



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



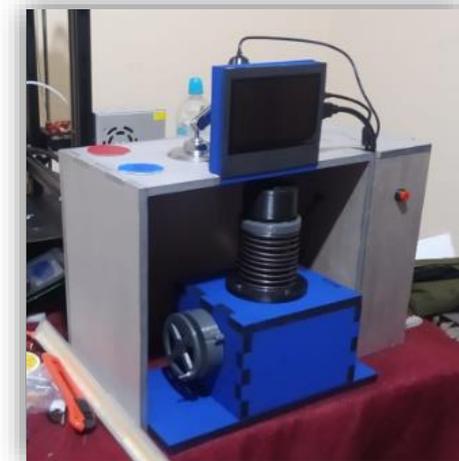
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

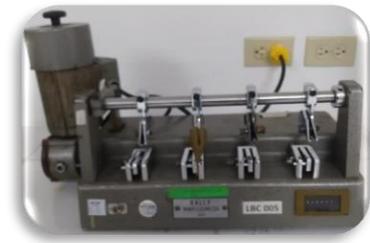
REPOTENCIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD PARA AUTOMATIZAR LAS PRUEBAS DE FRICCIÓN, ELASTICIDAD Y DISTENSIÓN, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA EN LA EMPRESA FAME S.A. DEL CANTÓN RUMIÑAHUI, PROVINCIA DE PICHINCHA.

AUTORES: GUALÁN GUAMÁN, JOSÉ ARMANDO
ORTIZ BUNCI, SANTIAGO MISAE

DIRECTOR: ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO

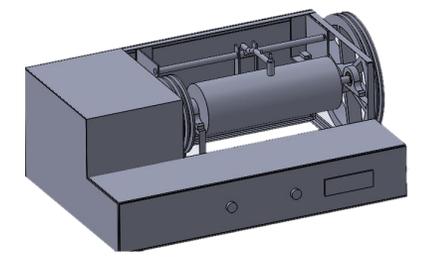
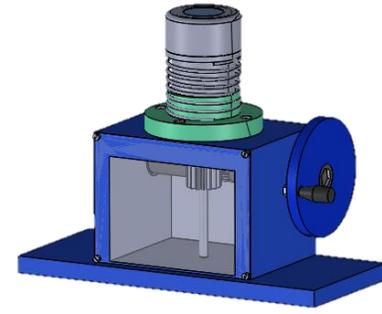
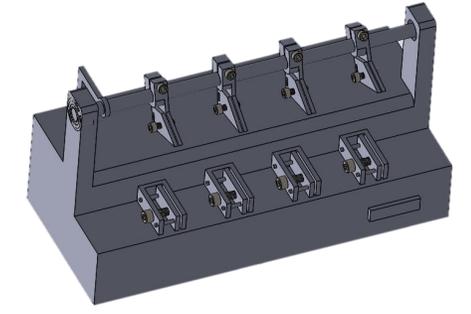
Latacunga, 2023





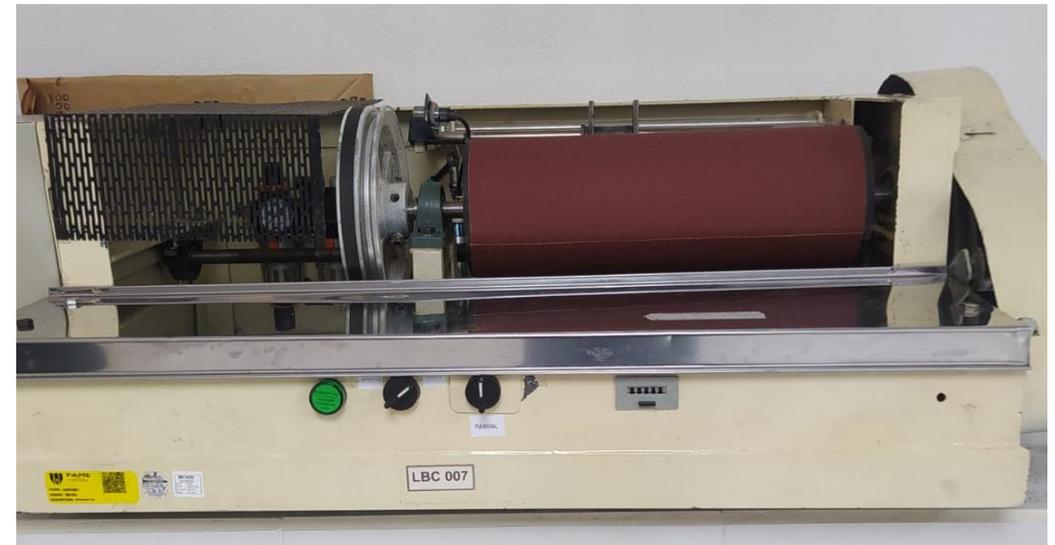
- 1** Identificación de necesidades
- 2** Planteamiento del problema
- 3** Objetivos
- 4** Hipótesis
- 5** Ingeniería Inversa
- 6** Diseño

- 7** Construcción
- 8** Calibración de la cámara
- 9** Pruebas y resultados
- 10** Validación de hipótesis
- 11** Conclusiones y Recomendaciones



Necesidades en el abrasímetro

Núm.	Necesidad
1	Ajuste de la profundidad de la probeta
2	Ajuste de tamaño de probeta
3	Brazo de presión con peso específico
4	Diseño compacto
5	Conteo de ciclos
6	Apagado automático al finalizar el ensayo
7	Bajo consumo energético
8	Paro de emergencia
9	Facilidad de operación



Necesidades en el flexómetro

Núm.	Necesidad
1	Material de acuerdo a las normas de calidad
2	Elemento de sujeción ajustable
3	Conteo de ciclos
4	Diseño compacto
5	Bajo consumo energético
6	Mínimas modificaciones



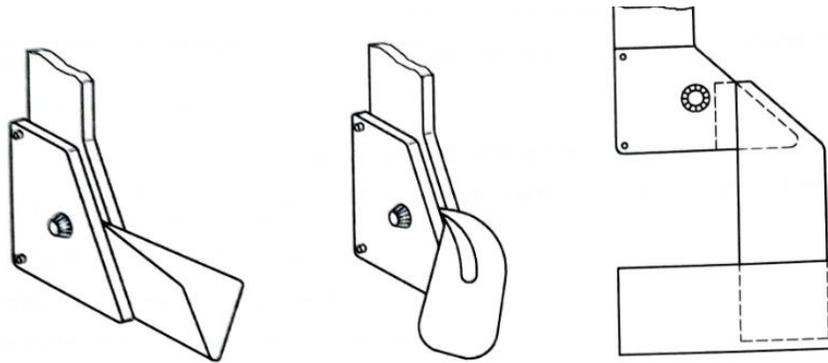
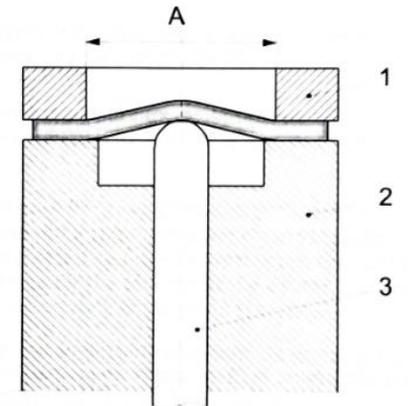
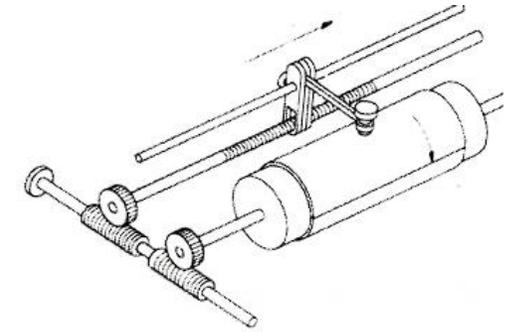
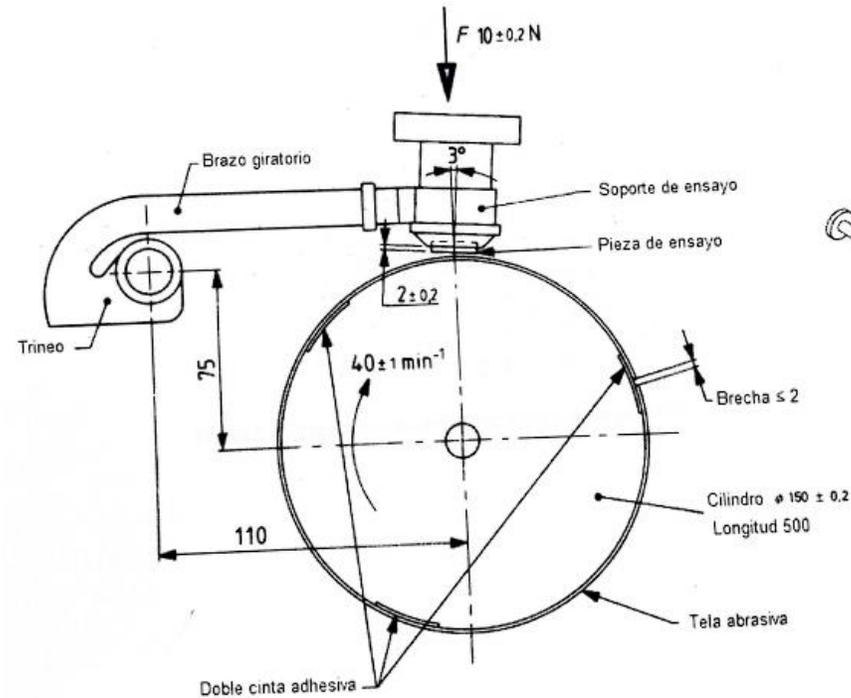
Necesidades en el elastómetro

