

# Diseño y construcción de un sistema mecánico de movimiento para el blindaje del detector de un difractómetro de neutrones

Javier Gago<sup>(1)</sup> [jgago@ipen.gob.pe](mailto:jgago@ipen.gob.pe); Milder García<sup>(2)</sup>;  
Yuri Ravello<sup>(1)</sup> [yavello@ipen.gob.pe](mailto:yavello@ipen.gob.pe)

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Promoción y Desarrollo Tecnológico, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú

## Resumen

Se presentan los parámetros de diseño del sistema mecánico de movimiento detector de un difractómetro de neutrones y los cálculos principales para determinar la potencia necesaria para producir los movimientos de rotación. El movimiento del sistema de detección es parte esencial en la medida de los espectros de difracción de neutrones en una muestra cristalina.

## 1. Introducción

La difracción de neutrones es uno de los mejores medios para obtener información estructural de muchas clases de materiales. El desarrollo de la instrumentación y de las técnicas de análisis ha hecho posible obtener información estructural comparativamente precisa mediante difracción de neutrones en muestras cristalinas y determinar en el caso de metales su dureza o tensiones residuales, fragilidad o tipos de aleaciones.

En referencia al sistema mecánico el diseño se desarrolló en los ambientes del IPEN. La construcción del sistema se encuentra terminada y será motivo de un informe posterior.

El diseño abarca una serie procedimientos a seguir, comenzando por el estudio analítico apoyado por manuales, catálogos. El porque del diseño y construcción de este sistema se debe a trabajos experimentales con neutrones<sup>4,6</sup>

## 2. Descripción del Sistema Mecánico

El tipo de difractómetro es el llamado: “de dos ejes”<sup>5</sup>, en el primer eje se encuentra el cristal monocromador que tendrá como función de seleccionar las longitudes de onda de los haces neutrones, los cuales llegarán a la muestra que se encuentra en el segundo eje. Estos haces al entrar en “contacto” con la muestra se dispersarán formando diferentes ángulos, que a la vez va a ser

registrados por tres detectores sensibles de posición ( $\text{He}^3$ ). Los detectores barren un segmento arco centrado en la muestra registrando la intensidad de los neutrones difractados en relación del ángulo formado por el haz incidente y el dispersado (según la Ley de Bragg). La Fig. 1 muestra un esquema del proceso de difracción de neutrones.

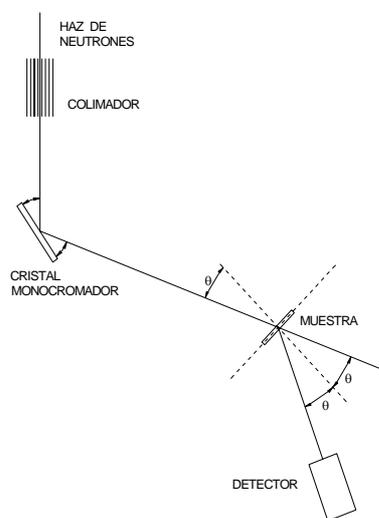


Figura 1. Esquema sobre el proceso de Difracción de Neutrones.

## 3. Condiciones Iniciales para el Diseño

- El lugar de ubicación del sistema mecánico es el conducto de irradiación N°3 del Reactor RP-10.

- Altura de trabajo o altura de dirección del haz de neutrones respecto al piso es de 1300 mm. Sobre esta altura se fijara estructura para la posición del cristal monocromador, de la muestra y el detector.
- Distancia del eje donde se ubica el cristal al segundo eje donde se encuentra la muestra es de 1950 mm .Este valor esta asociado al estudio de fenómeno físico para obtener la difracción, el cual se relaciona la potencia del reactor y el flujo de neutrones.
- Distancia del segundo eje a donde se va ubicar la muestra al detector es de 1000 mm.
- El blindaje del detector tendrá una pared de parafina un espesor de 50 mm.

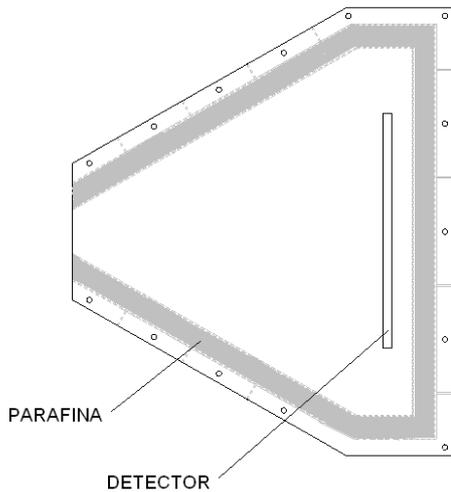


Figura 2. Estructura del blindaje detector.

