



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO QUE EMPLEA VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL DESARROLLO DE UN EQUIPO DE NEUROREHABILITACIÓN ENFOCADO A PACIENTES CON DEFICIENCIA MOTRIZ EN LAS MANOS

**AUTORES: JONATHAN PAÚL AIMACAÑA MOLINA
DENNIS PAÚL MONTERO JIMÉNEZ**

**DIRECTOR: ING. ANDRÉS GORDÓN
LATACUNGA
2016**





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis pertinente para diseñar un sistema mecatrónico que emplea visión artificial para el desarrollo de un equipo de neurorehabilitación mediante ejercicios terapéuticos cognoscitivos, enfocado a pacientes con deficiencia motriz en las manos del Patronato Municipal de Amparo Social del cantón Latacunga.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información acerca de los ejercicios terapéuticos cognoscitivos y los resultados obtenidos al realizarlos.
- Diseñar el sistema de control y el sistema de visión artificial para que cumpla con los requerimientos y las garantías que necesita el equipo.
- Diseñar el sistema mecánico seleccionando dispositivos adecuados para la implementación a partir de sus características técnicas, aplicabilidad y disponibilidad en el mercado para su adquisición.
- Implementar el sistema mecánico y el sistema de control del equipo para que cumpla con las características adecuadas para su uso.
- Realizar pruebas, analizar resultados y retroalimentarlos para obtener un producto de calidad.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

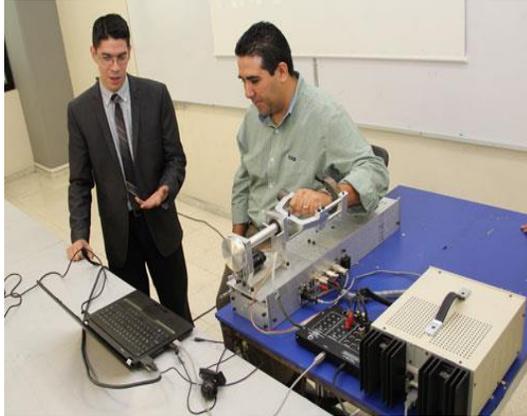
REHABILITACIÓN FÍSICA

- **Fisioterapia:** “La función de la Fisioterapia es la de prevenir, tratar y curar enfermedades, y en el caso de que quede alguna secuela o discapacidad, ayudar al individuo en su adaptación al entorno; pero no sólo se trata con sujetos enfermos, también ayuda a los sanos previniendo enfermedades de diversas maneras.” Martínez (2000)
- **Neurología:** “La Neurología estudia las enfermedades y lesiones que afectan al sistema nervioso central (cerebro, cerebelo, tronco cerebral y médula espinal) y al sistema nervioso periférico (raíces, plexos, nervios, unión neuromuscular y músculo).” Sociedad Española de Neurología (2010)
- **Neurorehabilitación:** “La neurorehabilitación es un arma terapéutica para una serie de procesos neurológicos que provocan trastornos del movimiento muy concretos: parálisis, ataxia y trastornos de tipo parkinsoniano”. (Capitán, 2000)





NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA REHABILITACIÓN



Joystick para
rehabilitación de brazos -
Tecnológico de
Monterrey, Mexico



Robot Diego, para la
rehabilitación del brazo -
Servicio de Daño Cerebral del
Hospital Aita Menni, España



Exoesqueleto con visor de realidad
aumentada para rehabilitación -
INDI y WeaRobot, apoyadas por el
ITESM, Mexico

Rehabilitación virtual: Es entretenida y motiva a los pacientes



MÉTODO PERFETTI (ETC)

- Se le conoce también como Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo (ETC).
- El Método Perfetti no considera únicamente el músculo, sino que tiene en cuenta cómo desde el cerebro se activa la contracción muscular y así el movimiento que permite por ejemplo caminar, comer, etc.

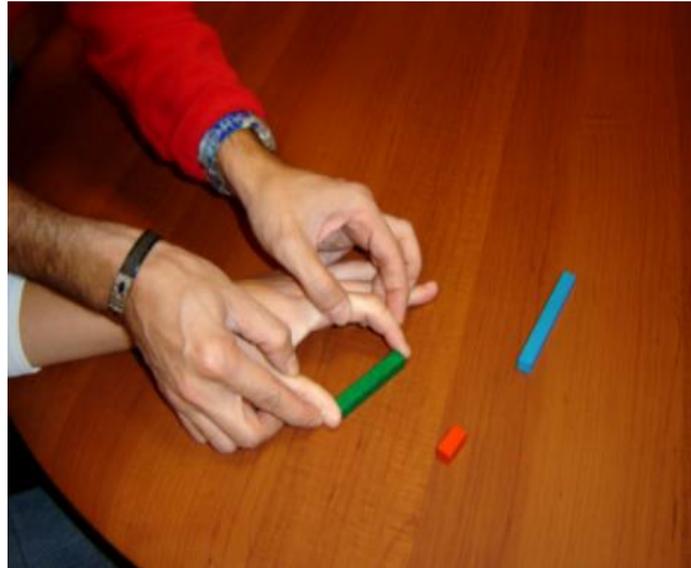


CLASIFICACIÓN DE LOS EJERCICIOS TERAPÉUTICOS COGNOSCITIVOS

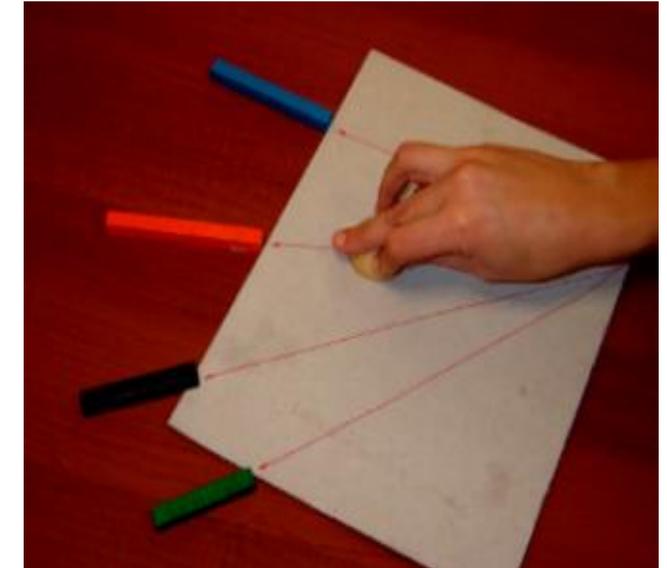
Primer Grado



Segundo Grado



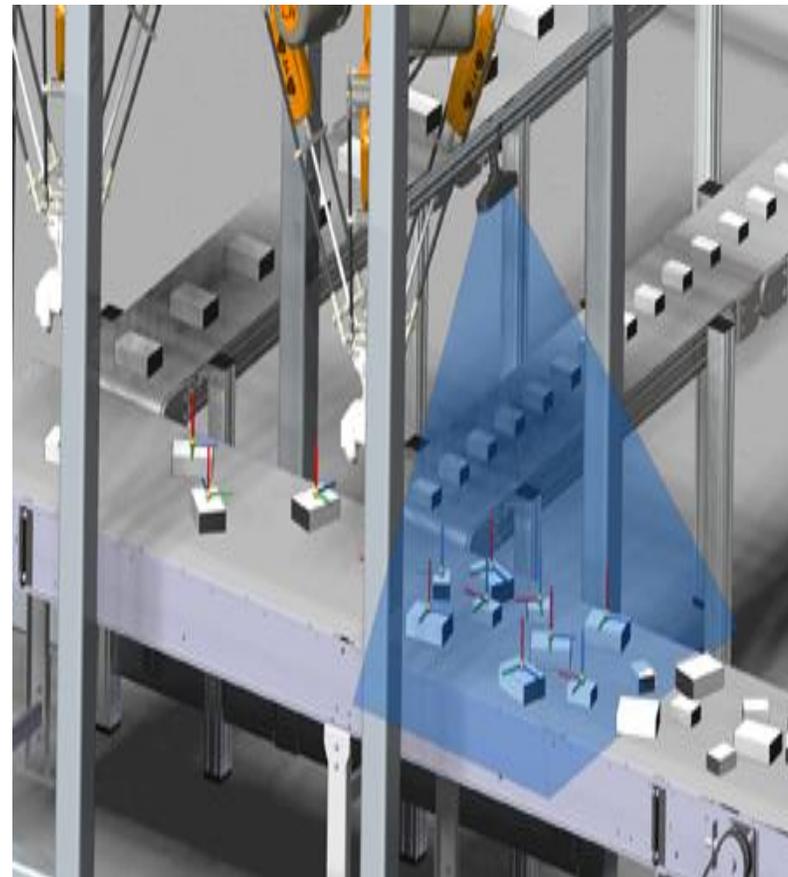
Tercer Grado





VISIÓN ARTIFICIAL

“La Visión Artificial se define como un campo de la Inteligencia Artificial que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales”. (Tudela, 2013)