Núm.	Necesidad
1	Detección de grietas en la probeta
2	Medición de presión en la probeta
3	Conteo de ciclos
4	Diseño compacto
5	Accionamiento automático
6	Fácil operación
7	Interfaz amigable con el usuario



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En base al estado actual de los equipos, es imperiosa la necesidad de solucionar los inconvenientes que presentan y mejorar algunas de sus características para alcanzar los estándares internacionales y el desarrollo tecnológico al que apunta la empresa; contribuyendo de manera simultánea a que las tareas de control de calidad se realicen con mayor rapidez y precisión.



Objetivo general

Repotenciar y mejorar el laboratorio de control de calidad para automatizar las pruebas de fricción, elasticidad y distensión, mediante la aplicación de ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Objetivos específicos

- Analizar los requerimientos de las máquinas industriales para extraer los datos sin afectar el funcionamiento del mismo y la normativa de diseño correspondiente.
- Diseñar los componentes mecánicos y esquemas eléctricos de cada una de las máquinas de acuerdo a su especificación requerida, junto con los algoritmos de control para cada máquina.
- Seleccionar los materiales mecánicos, eléctricos y electrónicos para la construcción.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento de las máquinas para validar la hipótesis a través de pruebas experimentales y herramientas estadísticas.

¿La repotenciación y el mejoramiento del laboratorio de control de calidad mediante la automatización de los equipos de ensayo de fricción, elasticidad y flexión contribuirá a la empresa FAME a optimizar las pruebas de control de calidad según la normativa requerida?

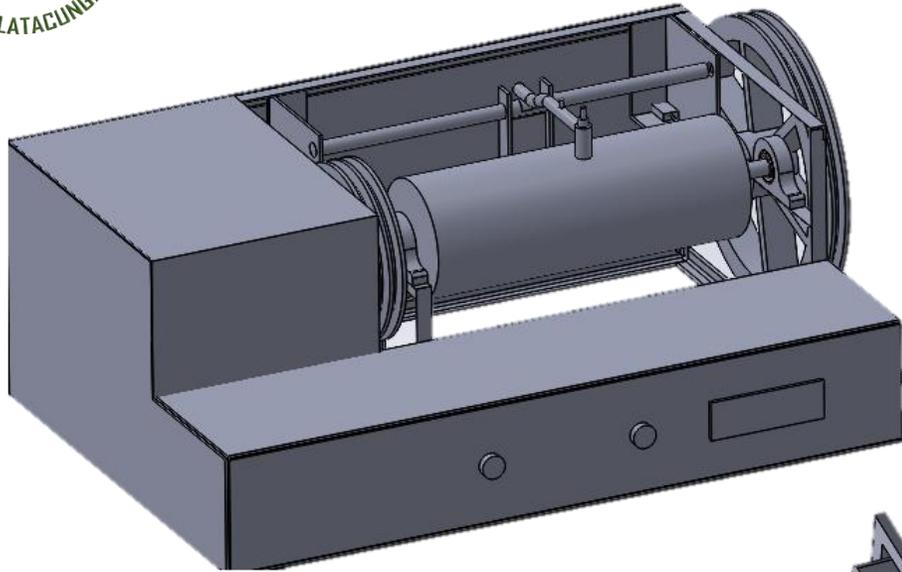
Variable Independiente

Equipos automatizados del laboratorio de control de calidad.

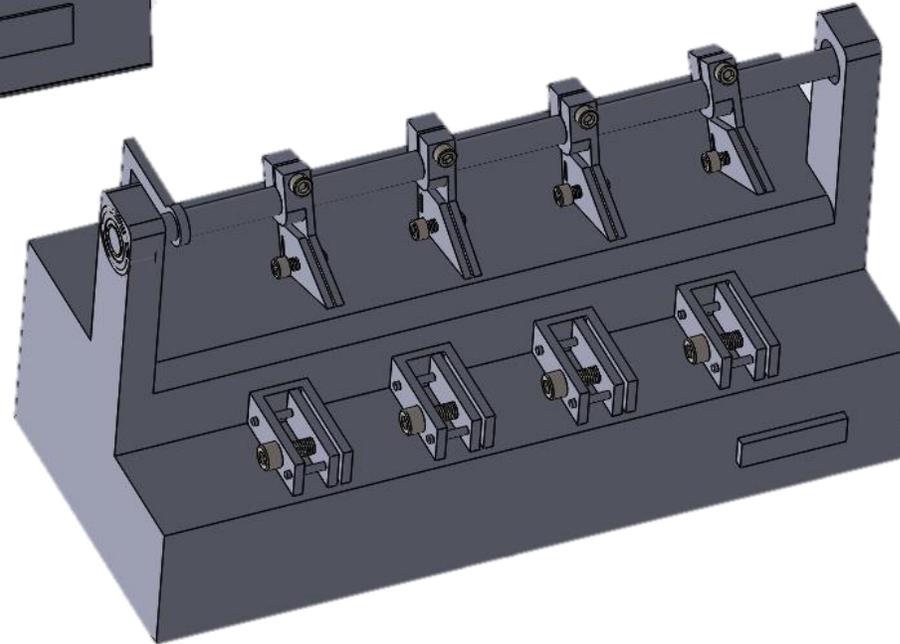
Variable Dependiente

Optimización de las pruebas de control de calidad.

