

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**Facultad de Ingeniería de mecánica eléctrica, ingeniería electrónica  
e Ingeniería de sistemas**

**Escuela profesional de Ingeniería de sistemas**



**EQUILIBRIO DE FUERZAS**

**CURSO.**

LABORATORIO DE FISICA

**DOCENTE.**

MACHACA CONDORI ÁLVARO DIEGO

**ALUMNO.**

ABAD POMA MAQUERA

**2024 – II**

**PUNO – PERÚ**

## **1. RESUMEN**

El presente informe aborda el estudio experimental de las condiciones de equilibrio en un sistema de fuerzas concurrentes, con el objetivo de verificar la aplicabilidad de las leyes de Newton en un entorno controlado. A lo largo del experimento, se aplicaron fuerzas sobre un anillo central, las cuales fueron descompuestas en sus componentes en los ejes “X” y “Y” para determinar si la suma vectorial resultaba nula, condición necesaria para el equilibrio. Mediante la utilización de cálculos vectoriales y el análisis de los errores entre los valores teóricos y experimentales, se confirmó la efectividad del método empleado y la correspondencia con los principios mecánicos teóricos.

Los resultados muestran que, a pesar de la presencia de pequeños márgenes de error atribuibles a factores instrumentales y condiciones externas, el sistema se mantuvo en equilibrio conforme a las predicciones teóricas. Este análisis cuantitativo permitió no solo validar los conceptos de equilibrio estático, sino también reflexionar sobre la precisión y las limitaciones de las herramientas experimentales utilizadas. El informe concluye con sugerencias orientadas a mejorar la precisión en futuras investigaciones, destacando la importancia de condiciones experimentales óptimas y el uso de tecnologías avanzadas de medición para la verificación de principios físicos fundamentales.

## **2. OBJETIVOS**

- Encontrar el equilibrio de fuerzas conocidas utilizando una mesa de fuerzas para la primera condición de equilibrio.
- Comprobar la segunda condición de equilibrio para un sistema de fuerzas que actúan en diferentes puntos de aplicación.
- Comparar los valores experimentales con valores calculados obtenidos por el método analítico.

### 3. FUNDAMENTO TEORICO

#### a) Primera ley de Newton

La primera Ley de Newton, conocida también como la ley de inercia, nos dice que, si sobre un cuerpo no actúa ningún otro, este permanecerá indefinidamente moviéndose en línea recta con velocidad constante (incluido el estado de reposo, que equivale a velocidad cero). Como sabemos, el movimiento es relativo, es decir, depende de cuál sea el observador que describa el movimiento.

Así, para un pasajero de un tren, el boleterero viene caminando lentamente por el pasillo del tren, mientras que para alguien que ve pasar el tren desde el andén de una estación, el boleterero se está moviendo a una gran velocidad. Se necesita, por tanto, un sistema de referencia para conocer el movimiento. La primera Ley de Newton sirve para definir “Sistemas de Referencia Inerciales”, que son aquellos sistemas de referencia desde los que se observa que un cuerpo sobre el que no actúa ninguna fuerza neta se mueve con velocidad constante.

En realidad, es imposible encontrar un sistema de referencia inercial, puesto que siempre hay algún tipo de fuerzas actuando sobre los cuerpos, pero siempre es posible encontrar un sistema de referencia en el que el problema que estemos estudiando se pueda tratar como si estuviésemos en un sistema inercial. En muchos casos, suponer a un observador fijo en la tierra es una buena aproximación de sistema inercial. La primera Ley de Newton se enuncia como sigue:

**“Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él”**

Considerando que la fuerza es una cantidad vectorial, el análisis experimental correspondiente a las fuerzas requiere herramienta del álgebra vectorial. Ello implica el conocimiento de la suma de vectores concurrentes, al cual también se le denomina vector resultante, dado por:

$$\vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (1)$$

Siendo  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$  fuerzas concurrentes en el centro de masa del cuerpo. El producto escalar se realiza entre dos cantidades vectoriales, como resultado de esta operación se determina una cantidad escalar; definido por:

$$\vec{F} \cdot \vec{r} = F \cdot r \cdot \cos \theta$$

F, r: son los módulos de los vectores  $\vec{F}, \vec{r}$  respectivamente.

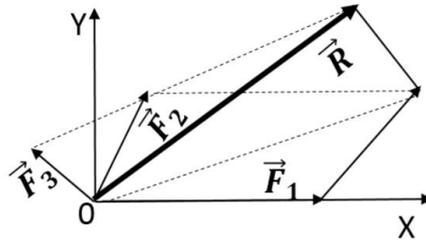
Mientras tanto, el producto vectorial se opera entre dos vectores, cuyo resultado es otra cantidad vectorial.

El módulo de este nuevo vector está dado por:

$$|\vec{r} \times \vec{F}| = r \cdot F \cdot \sin \theta \quad (2)$$

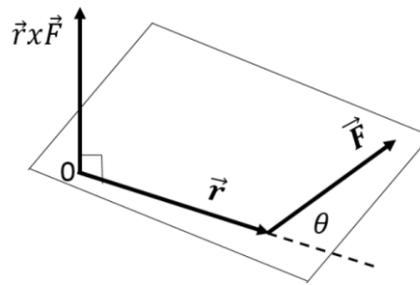
**Figura 1.**

*Sistemas de fuerzas.*



**Figura 2.**

*Torque de una fuerza.*



Los vectores se pueden descomponer en sus componentes ortogonales o en base a los vectores unitarios  $\hat{i}$ ,  $\hat{j}$  y  $\hat{k}$ . Por lo que cualquier vector se puede expresar de la siguiente forma:

$$\vec{R} = R_x \hat{i} + R_y \hat{j} + R_z \hat{k}$$

En el plano cartesiano X-Y, las componentes ortogonales se determinan mediante las siguientes ecuaciones de transformación:

$$R_x = R \cdot \cos \theta \quad (3)$$

$$R_y = R \cdot \sin \theta \quad (4)$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (5)$$

$$\tan \theta = \frac{R_y}{R_x} \quad (6)$$

Las condiciones de equilibrio, son las que garantizan a que los cuerpos pueden encontrarse en equilibrio de traslación y/o equilibrio de rotación.

**b) Primera condición de Equilibrio.**

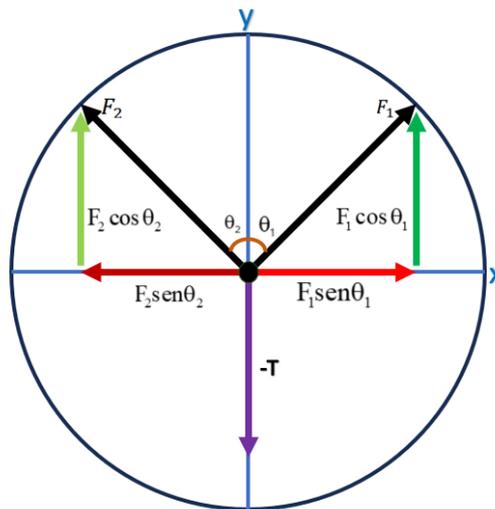
“Para que un cuerpo se encuentre en reposo absoluto o con movimiento uniforme si y solo si la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él es nula”.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo lo hacen en un único punto, estos puntos por lo general coinciden con el centro de masa del cuerpo; por ello todas estas fuerzas son concurrentes en el centro de masa. Para evaluar este equilibrio es necesario igualar a cero al vector resultante representado por la ecuación (1). La representación geométrica de un sistema en equilibrio de traslación bajo el efecto de varias fuerzas concurrente es un polígono cuyos lados están representados por cada uno de las fuerzas que actúan sobre el sistema.

