UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA ELECTRICA, ELECTRONICA Y SISTEMAS

Informe N° 2 de Experimento

Tema: *Equilibrio de Fuerzas*

Escuela Profesional: Ingeniería de Sistemas

Asignatura: Laboratorio de Física I

Presentado por: Jhon Deyvis Romario Mamani Machaca

Código: 236754

Grupo: 136

Docente: Lic. MACHACA CONDORI Álvaro Diego

Semestre: II

2024 – II

EXPERIMENTO N° 2

EQUILIBRIO DE FUERZAS

RESUMEN

El propósito de este trabajo es investigar el equilibrio de fuerza utilizando una mesa de fuerzas como herramienta experimental, con el fin de validar tanto la primera como la segunda condición de equilibrio. Este objetivo incluye la comparación entre los resultados experimentales y los valores teóricos obtenidos mediante cálculos analíticos, fundamentados en los principios de la mecánica clásica. En particular, se aplica la Primera Ley de Newton, que establece que un cuerpo permanecerá en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme mientras no actúe sobre él una fuerza neta externa.

El desarrollo del trabajo implica un procedimiento experimental que abarca desde la instalación del equipo hasta la medición precisa de fuerzas aplicadas en diferentes direcciones. Se analizan dos condiciones de equilibrio: en primer lugar, se evalúa la suma de las fuerzas en los ejes cartesianos \(X\) y \(Y\) para confirmar el equilibrio traslacional. En segundo lugar, se estudia el equilibrio rotacional mediante el cálculo de torques, considerando los momentos generados por las fuerzas aplicadas en diversos puntos del sistema.

Durante el experimento, se registra cuidadosamente la tensión en cada componente del sistema y se verifican las condiciones de equilibrio, lo que permite comparar los resultados obtenidos con las predicciones teóricas. Este enfoque no solo valida los principios físicos relacionados con el análisis de fuerzas, sino que también subraya la importancia de los métodos experimentales en la comprensión y aplicación de las leyes fundamentales de la mecánica.

1. 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.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

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 boletero viene caminando lentamente por el pasillo del tren, mientras que para alguien que ve pasar el tren desde el andén de una estación, el boletero 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:

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

Siendo $\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n$ 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:

$$\vec{F}.\vec{r} = Fr\cos\theta$$

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:

$$|\vec{r}x\vec{F}| = rFsen\theta \qquad (2)$$

Donde θ: ángulo entre los vectores $\vec{F} y \vec{r}$. La representación gráfica de estas operaciones algebraicas se ilustra en la *Figura 1* y *Figura 2*.

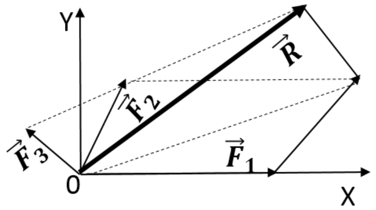


Figura 1. Sistema de fuerzas.

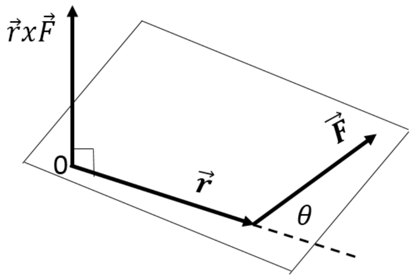


Figura. 2. Torque de una fuerza.

Los vectores se pueden descomponerse 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:

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

$$R_y = Rsen\theta \quad (4)$$

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

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

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

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".

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

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.

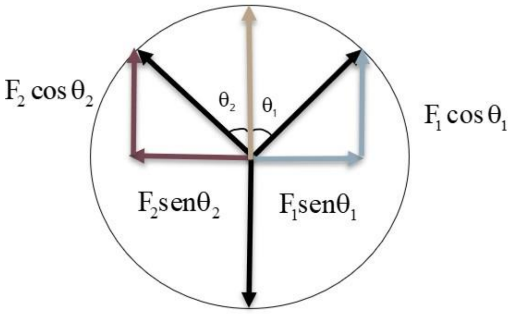


Figura 3. Descomposición de fuerzas.

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

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

$$m_2 = \frac{m_1 sen\theta_1}{sen\theta_2}$$

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

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

$$F_1 cos\theta_1 + F_2 cos\theta_2 = T$$

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".

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

El momento de una fuerza también conocido como torque (r), 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:

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

Cuyo módulo es:

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

Donde, g es la aceleración de gravedad del medio.