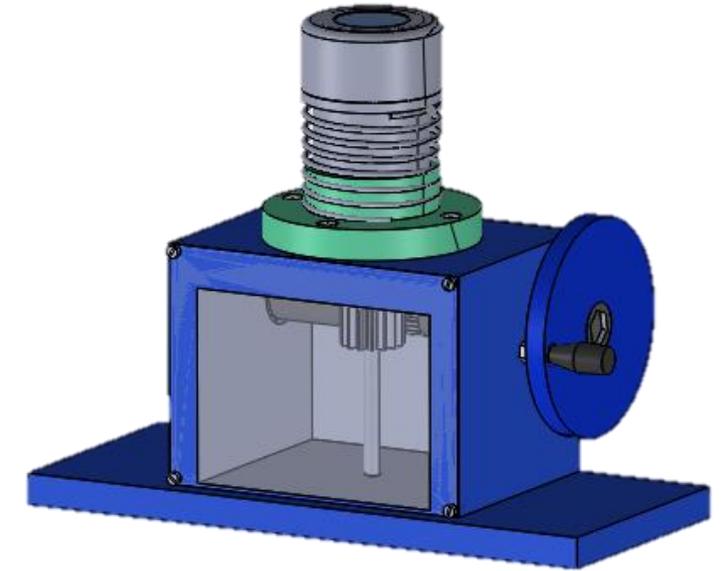
Sistema Mecánico



Modelo 3D del abrasímetro

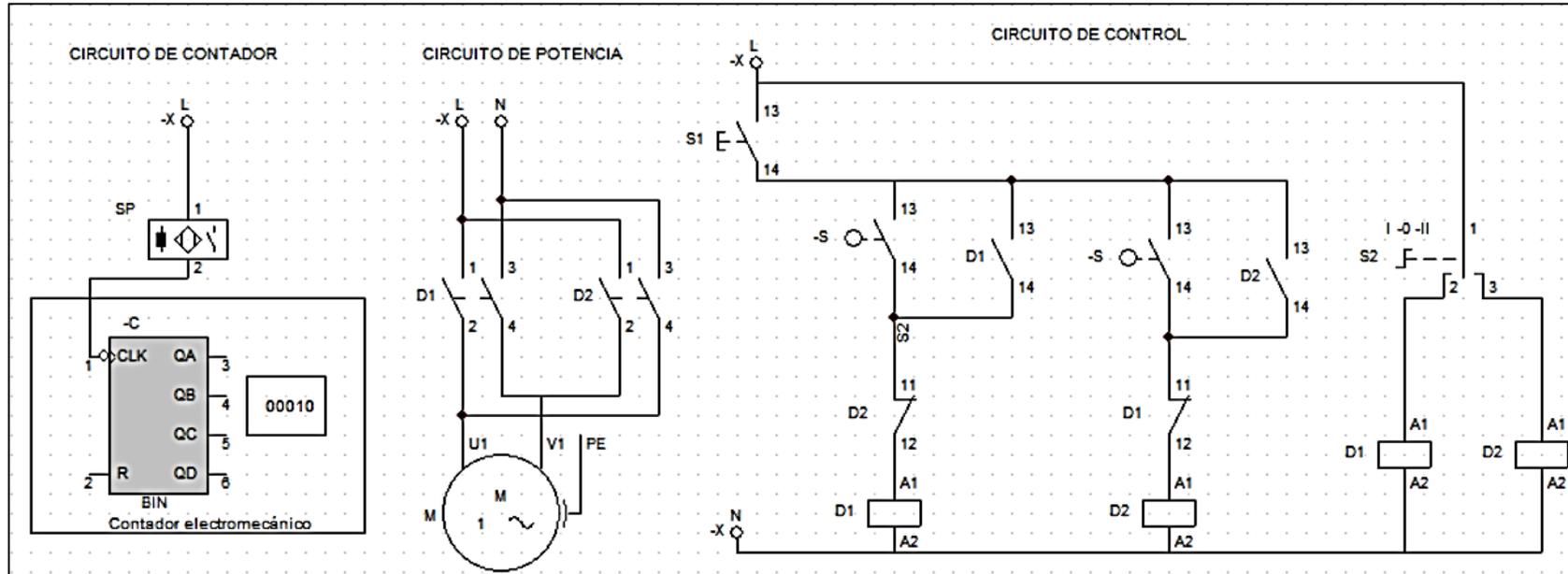


Modelo 3D del flexómetro

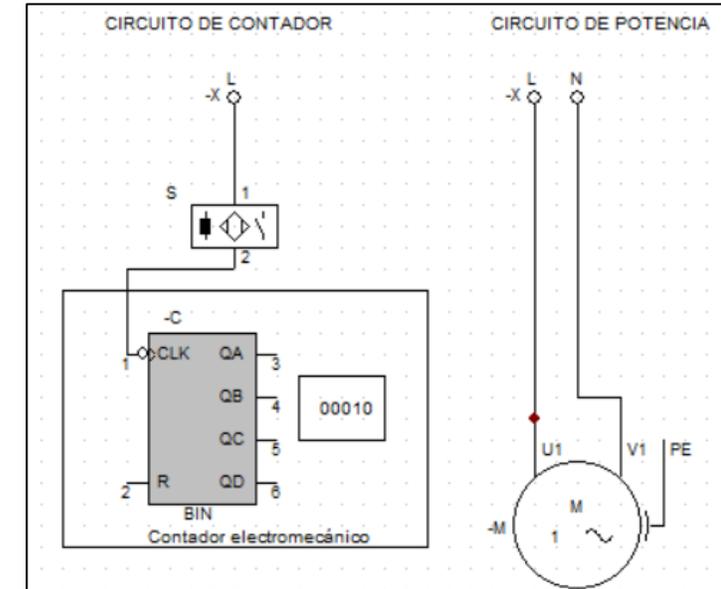


Modelo 3D del elastómetro

Sistema Eléctrico

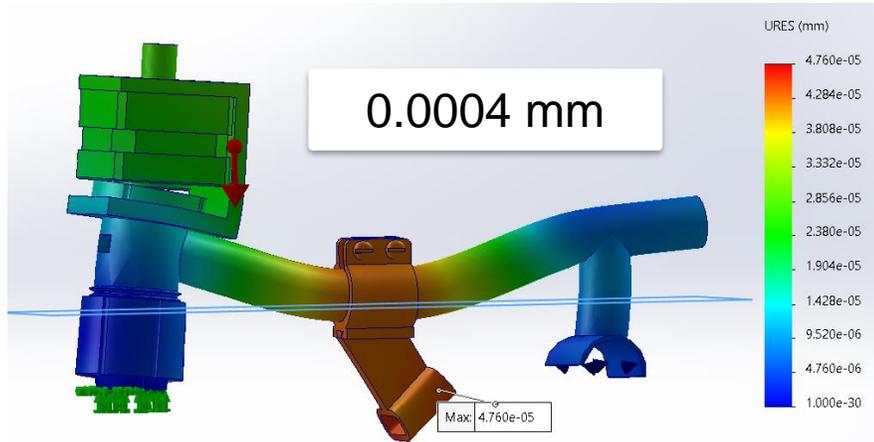


Esquema eléctrico del abrasímetro



Esquema eléctrico del flexómetro

Diseño Mecánico y Eléctrico (abrasímetro)



Norma ISO 20871

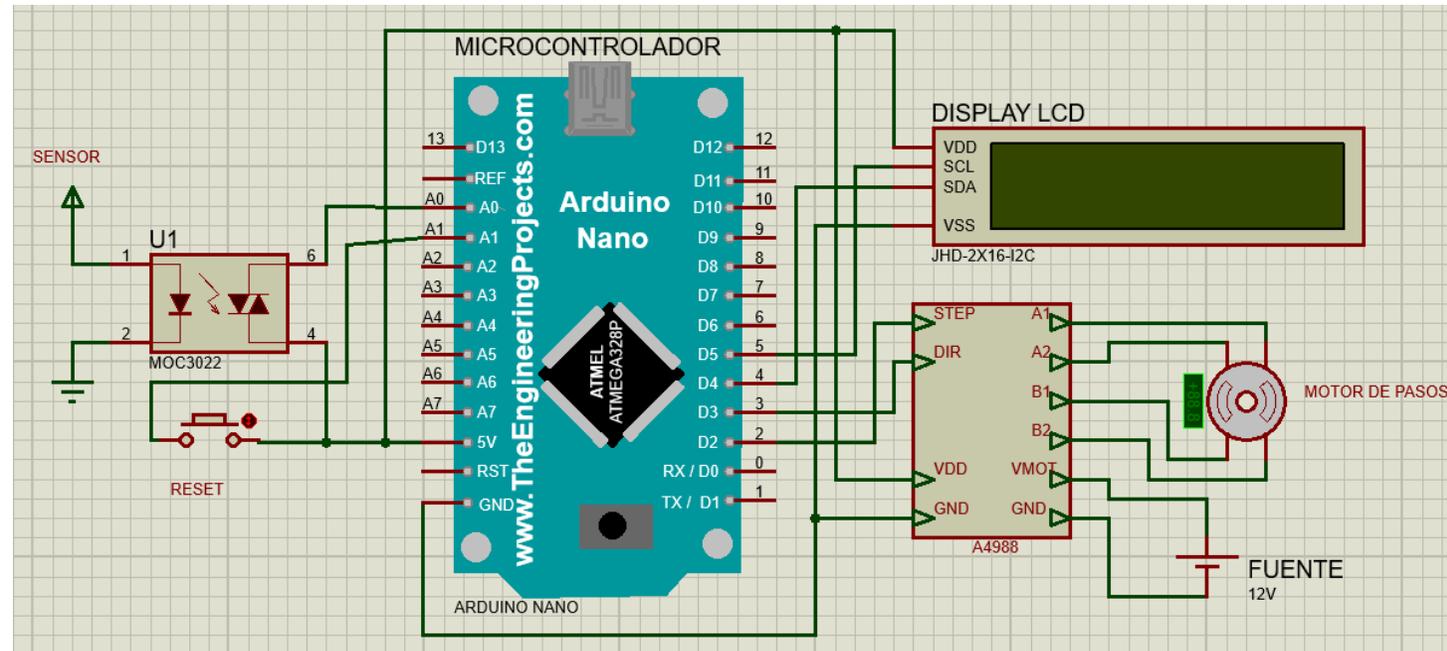
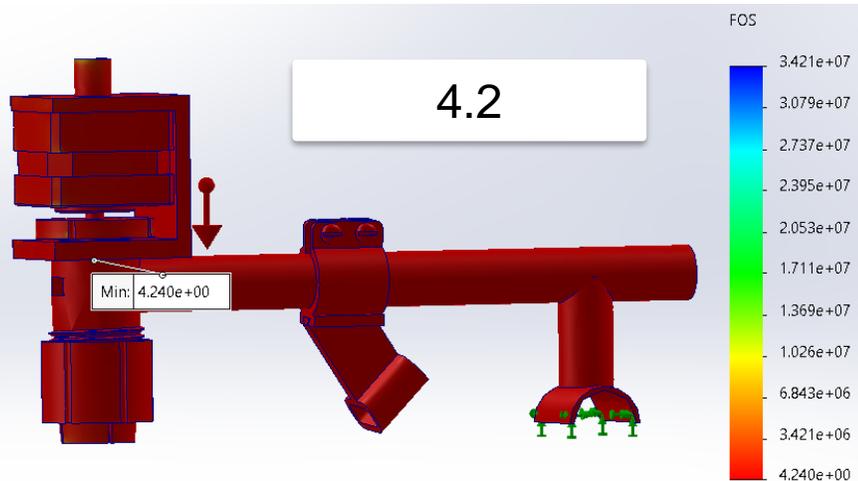
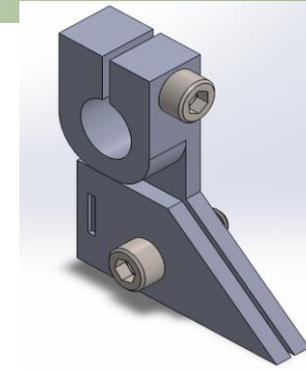