### Figura 3.

*Descomposición de fuerzas.*



Descomponiendo las fuerzas que actúan para que cumpla la primera condición de equilibrio en el eje x:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_{ix} = 0$$

$$-F_2 \sin(\theta_2) + F_1 \sin(\theta_1) = 0$$

$$-m_2 g \sin(\theta_2) + m_1 g \sin(\theta_1) = 0$$

$$m_1 g \sin(\theta_1) = m_2 g \sin(\theta_2)$$

$$\frac{m_1 \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} = m_2$$

Descomponiendo las fuerzas que actúan para que cumpla la primera condición de equilibrio en el eje "y":

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_{iy} = 0$$

$$F_2 \cos(\theta_2) + F_1 \cos(\theta_1) - T = 0$$

$$m_2 g \cos(\theta_2) + m_1 g \cos(\theta_1) = T$$

**c) Segunda condición de Equilibrio.**

“Para que el cuerpo rígido se encuentre en equilibrio de rotación si y solo si el momento resultante sobre el cuerpo con respecto a cualquier punto es nulo”.

$$\sum_{i=1}^n \vec{\tau}_i = 0$$

El momento de una fuerza también conocido como torque ( $\tau$ ), es un vector obtenido mediante la operación de producto vectorial entre los vectores de posición del punto de aplicación ( $\vec{r}$ ) y la fuerza ( $\vec{F}$ ) que ocasiona la rotación al cuerpo con respecto a un punto en específico. La magnitud de este vector está representada por la ecuación (2). Para evaluar el equilibrio de un cuerpo rígido, se tiene que utilizar las dos condiciones de equilibrio indicadas.

A una clase de fuerza se denomina, fuerza de gravedad o peso. Esta fuerza se origina por la atracción de la Tierra hacia los cuerpos que se encuentran en su superficie. El peso está dado por:

$$\vec{W} = -mg\hat{j} \quad (7)$$

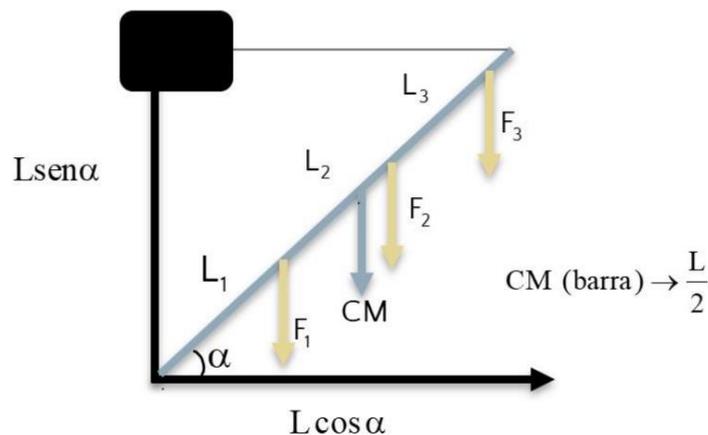
Cuyo módulo es:

$$W = mg \quad (8)$$

Donde,  $g$  es la aceleración de gravedad del medio.

**Figura 4.**

*Fuerzas en equilibrio.*



Ahora en base a la siguiente formula podemos calcular:

$$\tau = dw \cos(\theta)$$

Y aplicamos la segunda condición de equilibrio para hallar T:

$$\sum \vec{M}_0(\text{horario}) = \sum \vec{M}_0(\text{antihorario})$$

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = \tau$$

$$w_1 \cos(\theta) L_1 + w_2 \cos(\theta) L_2 + w_3 \cos(\theta) L_3 + w_4 \cos(\theta) d = T \sin(\theta) L$$

$$m_1 g \cos(\theta) L_1 + m_2 g \cos(\theta) L_2 + m_3 g \cos(\theta) L_3 + m_b g \cos(\theta) d = T \sin(\theta) L$$

$$\frac{m_1 g \cos(\theta) L_1 + m_2 g \cos(\theta) L_2 + m_3 g \cos(\theta) L_3 + m_b g \cos(\theta) d}{\sin(\theta) L} = T$$

$$T = \frac{g \cos(\theta) (m_1 L_1 + m_2 L_2 + m_3 L_3 + m_b d)}{\sin(\theta) L}$$

#### d) Teoría de errores

El conjunto de principios y métodos estadísticos conocidos como teoría de errores se emplea para analizar y cuantificar la incertidumbre en mediciones y experimentos. Esta teoría se centra en las discrepancias entre los valores medidos y los valores reales, y pretende proporcionar un marco para evaluar y minimizar estos errores en los resultados obtenidos (Taylor, 1997).

A menudo, en los laboratorios existe márgenes de error dependiendo del experimentador como sistemáticos, los cuales, hay que compara un valor obtenido por medición con un valor estándar o generalmente aceptado. Para cuantificarlas, se puede calcular el porcentaje de error, que se define del siguiente modo:

$$E\% = \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} \times 100 \%$$

#### 4. EQUIPO Y MATERIALES

En la tabla (1), detalla todos los materiales y equipos necesarios para la experimentación del equilibrio de fuerzas.

**Tabla 1.**

*Equipos y materiales para la maqueta experimental.*

Una computadora.	
Programa Capstone instalado.	
Interfaz Science WorShop 850.	
Sensores de fuerza (C1-6537).	
Disco óptico de Hartl (ForceTable).	
Juego de pesas.	
Cuerdas inextensibles.	
Una regla de 1m.	
Un soporte universal.	
Una escuadra o transportador.	
Indicador de ángulo.	
Dinamómetro.	

## 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### a) Primera condición de equilibrio

1. Instale el equipo tal como se muestra en la Figura 5.
2. Verificar la conexión e instalación de la interface.
3. Ingresar el programa de Capstone.
4. Marque las pequeñas poleas en dos posiciones diferentes y verifique que la argolla se encuentre en el punto de equilibrio sólo por la acción de las cuerdas con sus respectivas pesas.
5. Los pesos  $\overline{W}_1$  y  $\overline{W}_2$  la fuerza de tensión  $\vec{T}$  en el sensor de fuerza representan la acción de tres fuerzas concurrentes. Los ángulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\theta_3$  (para la fuerza de tensión  $\vec{T}$ ), indican el sentido y la dirección de estas tres fuerzas concurrentes; tal como se observan en las Figuras 3 y 5.
6. Verificar con el dinamómetro si el sistema se encuentra en una posición de equilibrio (para  $\theta_3 = 0^\circ$ ).
7. Para que el anillo se encuentre en un estado de equilibrio estático, verificar que esté sobre la percha, pero sin tocarla, como se muestra en la figura 5.
8. Cuando logra instalar el equipo en la posición indicada. Registre sus datos en la tabla 2.
9. Repita cuatro veces este procedimiento, en algunos de ellos considere que la fuerza de tensión registrado por el Sensor de Fuerza este en dirección vertical ( $\theta_3 = 0^\circ$ ).