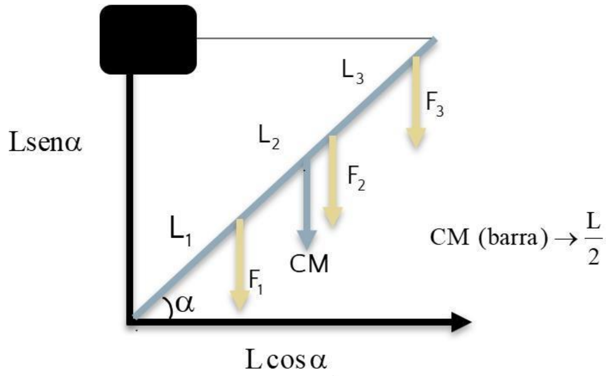


Figura 4. Fuerzas en equilibrio

Donde el valor de los momentos que influyen es:

$$\sum \overrightarrow{M_0}(horario) = \sum \overrightarrow{M_0}(antihorario)$$

Ampliación de las Leyes de Newton.

Las tres Leyes de Newton son fundamentales en el estudio del equilibrio de fuerzas. La **Primera Ley** (o ley de inercia) establece que un objeto permanecerá en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme a menos que actúe una fuerza externa, definiendo el equilibrio de traslación. La **Segunda Ley** relaciona fuerza y aceleración (F=ma), siendo clave para analizar sistemas en desequilibrio. Finalmente, la **Tercera Ley** indica que toda fuerza tiene una reacción de igual magnitud y dirección opuesta, lo que resulta esencial para entender el equilibrio de fuerzas en cuerpos en contacto. Por ejemplo, el peso de un objeto apoyado en una superficie es equilibrado por la fuerza de reacción normal de la superficie.

Vectores y Operaciones Vectoriales.

Los vectores permiten representar y descomponer fuerzas en sus componentes perpendiculares en los ejes X e Y. Esto es esencial en sistemas de equilibrio, donde la suma de todas las fuerzas concurrentes (actuando en un solo punto) debe dar una **resultante nula** para mantener el equilibrio. El **producto escalar** entre vectores, que calcula la proyección de uno en la dirección de otro, y el **producto vectorial**, que da un vector perpendicular, son operaciones cruciales para resolver problemas de equilibrio. Mediante estas descomposiciones vectoriales se pueden calcular las fuerzas individuales que componen el sistema.

Concepto de Torque y su Relación con la Rotación.

El torque (o momento de una fuerza) mide la capacidad de una fuerza para producir rotación en un objeto respecto a un eje. Su magnitud depende de la fuerza, la distancia al punto de giro y el ángulo de aplicación: $T = \boldsymbol{rFsin\theta}$. Para el equilibrio de rotación, la **suma de torques** debe ser cero, cumpliendo con la Segunda Condición de Equilibrio. Este principio se observa al abrir una puerta, donde una fuerza aplicada en un punto alejado de las bisagras facilita el giro, demostrando cómo el torque influye en la rotación de los cuerpos.

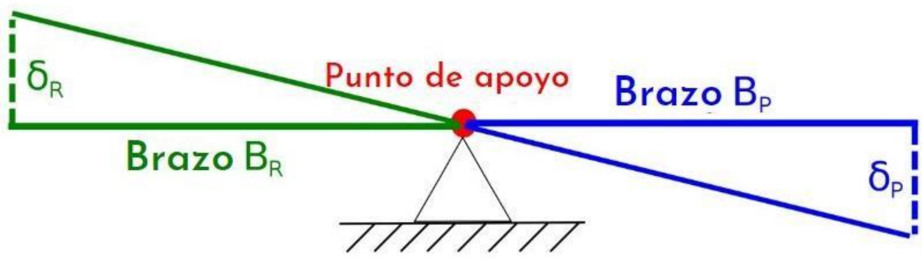


Figura 5. Composición de fuerzas concurrentes

Sistemas de Referencia y Fuerzas Concurrentes.

Un sistema de referencia inercial es necesario para analizar correctamente el equilibrio de fuerzas, ya que simplifica el problema al suponer que el observador está en reposo respecto al sistema. Las fuerzas concurrentes, por su parte, son aquellas que actúan en el mismo punto. La suma de estas fuerzas determina el estado de equilibrio del objeto. Si la **resultante de fuerzas concurrentes** es cero, el objeto estará en equilibrio de traslación, permaneciendo en reposo o en movimiento uniforme.