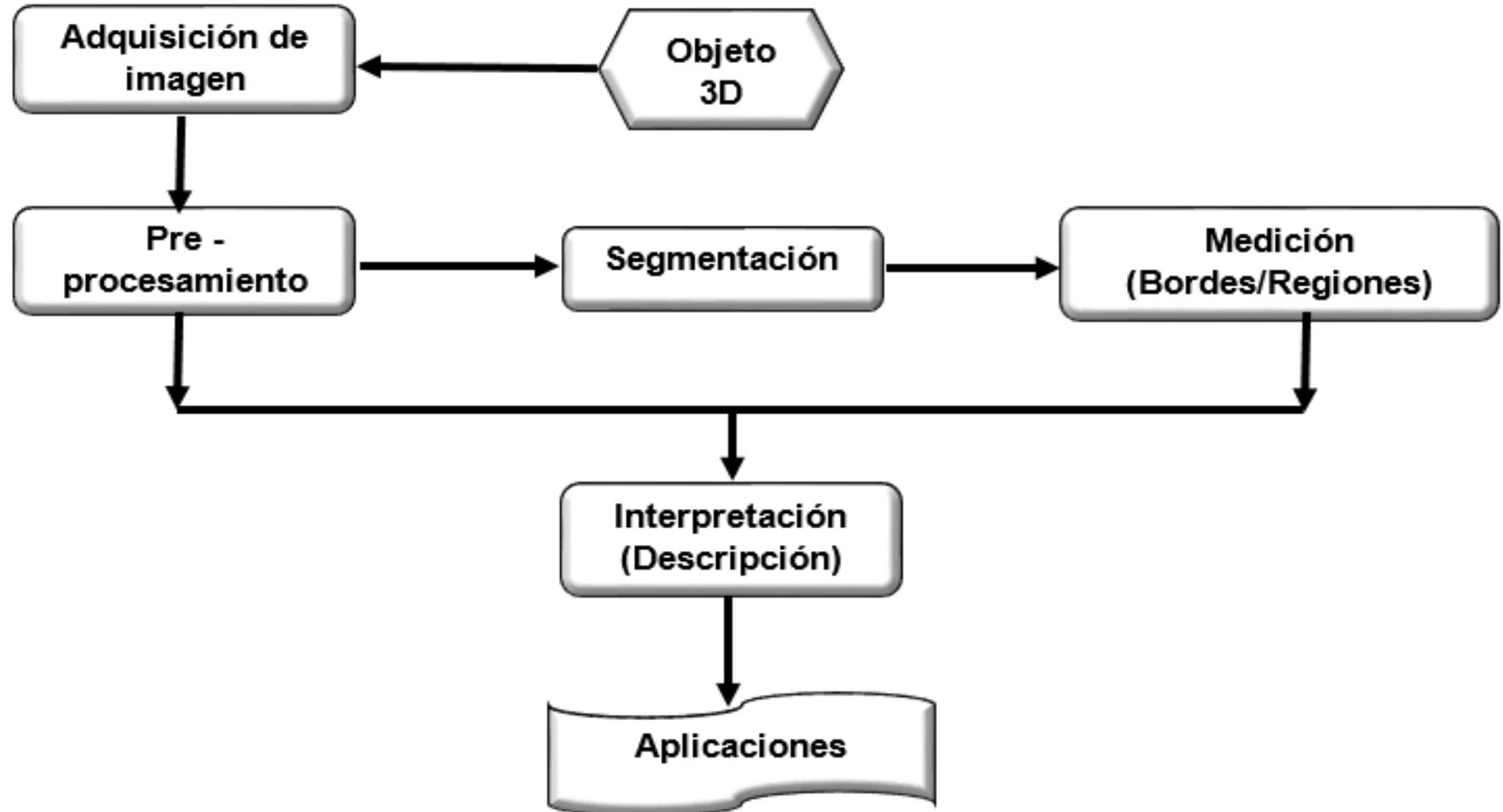




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SELECCIÓN BASE DE APOYO

*Mesa plegable de
madera y metal.*



*Mesa fija de
madera y metal*



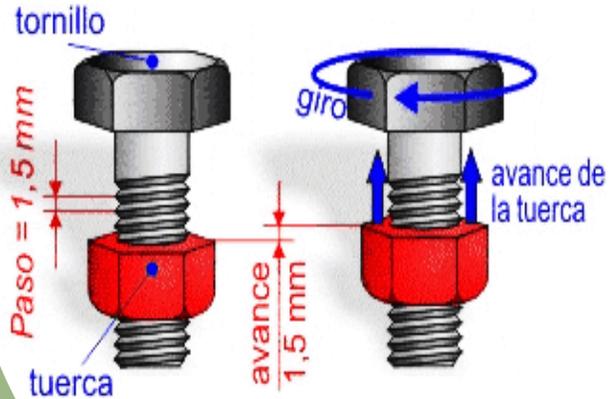
*Mesa plegable de
madera maciza*



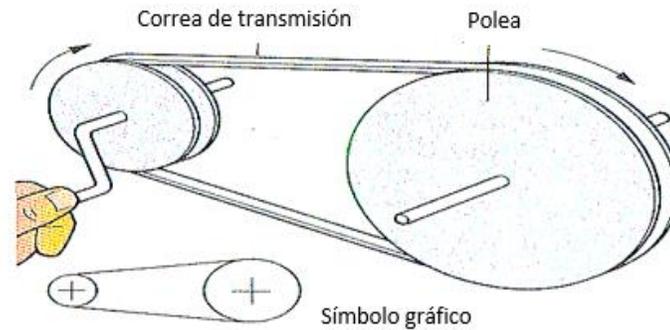


SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Mecanismo
Tuerca – Tornillo



Sistema de poleas con correa



Mecanismo
Piñón-Cremallera



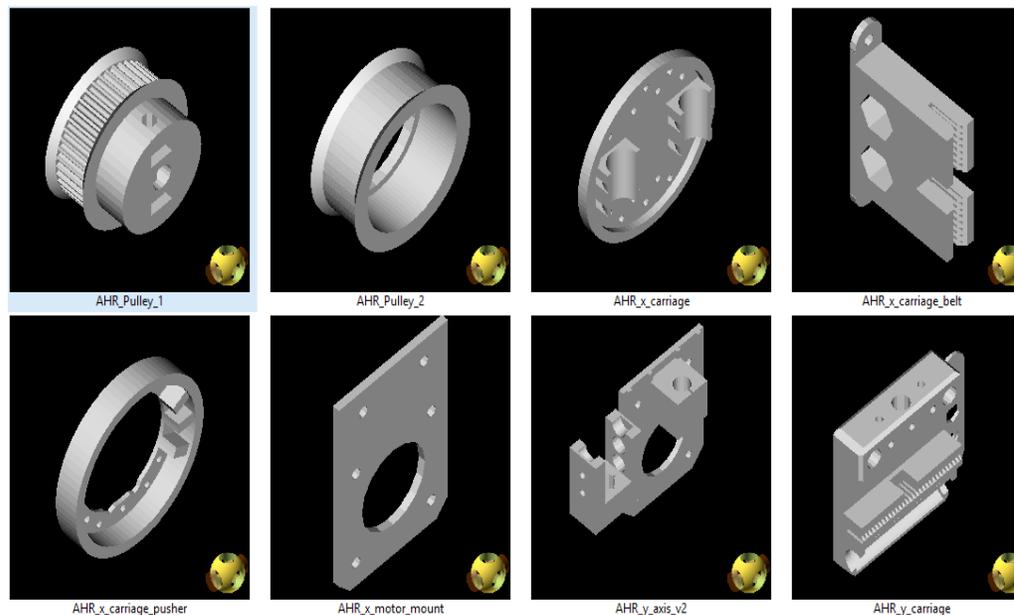


GUIADO DE SOPORTE Y MOVIMIENTO

Sistema de guiado por eje



Soportes del sistema de guiado y de transmisión de movimiento





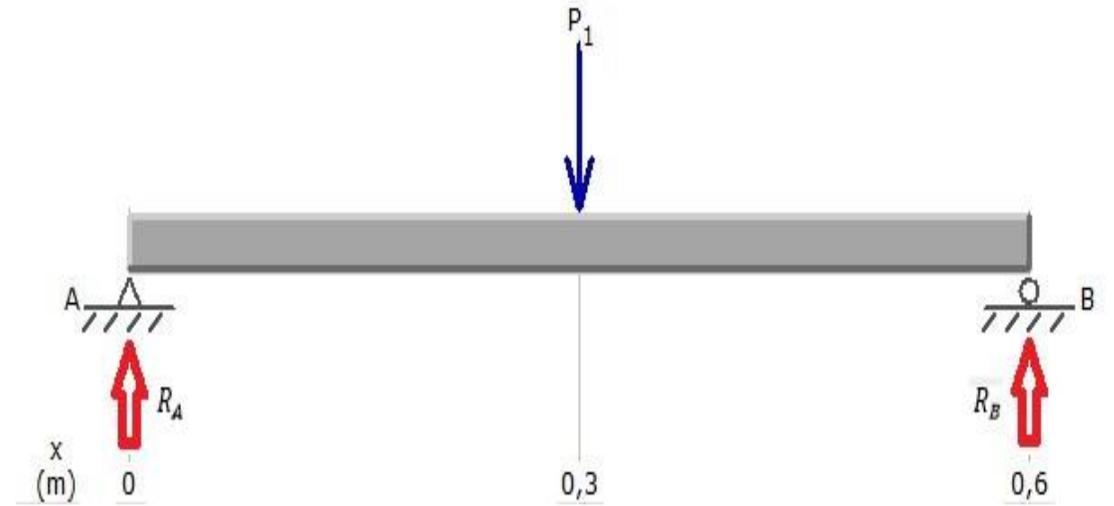
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Eje X

| ELEMENTO | MASA (Kg) | PESO (N) |
|-------------------------|-----------|-------------|
| Robot | 0,5 | 4,91 |
| Accesorio para sujeción | 0,4 | 3,92 |
| Electroiman | 0,2 | 1,96 |
| Total | | 10,8 |