Con las condiciones de contorno enunciadas líneas arriba se inicia el diseño de la estructura. Cada componente debe cumplir conceptos de facilidad en el ensamblaje y mantenimiento.

#### 4. Cálculos Justificatorios

El análisis se inicia en las oposiciones de las garruchas al desplazarse por los rieles de la estructura correspondiente al segundo eje (carro), y se descompone las fuerzas que actúan en dicho elemento (según referencia). La carga aplicada, "G", en las ruedas o garruchas produce el momento de rozamiento  $G \cdot \frac{d}{2} \cdot f$  donde "d" es el diámetro del eje de la garrucha y f es el

coeficiente de rozamiento en el apoyo de la garrucha.<sup>3</sup>

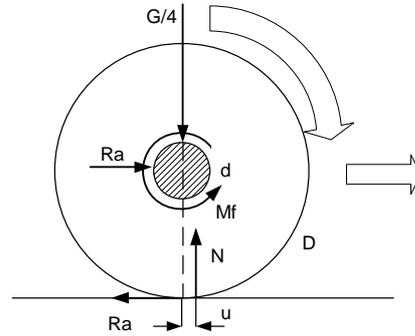


Figura 3. Diagrama de cargas.

- G = Peso del carro
- N = Normal de las garruchas
- Ra = Fuerzas de reaccion del carril interno sobre las garruchas
- Rb = Fuerzas de reaccion del carril externo sobre las garruchas

Se plantea la ecuación de equilibrio:

$$\sum M = 0 \Rightarrow Ra \cdot \frac{D}{2} = Mf + Nxu \Rightarrow Ra = \frac{G}{2D} (f \frac{d}{2} + u) \dots\dots\dots(1)$$

#### 4.1 Análisis de la estructura del primer y segundo eje

La determinación de cargas y las reacciones que se producen en las cuatro garruchas. Se hace el diagrama de cargas de la "carro" cilíndrico (Figs. 4,5), que es el principal sistema a moverse, por que lleva los elementos del blindaje del detector.

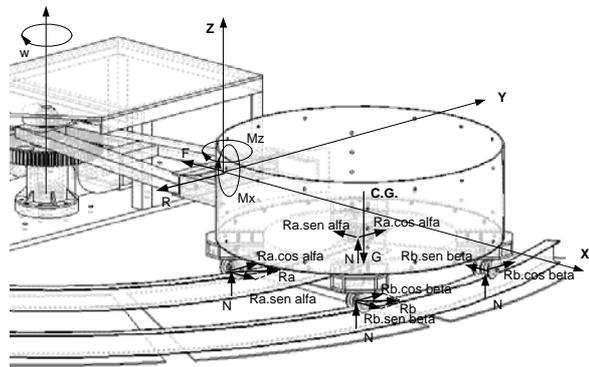


Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del 1º y 2º.

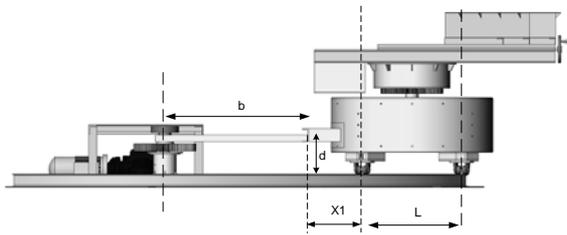


Figura 5. Vista lateral.

Ahora se presentaran, las ecuaciones para determinar las condiciones de equilibrio, en los diferentes ejes referenciales X, Y, Z. <sup>(1),(2)</sup>

$$\text{aceleracion normal} = a_n = \omega^2 \cdot r$$

$$\sum F_x = m \cdot a_n = F = m \cdot [\omega^2 \cdot (D + L/2)]$$

..... (2)

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R = 2Ra \cdot \cos \alpha + 2Rb \cdot \cos \beta$$

..... (3)

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow 4N = G \quad \dots (4)$$

$$\sum M_x = 0 \Rightarrow M_x = (2Ra \cdot \cos \alpha + 2Rb \cdot \cos \beta) \cdot d$$

..... (5)

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow M_z = 2 \cdot Ra \cdot \cos \alpha \cdot X1 + 2Rb \cdot \cos \beta \cdot (X1 + L) + (Ra \cdot \text{sen} \alpha + Rb \cdot \text{sen} \beta) \cdot L$$