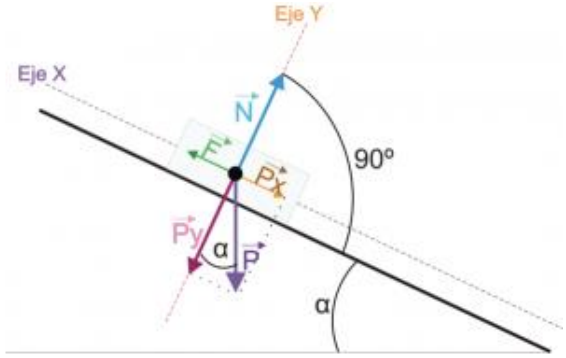


Figura 6. Composición de fuerzas concurrentes

Errores Experimentales y sus Causas.

En cualquier experimento pueden surgir errores, que afectan los resultados. En el experimento de equilibrio de fuerzas, los errores comunes incluyen la fricción en los puntos de contacto, la inexactitud en la medición de ángulos o masas, y las variaciones de calibración en los instrumentos de medición. Estos errores pueden evaluarse a través de cálculos de **error absoluto** y **error relativo** al comparar los valores experimentales con los teóricos, y reducirlos es crucial para la precisión de los resultados.

Aplicaciones Prácticas del Equilibrio de Fuerzas.

El equilibrio de fuerzas es clave en estructuras de ingeniería, como puentes o edificios, que necesitan mantenerse estables ante fuerzas externas, como el peso o el viento. En un puente colgante, por ejemplo, el equilibrio se logra distribuyendo el peso a través de cables y torres hasta el suelo. También, en biomecánica, este principio se aplica al estudiar cómo el cuerpo humano mantiene el equilibrio. Así, el equilibrio de fuerzas no solo garantiza la estabilidad de las estructuras, sino que también permite optimizar los recursos y la seguridad en su diseño.

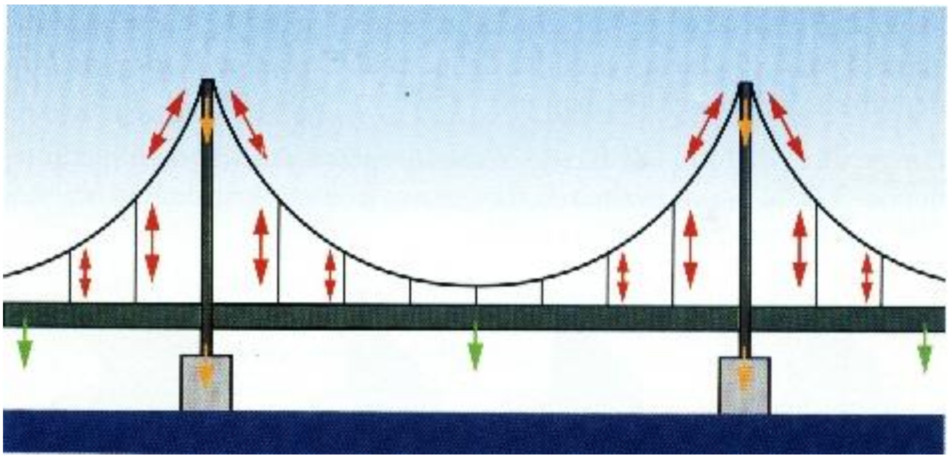


Figura 7. Puente en equilibrio de fuerzas

3. EQUIPOS Y MATERIALES

- **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.**

- **Una escuadra o transportador.**

- **Un soporte universal.**

- **Indicador de ángulo.**

- **Dinamómetro.**

1. PROCEDIMIENTO

Primera condición de equilibrio

Figura 8. Sistema de equilibrio i

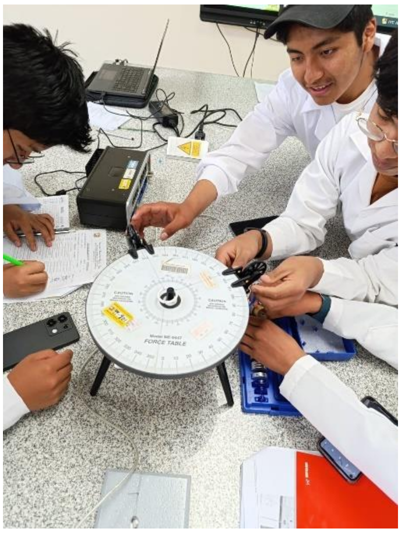


Figura 9. Sistema de equilibrio ii

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Primera Condición de Equilibrio

1. Instale el equipo tal como se muestra en la Figura 8.
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.

   i. → → →

5. Los pesos W_1 y W_2 la fuerza de tensión T en el sensor de fuerza representan la acción de tres fuerzas

   a. →

   b. concurrentes. Los ángulos θ_1, θ_2 y θ_3 (para la fuerza de tensión T), indican el sentido y la dirección deestas tres fuerzas concurrentes; tal como se observan en las Figuras 3 y 5.