SISTEMA MECÁNICO





SISTEMA MECÁNICO

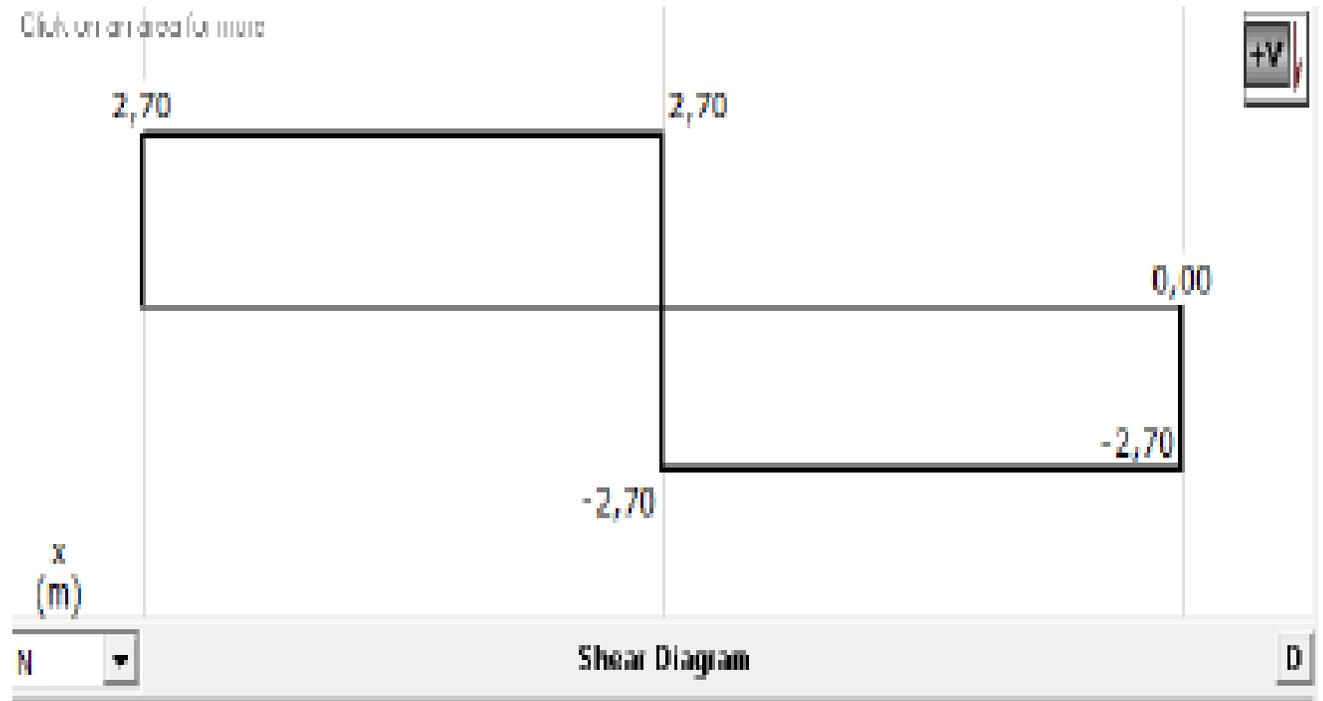
Eje X

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_A = 2,7 N$$

$$R_B = 2,7 N$$



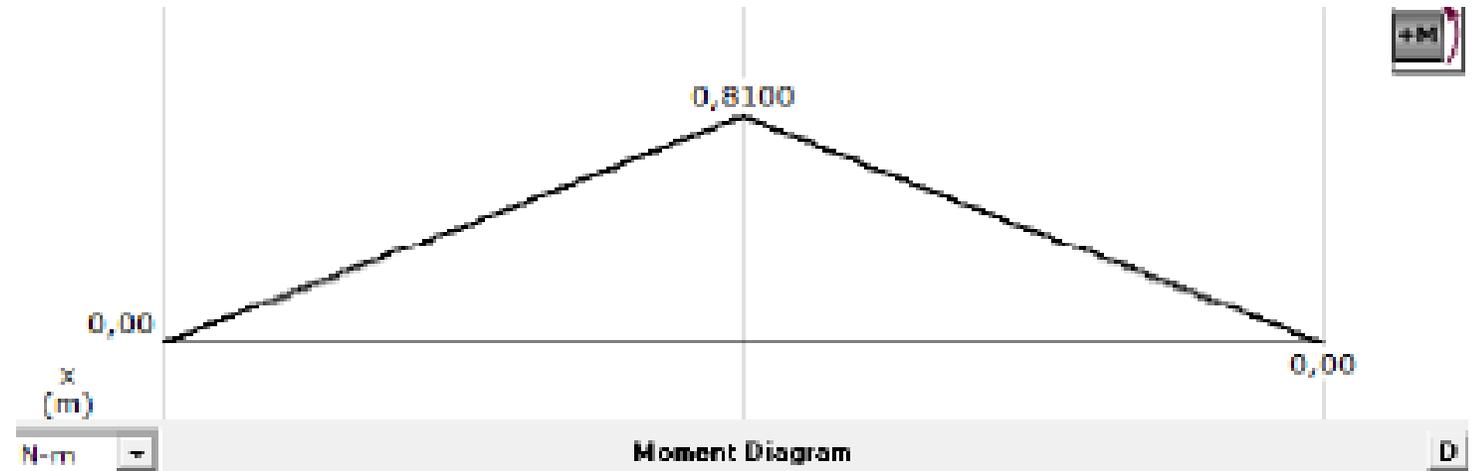


SISTEMA MECÁNICO

Eje X

$$M = \frac{P L}{4}$$

$$M_x = 0,81 \text{ N.m}$$





SISTEMA MECÁNICO

Eje X

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_d$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 N M}{\pi S_y}}$$

$$D_x = 3,91 \text{ mm}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$y_{max} = \frac{-P L^3}{192 E I}$$

$$y_{max} = -0,438 \text{ mm}$$

Aluminio

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$E = 69 \text{ GPa}$$

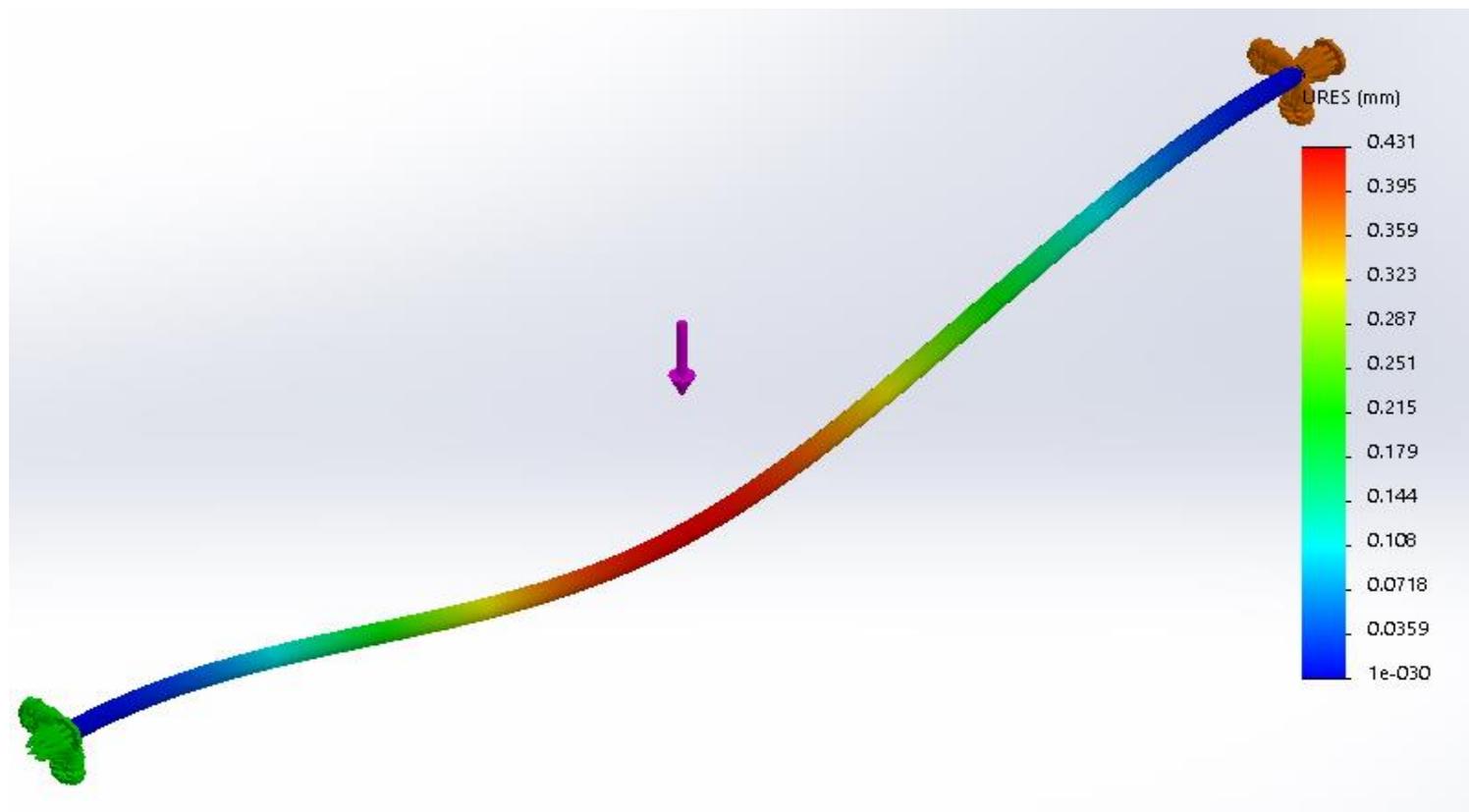


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA MECÁNICO

Eje X

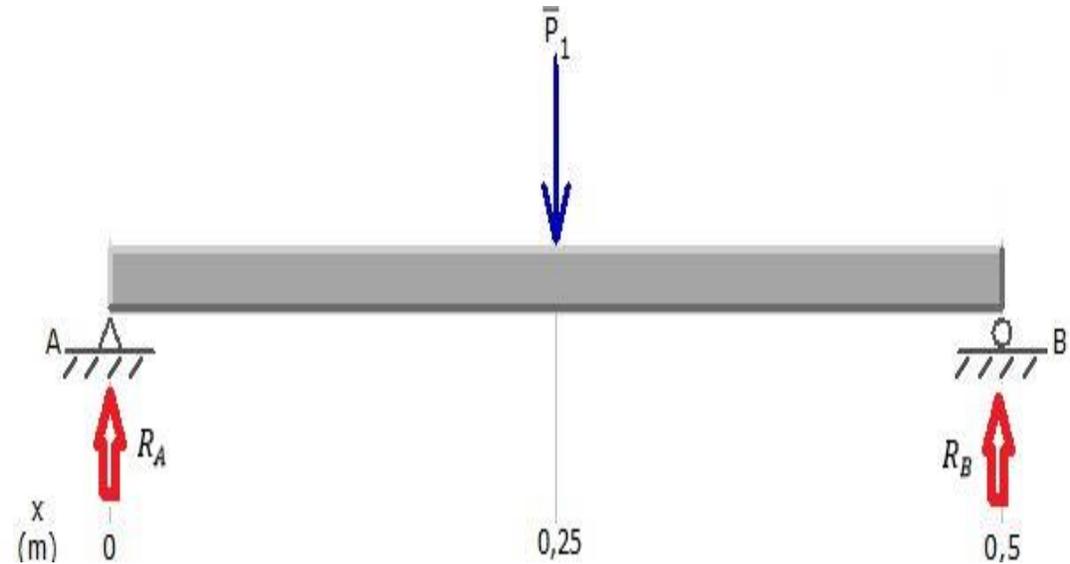




Eje Y

| ELEMENTO | MASA (Kg) | PESO (N) |
|-------------|-----------|----------|
| Eje X | 1,1 | 10,8 |
| Motor aprox | 0,76 | 7,46 |
| Correas | 0,1 | 0,98 |
| Total | | 18,04 |