Diagrama eléctrico (abrasímetro)

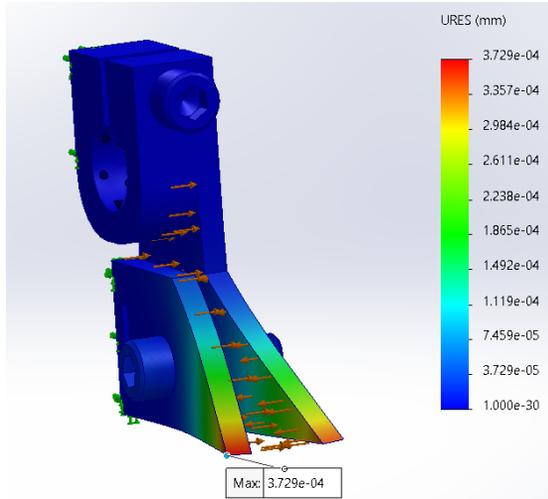


Deformación Factor de seguridad (brazo del abrasímetro)

Diseño Mecánico y Eléctrico (flexómetro)



0.00037 mm



Norma ISO 5402 - 1

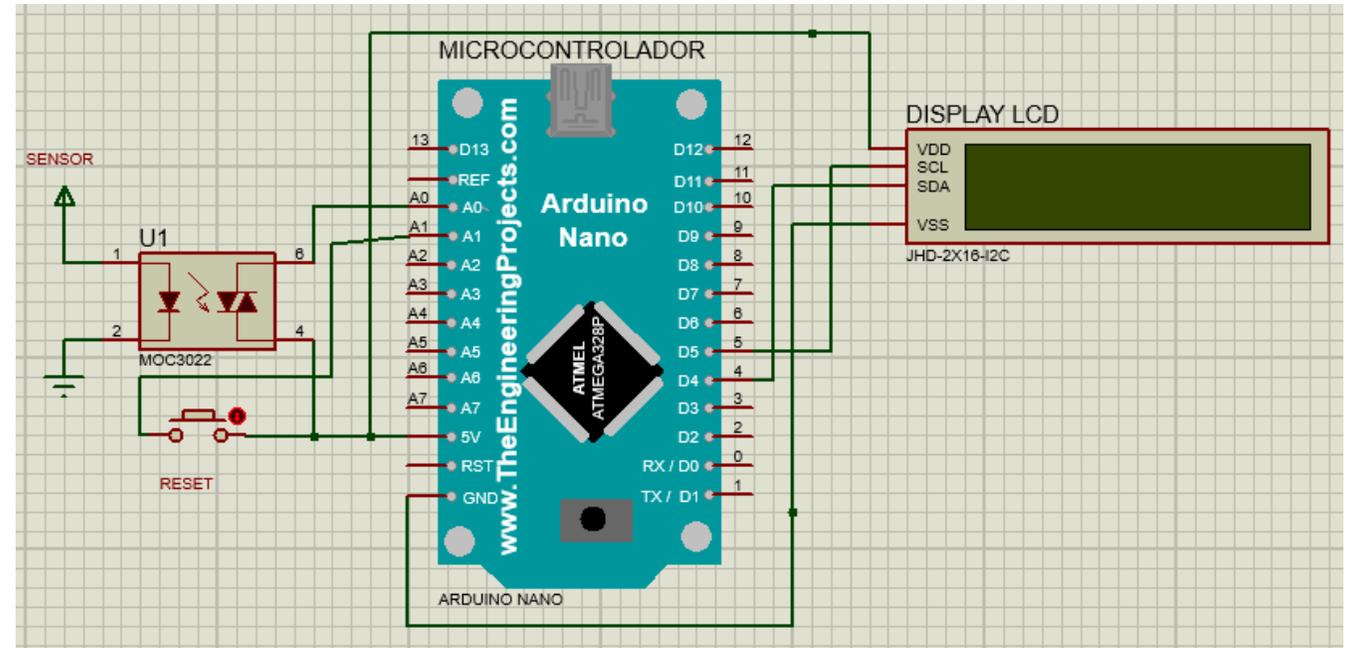
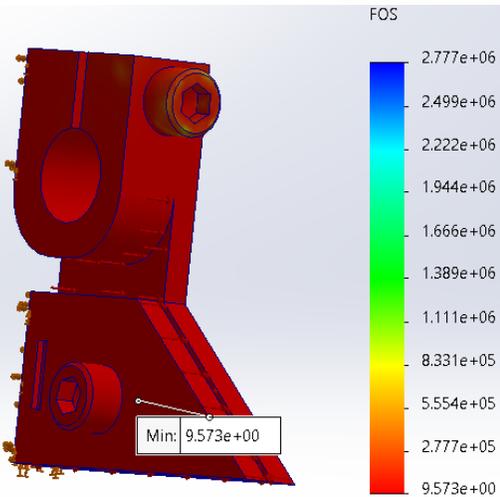


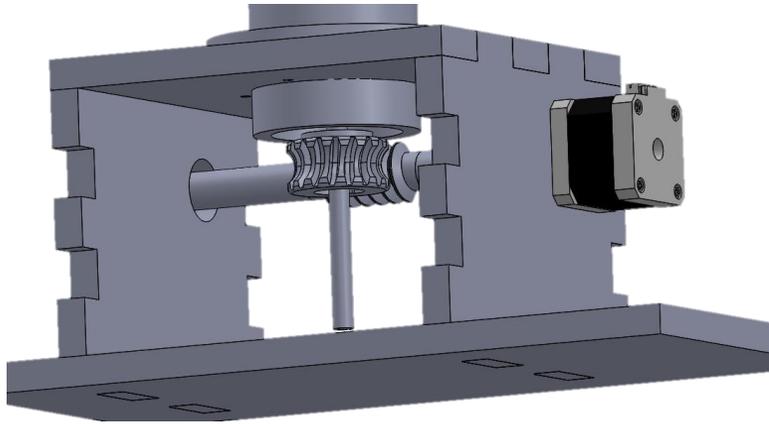
Diagrama eléctrico (flexómetro)

9.57



Deformación y Factor de seguridad (piezas rediseñadas)

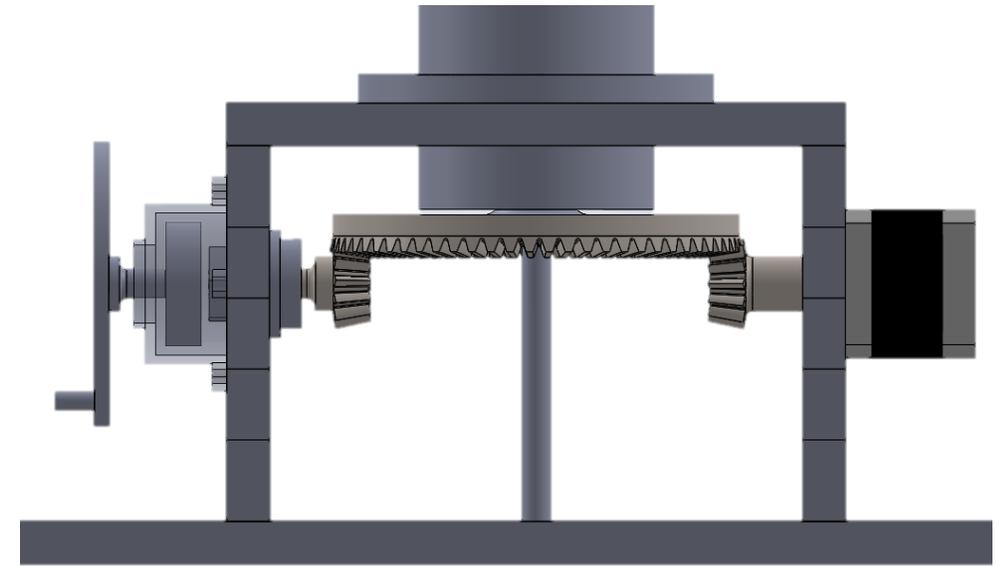
Diseño Mecánico (elastómetro) Norma ISO 20871