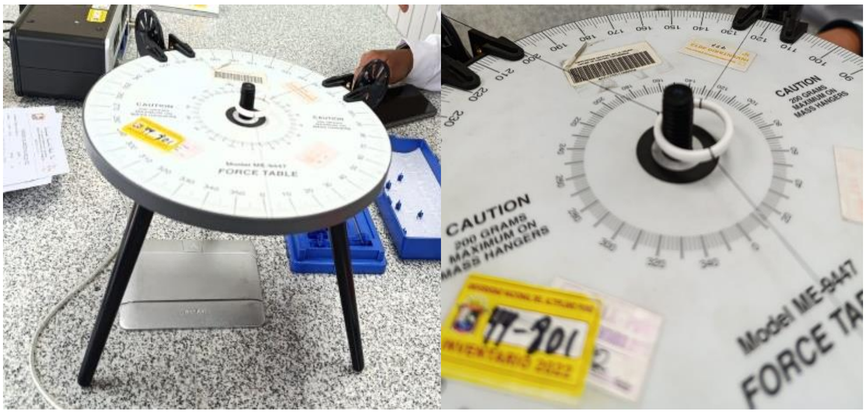


Figura 10. Equilibrio de fuerzas.

6. Verificar con el dinamómetro si el sistema se encuentra en una posición de equilibrio (para $\theta_3 = 0º$).
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 mostrada por la Figura 3. Registre sus datos en la tabla 1.
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 ($\theta_3 = 0º$).

Tabla 1

N	***m_{1i}* (gr)**	***m_{2i}* teórico (gr)**	***m_{2i}* (gr) exp**	***T_i* (N) teórico**	***T_i* (N) experimental**	θ_{1i}	θ_{2i}	***E%***	***E%(T)***
01	105	60.62	55	1.137	1.247	*30°*	*60°*	9.271	9.674
02	105	105.00	105	1.426	1.302	*45°*	*45°*	0	8.696
03	205	74.61	72	2.086	2.011	*20°*	*70°*	3.498	3.595
04	45.5	78.81	81	0.892	0.954	*60°*	*30°*	2.779	6.951

Donde: m_{1i}, m_{2i} es la masa de las pesas.

Los pesos w_1, w_2 se obtienen mediante la ecuación (8)

Figura 11. Verificar el anillo.

Segunda Condición de Equilibrio:

Figura 12. Fuerzas en equilibrio i

1. Instale el equipo tal como se muestra en la Figura 12; la cuerda de tensión que contiene al Sensor de Fuerza forma un ángulo de 90º con el soporte universal al cual esta sujetado. 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).
3. Registre también la lectura observada a través del Sensor de Fuerza y el ángulo de inclinación θ 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 13. Fuerzas en equilibrio ii

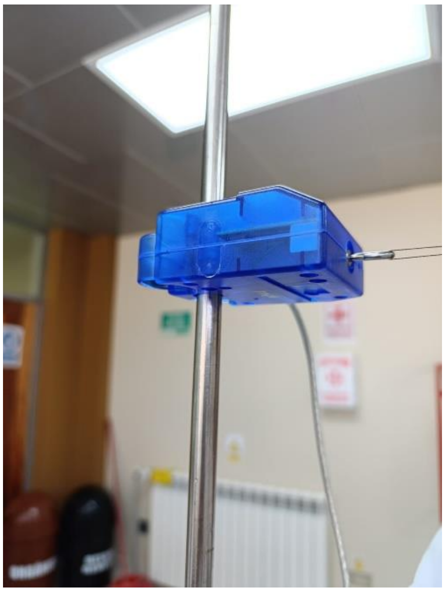


Figura 14. Sensor en 90° con el soporte

Tabla 2

N	m_{1i} *(gr)*	m_{2i} *(gr)*	m_{3i} *(gr)*	T_i *teórico (N)*	T_i *Experimental (N)*	θ_i	*E(%)*
01	125	135	140	**3.522**	3.174	37	**9.881**
02	105	55	55	**1.160**	1.363	44	**8.917**
03	235	120	275	**2.804**	2.644	54	**5.706**
04	165	190	175	**1.902**	1.774	60	**8.307**

Registre también las longitudes ($L, L_{1i}, L_{2i}, L_{3i}$) y masa ($m_b$) de la regla:

L= **95.5cm** L_{1i} = **21.5cm** L_{2i} = **50.5cm** L_{3i} = **75.5cm** m_b = **121.8g**