SISTEMA MECÁNICO





SISTEMA MECÁNICO

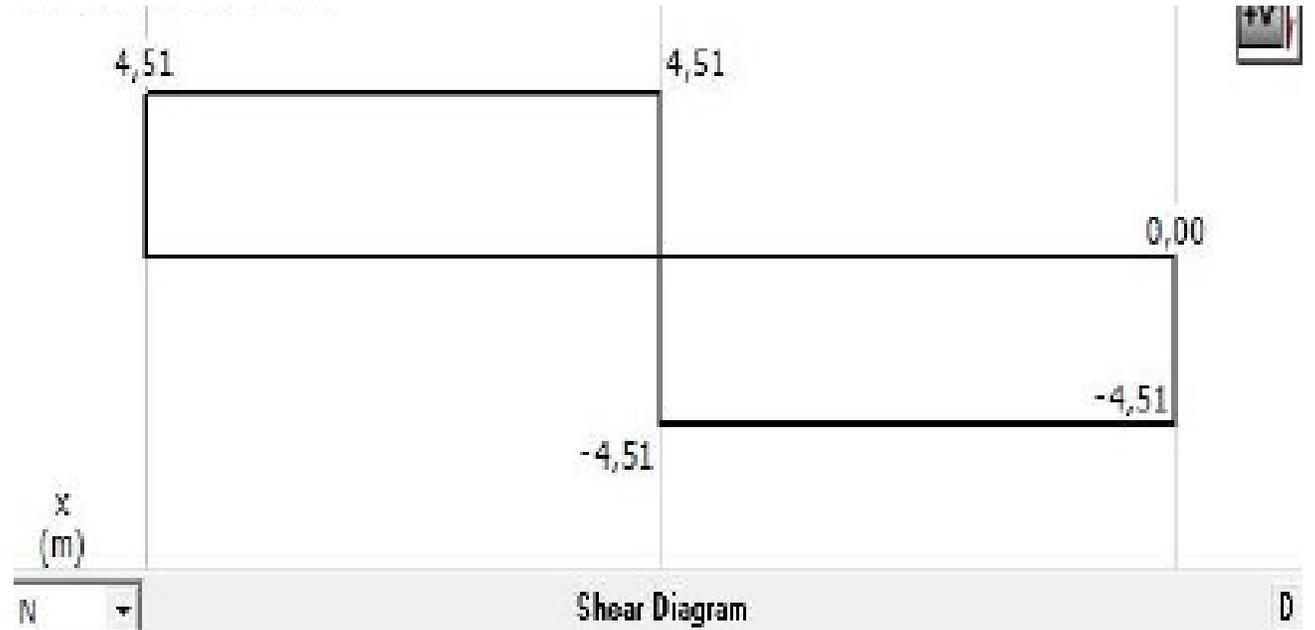
Eje Y

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_A = 4,51 \text{ N}$$

$$R_B = 4,51 \text{ N}$$



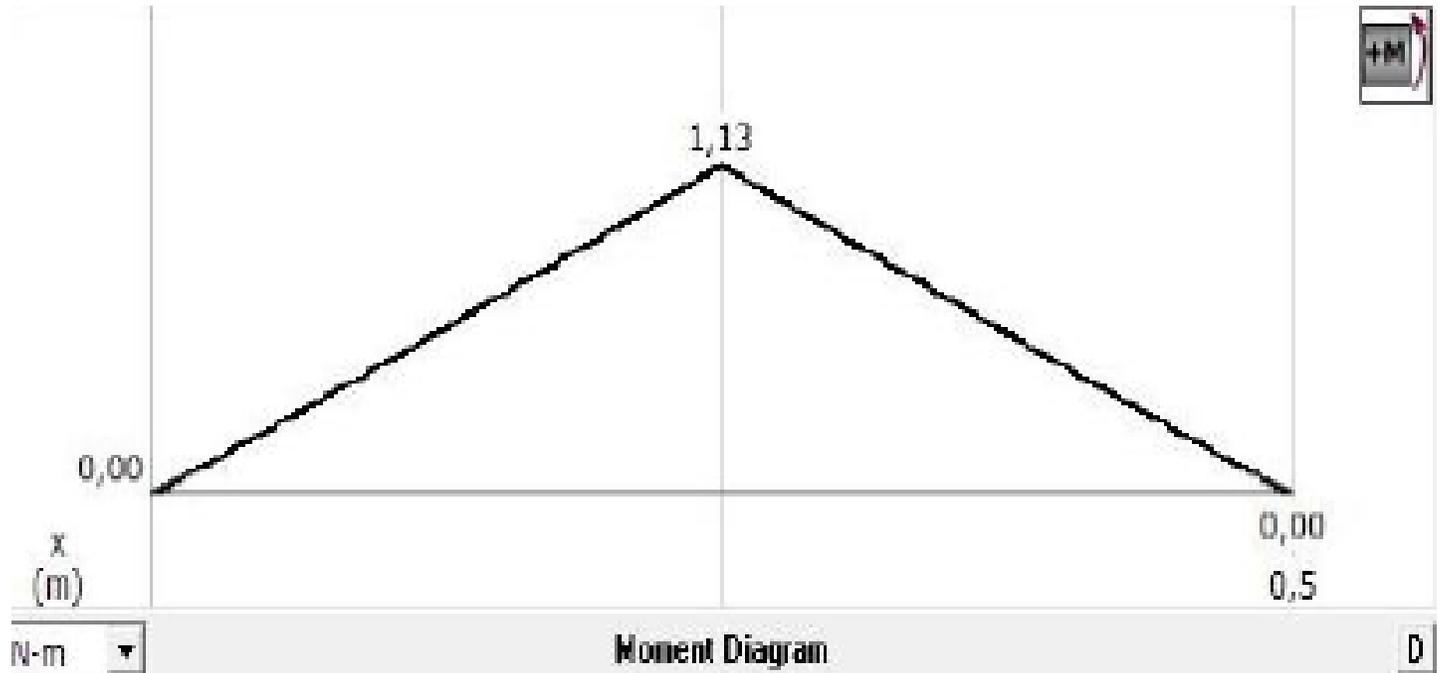


SISTEMA MECÁNICO

Eje Y

$$M = \frac{P L}{4}$$

$$M = 1,13 \text{ N}\cdot\text{m}$$





SISTEMA MECÁNICO

Eje Y

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_d$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 N M}{\pi S_y}}$$

$$D_y = 4,20 \text{ mm}$$

Acero AISI 304

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$y_{max} = \frac{-P L^3}{192 E I}$$

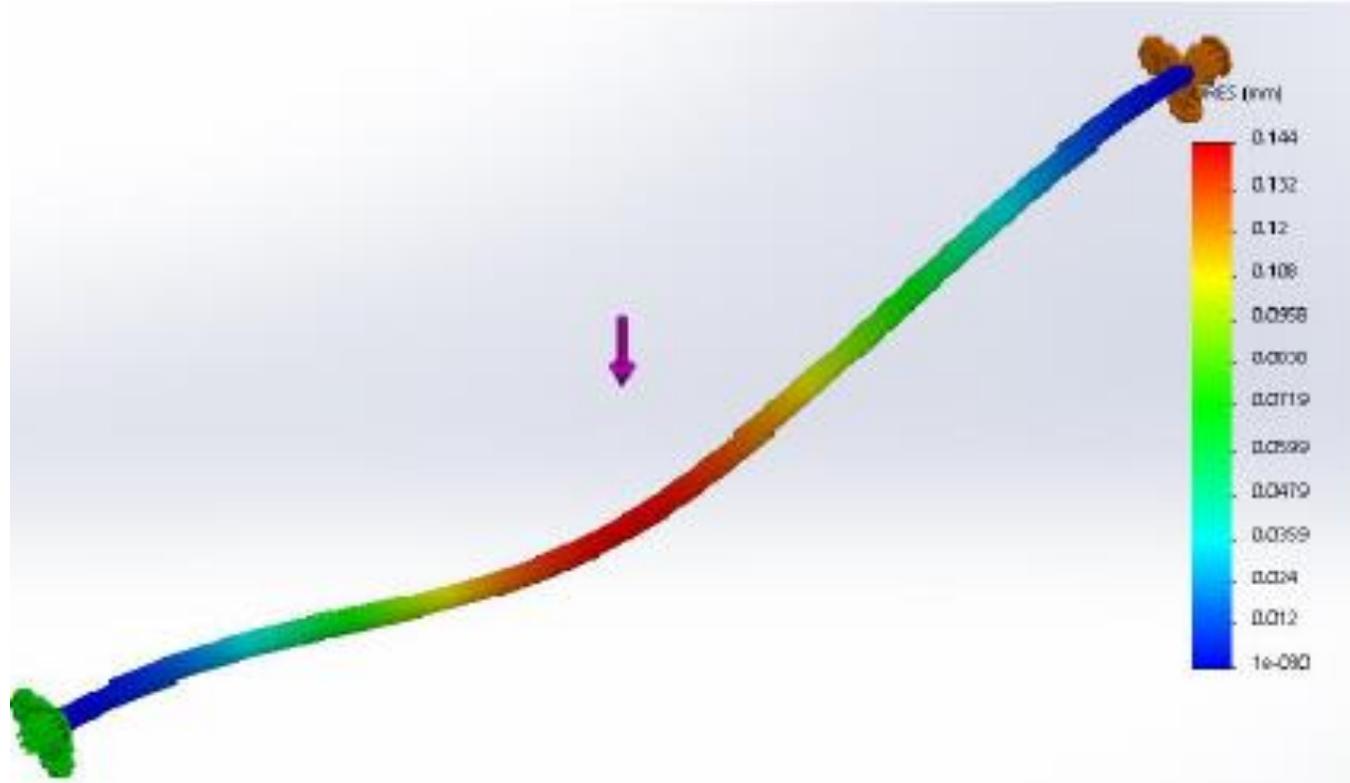
$$y_{max} = -0,146 \text{ mm}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA MECÁNICO