### Figura 5.

*Maqueta experimental de la primera condición de equilibrio.*



### b) Segunda condición de equilibrio.

1. Instale el equipo tal como se muestra en la Figura 6; la cuerda de tensión que contiene al Sensor de Fuerza forma un ángulo de  $90^\circ$  con el soporte universal al cual esta sujeto. Bajo la influencia de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo rígido, esta debe estar en equilibrio de rotación.

2. Registre los valores de las correspondientes masas  $m_i$  de las pesas que se muestran en la Figura 4; así mismo, registre los valores de las distancias de los puntos de aplicación al punto de contacto del cuerpo rígido con el soporte universal ( $L_i$ ).

**Figura 6.**

*Maqueta experimental de la segunda condición de equilibrio.*



3. Registre también la lectura observada a través del Sensor de Fuerza y el ángulo de inclinación  $\theta$  del cuerpo rígido con respecto a la superficie de la mesa.

4. Repita este procedimiento cuatro veces haciendo variar los valores de las masas  $m_i$  para cada cuerda que contiene al Sensor de Fuerza siempre este en posición horizontal, todo este dato anote en la tabla 3.

**Figura 7.**

*Proceso de recolección de datos para la primera y segunda condición de equilibrio.*



## 6. RESULTADOS

Los resultados mostraron que, en ambos casos, al ajustar cuidadosamente las fuerzas y los ángulos, la plataforma permanecía en reposo, confirmando la primera y segunda condición de equilibrio. Los valores de las fuerzas y torques obtenidos se sumaron para verificar que tanto  $\Sigma F$  como  $\Sigma \tau$  fueran efectivamente iguales a cero, dentro de un margen de error experimental debido a posibles fricciones en las poleas y pequeñas variaciones en las masas. De igual manera, en la experimentación se consideró la gravedad de la ciudad de Puno siendo  $g = 9.76 \text{ m/s}^2$ .

Para la primera condición de equilibrio se consideró los siguientes parámetros:

- $m_{1i}, m_{2i}$  es la masa de las pesas.
- $w_1, w_2$  son los pesos que se obtienen mediante la ecuación (8).

Adicionalmente se consideró la siguiente fórmula para sacar masa teórica:

$$m_2 = \frac{m_1 \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}$$

También la fórmula de la tensión teórica considerando la unidad de la masa en kilogramos:

$$T = m_1 g \cos(\theta_1) + m_2 g \cos(\theta_2)$$

**Tabla 2.**

*Datos Experimentales y Teóricos para la Primera Condición de Equilibrio.*

N	$m_{1i}$ (gr)	$m_{2i}$ teórico (gr)	$m_{2i}$ (gr)	$T_i$ (N) teórico	$T_i$ (N) experimental	$\theta_{1i}$	$\theta_{2i}$	E% de la masa	E% de la tensión
1	105	60,62	55	1.156	1.247	30°	60°	9.27%	7.87%
2	105	105	105	1.449	1.302	45°	45°	0%	10.1%
3	205	74.61	72	2.120	2.011	20°	70°	3.50%	5.14%
4	45,5	78.80	81	0.907	0.954	60°	30°	2.79%	5.18%

Para el caso de la segunda condición de equilibrio se debe considerar los siguientes parámetros:

- L tiene el valor de 0.955 m.
- $L_{1i} = 21.5 \text{ cm}$
- $L_{2i} = 50.5 \text{ cm}$
- $L_{3i} = 75.5 \text{ cm}$
- $m_b = 121.8 \text{ g}$
- $d = 48.4 \text{ cm}$

En ese entender para la segunda condición de equilibrio experimental se utilizó la siguiente ecuación:

$$T = \frac{g \cos(\theta) (m_1 L_1 + m_2 L_2 + m_3 L_3 + m_b d)}{\sin(\theta) \cdot 0.955} \times \frac{1}{100000}$$

Nota: para esta experimentación la conversión de la unidad del metro y kilogramo fueron incluidos en la ecuación.

**Tabla 3.**

*Datos Experimentales y Teóricos para la Segunda Condición de Equilibrio.*

N	$m_{1i}$ (gr)	$m_{2i}$ (gr)	$m_{3i}$ (gr)	$T_i$ (N) teórico	$T_i$ (N) experimental	$\theta_1$	E% de la tensión
1	125	135	140	3.522	3,374	37°	9.88%
2	105	55	55	1.596	1,363	44°	14.6%
3	235	120	275	2.804	2,644	54°	5.71%
4	165	190	175	1.902	1,774	60°	6.73%

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

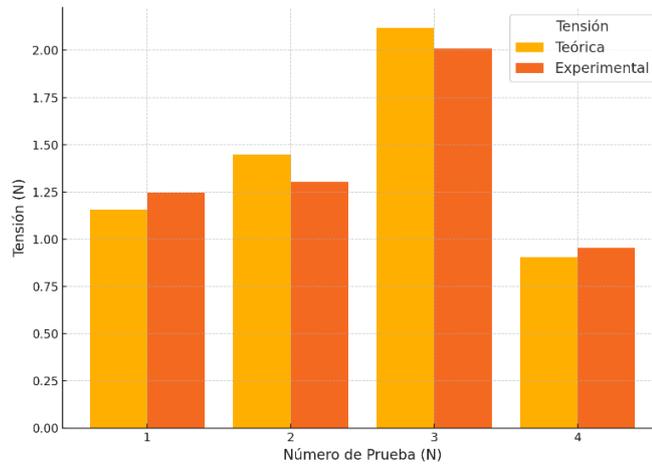
El análisis de resultados evalúa la precisión de las mediciones experimentales de fuerzas y torques, comparándolas con los valores teóricos. Se calcula el error porcentual para determinar la desviación respecto a los valores esperados, considerando factores como fricción y variación en las masas que podrían influir en los resultados.

En la **Tabla 2**, se observa una comparación entre las masas experimentales y las teóricas en la primera condición de equilibrio, así como las tensiones obtenidas en Newtons. La diferencia entre los valores teóricos y experimentales para la masa y tensión presenta un error porcentual que varía entre el 0% y el 10.1% en tensión, y entre el 2.79% y el 9.27% en masa. Estas variaciones reflejan la precisión de las medidas y posibles factores externos que afectan los resultados, como la fricción en los equipos y posibles errores de calibración de los sensores de fuerza.

Un caso especial es la tensión teórica de 1.156 N y la experimental es de 1.247 N, mostrando una diferencia del 7.87% de error en tensión. Esta discrepancia, aunque dentro de márgenes aceptables, indica que la precisión del equipo podría influir en los resultados, y subraya la importancia de contar con instrumentos bien calibrados para reducir el margen de error en experimentos de equilibrio.