5. CUESTIONARIO

Primera condición de equilibrio

1. **Descomponer las fuerzas $W1$,W2 y T, con los valores de la tabla 1 en sus componentes ortogonales del plano cartesiano X-Y. las componentes de estas fuerzas se determinan mediante las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.**

N	**F1**	**F2**	**Rx(F1)**	**RY(F1)**	**Rx(F2)**	**RY(F2)**	**Tensión (T)**
01	1.025	0.537	0.888	0.512	0.268	0.465	0.977
02	1.025	1.025	0.725	0.725	0.725	0.725	1.449
03	2.001	0.703	1.880	0.684	0.240	0.660	1.345
04	0.444	0.791	0.222	0.385	0.685	0.395	0.780

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

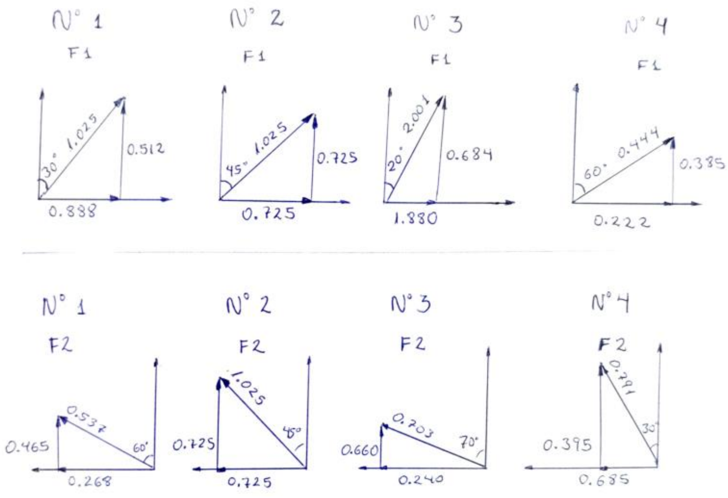


Figura 15. Diagramas de descomposición

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.**

Al descomponer los vectores en sus componentes, examinamos sus proyecciones sobre los ejes **x** e **y**, lo que nos permite comprender cómo cada vector influye en ambas direcciones. En este caso, al proyectar los vectores sobre el eje **x**, se obtienen dos componentes que están orientadas en sentidos opuestos.

Dado que estamos trabajando con vectores, es necesario sumar sus componentes considerando tanto la magnitud como la dirección. Cuando las componentes están alineadas en la misma dirección (como ocurre con F1 y F2 en el eje x), sumamos directamente sus magnitudes. Sin embargo, si las componentes apuntan en direcciones opuestas, como en este caso, tendrán signos contrarios en el eje x, lo que significa que, al sumar estas componentes, en realidad estamos restando una de la otra.

Un razonamiento similar se aplica al eje y. Al descomponer los vectores en este eje, observamos que las componentes apuntan hacia el mismo sentido en y. Por esta razón, al combinar estas componentes, simplemente sumamos sus magnitudes, ya que no hay oposición de direcciones que implique una resta.

suma Rx(F1)	**suma Rx(F2)**	**suma total**
3.714322859	1.918032468	1.796290391
suma en Ry(F1)	**suma en Ry(F2)**	**suma total**
2.305941493	2.245146265	4.551087758

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

N	**m1i (gr)**	**F1**	**Rx(F1)**	**RY(F1)**	**suma Rx(F1)**	**suma en Ry(F1)**	
01	105.000	1.025	0.888	0.512	3.714	2.306	
02	105.000	1.025	0.725	0.725			
03	205.000	2.001	1.880	0.684			
04	45.500	0.444	0.222	0.385			
N	**m2i teórico(gr)**	**F2**	**Rx(F2)**	**RY(F2)**	**suma Rx(F2)**	**suma en Ry(F2)**	**Tensión (T)**
01	60.620	0.537	0.268	0.465	1.918	2.245	0.977
02	105.000	1.025	0.725	0.725			1.449
03	74.610	0.703	0.240	0.660			1.345
04	78.810	0.791	0.685	0.395			0.780
				total	**1.796**	**4.551**	

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 permanece inmóvil pero no está centrado alrededor del perno, las fuerzas aún podrían estar equilibradas. Esto se debe a que, según la primera condición de equilibrio, basta con que la suma de las fuerzas en los ejes X e Y sea igual a cero para que el sistema mantenga un equilibrio traslacional. En otras palabras, la posición del anillo respecto al perno no es relevante siempre y cuando las fuerzas se compensen en ambas direcciones, impidiendo cualquier movimiento lineal del sistema.