Eje Y



SISTEMA MECÁNICO

Soporte horizontal del Sistema de Visión e Iluminación

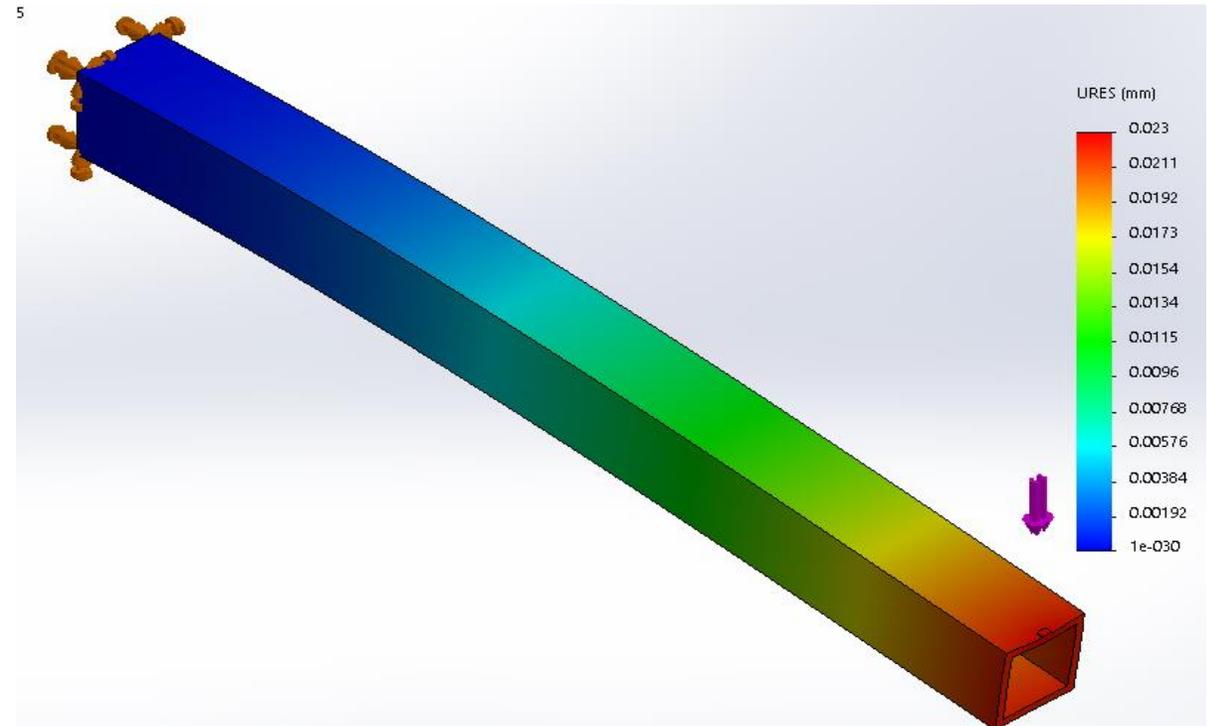


$$P_1 = 2,81 \text{ N}$$

$$y_{max} = \frac{-P L^3}{3 E I}$$

$$y_{max} = \frac{-(2,81 \text{ N}) (0,26 \text{ m})^3}{3 (69 \text{ GPa}) (1,077 \times 10^{-8} \text{ m}^4)}$$