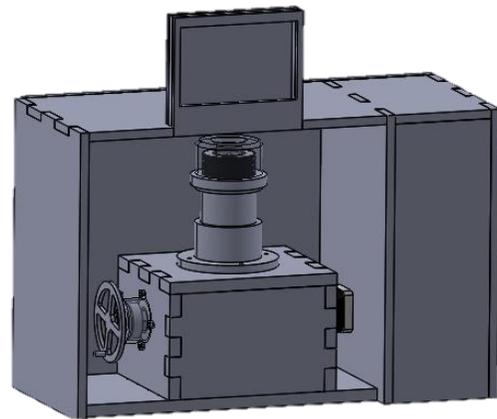
Acoplamiento de motor: opción A



Acoplamiento de motor: opción B



Acoplamiento de motor: opción C



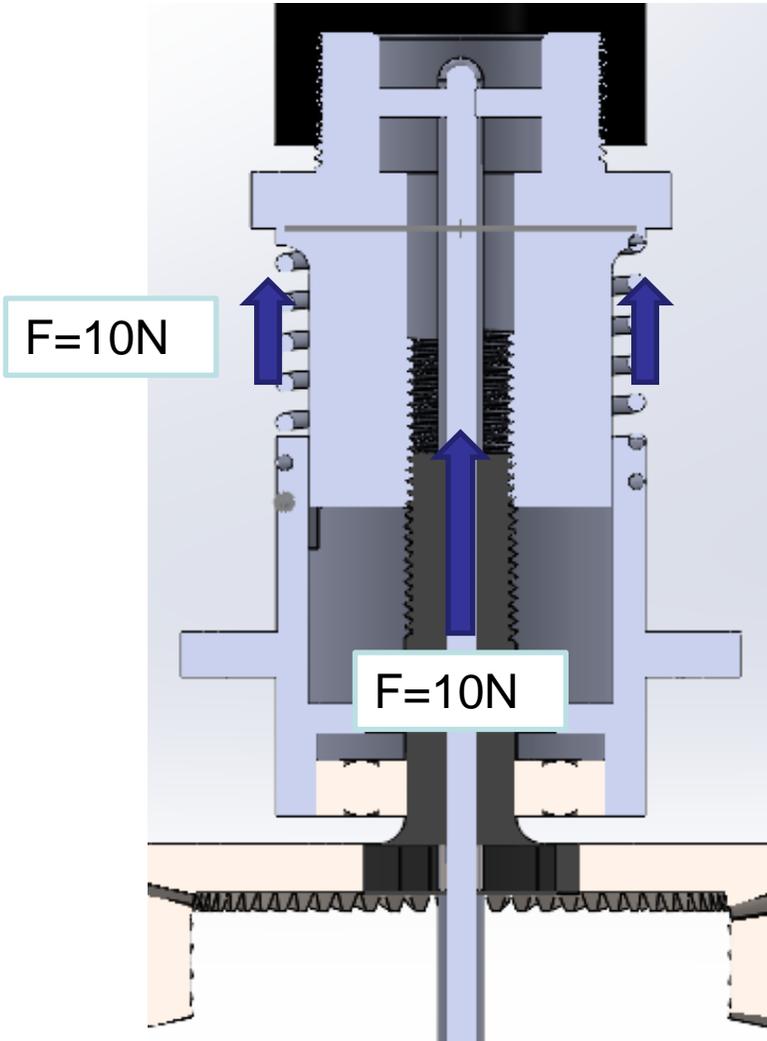
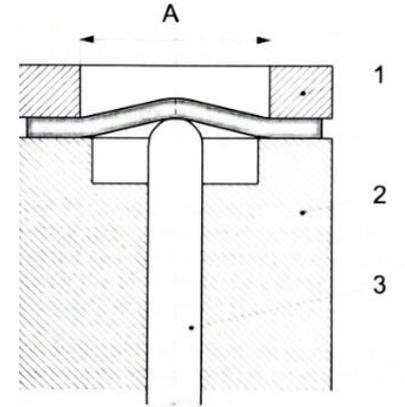
Este mecanismo permite acoplar y desacoplar la manivela según el modo de operación que esté en funcionamiento. La idea fue concebida bajo la premisa de que el principal modo de funcionamiento es automático, con la manivela desacoplada.

Tornillo de Potencia (elastómetro)

$$T_R = \frac{F * d_m}{2} * \left(\frac{l + \pi f * d_m}{\pi d_m - fl} \right)$$

Donde:

- T_R : torque necesario de subida
- F : fuerza (20 N)
- d_m : diámetro medio del tornillo (5cm)
- l : longitud de paso (2mm)
- f : Coeficiente de fricción (aproximadamente 0.3)



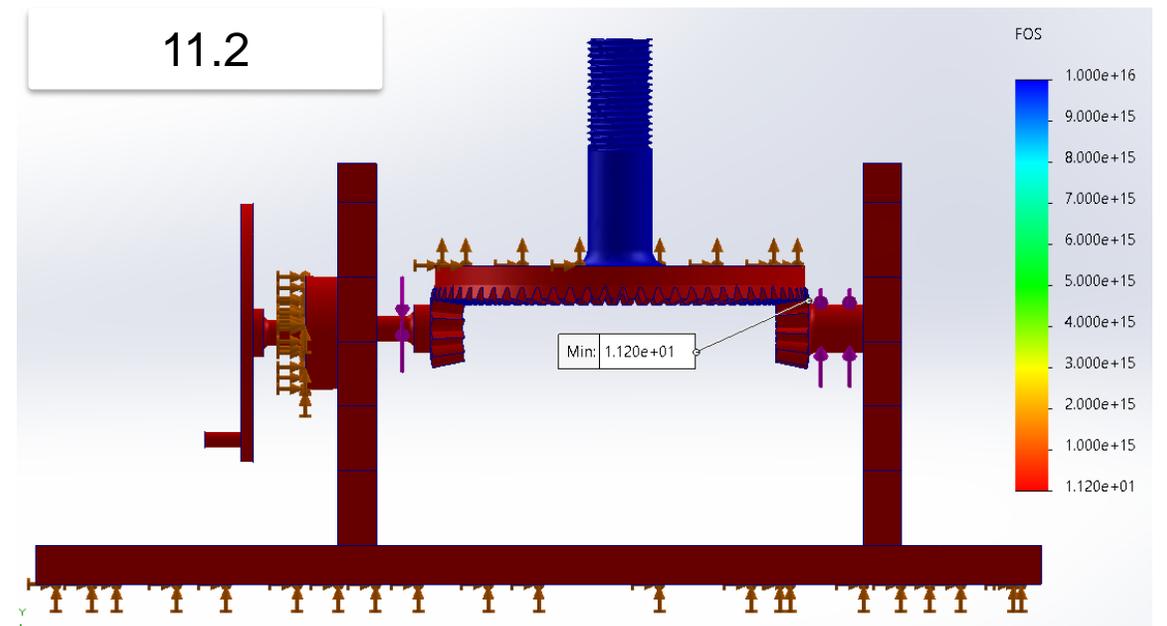
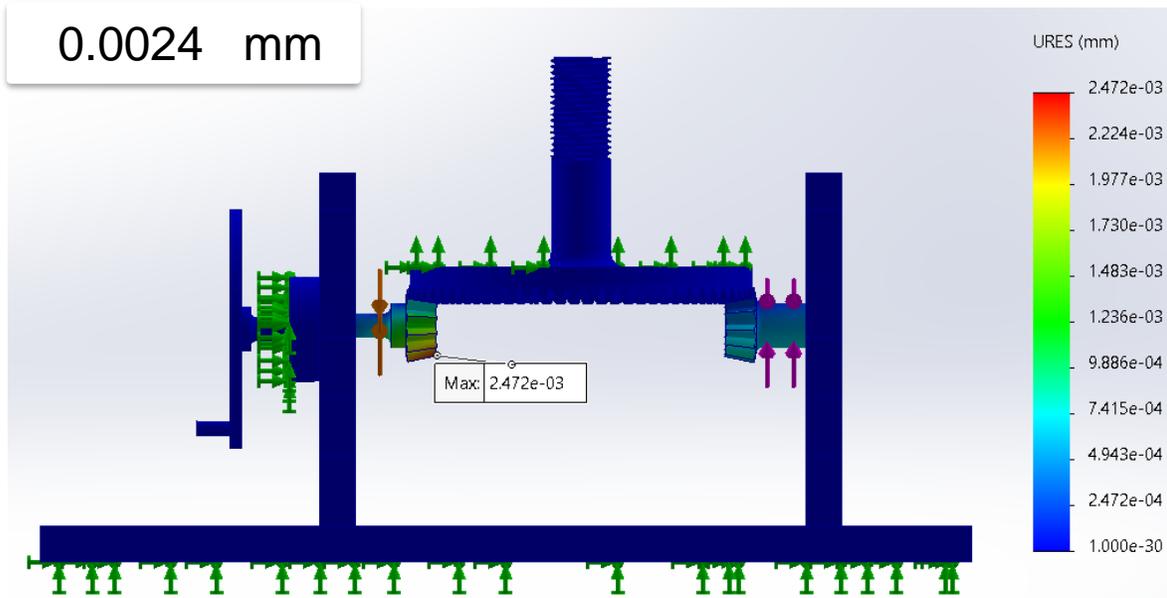
$$T_R = \frac{20 * 0.05}{2} * \left(\frac{0.002 + \pi * 0.3 * 0.05}{\pi * 0.05 - 0.6 * 0.002} \right)$$