Aunque el descentrado del anillo podría sugerir visualmente que debería haber un desplazamiento, desde el punto de vista de la primera condición de equilibrio, lo único que importa es que no exista una fuerza neta actuando en ninguna dirección. Por lo tanto, incluso con el anillo fuera del centro, el equilibrio de fuerzas puede mantenerse mientras estas se anulen mutuamente.

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 desplazara a velocidad constante, los resultados experimentales no se verían afectados. Esto se debe a que un movimiento a velocidad constante indica que no hay aceleración en el sistema. Según las leyes de Newton, un sistema en movimiento rectilíneo uniforme (es decir, con velocidad constante y sin aceleración) es dinámicamente equivalente a un sistema en reposo. En ambos casos, no se generan fuerzas adicionales que puedan alterar el equilibrio de las fuerzas actuantes.

Mientras la mesa mantenga su velocidad constante, las fuerzas involucradas en el experimento continuarán anulándose entre sí de acuerdo con la primera condición de equilibrio, donde la suma de las fuerzas en los ejes X e Y es igual a cero. Esto garantiza que los cálculos y análisis de las componentes de las fuerzas seguirán siendo correctos, conservando el equilibrio del sistema sin que el movimiento uniforme de la mesa influya en los resultados obtenidos.

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

Para calcular el **error absoluto** y el **error relativo** de la tensión, considerando el valor teórico como la referencia, debemos utilizar las siguientes fórmulas:

Error absoluto (Ea):

$$Ea = \left|T_{teórico} - T_{experimental}\right|$$

Error relativo (Er):

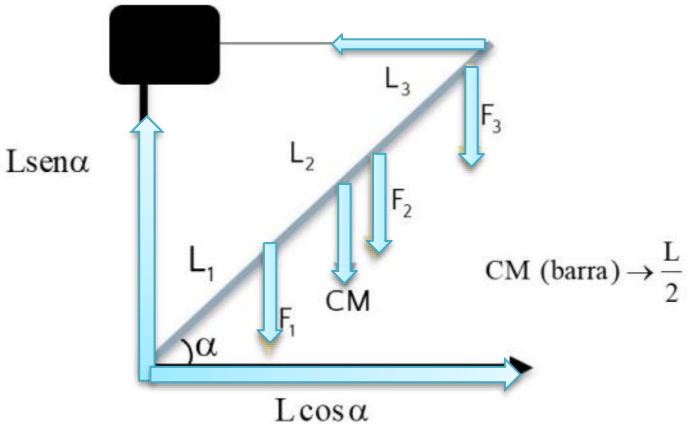
$$Er = \frac{Ea}{T_{teórico}}$$

N	Ti teórico (N)	Ti experimenta (N)	Error absoluto (Ea)	Error relativo (Er)
01	1.137	1.247	0.110	0.097
02	1.426	1.302	0.124	0.087
03	2.086	2.011	0.075	0.036
04	0.892	0.954	0.062	0.070

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. Considerar también el peso del cuerpo rígido (regla).**

DCL del cuerpo rígido



Aplicamos la segunda condición de equilibrio

$$\sum \overrightarrow{M_0}(horario) = \sum \overrightarrow{M_0}(antihorario)$$

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

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

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

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

N	m1i (gr)	m2i (gr)	m3i (gr)	Ti teórico (N)	Ti experimental (N)	θi (grados)	E(%)
01	125	135	140	3.522	3.174	37	9.881
02	105	55	55	1.160	1.263	44	8.917
03	235	120	275	2.804	2.644	54	5.706
04	165	190	175	1.902	1.744	60	8.307

2. **Conociendo los valores de los pesos $W1$, $W2$ y W 3 , las distancias Li y el ángulo de inclinación θ, determine analíticamente el valor de la fuerza de tensión T .**

Para 01

$$T1 = \frac{9.76\ \cos(37)\left(125(21.5) + 135(50.5) + 140(75.5) + 121.8(48.4)\right)}{sen\ 37\ \times 0.955} \times \frac{1}{100000}$$

$$T1 = 3.522$$

$$T2 = \frac{9.76\ \cos(44)\left(105(21.5) + 55(50.5) + 55(75.5) + 121.8(48.4)\right)}{sen\ 44\ \times 0.955} \times \frac{1}{100000}$$

$$T2 = 1.1596$$

$$T3 = \frac{9.76\ \cos(54)\left(235(21.5) + 120(50.5) + 275(75.5) + 121.8(48.4)\right)}{sen\ 54\ \times 0.955} \times \frac{1}{100000}$$

$$T3 = 2.804$$

$$T4 = \frac{9.76\ \cos(60)\left(165(21.5) + 190(50.5) + 175(75.5) + 121.8(48.4)\right)}{sen\ 60\ \times 0.955} \times \frac{1}{100000}$$

$$T1 = 1.902$$

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 5). Esta fuerza debe tener una pendiente de inclinación.**

Al comparar los valores teóricos y experimentales de la tensión T, se observa que los teóricos suelen ser mayores. Por ejemplo, en el primer caso, el valor teórico es de **3.522N** mientras que el experimental es de **3.174N**. De manera similar, en el cuarto caso, el valor teórico alcanza **1.902N** frente a **1.744N** del valor experimental.