**Figura 8.**

*Comparación de Tensión Teórica y Experimental en la Primera Condición de Equilibrio.*

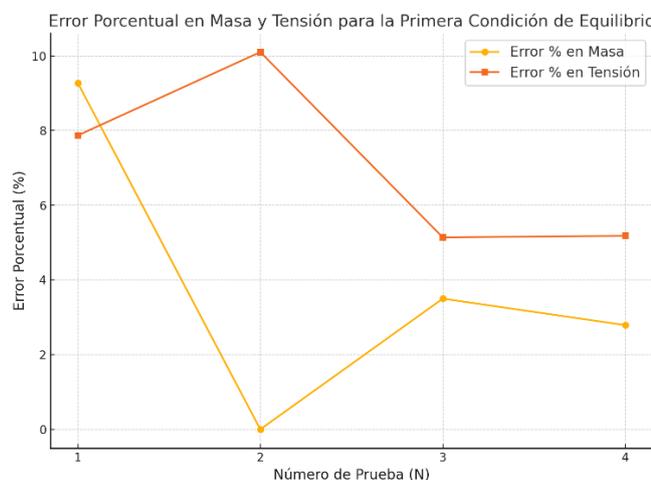


Este gráfico muestra que, en la mayoría de los casos, las tensiones experimentales superan a las tensiones teóricas, señalando variaciones que pueden estar originadas por factores externos, como la fricción en el equipo o la precisión en las medidas de las masas.

Por ejemplo, en la primera medida de la tabla (N=1), la tensión teórica se registró en 1.156 N, mientras que la tensión experimental fue de 1.247 N, lo cual representa una diferencia de 0.091 N. Esta discrepancia se traduce en un error porcentual del 7.87%, lo cual es notablemente alto en un contexto experimental que se espera tenga resultados precisos. Esta tendencia se repite en otras mediciones: para N=2, la tensión teórica es de 1.449 N, mientras que la tensión experimental fue menor, con un valor de 1.302 N, generando un error porcentual del 10.1%. Esta diferencia resalta la falta de exactitud en el proceso de medición de la tensión, y sugiere que, si bien el sistema se aproxima al equilibrio, los valores difieren sustancialmente en cada intento.

**Figura 9.**

*Error Porcentual en Masa y Tensión en la Primera Condición de Equilibrio.*

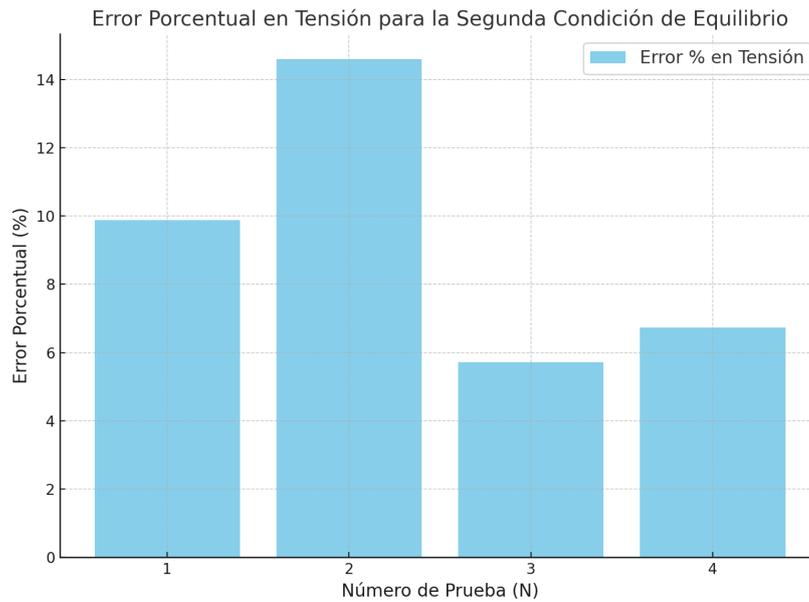


Este gráfico permite una comparación visual entre los errores en masa y tensión, donde se evidencia que los errores en tensión suelen ser más altos que los de la masa en casi todos los casos. En la primera medición (N=1), el error porcentual en masa es de 9.27%, mientras que el error en tensión es de 7.87%. Este elevado porcentaje en la masa podría deberse a variaciones en el peso real de las masas utilizadas o a una falta de exactitud en la balanza, lo cual repercute directamente en el cálculo de la tensión, que se deriva de los valores de masa y aceleración debido a la gravedad. En la segunda medición (N=2), el error en masa desciende a 0%, lo cual indica que la masa medida coincide con la teórica. Sin embargo, el error en tensión asciende al 10.1%, lo cual destaca una posible inconsistencia en el sensor de tensión o la influencia de fuerzas externas, como la fricción, que podrían estar afectando la medida de la fuerza de tensión. Y, por último, en mediciones como la tercera (N=3), los errores en masa y tensión son 3.50% y 5.14% respectivamente, mostrando que ambos errores se mantienen relativamente bajos, aunque el error en tensión sigue siendo mayor.

La **Tabla 3**, que presenta los datos experimentales y teóricos para la segunda condición de equilibrio. En esta segunda condición de equilibrio, los resultados indican que, aunque los valores teóricos y experimentales son cercanos, existen diferencias importantes que reflejan la precisión de las mediciones y el efecto de variables no controladas, como la fricción en las poleas o la variabilidad en el ajuste de los pesos. En la primera medición (N=1), la tensión teórica es de 3.522 N, mientras que la tensión experimental registrada es de 3.374 N, lo cual genera un error porcentual de 9.88%. En la segunda medición (N=2), el error aumenta considerablemente. La tensión teórica es de 1.596 N, mientras que la experimental es de 1.363 N, generando un error porcentual de 14.6%, el cual es notablemente alto para un experimento que busca confirmar condiciones de equilibrio. Para la tercera medición (N=3), la tensión teórica es de 2.804 N, y la tensión experimental es de 2.644 N, con un error porcentual de 5.71%. Este caso es uno de los más precisos en la tabla, lo cual indica que, bajo condiciones más controladas, la medición de la tensión puede aproximarse bastante bien al valor teórico. Finalmente, en la cuarta medición (N=4), el error porcentual en la tensión es de 6.73%, con una tensión teórica de 1.902 N y una experimental de 1.774 N. Esta diferencia moderada entre ambos valores sugiere que el sistema experimental mantiene un comportamiento estable en margen a los estándares de precisión que se busca en datos experimentales.

**Figura 10.**

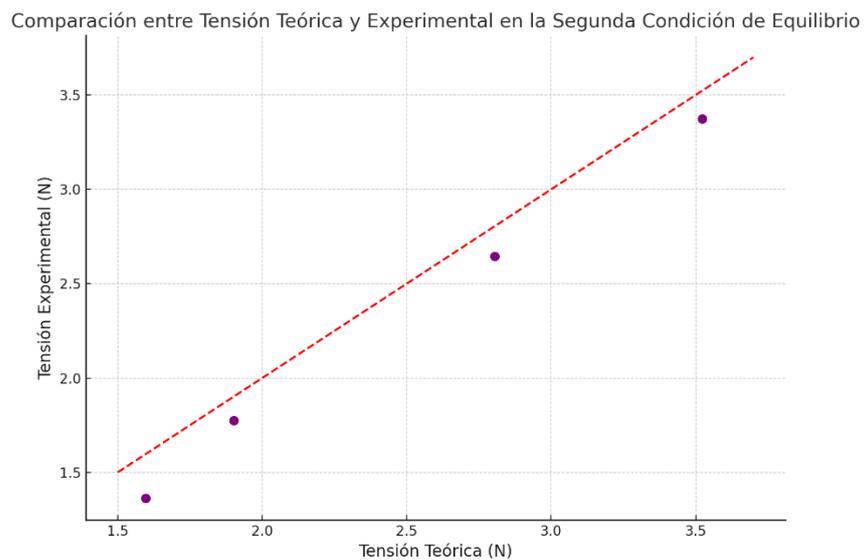
*Error Porcentual en Tensión en la Segunda Condición de Equilibrio.*