$$y_{max} = -0,0221 \text{ mm}$$

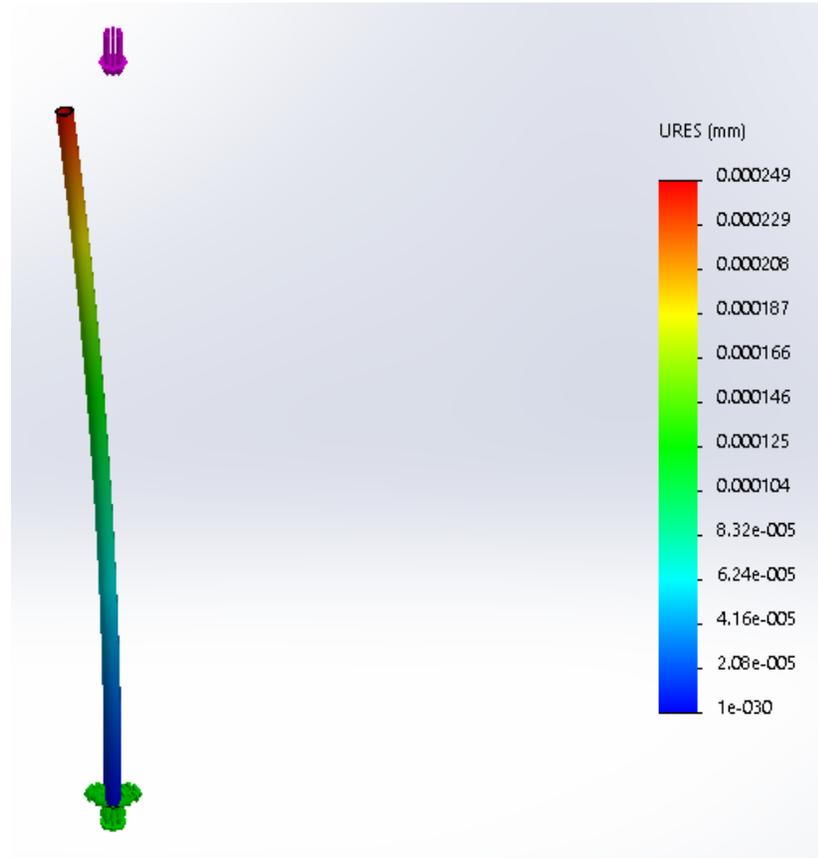




SISTEMA MECÁNICO

Soporte Vertical del Sistema de Visión e Iluminación

$$P_1 = 4,41 N$$

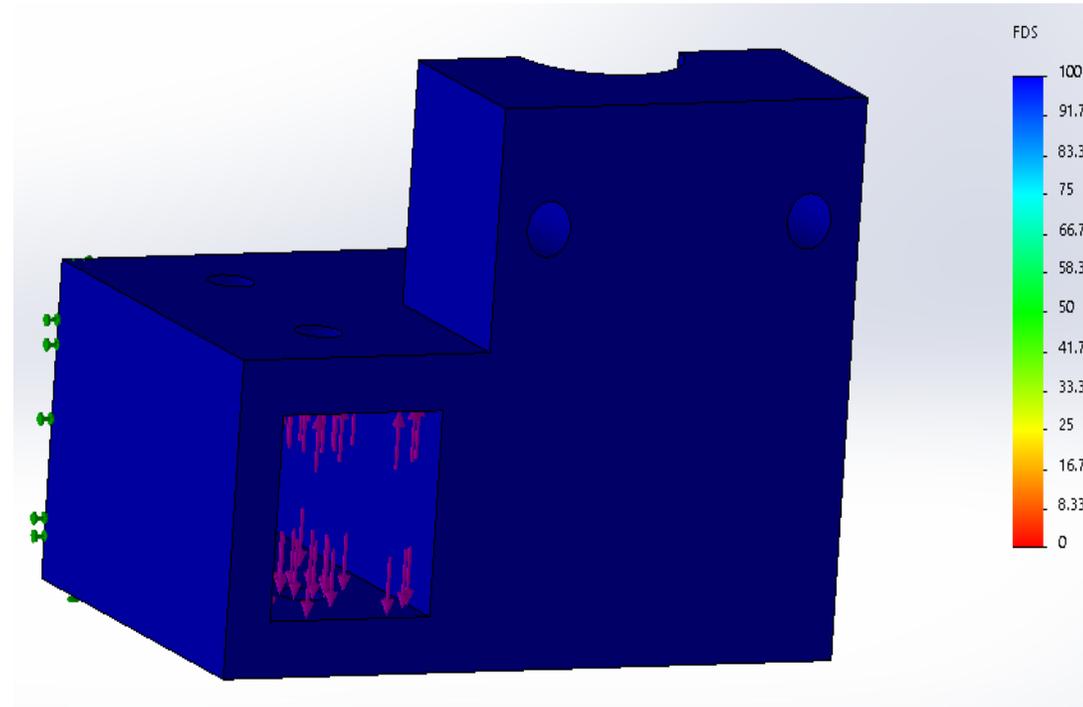




SISTEMA MECÁNICO

Pieza de unión de soportes vertical y horizontal

$$P_1 = 2,81 N$$

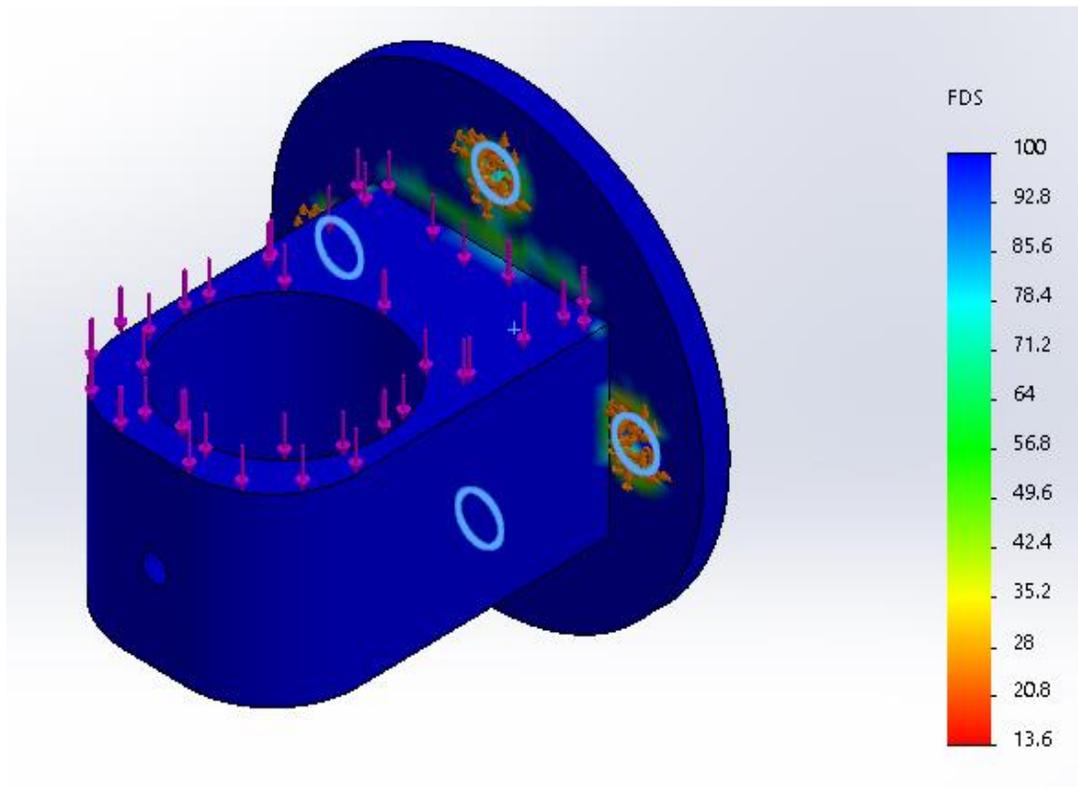




SISTEMA MECÁNICO

Pieza de acople a la base de apoyo

$$P_1 = 14,93 \text{ N}$$





ESPE

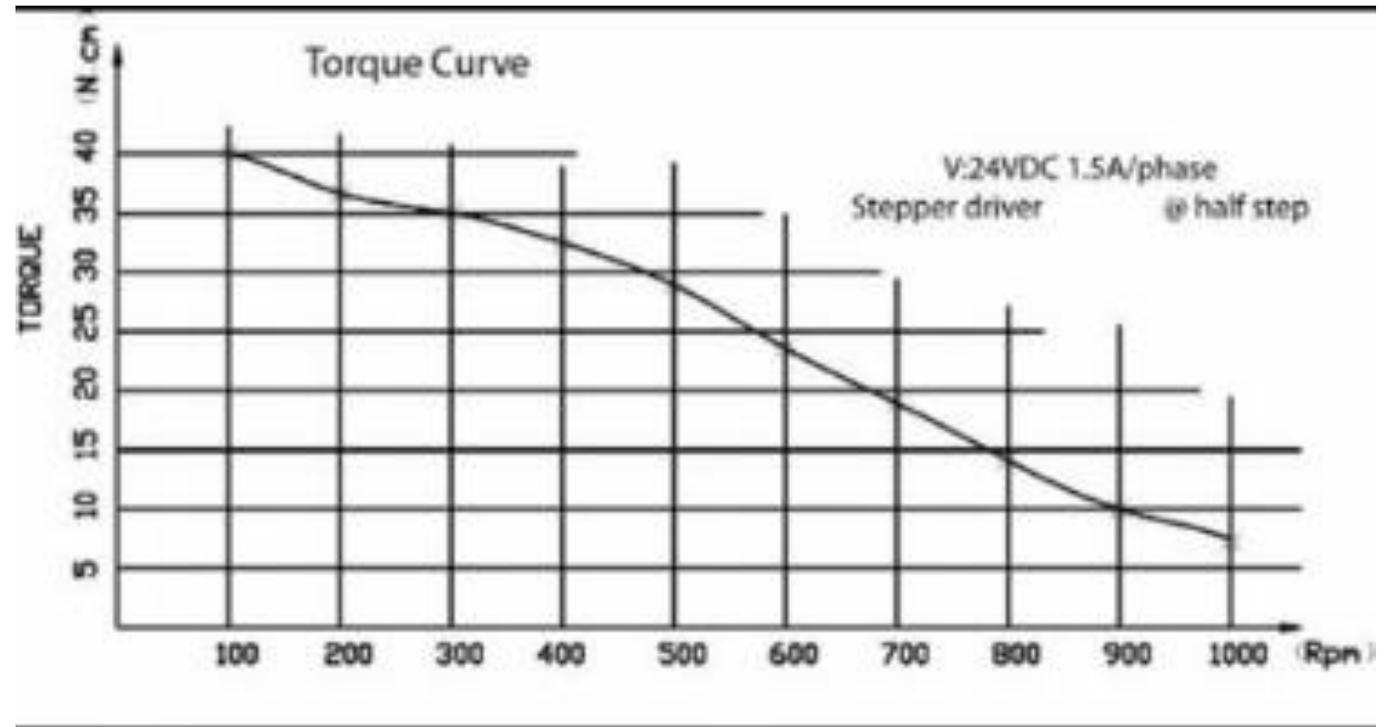
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

$$T_x = 0,074 \text{ N.m}$$

$$T_y = 0,153 \text{ N.m}$$

SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES

NEMA 17





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS

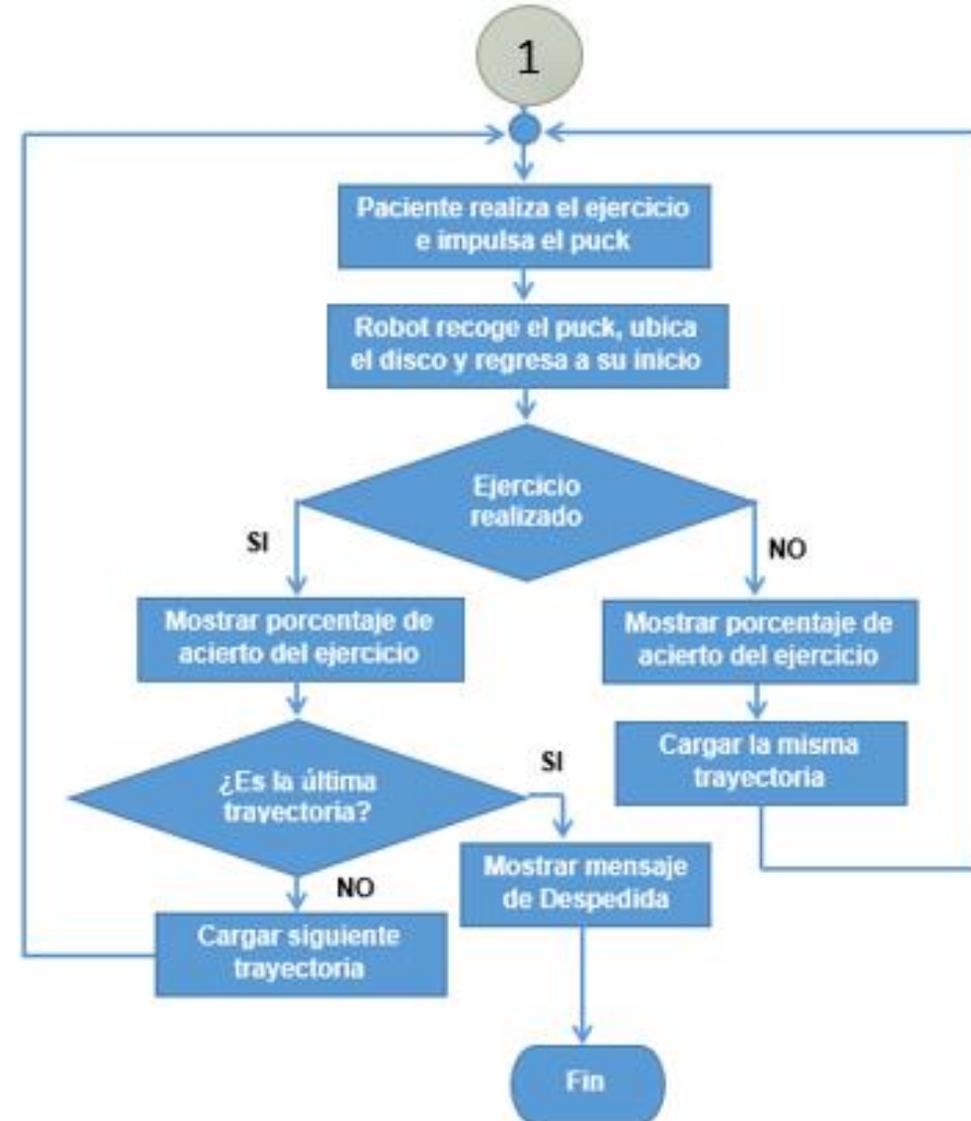
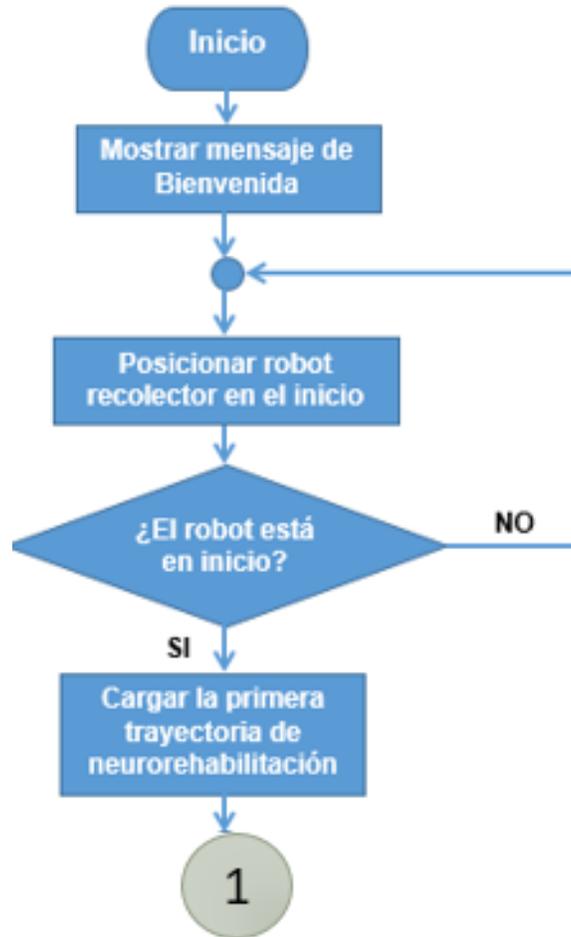




PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL SOFTWARE DE VISION ARTIFICIAL

- **Reconocimiento de color**
- **Manejo de imágenes matriciales**
 - **Rotación**
 - **Escala**
 - **Superposición**
- **Conteo de píxeles**
- **Comunicación serial**

FUNCIONAMIENTO



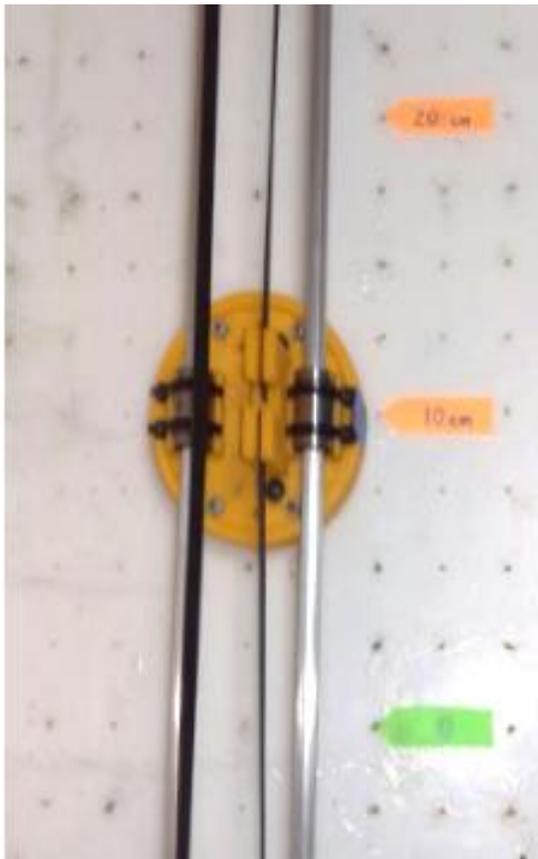


ESPE

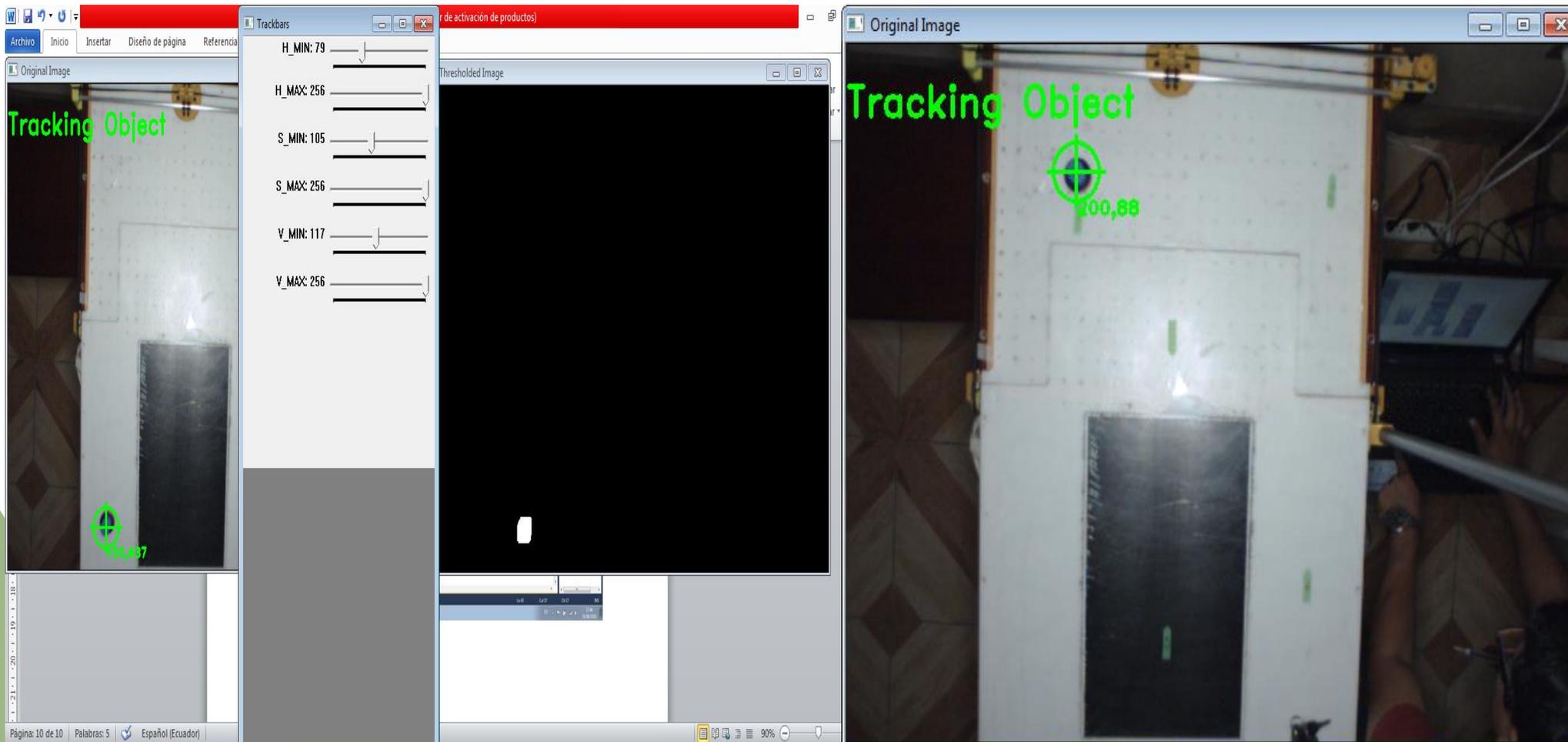
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