Para determinar la fuerza de reacción en el punto de apoyo O, es necesario considerar que este punto soporta la fuerza total resultante de las masas distribuidas sobre la barra inclinada y contrarresta el momento de las fuerzas para mantener el sistema en equilibrio.

En este contexto, el punto de apoyo O genera una fuerza de reacción que actúa en una dirección inclinada, dependiendo del ángulo de la barra (α), con el objetivo de equilibrar tanto las fuerzas como los torques producidos por las masas m1, m2, m3. Esta fuerza de reacción puede descomponerse en componentes que actúan sobre los ejes X e Y, lo que permite analizar su contribución al equilibrio del sistema.

Componente horizontal (Rx): Compensa las componentes horizontales de las fuerzas ejercidas por las masas.

Componente vertical (Ry): Compensa las componentes verticales de estas fuerzas.

Para calcular estas componentes, podemos usar las siguientes relaciones:

$$R_x = \sum F_i\ sen(\theta_i)\quad ,\qquad R_y = \sum F_i\ sen(\theta_i)$$

$$R_{total} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

donde $F_i = m_i \cdot g$ (peso de cada masa) y θ_i es el ángulo con respecto a la vertical.

N	Rx(N)	Ry(N)	Rtotal(N)
01	2.36	3.13	3.9
02	1.47	1.52	2.1
03	5	3.63	6.15
04	4.5	2.6	5.17

4. **Elabore una tabla, en el cual haga su resumen de los resultados obtenidos. Si existe diferencia, ¿a qué atribuye usted estas diferencias?**

N	Ti teórico (N)	Ti experimental (N)	E(%)	Rx(N)	Ry(N)	Rtotal(N)
01	3.522	3.174	9.881	2.36	3.13	3.9
02	1.160	1.263	8.917	1.47	1.52	2.1
03	2.804	2.644	5.706	5	3.63	6.15
04	1.902	1.744	8.307	4.5	2.6	5.17

Las discrepancias entre los valores teóricos y experimentales pueden explicarse por varias causas. En primer lugar, los instrumentos de medición, como el sensor de fuerza, tienen márgenes de error inherentes y limitaciones en su precisión, lo que puede generar pequeñas variaciones en los resultados.

Además, factores prácticos como la fricción en el punto de apoyo y la resistencia del aire, aunque a menudo se consideran despreciables en sistemas idealizados, pueden introducir efectos sutiles que alteren las mediciones.

Por último, errores en la medición del ángulo (θ) o pequeñas desviaciones durante la realización del experimento, como un posicionamiento incorrecto o fluctuaciones en las fuerzas aplicadas, también podrían contribuir a las diferencias observadas entre los valores teóricos y los experimentales.

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

Si la cuerda de tensión no está en posición horizontal, su fuerza se descompondría en dos componentes: una horizontal **Tx** y otra vertical **Ty**. Esto tendría implicaciones importantes en el equilibrio del sistema. La componente vertical **Ty**, se sumaría a las fuerzas verticales existentes, lo que alteraría la fuerza total que debe ser contrarrestada por la reacción en el punto de apoyo. Como resultado, esta fuerza de reacción ahora tendría que equilibrar tanto el peso de los objetos como la componente vertical de la tensión.

Además, la componente horizontal **Tx** también influiría en el equilibrio en la dirección horizontal, lo que implicaría que los cálculos de equilibrio deban ajustarse para ambas direcciones X e Y. Este ajuste aseguraría que se cumplan las condiciones de equilibrio traslacional y rotacional, considerando las nuevas contribuciones de las componentes de la tensión.

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

Para verificar si se cumple la segunda condición de equilibrio, analizaremos si la suma de los momentos respecto al punto de apoyo O es igual a cero. La segunda condición de equilibrio establece que, para que un cuerpo esté en equilibrio rotacional, la suma de los momentos (torques) alrededor de cualquier punto debe ser nula. En este caso, dado que se conocen las fuerzas de reacción Rx y Ry , junto con las fuerzas F1, F2 y F3 generadas por las masas y sus respectivas distancias a O, podemos calcular los momentos individuales.