$$T_R = 0.154 \text{ Nm}$$

$$T_R = 0.154 \text{ Nm} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

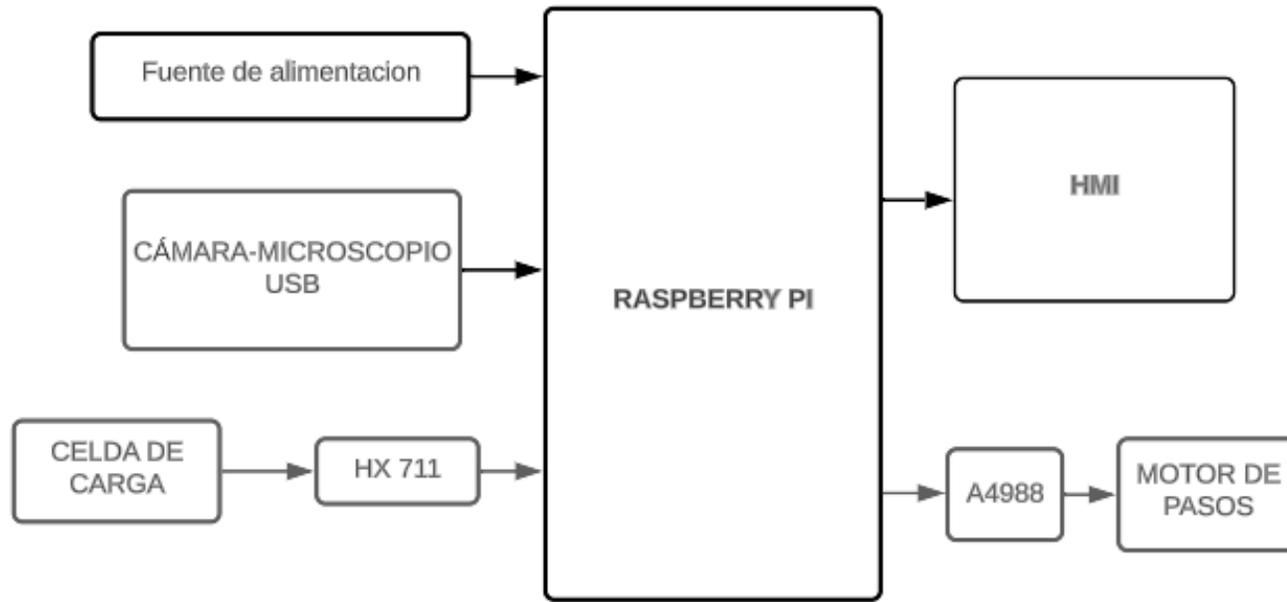
$$T_R = 15.4 \text{ Ncm}$$

Análisis en elementos de transmisión

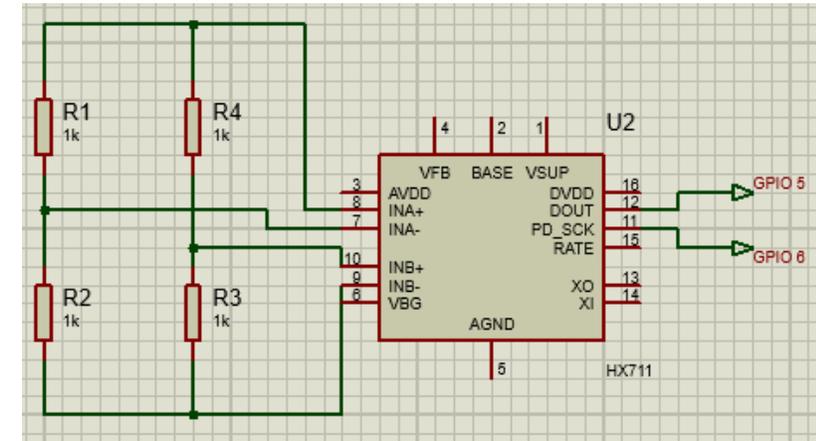


Deformación y Factor de seguridad (elementos de transmisión)

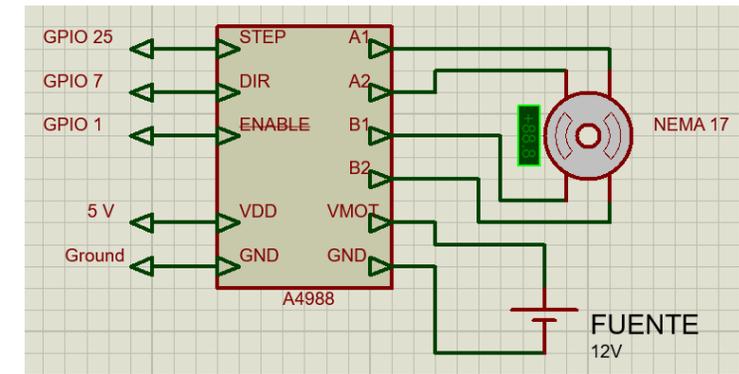
Diseño Electrónico (elastómetro)



Distribución de componentes



Acondicionamiento del sensor de fuerza (Celda de carga)



Circuito de conexión del driver A4988

Diseño del HMI y programa de control



Diseño de HMI

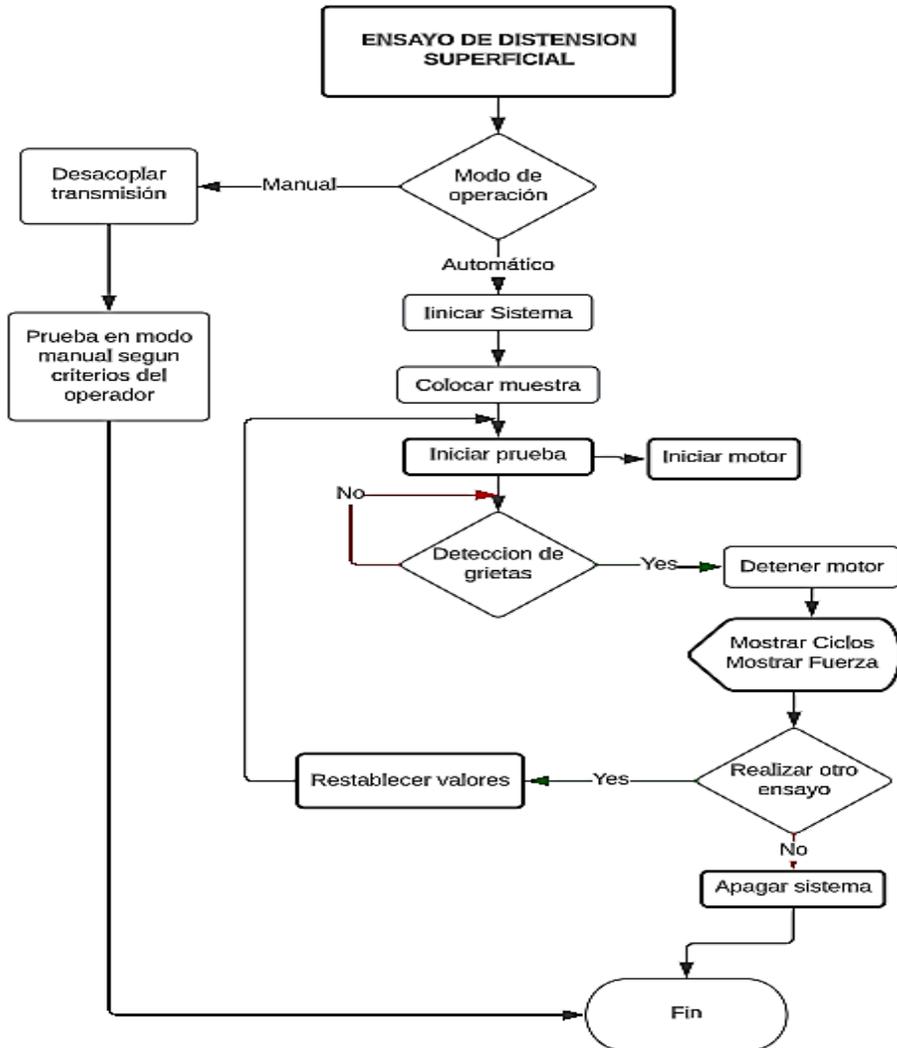
```

28 class VideoApp:
29     def __init__(self, window, window_title):
30         self.window = window
31         self.window.title(window_title)
32
33         # Crear una ventana de Tkinter
34         self.window = window
35         self.window.title(window_title)
36
37         # Configurar el tamaño de la ventana
38         self.window.geometry("800x400")
39
40         # Configurar el fondo gris de la ventana
41         self.window.configure(bg="gray")
42
43         # Crear un widget Label para mostrar el video
44         self.label = tk.Label(window, width=400, height=300, bg="gray")
45         self.label.pack(side=tk.LEFT, anchor=tk.NW)
46
47         # Crear otro widget Label para mostrar la detección de bordes
48         self.edges_label = tk.Label(window, width=400, height=300, bg="gray")
49         self.edges_label.pack(side=tk.LEFT, anchor=tk.NW)
50
51         # Cerrar la ventana
52         self.window.protocol("WM_DELETE_WINDOW", self.on_close)
53
54 window = tk.Tk()
55 app = VideoApp(window, "ELASTOMETRO")
56 window.mainloop()