MOTORES X e Y



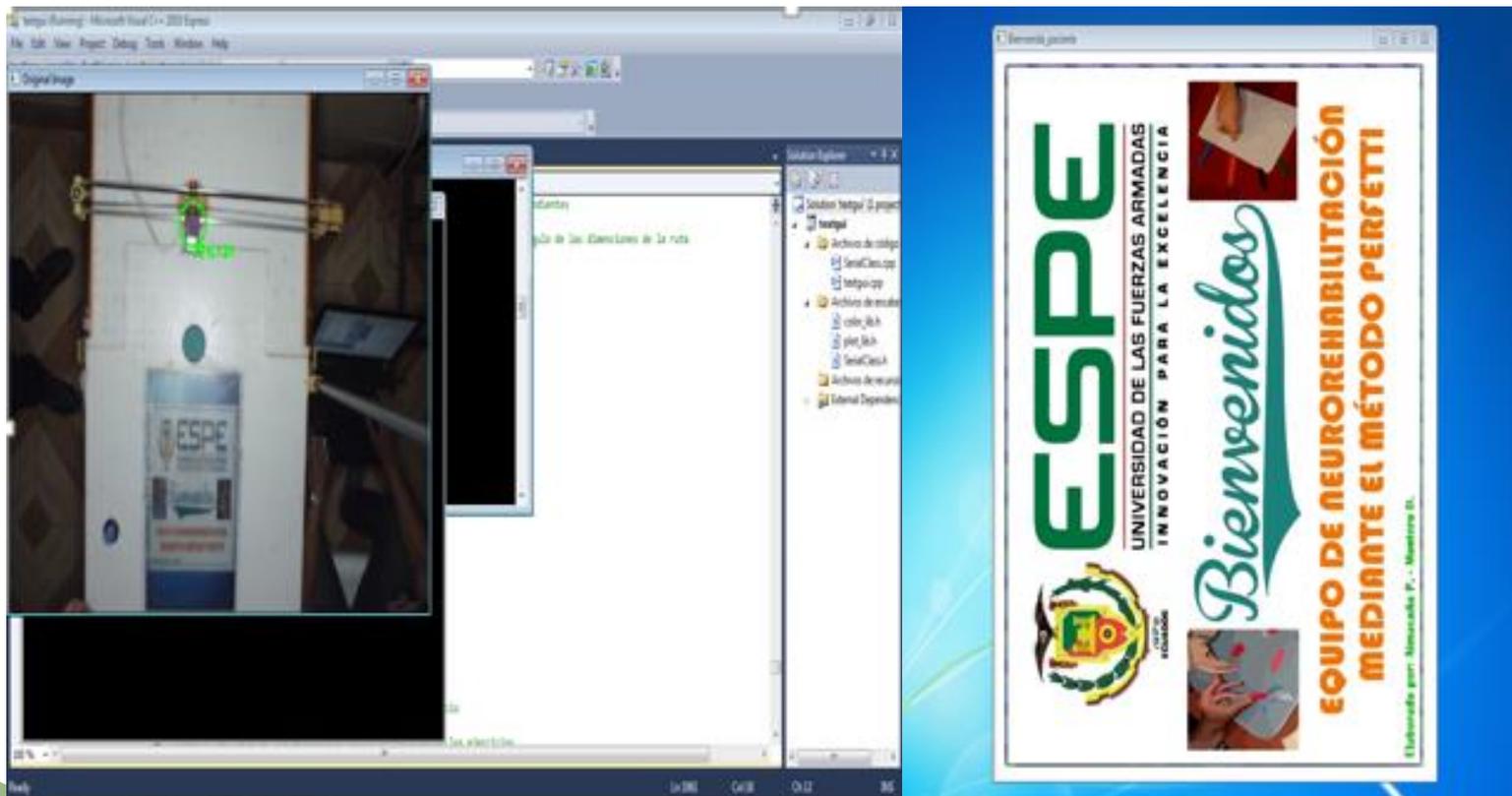
Reconocimiento de Color





Funcionamiento Total del Equipo

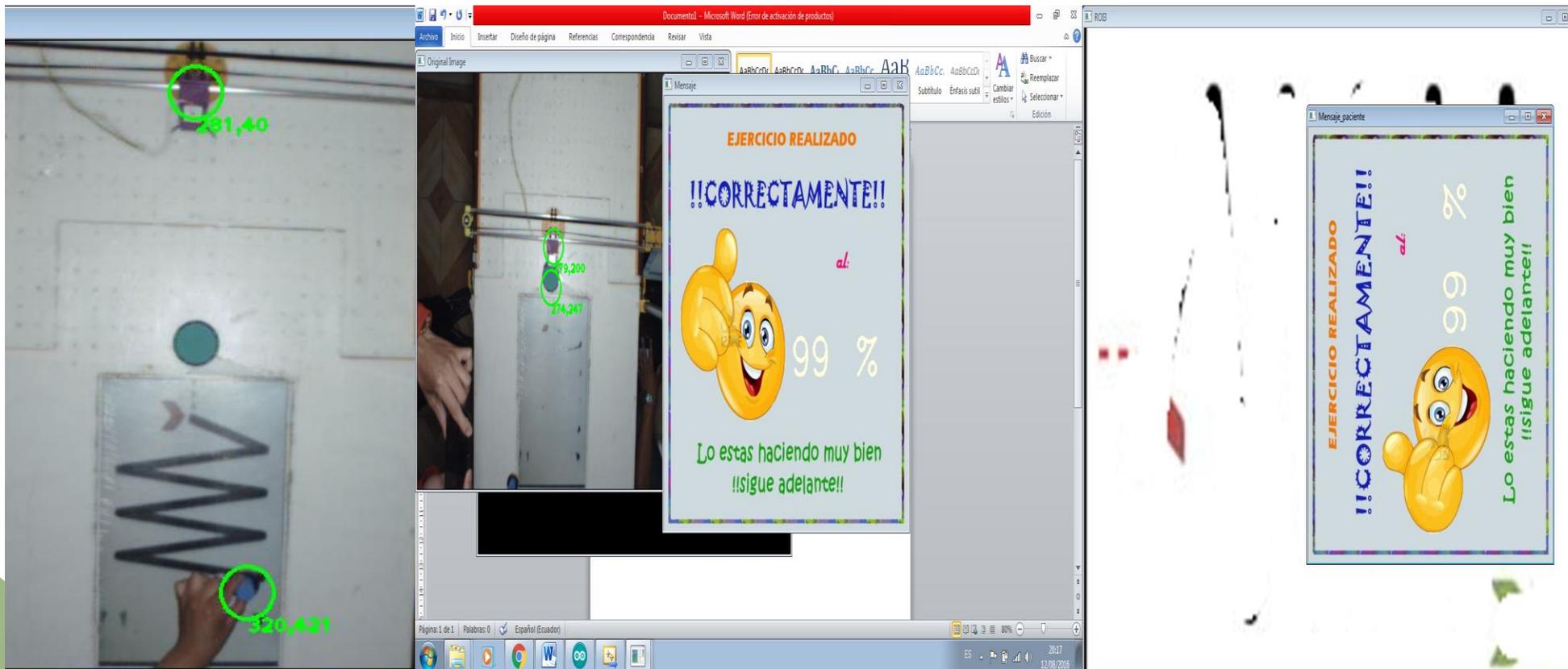
Etapa de Bienvenida





Funcionamiento Total del Equipo

Etapa de Ejecución de Ejercicios





PRUEBAS Y RESULTADOS

Funcionamiento Total del Equipo

Etapas de Ejecución de Ejercicios

The image is a composite of three parts. On the left, a person's hand is seen pointing at a whiteboard with a green circle around a point, with the number '262,290' displayed below it. In the center, a Microsoft Word window titled 'Mensaje' displays a pink message box with a yellow laughing face emoji, the text 'EJERCICIO REALIZADO !!INCORRECTAMENTE!!', '30 %', and 'No te desanimes !!Vuelve a intentarlo!!'. On the right, a large graphic of a person in a black suit holding a sign with the same message as the Word window. The background of the composite image shows a whiteboard with a green circle around a point and the number '280,39' displayed above it.



Funcionamiento Total del Equipo

Etapa de Despedida





VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

¿El análisis y diseño del equipo mecatrónico de neurorehabilitación que emplea visión artificial, logrará recuperar la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora?

- **Variables Dependientes:**

Recuperar la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora

- **Variables Independientes:**

Equipo de neurorehabilitación

- **Hipótesis Nula (H_0):** El equipo de neurorehabilitación no mejorará la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora.
- **Hipótesis de Trabajo (H_1):** El equipo de neurorehabilitación mejorará la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora.



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Chi-Cuadrado calculado = 48,372

Chi-Cuadrado tabulado = 41,337

Conclusión:

$$X_{cal}^2 > X_{tab}$$

$$48,372 > 41,337$$

Entonces se acepta la hipótesis de trabajo que dice: ““El equipo de neurorehabilitación logrará recuperar la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora.”



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

COSTO DEL PROYECTO

| Cant. | Componente | Valor Unitario | Valor Total |
|-------|-----------------------------|----------------|----------------|
| 3 | Motores NEMA 17 | 35 | 105 |
| 6 | Rodamientos LM8UU | 5 | 30 |
| 1 | Arduino Mega | 65 | 65 |
| 3 | Drivers A4988 | 6 | 18 |
| 4 | metros correa GT2 | 5 | 20 |
| 1 | Estructura metálica | 40 | 40 |
| 1 | Monitor | 50 | 50 |
| 1 | Cable VGA y poder | 9 | 9 |
| 1 | Tabla <u>triplex</u> | 40 | 40 |
| 3 | Rodamientos 22mm | 2 | 6 |
| 1 | Cámara PS3 | 20 | 20 |
| 1 | Lámpara Led | 20 | 20 |
| 1 | metro tubo aluminio | 15 | 15 |
| 1 | tubo redondo 22mm | 3 | 3 |
| 1 | Electroimán | 7,5 | 7,5 |
| 1 | Extensión activa <u>usb</u> | 15 | 15 |
| 1 | Impresiones 3d | 182,95 | 182,95 |
| 2 | Planchas de acrílico | 55 | 110 |
| 1 | Pedazo de acrílico | 10 | 10 |
| 1 | Corte laser | 40 | 40 |
| 1 | Impresión PCB | 5 | 5 |
| 1 | Elementos para PCB | 11 | 11 |
| 2 | Ventiladores | 2 | 4 |
| 1 | Gastos transporte | 35 | 35 |
| 1 | Gastos varios | 150 | 150 |
| | Total | | 1011,45 |



CONCLUSIONES

- Se realizó una investigación adecuada en fuentes de bibliográficas especializadas en los distintos aspectos y temas que se trataron con la finalidad de escoger y clasificar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.
- El sistema de control se realizó mediante un sistema de visión artificial basándose principalmente en el reconocimiento de colores.
- Se diseñaron distintos elementos que conforman la parte mecánica del equipo tomando en cuenta los requerimientos del mismo en cuanto a las cargas que interactúan en el funcionamiento del equipo.
- Se utilizaron varios diseños de componentes disponibles en internet, sin embargo se creó nuevos diseños con la finalidad de cumplir con los requerimientos establecidos.



CONCLUSIONES

- Varios de los componentes y dispositivos utilizados son los que conforman una impresora 3d o un robot de tipo cartesiano, sin embargo se encuentran destinados a cumplir una función diferente a la impresión.
- Se utilizó un software de diseño con la finalidad de realizar un análisis estático de cada pieza diseñada y comprobar si cumple con los parámetros necesarios antes de implementarlas físicamente.
- La programación del sistema de visión se realizó con librerías de OpenCv que permiten interactuar en tiempo real con el mundo exterior.
- Los drivers A4988 brindan una resolución de paso de 1/8 lo cual brinda un movimiento más suave y preciso de cada motor a pasos.
- No se utilizó sensores de posición ya que el sistema de visión se encarga de detener los actuadores cuando el robot alcance una posición máxima en cualquiera de los dos ejes.



RECOMENDACIONES

- Las plantillas de color que se utilizan no deben ser brillantes debido a que producen interferencias en la detección del sistema de visión.
- Utilizar un sistema de iluminación permanente con la finalidad de que la cámara capte la misma luz ya sea en el día o en la noche.
- Ajustar de manera correcta los parámetros HSV de la imagen a fin de no tener problemas en el reconocimiento del color.
- El cable de la cámara no debe sobrepasar los 3 metros caso contrario la señal se pierde o se distorsiona.