Si la suma de los momentos generados por cada fuerza, calculada como $\sum\tau=F\cdot d\cdot \sin(\theta)$ para cada fuerza y su distancia perpendicular al punto de apoyo, resulta cercana a cero, podemos concluir que se cumple la segunda condición de equilibrio en el sistema. Cualquier desviación podría deberse a factores como errores de medición, resistencia del aire, fricción o distribución no uniforme de las masas, que pueden generar diferencias pequeñas en los resultados.

Para verificar el cumplimiento de la segunda condición de equilibrio, evaluaremos si la suma de los momentos alrededor del punto de apoyo \(O\) es igual a cero. Según esta condición, para que un sistema esté en equilibrio rotacional, la suma de los torques o momentos alrededor de cualquier punto debe ser nula.

7. **CONCLUCIONES**

Utilizando una mesa de fuerzas, se validó experimentalmente la Primera Ley de Newton al observar que el sistema permanecía en reposo cuando las fuerzas concurrentes satisfacían la condición de equilibrio. Esto se logró al verificar que la suma vectorial de las fuerzas en los ejes X e Y era igual a cero, lo cual confirma que, en un sistema en equilibrio estático, las fuerzas horizontales y verticales se anulan entre sí. Este resultado respalda el principio fundamental de que no hay movimiento si la fuerza resultante es nula.

En cuanto al equilibrio rotacional, se comprobó que la Segunda Condición de Equilibrio se cumple al garantizar que la suma de los momentos alrededor de un punto sea igual a cero. Experimentalmente, se equilibraron los torques horario y antihorario generados por las masas ubicadas en diferentes posiciones de la barra rígida. Este equilibrio rotacional demostró que, independientemente de la distribución de las masas, el sistema permanece estable mientras la suma de todos los momentos respecto al punto de soporte sea nula. Este análisis subraya la importancia de la orientación de las fuerzas aplicadas y la distancia perpendicular de estas al punto de apoyo.

Los valores experimentales obtenidos de las fuerzas y los torques se compararon con los valores calculados analíticamente. Aunque se observaron pequeñas variaciones debido a la precisión limitada en la medición de ángulos y a las características de los equipos utilizados, estas discrepancias estuvieron dentro de un margen de error aceptable, lo que respalda la confiabilidad del método experimental. Los cálculos de error absoluto y relativo sugieren que factores como la tensión en las cuerdas y el posible deslizamiento en los soportes pueden influir en los resultados, pero el bajo margen de error indica una fuerte correlación entre los métodos analítico y experimental.

Adicionalmente, se confirmó que un sistema en equilibrio traslacional permanece en reposo, incluso si el anillo está descentrado, siempre que la suma de las fuerzas en los ejes X e Y sea cero. También se verificó que un movimiento a velocidad constante de la mesa no afecta los resultados experimentales, en coherencia con la Primera Ley de Newton. Al comparar los resultados experimentales con los teóricos, se validaron los principios de equilibrio de fuerzas y momentos tanto en sistemas de partículas como en cuerpos rígidos, destacando la aplicabilidad y precisión de las leyes de Newton en el análisis del equilibrio estático.

REFERENCIAS

Khan Academy. (n.d.). *Primera condición del equilibrio*. https://es.khanacademy.org/science/fisica-pe-pre-u/x4594717deeb98bd3:leyes-de-newton/x4594717deeb98bd3:primera-ley-de-newton/v/primera-condicion-del-equilibrio#:~:text=El%20equilibrio%20mec%C3%A1nico%20ocurre%20cuando,act%C3%BAan%20sobre%20%C3%A9l%20es%20nula.

OpenStax. (n.d.). *Física universitaria volumen 1*. https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-1/pages/12-2-ejemplos-de-equilibrio-estatico

Universidad Autónoma Metropolitana. (n.d.). *Fuerza y equilibrio*. https://academicos.azc.uam.mx/akb/akb_files/Cursos/Fuerza/Lectura/FuerzaYEquilibrio.pdf

Universidad de Córdoba. (n.d.). *Equilibrio*. https://www.uco.es/~me1leraj/equilibrio/lec01_3_1m.htm

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. (2017, noviembre 17). *Práctica 3: Equilibrio de fuerzas*. https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-jorge-basadre-grohmann/fisica-general/practica-3-equilibrio-de-fuerzas/35192163

Universidad Tecnológica Nacional. (n.d.). *Unidad 3: Física*. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/sac/ingreso/archivos/Unidad_3_fisica.pdf