En la figura 10, que muestra el error porcentual en tensión para la segunda condición de equilibrio, se observa una variación significativa en los valores de error entre las diferentes mediciones. La primera medición (N=1) presenta un error del 9.88%, mientras que el segundo caso (N=2) alcanza el mayor error con un 14.6%. En contraste, el tercer caso (N=3) muestra el error más bajo, con un 5.71%, seguido de un 6.73% en la cuarta medición (N=4). Esta dispersión de errores indica que los valores experimentales de tensión tienden a variar considerablemente respecto a los teóricos, destacando la influencia de variables externas o imprecisiones en el equipo que afectan la consistencia en la segunda condición de equilibrio.

**Figura 11.**

*Comparación entre Tensión Teórica y Experimental en la Segunda Condición de Equilibrio.*



En el Gráfico 11, que compara las tensiones teóricas y experimentales en la segunda condición de equilibrio, se evidencia una discrepancia constante entre ambos valores. En la primera medición, la tensión teórica es de 3.522 N mientras que la experimental es de 3.374 N, con una diferencia de 0.148 N. En la segunda medición, la tensión teórica es de 1.596 N frente a una experimental de 1.363 N, con una diferencia aún mayor de 0.233 N. La tercera medición muestra una menor variación, con valores de 2.804 N teóricos y 2.644 N experimentales, mientras que en la cuarta medición los valores son 1.902 N y 1.774 N, respectivamente. Este gráfico refleja que, aunque las tensiones experimentales se aproximan a las teóricas, existen desviaciones que pueden estar influenciadas por factores no considerados en el modelo ideal, como la fricción y variaciones en la alineación de las fuerzas, afectando la precisión en la segunda condición de equilibrio.

## 8. CUESTIONARIO

### 8.1. Primera condición de equilibrio.

1. Descomponer las fuerzas  $\vec{W}_1$ ,  $\vec{W}_2$  y  $\vec{T}$ , con los valores de la tabla 2 en sus componentes ortogonales del plano cartesiano X-Y. Las componentes de estas fuerzas se determinan mediante las ecuaciones (3) y (4) respectivamente. Considere la figura 3.

$$R_x = R \cdot \cos(\theta)$$

$$R_y = R \cdot \sin(\theta)$$

R representa la magnitud de la fuerza (en este caso  $\vec{W}_1$ ,  $\vec{W}_2$  y  $\vec{T}$ ) y  $\theta$  es el ángulo de la fuerza con respecto al eje X.

Para cada fila de la tabla 2:

#### 1. Fila 1

$$(\vec{W}_1): \text{Magnitud} = 1.025 \text{ N}, \text{Ángulo} = 30^\circ$$

$$W_{1x} = 1.025 \cdot \cos(30^\circ) \approx 0.89 \text{ N}$$

$$W_{1y} = 1.025 \cdot \sin(30^\circ) \approx 0.51 \text{ N}$$

$$(\vec{W}_2): \text{Magnitud} = 0.537 \text{ N}, \text{Ángulo} = 60^\circ$$

$$W_{2x} = 0.537 \cdot \cos(60^\circ) \approx 0.27 \text{ N}$$

$$W_{2y} = 0.537 \cdot \sin(60^\circ) \approx 0.47 \text{ N}$$

$$(\vec{T}): \text{Magnitud} = 1.247 \text{ N}, \text{Ángulo} = 0^\circ$$

$$T_x = 1.247 \cdot \cos(0^\circ) = 1.247 \text{ N}$$

$$T_y = 1.247 \cdot \sin(0^\circ) = 0 \text{ N}$$

#### 2. Fila 2

$$(\vec{W}_1): \text{Magnitud} = 1.025 \text{ N}, \text{Ángulo} = 45^\circ$$

$$W_{1x} = 1.025 \cdot \cos(45^\circ) \approx 0.89 \text{ N}$$

$$W_{1y} = 1.025 \cdot \sin(45^\circ) \approx 0.51 \text{ N}$$

$$(\vec{W}_2): \text{Magnitud} = 1.025 \text{ N}, \text{Ángulo} = 45^\circ$$

$$W_{2x} = 1.025 \cdot \cos(45^\circ) \approx 0.89 \text{ N}$$

$$W_{2y} = 1.025 \cdot \sin(45^\circ) \approx 0.51 \text{ N}$$

$$(\vec{T}): \text{Magnitud} = 1.302 \text{ N}, \text{Ángulo} = 0^\circ$$

$$T_x = 1.302 \cdot \cos(0^\circ) = 1.302 \text{ N}$$

$$T_y = 1.302 \cdot \sin(0^\circ) = 0 \text{ N}$$

### 3. Fila 3

$$(\vec{W}_1): \text{Magnitud} = 2.001 \text{ N}, \text{Ángulo} = 20^\circ$$

$$W_{1x} = 2.001 \cdot \cos(20^\circ) \approx 1.88 \text{ N}$$

$$W_{1y} = 2.001 \cdot \sin(20^\circ) \approx 0.68 \text{ N}$$

$$(\vec{W}_2): \text{Magnitud} = 0.703 \text{ N}, \text{Ángulo} = 70^\circ$$

$$W_{2x} = 0.703 \cdot \cos(70^\circ) \approx 0.24 \text{ N}$$

$$W_{2y} = 0.703 \cdot \sin(70^\circ) \approx 0.66 \text{ N}$$

$$(\vec{T}): \text{Magnitud} = 2.011 \text{ N}, \text{Ángulo} = 0^\circ$$

$$T_x = 2.011 \cdot \cos(0^\circ) = 2.011 \text{ N}$$

$$T_y = 2.011 \cdot \sin(0^\circ) = 0 \text{ N}$$

### 4. Fila 4

$$(\vec{W}_1): \text{Magnitud} = 0.444 \text{ N}, \text{Ángulo} = 60^\circ$$

$$W_{1x} = 0.444 \cdot \cos(60^\circ) \approx 0.22 \text{ N}$$

$$W_{1y} = 0.444 \cdot \sin(60^\circ) \approx 0.38 \text{ N}$$

$$(\vec{W}_2): \text{Magnitud} = 0.791 \text{ N}, \text{Ángulo} = 30^\circ$$

$$W_{2x} = 0.791 \cdot \cos(30^\circ) \approx 0.69 \text{ N}$$

$$W_{2y} = 0.791 \cdot \sin(30^\circ) \approx 0.40 \text{ N}$$

$$(\vec{T}): \text{Magnitud} = 0.954 \text{ N}, \text{Ángulo} = 0^\circ$$

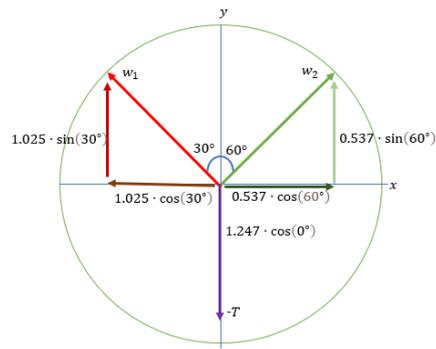
$$T_x = 0.954 \cdot \cos(0^\circ) = 0.954 \text{ N}$$

$$T_y = 0.954 \cdot \sin(0^\circ) = 0 \text{ N}$$

2. Utiliza una cuadrícula para dibujar el diagrama de fuerzas según la descomposición de la pregunta 1 para cada dato obtenido.