.....(6)

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow T_{motriz} = R \cdot b + M_z \quad \dots (7)$$

$$P = T_{motriz} \cdot \omega \quad \dots (8)$$

Reemplazando los datos, tanto el peso ("G") que se distribuye en cuatro partes iguales N para la determinación de las reacciones de las garruchas el cual se utiliza la ecuación (1). El proceso del ajuste de los coeficientes de rozamiento se muestra en el anexo (1). Se obtienen los siguientes resultados:

<b>G (N)</b>	<b>12031</b>
<b>N (N)</b>	<b>3008</b>
<b>Ra (N)</b>	<b>611</b>
<b>Rb (N)</b>	<b>413</b>
<b>Mx (N-m)</b>	<b>618</b>
<b>Mz (N-m)</b>	<b>1657</b>
<b>R (N)</b>	<b>2000</b>

Para determinar la potencia del sistema, se procede en determinar los momentos

expresados en las ecuación (7), En consecuencia se tiene la potencia según la ecuación (8). La velocidad angular es de 2 rpm.

TORQUE (N-m)	3925
VELOCIDAD (RPM)	2
EFICIENCIA MECANICA	0.75
POTENCIA (HP)	1.469

A esto se suma un factor más al cálculo del Torque, por efecto de resistencia de cargas (Fig. 6).

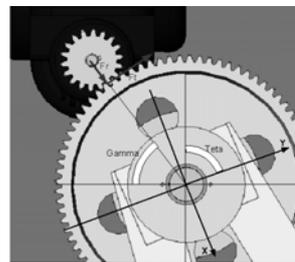


Figura 6. Posición del motoreductor # 1.

Siendo finalmente la potencia para el primer eje:

<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>1.477</b>
----------------------	--------------

#### 4.2 Análisis de cargas del segundo eje y cálculo de la potencia

Este dispositivo esta diseñado para soportar el blindaje donde se aloja el detector. El blindaje del detector esta cubierto de parafina, y en el otro extremo se encuentra un contrapeso para equilibrar el sistema (Fig. 7).

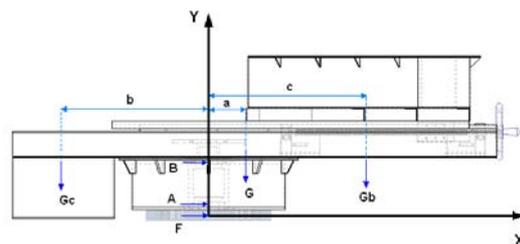


Figura 7. Estructura de sistema del Blindaje + Detección.

a (mm) =	143
b (mm) =	571
c (mm) =	570

Se establecen las condiciones de equilibrio, identificándose las diferentes cargas y su posición, en este caso se muestran las cargas solo en el plano XY, pero a continuación se muestran las cargas que se producen por el piñón del motoreductor de este segundo eje.

Para este nuevo análisis se realiza un diagrama de cargas en las tres dimensiones como se muestra en las Figs. 8, 9.

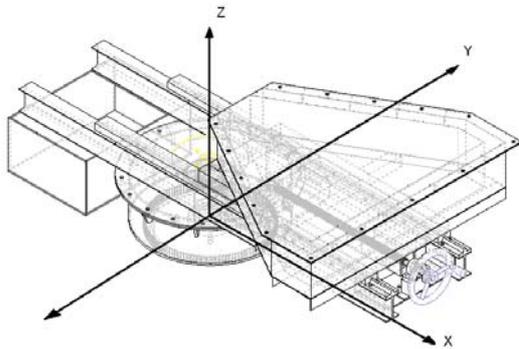


Figura 8. Sistema referencial XYZ.

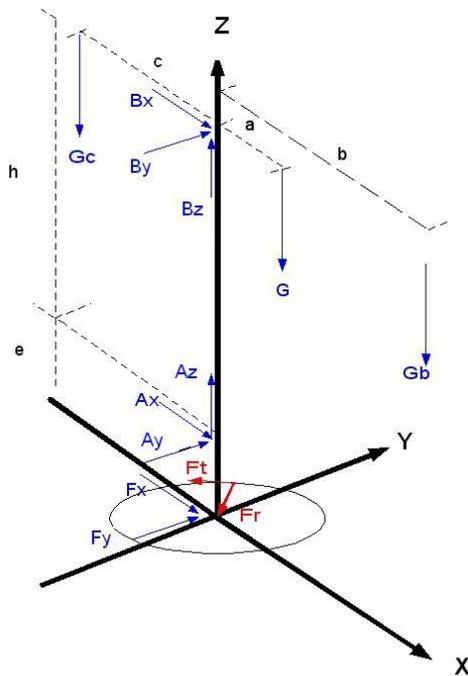


Figura 9. Diagrama de cuerpo libre para el sistema.