```

Código fuente del HMI

Diagrama de funcionamiento del elastómetro



```

def start_motor(self, channel):
    # Iniciar el movimiento del motor de pasos en una dirección
    GPIO.output(self.enable_pin, GPIO.LOW)
    if not self.motor_running:
        self.motor_running = True
        motor_thread = threading.Thread(target=self.move_motor)
        motor_thread.start()
        self.start_stop_button.config(text="STOP", bg="red")

def move_motor(self):
    # Controlar el movimiento del motor
    while self.motor_running:
        GPIO.output(self.dir_pin, GPIO.LOW) # Cambiar a LOW si es necesario cambiar la dirección
        GPIO.output(self.step_pin, GPIO.HIGH)
        time.sleep(speed)
        GPIO.output(self.step_pin, GPIO.LOW)
        time.sleep(speed)
        self.step_count += 1

        # Calcular las revoluciones basadas en el número de pasos (1 vuelta = 200 pasos)
        if self.step_count % 200 == 0:
            self.revolutions = self.step_count // 200
            self.revolutions_label.config(text="Revoluciones: {}".format(self.revolutions))
        # Detener el motor y restablecer el botón una vez finalizado
        self.stop_motor()

def read_hx711(self):
    GPIO.setmode(GPIO.BCM)
    while True:
        self.force = (self.hx711.get_weight_mean(20) / 6340) - 1
        # Actualizar el valor de fuerza en la etiqueta correspondiente
        self.force_label.config(text="Fuerza: {}".format(self.force))
        self.window.after(200, self.read_hx711)
  
```

```

def update(self):
    # Leer un fotograma de la cámara
    ret, frame = self.cap.read()

    if ret:
        # Convertir el fotograma de OpenCV a un objeto de imagen PIL
        image = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        image = Image.fromarray(image)

        # Redimensionar la imagen para que se ajuste al cuadro
        image = image.resize((400, 300))

        # Convertir la imagen de PIL a un objeto de imagen de Tkinter
        self.photo = ImageTk.PhotoImage(image=image)

        # Mostrar la imagen en el Label actualizando la imagen
        self.label.configure(image=self.photo)

        # Procesar la detección de bordes en la imagen
        blurred = cv2.GaussianBlur(frame, (5, 5), 0)
        edges = cv2.Canny(blurred, threshold1=30, threshold2=100)
        edges_image = Image.fromarray(edges)

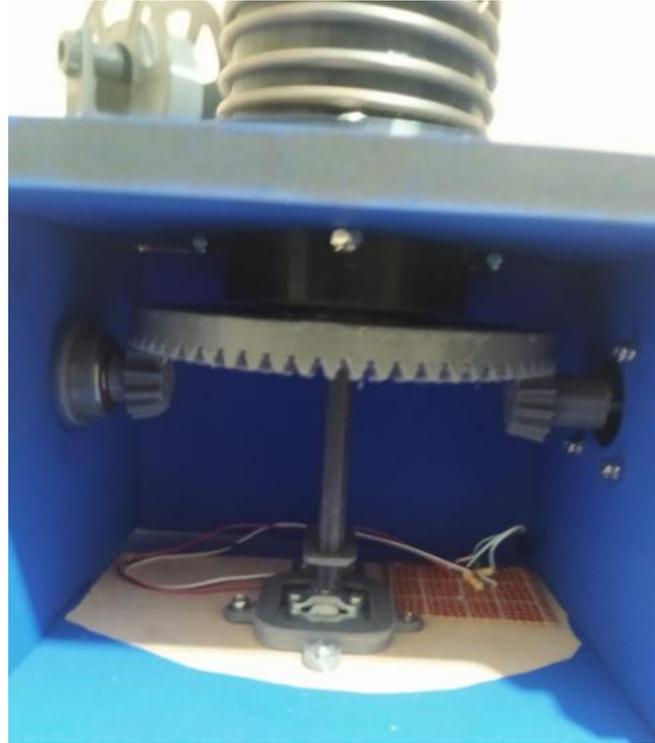
        # Redimensionar la imagen de bordes para que se ajuste al cuadro
        edges_image = edges_image.resize((400, 300))

        # Convertir la imagen de PIL de bordes a un objeto de imagen de Tkinter
        self.edges_photo = ImageTk.PhotoImage(image=edges_image)
  