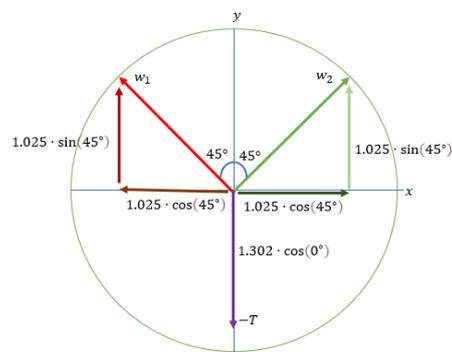
**Figura 12.**

*DCL para los ángulos  $30^\circ$  y  $60^\circ$ .*



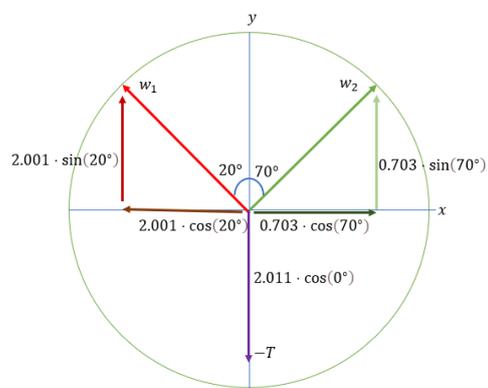
**Figura 13.**

*DCL para el ángulo  $45^\circ$ .*



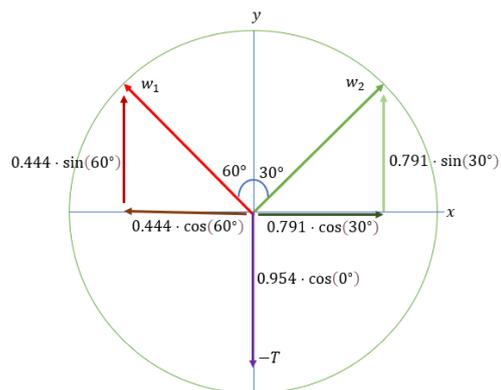
**Figura 14.**

*DCL para los ángulos  $20^\circ$  y  $70^\circ$ .*



**Figura 15.**

*DCL para los ángulos  $60^\circ$  y  $30^\circ$ .*



3. Calcule la suma de los componentes en el eje X y en el eje Y por separado, explique cada uno de estos resultados obtenidos.

1. Ángulos de 30° y 60°.

*Suma de las componentes en el eje (X):*

$$\sum F_x = W1_x + W2_x + T_x = 1.08 + 0.62 + 1.247 = 2.947 \text{ N}$$

*Suma de las componentes en el eje (Y):*

$$\sum F_y = W1_y + W2_y + T_y = 0.62 + 1.08 + 0 = 1.7 \text{ N}$$

2. Ángulos de 45°.

*Suma de las componentes en el eje (X):*

$$\sum F_x = W1_x + W2_x + T_x = 0.92 + 0.92 + 1.302 = 3.142 \text{ N}$$

*Suma de las componentes en el eje (Y):*

$$\sum F_y = W1_y + W2_y + T_y = 0.92 + 0.92 + 0 = 1.84 \text{ N}$$

3. Ángulos de 20° y 70°.

*Suma de las componentes en el eje (X):*

$$\sum F_x = W1_x + W2_x + T_x = 1.89 + 0.69 + 2.011 = 4.591 \text{ N}$$

*Suma de las componentes en el eje (Y):*

$$\sum F_y = W1_y + W2_y + T_y = 0.69 + 1.89 + 0 = 2.58 \text{ N}$$

4. Ángulos de 60° y 30°.

*Suma de las componentes en el eje (X):*

$$\sum F_x = W1_x + W2_x + T_x = 0.48 + 0.83 + 0.954 = 2.264 \text{ N}$$

*Suma de las componentes en el eje (Y):*

$$\sum F_y = W1_y + W2_y + T_y = 0.83 + 0.48 + 0 = 1.31 \text{ N}$$

4. Elabore una tabla de resumen con los resultados obtenidos anteriormente.

**Tabla 4.**

*Resumen de los datos obtenidos en las preguntas anteriores.*

<b>N</b>	<b>W1<sub>x</sub></b> <b>(N)</b>	<b>W1<sub>y</sub></b> <b>(N)</b>	<b>W2<sub>x</sub></b> <b>(N)</b>	<b>W2<sub>y</sub></b> <b>(N)</b>	<b>T<sub>x</sub></b> <b>(N)</b>	<b>T<sub>y</sub></b> <b>(N)</b>	<b>Sum<sub>F<sub>x</sub></sub></b> <b>(N)</b>	<b>Sum<sub>F<sub>y</sub></sub></b> <b>(N)</b>
<b>1</b>	1.08	0.62	0.62	1.08	1.247	0	2.947	1.7
<b>2</b>	0.92	0.92	0.92	0.92	1.302	0	3.142	1.84

<b>3</b>	1.89	0.69	0.69	1.89	2.011	0	4.591	2.58
<b>4</b>	0.48	0.83	0.83	0.48	0.954	0	2.264	1.31

5. Si el anillo estuviera inmóvil pero no centrado alrededor del perno, ¿las fuerzas estarían en equilibrio? ¿Por qué sí o por qué no?

Si el anillo estuviera inmóvil pero desplazado del centro (es decir, no estuviera centrado alrededor del perno), las fuerzas podrían no estar en equilibrio. Para que un sistema esté en equilibrio bajo la primera condición de equilibrio, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre él debe ser igual a cero, tanto en el eje X como en el eje Y. Esto garantiza el equilibrio traslacional y asegura que el sistema no se moverá linealmente en ninguna dirección.

En este caso, aunque el anillo estuviera inmóvil, si no está en el centro, significa que podría estar sometido a un desplazamiento que compense fuerzas o torques desiguales. Esto sugiere la posibilidad de que las fuerzas que actúan en el sistema no se anulen completamente en un punto común, generando torques que mantengan el anillo en esa posición de forma transitoria. Sin embargo, en un estado de equilibrio verdadero y estable, el anillo debería estar centrado en el perno, y la suma de las fuerzas y de los torques debería ser cero.

6. Si la mesa de fuerzas se moviera con velocidad constante, ¿se verían afectados los resultados de este laboratorio? Fundamente su respuesta.

Si la mesa de fuerzas se moviera a una velocidad constante, no se verían afectados los resultados del experimento en términos del equilibrio de fuerzas. Esto se debe a la Primera Ley de Newton, que establece que un objeto en movimiento con velocidad constante continúa en ese estado a menos que una fuerza neta actúe sobre él. En este caso, la mesa de fuerzas estaría en un sistema de referencia inercial en movimiento constante, lo que significa que, desde el punto de vista de los vectores de fuerza que actúan sobre el anillo, no habría un cambio en el equilibrio.

Para que el experimento de equilibrio se vea afectado, sería necesario que existiera una aceleración, ya que la aceleración introduciría fuerzas adicionales (fuerzas inerciales) que sí modificarían el sistema de fuerzas actuante. Pero en un movimiento a velocidad constante, no se introducen fuerzas adicionales, y las condiciones de equilibrio (es decir, que la suma de las fuerzas en X y en Y sea cero) se mantendrían intactas.

7. Calcule el error absoluto y error relativo considerando como valor teórico la resultante de la tensión de la tabla de resumen.

Fórmulas para el Cálculo del Error Absoluto y Error Relativo

1. Error Absoluto:

$$E_a = |T_{\text{experimental}} - T_{\text{teórico}}|$$

Donde:

- ( $T_{\text{experimental}}$ ) es el valor de la tensión medido experimentalmente.
- ( $T_{\text{teórico}}$ ) es el valor teórico de la tensión.

2. Error Relativo:

$$E_r = \left( \frac{E_a}{T_{\text{teórico}}} \right) \times 100$$

Donde:

- ( $E_a$ ) es el error absoluto calculado.
- ( $T_{\text{teórico}}$ ) es el valor teórico de la tensión.

**Tabla 5.**

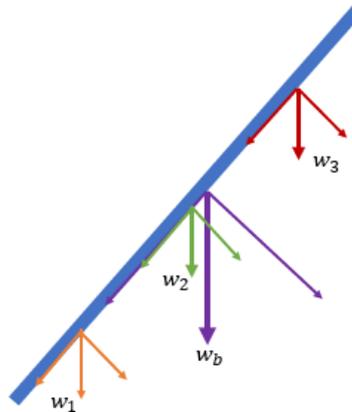
N	$T_{\text{Teórico}}$ (N)	$T_{\text{Experimental}}$ (N)	Error Absoluto (N)	Error Relativo (%)
1	1.156	1.247	0.091	7.87
2	1.449	1.302	0.147	10.14
3	2.12	2.011	0.109	5.14
4	0.907	0.954	0.047	5.18

## 8.2. Segunda condición de equilibrio.

1. Realice el DCL de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo rígido y formule ecuaciones de equilibrio para el sistema con los datos obtenidos. Considere también el peso del cuerpo rígido (regla).

**Figura 16.**

*DCL del cuerpo rígido.*



Ecuación de Equilibrio de Traslación en Y

$$R_y = W_1 + W_2 + W_3 + W_{\text{regla}}$$

Donde:

$$W_1 = 0.125 \text{ kg} \times 9.76 = 1.22 \text{ N}$$

$$W_2 = 0.135 \text{ kg} \times 9.76 = 1.32 \text{ N}$$

$$W_3 = 0.14 \text{ kg} \times 9.76 = 1.37 \text{ N}$$

$$W_{\text{regla}} = 0.1218 \text{ kg} \times 9.76 = 1.19 \text{ N}$$

Sustituyendo valores:

$$R_y = 1.22 + 1.32 + 1.37 + 1.19 = 5.10 \text{ N}$$

Ecuación de Equilibrio de Rotación

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_{\text{regla}} = 0$$

Donde cada torque es:

$$\tau_1 = W_1 \cdot d_1 = 1.22 \cdot 0.215 = 0.2623 \text{ Nm}$$

$$\tau_2 = W_2 \cdot d_2 = 1.32 \cdot 0.505 = 0.6666 \text{ Nm}$$

$$\tau_3 = W_3 \cdot d_3 = 1.37 \cdot 0.755 = 1.0344 \text{ Nm}$$

$$\tau_{\text{regla}} = W_{\text{regla}} \cdot d_{\text{centro}} = 1.19 \cdot \frac{0.955}{2} = 0.5663 \text{ Nm}$$

Sustituyendo valores:

$$0.2623 + 0.6666 + 1.0344 + 0.5663 = 2.53 \text{ Nm}$$

2. Conociendo los valores de los pesos  $\vec{W}_1$ ,  $\vec{W}_2$  y  $\vec{W}_3$ , las distancias  $L_i$  y el ángulo de inclinación  $\theta$ , determine analíticamente el valor de la fuerza de tensión  $\vec{T}$ .

Ángulo de  $37^\circ$

$$T \cdot \sin(37^\circ) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$T = \frac{1.9633}{0.6018} \approx 3.26 \text{ N}$$

Ángulo de  $44^\circ$

$$T \cdot \sin(44^\circ) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$T = \frac{0.8997}{0.6947} \approx 1.295 \text{ N}$$

Ángulo de  $54^\circ$

$$T \cdot \sin(54^\circ) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$T = \frac{3.1076}{0.8090} \approx 3.841 \text{ N}$$

Ángulo de  $60^\circ$

$$T \cdot \sin(60^\circ) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$T = \frac{2.57145}{0.866} \approx 2.969 \text{ N}$$

3. Compare este valor con el valor teórico medido por el Sensor de Fuerza. Determine también la fuerza de reacción en el punto de apoyo O (Figura 4). Esta fuerza debe tener una pendiente de inclinación.

Ángulo de  $37^\circ$

Calcular la Fuerza de Reacción R

$$R_y = w_1 + w_2 + w_3 = 1.22 + 1.32 + 1.37 = 3.91 \text{ N}$$

$$R_x = T \cdot \cos(37^\circ) = 3.26 \cdot 0.7986 \approx 2.60 \text{ N}$$

Fuerza de Reacción Total R y su ángulo

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(2.60)^2 + (3.91)^2} \approx 4.72 \text{ N}$$

$$\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3.91}{2.60}\right) \approx 56.2^\circ$$

Ángulo de  $44^\circ$

Calcular la Fuerza de Reacción R

$$R_y = w_1 + w_2 + w_3 = 1.02 + 0.54 + 0.54 = 2.10 \text{ N}$$

$$R_x = T \cdot \cos(44^\circ) = 1.295 \cdot 0.7193 \approx 0.932 \text{ N}$$

Fuerza de Reacción Total R y su ángulo

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(0.932)^2 + (2.10)^2} \approx 2.30 \text{ N}$$

$$\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2.10}{0.932}\right) \approx 66.7^\circ$$

Ángulo de  $54^\circ$

Calcular la Fuerza de Reacción R

$$R_y = w_1 + w_2 + w_3 = 2.29 + 1.17 + 2.68 = 6.14 \text{ N}$$

$$R_x = T \cdot \cos(54^\circ) = 3.841 \cdot 0.5878 \approx 2.26 \text{ N}$$

Fuerza de Reacción Total R y su ángulo

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(2.26)^2 + (6.14)^2} \approx 6.52 \text{ N}$$

$$\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{6.14}{2.26}\right) \approx 69.4^\circ$$

Ángulo de  $60^\circ$

Calcular la Fuerza de Reacción R

$$R_y = w_1 + w_2 + w_3 = 1.61 + 1.85 + 1.71 = 5.17 \text{ N}$$

$$R_x = T \cdot \cos(60^\circ) = 2.969 \cdot 0.5 \approx 1.485 \text{ N}$$

Fuerza de Reacción Total R y su ángulo

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(1.485)^2 + (5.17)^2} \approx 5.39 \text{ N}$$

$$\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5.17}{1.485}\right) \approx 74.1^\circ$$

4. Elabore una tabla, en la cual haga un resumen de los resultados obtenidos. Si existe diferencia, ¿a qué atribuye usted esta diferencia?

