶ La librería Dlib utilizada para implementar el algoritmo de seguimiento de la boca ayuda considerablemente ya que permite mantener un registro de la región detectada cuadro a cuadro, disminuir errores, mejorar la velocidad de seguimiento y con ello el sistema se vuelve más eficiente.



- ▶ Para reducir errores y tener mayor efectividad en el algoritmo de visión primero se hace la detección y seguimiento del rostro, y para así después localizar la boca dentro del área de la cara.
- ▶ Este proyecto emplea el control servo visual para los movimientos del manipulador, pero al requerir movimientos rápidos es necesario tomar en cuenta la dinámica del robot, en donde es posible utilizar otro tipo de controladores (control visual dinámico, la fórmula de Newton-Euler) que calculan directamente la acción de control de las articulaciones del robot.
- ▶ Con el sistema “Eyeinhand” se minimiza el tiempo de procesamiento necesario para extraer las informaciones visuales necesarias, en este caso la posición de la boca. Este sistema también permite ahorrar en costos ya que no se necesita de tanta inversión como otros sistemas de procesamiento de imágenes, siendo otra ventaja su coste.

RECOMENDACIONES

- ▶ Es muy importante colocar los platos vacíos al inicio del sistema para que el brazo robótico finalice el proceso de alimentación de cada plato de comida, pues se realiza una medición al peso de los platos, es decir, hay una comparación de los valores entre la medida inicial y última del plato para que el sistema asuma un plato vacío.
- ▶ Es recomendable cortar el alimento en trozos pequeños, para la correcta digestión del usuario y también la cuchara colocada en el brazo robótico recoga la comida sin inconvenientes.
- ▶ Realizar un mantenimiento periódico de la parte mecánica, como ajustar los pernos del brazo robótico, de los sensores para que en el sistema no se produzcan errores.

- ▶ Se recomienda no poner un contenido en el vaso con un peso mayor a 200 g ya que este valor es ideal para que el manipulador lo levante sin dificultad y no exponer tanta carga a los servomotores para alargar la vida de los mismos
- ▶ Deslizar la parte superior de la mesa con precaución ya que se pueden desconectar los elementos electrónicos.
- ▶ Verificar que los sensores estén conectados correctamente en el pin correspondiente del Arduino, para evitar errores en la medición de peso.

- ▶ Verificar que cada servo esté conectado en forma correcta en la shield ya que puede provocar movimientos erróneos en el brazo y producir colisiones que dañarían la estructura del manipulador.
- ▶ Revisar que la fuente de voltaje, la Raspberry Pi 3 y el brazo robótico estén energizados; ya que si uno no lo está puede producir error en el sistema de alimentación.
- ▶ Revisar que los pulsadores se encuentren conectados de forma correcta, para un buen accionamiento de los mismos.

GRACIAS

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. These shapes are primarily located on the right side of the frame, creating a modern, layered effect against the white background.