A partir de esquema se desarrolla las condiciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x + B_x + F_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + B_y = F_y \quad (2)$$

$$\sum F_z = 0$$

$$A_z + B_z = G_c + G + G_b \quad (3)$$

$$\sum M_B = 0 \quad \text{Respecto al eje "X"}$$

$$A_y \cdot h - F_y \cdot (h + e) = 0$$

$$A_y = \frac{F_y \cdot (h + e)}{h} \quad (4)$$

$$\sum M_B = 0 \quad \text{Respecto al eje "Y"}$$

$$G_c \cdot c - G \cdot a - G_b \cdot b + F_x \cdot (h + e) + A_x \cdot h = 0$$

$$A_x = \frac{-G_c \cdot c + G \cdot a + G_b \cdot b - F_x \cdot (h + e)}{h} \quad (5)$$

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Respecto al eje "X"}$$

$$B_y \cdot h - F_z \cdot e = 0$$

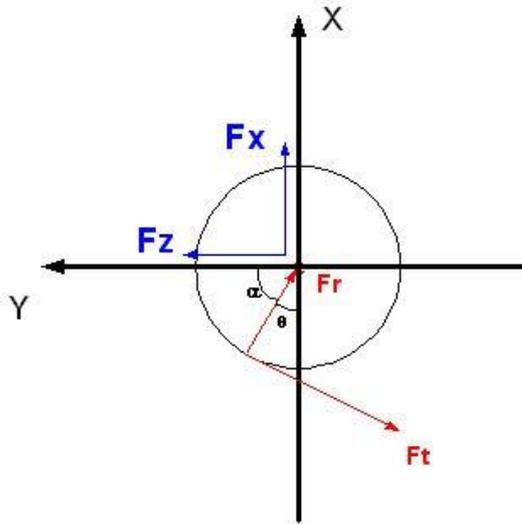
$$B_y = \frac{F_z \cdot e}{h} \quad (6)$$

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Respecto al eje "Y"}$$

$$G_c \cdot c - G \cdot a - G_b \cdot b + F_x \cdot e - B_x \cdot h = 0$$

$$B_x = \frac{G_c \cdot c - G \cdot a - G_b \cdot b + F_x \cdot e}{h} \quad (7)$$

En la Fig. 10 se muestra las cargas radial y tangencial sobre el engranaje.



**Figura 10.** Cargas producido por el piñón hacia el engranaje.

Donde:

$F_t$  : Carga tangencial

$F_r$  : Carga radial

$$F_r = F_t \cdot \tan \phi \quad (8)$$

$$F_x = F_t \cdot (\tan \phi \cdot \cos \theta - \sin \theta) \quad (9)$$

$$F_y = -F_t \cdot (\tan \phi \cdot \sin \theta - \cos \theta) \quad (10)$$

G<sub>b</sub>: Masa del blindaje (N)  
 G<sub>c</sub> : Masa del Contrapeso (N)  
 G : Masa de la estructura (N)

Datos obtenidos a través del modelamiento respecto al valor del peso de la estructura, G<sub>b</sub> es el peso del blindaje de material de parafina y peso G<sub>c</sub> eso del contrapeso.

G : 2021 N  
 G<sub>b</sub>: 2305 N  
 G<sub>c</sub>: 2815 N

$$\sqrt{A_x^2 + A_y^2} = A_{xy} \quad (11)$$

$$\sqrt{B_x^2 + B_y^2} = B_{xy} \quad (12)$$

$$\sqrt{A_x^2 + A_y^2} = A_{xy} \quad (13)$$

$$\sqrt{B_x^2 + B_y^2} = B_{xy} \quad (14)$$

$$T = f_A \cdot A_{xy} \cdot \frac{D_A}{2} + f_B \cdot B_{xy} \cdot \frac{D_B}{2} + f_A \cdot (A_z + B_z) \cdot \frac{D_A}{2} \dots \dots \dots (15)$$

$$T = F_t \cdot r \quad F_t = \frac{T}{r} \quad (16)$$

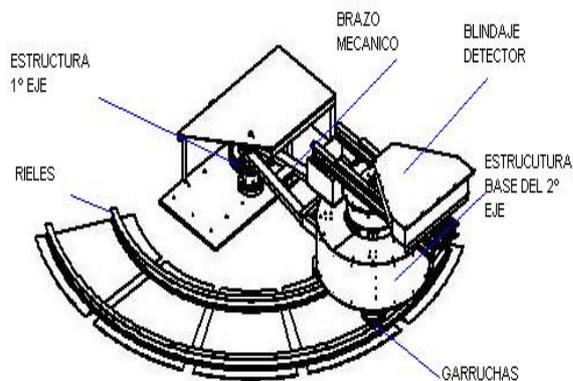
El desarrollo de este sistema de ecuaciones, se utiliza un proceso de iteración (ver anexo) en el cual se da un valor inicial al Ft, y este valor se va reemplazando en las ecuaciones (4), (5), (6) (7), para conocer el valor de las ecuaciones (13) y (14) y reemplazarse en la ecuación (15) el cual se calcula el Torque (ecuación (15) ) y a partir de ahí se vuelve calcular el nuevo Torque, y este proceso se repite hasta encontrar el valor que cumple con el sistema de ecuaciones.

Fx (N)	17
Fy (N)	-14
Ay (N)	17
Ax (N)	-24
By (N)	-3
Bx (N)	7
Az+Bz (N)	7147
A (N) xy	29
B (N) xy	7
Ft (N)	21
T (N-m)	5

El torque obtenido es de muy poca oposición, que al movimiento de 2 rpm genera una potencia menor a 50 W, así que por lo tanto se selecciona con motoreductor de ¼ Hp para accionar al sistema giratorio.

### 5. Diseño Terminado

El diseño terminado se muestra en la Fig 11.



**Figura 11.** Vista isométrica del sistema mecánico difractómetro de neutrones.

Las principales partes de dicha estructura son

- Estructura del primer eje
- Brazo mecánico
- Estructura de base del segundo eje
- Estructura blindaje – Detector

Garruchas

## 6. Discusión

La potencia estimada para el primer eje es de 1.477 HP, es la potencia necesaria para accionar todo el sistema (Figura 3). Es preciso resaltar que los coeficientes de rozamiento utilizados son referenciales, por los que las condiciones finales se deben ajustar a las condiciones reales de funcionamiento. De igual manera, se obtiene la potencia del segundo eje, que es menor a 0.25 HP.

En el diseño mecánico del sistema exige otros cálculos que no se mencionan, como es la deflexión de vigas del soporte del blindaje detector, resistencia del primer eje, selección de rodamientos, diseño de engranajes, selección de cuñas para ejes, costo, entre otros [7].

## 7. Conclusiones

En el diseño mecánico desarrollado ha sido finalizado, instalado y probado en la facilidad de irradiación N° 3 del reactor RP 10. La potencia calculada se entiende como la potencia mínima a aplicarse al sistema, al

cual se decidió se agregar un factor de seguridad de 2, para evitar problemas en el proceso de funcionamiento por otros factores no estimados.

## Agradecimientos

Se agradece a las siguientes personas que apoyaron en este trabajo: Prof. Edgard Medina Flores, Dr. Walter Estrada, Dr. Juan Rodríguez, Ing. Enrique Sarmiento, Ing. Mario Mendoza, Ing. Oscar Baltuano, Tec. Yuri Hernández, Lic. Marco Munive, Bach. Gabriel Bautista y otros.

## Bibliografía

1. J. E. Shigley, C. R Mischke. *Diseño en ingeniería Mecánica*, McGraw Hill, México 1990.
2. M. F. Spotts, T. E. Shoup. *Elementos de Maquinas*. Pearson Educación. México 2002.
3. L. Targhetta Arriola, A. Lopez Roa, *Transporte y Almacenamiento de materias primas en la industria básica*. Editorial Blume. España 1970.
4. M. Munive. *Caracterización en Energía del haz de neutrones Térmicos*. Tesis 2000. Lima, Perú.
5. Instituto Max Von Laue – Paul Langevin. *Neutron Research Facilities at the ILL High Flux Reactor*. Edited by Office of the Scientific Secretary – ILL. France 1983.
6. Revista Peruana de Física. 3(1). *Seminario internacional: Cincuentenario del Descubrimiento de la Fisión Nuclear*. Lima, Perú 1989.
7. Gago, J. Tesis en Ing. Mecánica. Manuscrito preliminar.