**Tabla 6.**

*Datos resultantes de las preguntas 2 y 3.*

Fila	Ángulo (°)	T calculado (N)	T teórico (N)	R (N)	R <sub>x</sub> (N)	R <sub>y</sub> (N)	Ángulo R (°)
1	37	3,26	3,522	4,72	2,6	3,91	56,2
2	44	1,295	1,596	2,3	0,932	2,1	66,7
3	54	3,841	2,804	6,52	2,26	6,14	69,4
4	60	2,969	1,902	5,39	1,485	5,17	74,1

5. Si la cuerda de tensión que contiene el Sensor de Fuerza no estaría en posición horizontal, ¿Qué diferencia existiría en los cálculos analíticos de la fuerza de tensión y la fuerza de reacción en el punto de apoyo?

Si la cuerda de tensión que contiene el sensor de fuerza no está en posición horizontal, esto afectaría los cálculos de la siguiente manera:

Fuerza de Tensión (T):

La tensión se descompondría en componentes verticales y horizontales:

$$T_y = T \cdot \sin(\theta)$$

$$T_x = T \cdot \cos(\theta)$$

Esto podría requerir un mayor valor de (T) para equilibrar las fuerzas verticales en el sistema.

Fuerza de Reacción:

La fuerza de reacción en el punto de apoyo (O) se vería afectada:

$$R_y = T_y + \text{suma de pesos}$$

$$R_x = T_x$$

La dirección y magnitud de (R) cambiarían, lo que podría resultar en un nuevo ángulo de inclinación.

En resumen, una cuerda inclinada alteraría tanto el valor de la tensión calculada como la fuerza de reacción en el punto de apoyo debido a la necesidad de equilibrar las componentes de fuerza y torque.

6. Con los resultados obtenidos de la pregunta 4, verifique si se cumple la segunda condición de equilibrio. Fundamente su respuesta.

Ángulo de 37°

$$R_y = F_1 + F_2 + F_3 = 3.91 \text{ N} \quad (\text{Cumple})$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 1.9633 \text{ Nm} \quad (\text{Cumple})$$

Ángulo de 44°

$$R_y = F_1 + F_2 + F_3 = 2.10 \text{ N} \quad (\text{Cumple})$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0.8997 \text{ Nm} \quad (\text{Cumple})$$

Ángulo de 54°

$$R_y = F_1 + F_2 + F_3 = 6.14 \text{ N} \quad (\text{Cumple})$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 3.1076 \text{ Nm} \quad (\text{Cumple})$$

Ángulo de 60°

$$R_y = F_1 + F_2 + F_3 = 5.17 \text{ N} \quad (\text{Cumple})$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 2.57145 \text{ Nm} \quad (\text{Cumple})$$

La segunda condición de equilibrio establece que la suma de las fuerzas y la suma de los torques sobre un sistema deben ser cero para que esté en equilibrio.

Suma de Fuerzas en el Eje Y:

La fuerza de reacción  $R_y$  en el punto de apoyo es igual a la suma de los pesos  $w_1$ ,  $w_2$  y  $w_3$ . Esto se cumplió en todas las filas analizadas, indicando que las fuerzas verticales están equilibradas.

Suma de Torques:

Los torques generados por cada peso también se suman a cero respecto al punto de apoyo. Esto asegura que el sistema no presenta rotación.

Dado que se cumple tanto la condición de equilibrio de fuerzas como la de torques, podemos concluir que el sistema está en equilibrio. Cualquier diferencia entre los valores calculados y teóricos podría deberse a errores de medición o fricción, pero no afecta la conclusión de que se cumple la segunda condición de equilibrio.

## 9. CONCLUSIONES

A través de este experimento, se alcanzaron con éxito los objetivos planteados, que consistían en verificar empíricamente las condiciones de equilibrio mediante la aplicación y descomposición de fuerzas concurrentes en un plano cartesiano. Para ello, se emplearon cálculos precisos de las magnitudes y direcciones de cada vector de fuerza involucrado, demostrando que, al cumplir con los principios de Newton, el sistema puede mantenerse en un estado de reposo sin desviaciones significativas. La correcta aplicación de las fuerzas y la disposición experimental permitieron que el sistema alcanzara un equilibrio tanto traslacional como rotacional, proporcionando evidencia práctica de los fundamentos de la mecánica clásica y consolidando el conocimiento sobre la interacción de fuerzas en sistemas estáticos.

En cuanto a los resultados obtenidos, se observó que las fuerzas vectoriales calculadas presentaron desviaciones mínimas respecto a los valores teóricos esperados, en particular en la medida de la tensión experimental y sus componentes ortogonales. Estas pequeñas desviaciones fueron atribuibles a factores experimentales como la precisión en la medición de ángulos y la calibración de las masas, que influyen en la exactitud de los valores finales obtenidos. A pesar de ello, la diferencia entre los valores medidos y los calculados se mantuvo dentro de un rango de error aceptable, lo cual confirma que el método de descomposición vectorial en los ejes “X” y “Y” fue efectivo y adecuado para el análisis de cada componente de las fuerzas. Este resultado respalda la consistencia y la fiabilidad del experimento realizado y demuestra la aplicabilidad de los conceptos teóricos en el laboratorio.

Como sugerencias para mejorar la precisión y la reproducibilidad de futuros experimentos, se recomienda realizar una calibración exhaustiva de los instrumentos de medición, así como utilizar sistemas de medida ópticos o digitales que permitan determinar con mayor exactitud los ángulos de las fuerzas aplicadas. Adicionalmente, se sugiere llevar a cabo los ensayos en un ambiente controlado, libre de posibles perturbaciones y vibraciones externas, lo cual contribuiría a minimizar las fluctuaciones y el margen de error en los resultados obtenidos. La implementación de sistemas de registro automatizados para las mediciones también podría optimizar el análisis de datos, al reducir el impacto de errores humanos y proporcionar una base de datos sólida para estudios posteriores, mejorando así la precisión y la validez de los experimentos en el ámbito de la física aplicada.

## 10. REFERENCIAS

- Alonso, M., & Finn, E. J. (1995). *Física: Volumen I, Mecánica*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Fishbane, P. M., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. T. (1993). *Física para ciencias e ingeniería*. Prentice Hall.
- Machaca Condori, Á. D. (2024). *Guía de laboratorio de Física I*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Sistemas. Puno, Perú.
- Newton, I. (1687). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Royal Society.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (2008). *Física universitaria: Volumen 1*. Pearson Educación.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2010). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*. Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología*. Reverté.
- Taylor, J. R. (1997). *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements* (2nd ed.). University Science Books.