```

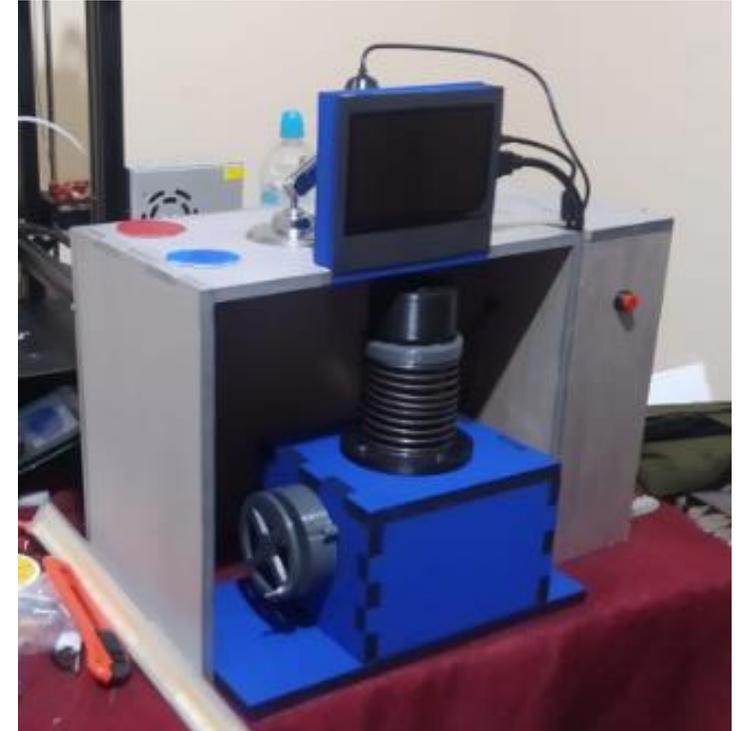
Proceso de armado y ensamblaje



Estructura

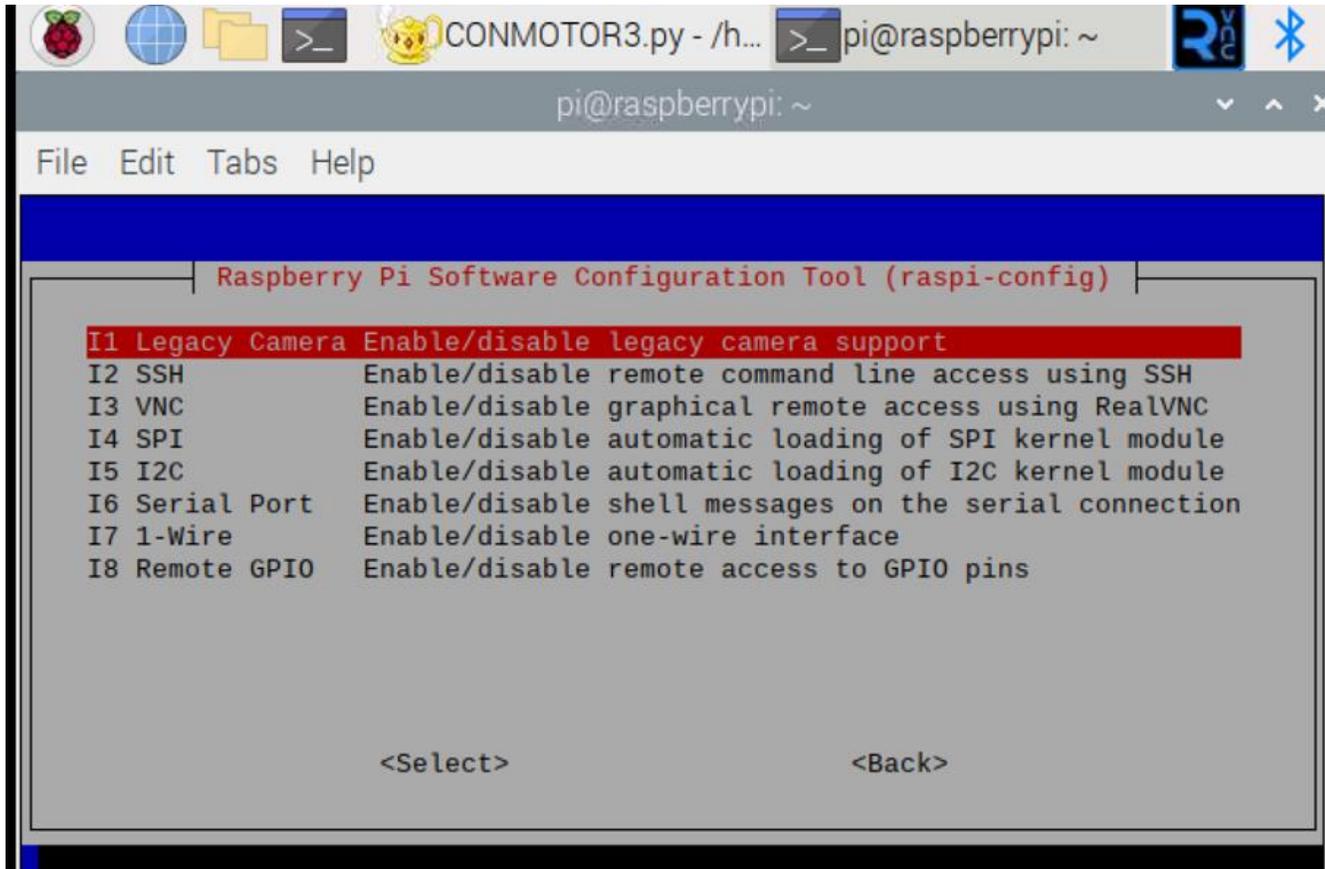


Componentes internos



Estructura final

Raspberry con la cámara.



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config)
I1 Legacy Camera Enable/disable legacy camera support
I2 SSH Enable/disable remote command line access using SSH
I3 VNC Enable/disable graphical remote access using RealVNC
I4 SPI Enable/disable automatic loading of SPI kernel module
I5 I2C Enable/disable automatic loading of I2C kernel module
I6 Serial Port Enable/disable shell messages on the serial connection
I7 1-Wire Enable/disable one-wire interface
I8 Remote GPIO Enable/disable remote access to GPIO pins
<Select> <Back>
```

Configuración inicial

- **Paso 1:** Cargar el sistema operativo mediante una memoria SD.
- **Paso 2:** Inicializar la configuración de conexiones mediante “sudo raspi-config”.
- **Paso 3:** Habilitar la conexión SSH.
- **Paso 4:** Habilitar el reconocimiento de la cámara.

Parámetros



$threshold1 = 50$ y $threshold2 = 100$

Los patrones intrínsecos del cuero tienen cierto grado de porosidad, motivo por el cual la detección genera falsos positivos marcándolos como grietas.



$threshold1 = 100$ y $threshold2 = 200$

La detección ha mejorado en gran medida, pese a ello, no es suficiente dato que aun detecta el patrón rugoso del cuero como si fuera un defecto.

Parámetros



$threshold1 = 150$ y $threshold2 = 200$

El error se reduce aún más, pero no es suficiente, así que seguimos variando los parámetros



$threshold1 = 150$ y $threshold2 = 225$

La detección queda configurada correctamente en la posición de reposo de la probeta, de modo que el programa permitirá iniciar la prueba.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Sistema

Prueba 1

Detección de Flor de Piel

Tamaño de Grietas: 1.43 mm



SHUT DOWN START Reset

Revoluciones: 0
Fuerza: 0

Prueba 2

Detección de Flor de Piel

Tamaño de Grietas: 0.04 mm



SHUT DOWN START Reset

Revoluciones: 4
Fuerza: 0.6001

Nº de Prueba	Detección Manual	Detección Automática	Porcentaje de detección
1	4	3	0.75
2	5	3	0.6
3	3	3	1
4	4	4	1
5	5	4	0.8
7	6	5	0.83
8	5	5	1
9	3	2	0.66
10	3	3	1
11	4	3	0.75
12	2	2	1
Total promedio			0.74

Ensayo manual y automático

Nº de Prueba	Ciclos	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Ciclos	Tiempo (s)
1	19	10.20	15.9	20	60
2	20	9.98	16.1	20	56
3	19	10.14	15.9	20	55
4	18	9.58	15.9	20	57
5	20	10.32	16.2	20	58
6	20	10.4	16.2	20	59
7	18	8.29	15.6	20	50
8	18	8.9	16.3	20	49
9	20	9.12	16.2	20	45
10	20	10.45	16.2	20	44
11	21	11	16.3	20	50
12	20	10.55	16.2	20	40

Automático

Manual

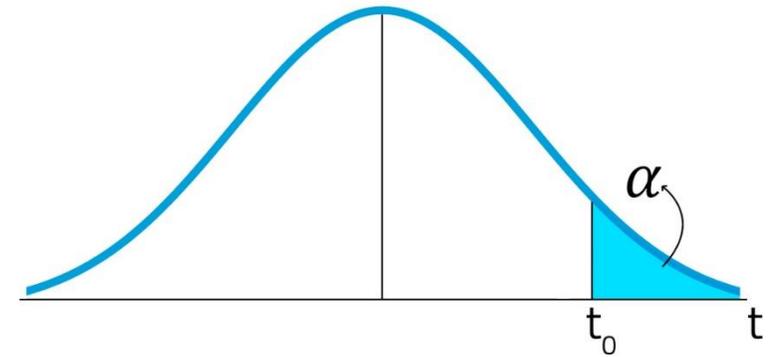
$$n = \frac{\text{tiempo de operacion en automático}}{\text{tiempo de operacion manual}}$$

$$n = \frac{16.08}{51.92}$$

$$n = 0.3097$$

El resultado de los datos en bruto predice una reducción del tiempo a **30.97%** del tiempo inicial, no obstante, se debe corroborar mediante un análisis estadístico.

N°	Manual [s]	Automático [s]	Diferencia
1	60	15.9	44.1
2	56	16.1	39.9
3	55	15.9	39.1
4	57	15.9	41.1
5	58	16.2	41.8
6	59	16.2	42.8
7	50	15.6	34.4
8	49	16.3	32.7
9	45	16.2	28.8
10	44	16.2	27.8
11	50	16.3	33.7
12	44	16.2	23.8



$$\bar{d} = 35.833$$

$$S_d = 6.624$$

$$n = 12$$

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}} = \frac{35.833}{6.624/\sqrt{12}}$$

$$t = 18.73$$

Selección del valor crítico

r	1 - α							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947

$$t = 1.796$$

$$t > t_{(1-\alpha), (n-1)}$$

$$18.73 > 1.796$$

Evidentemente, el estadístico de prueba calculado es de **18.73**, un valor significativamente superior al valor crítico de **1.796**, esto significa que se encuentra en la zona de rechazo. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna

- Se diseñó y construyó un prototipo detector de rotura de flor (piel) para la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, que reduce el tiempo de operación a un 30% del tiempo inicial y aumenta la precisión de los resultados en las pruebas de control de calidad.
- Mediante un análisis CAD se evaluó la resistencia estructural para el brazo del abrasímetro y las mordazas del flexómetro obteniendo un factor de seguridad 4.2 y una deformación de 0.0004 mm para el brazo, mientras que para las mordazas mostraron un factor de seguridad de 9.57 y deformación de 0.00037 mm. Estos resultados garantizan su uso continuo en cada máquina.
- Mediante herramientas de Excel se ha cuantificado la consistencia de las mediciones con una precisión del 0.4%. Mientras que el sistema de detección proporciona una efectividad del 74% a la máquina mostrando un nivel aceptable debido a la lógica del algoritmo de detección.
- De acuerdo con las pruebas obtenidas en el ensayo, con un valor de 20 ciclos en modo automático el tiempo aproximado es de 16.1 segundos, a diferencia del modo manual el tiempo que registra es de 51.92 segundos, estos valores han permitido validar la hipótesis mediante la distribución t-Student, concluyendo que el sistema automatizado representa una mejora significativa.

- Realizar el ensamblaje de todas las piezas en software de simulación de 3D para verificar interferencias o ajustes entre piezas y evitar un mal mecanizado o una mala impresión 3D.
- Si se decide extender la implementación del sistema para detectar un mayor volumen de muestras, se recomienda incorporar un mecanismo de ajuste automático de umbral de detección.
- Para mejorar la efectividad se recomienda un microprocesador con mayor capacidad y el uso de algoritmos de aprendizaje profundo.
- Para reducir las vibraciones se podría considerar parámetros de acabado y postprocesado en las piezas impresas en 3D.

Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA