

CAPITULO 4

4. CONSTRUCCION, MONTAJE Y PRUEBA DE RESISTENCIA DE UN PROTOTIPO MAGNETORREOLOGICO.

En este capítulo se muestra una aplicación sencilla de los FMRs. El prototipo MR propuesto es un actuador cilíndrico, el cual va a ser sometido a una fuerza de compresión (peso), y se evaluará la resistencia que presente dentro de un contexto estático. Además, se presentará un breve análisis de la potencia disipada y de los costos de operación de dicho equipo.

4.1. Características de los elementos a emplear para la construcción y montaje de un prototipo MR.

Además del FMR y de la batería (fem), descritos en el capítulo anterior, se va a precisar de lo siguiente:

Actuador Cilíndrico: Es un dispositivo que convierte energía hidráulica o neumática en energía mecánica. Dentro de él se colocará el FMR.



Figura 4.1 Actuador Cilíndrico.

Consta de un cilindro, que constituye el cuerpo cerrado por dos cabezales, y de un émbolo en su interior que transmite su desplazamiento al exterior por medio de un vástago.

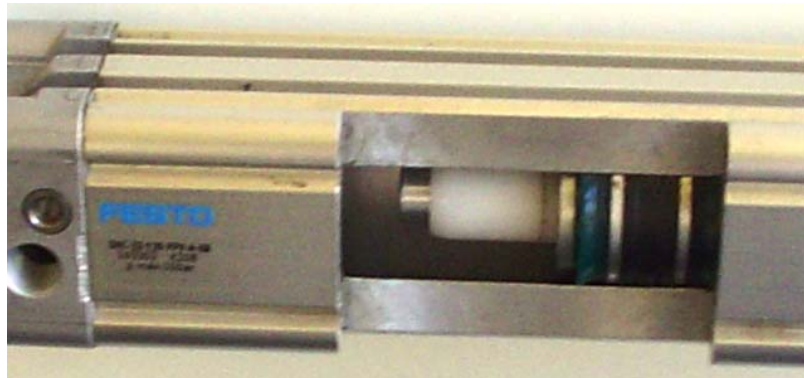


Figura 4.2 Embolo del cilindro.

Sus datos técnicos son:

TABLA 22

Especificaciones Técnicas del Actuador Cilíndrico

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	DSN-25-80-P
<i>Tipo</i>	Cilindro normalizado de doble efecto
<i>Norma</i>	ISO 6432
<i>Diámetro del émbolo (mm)</i>	25
<i>Altura de la cavidad inferior (mm)</i>	30
<i>Carrera (mm)</i>	80
<i>Amortiguación</i>	Sin posibilidad de regulación
<i>Presión de funcionamiento (bar)</i>	1 - 10
<i>Material del vástago</i>	Acero inoxidable de aleación fina
<i>Material del cuerpo</i>	Acero inoxidable de aleación fina

En el Apéndice K se encuentra información técnica detallada de este cilindro.

Caballote: Servía para la sujeción del cilindro.



Figura 4.3 Caballete del cilindro.

Sus datos son:

TABLA 23

Especificaciones Técnicas del Caballete

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	LBN-20/25
<i>Tipo</i>	De fijación orientable
<i>Material</i>	Acero cincado

Racor: Es una conexión que permite unir al actuador con las mangueras de alimentación de FMR.



Figura 4.4 Racor para el actuador.

Sus datos son los siguientes:

TABLA 24

Especificaciones Técnicas del Racor

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	QS-1/8-6
<i>Tipo</i>	Racor rápido roscado
<i>Construcción</i>	Principio de empuje y tracción
<i>Material del cuerpo</i>	Latón

Manguera: Sirven para transportan el FMR dentro y fuera del actuador.



Figura 4.5 Manguera.

Sus datos son:

TABLA 25

Especificaciones Técnicas de la Manguera

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	PUN-6x1-BL
<i>Tipo</i>	Tubo de material sintético
<i>Diámetro interior (mm)</i>	4
<i>Diámetro exterior (mm)</i>	6
<i>Presión máxima (bar)</i>	10

Bobina: Sirve para crear el campo magnético necesario. En las terminales del alambre se colocaron un par de lagartos para la

correspondiente conexión con la batería. Se la construyó sobre el actuador. Nótese que la altura de la bobina es igual a la altura de la cavidad inferior del actuador cilíndrico (Tabla 22).



Figura 4.6 Bobina del actuador.

Sus datos son los siguientes:

TABLA 26

Datos de la Bobina del Actuador

<i>Material conductor</i>	Alambre de Cobre # 16
<i>Número de vueltas (N)</i>	272
<i>Longitud (L)</i>	0,03 metros
<i>Resistencia</i>	0,8 Ω
<i>Corriente que circula (I)</i>	15,31 A

Aceiteras: Se las utilizó para suministrar y almacenar el FMR. Se emplearon dos: a la primera se le acopló un racor en la salida para tener control en la alimentación de la suspensión; y a la segunda se le quitó la parte del abastecimiento de la tapa para que sirva de reservorio del FMR.



Figura 4.7 Aceiteras. a) De suministro. b) De almacenamiento.

Canal: Servía como base del prototipo. Es un canal, cuya designación es MC6x12. Para usarlo como soporte, se procedió a taladrar los agujeros para la fijación del cilindro. Luego de esto, se le colocó pintura anticorrosiva.

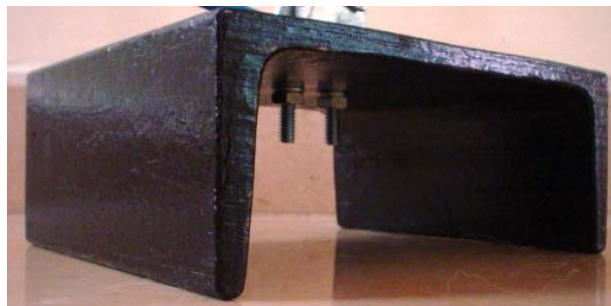


Figura 4.8 Canal.

En el Apéndice L se encuentra la especificación técnica del mencionado perfil.

Pernos, arandelas y tuercas de sujeción: Servían para sujetar el caballete de fijación con el canal. El perno es de zinc, de cabeza achatada de cruz, y su medida es $\frac{1}{4}$ -20 x $1\frac{1}{4}$.



Figura 4.9 Pernos, arandelas y tuercas de sujeción.

Masas Patrón: Son las cargas que se utilizaban para evaluar la resistencia del actuador cilíndrico. Su marca es Ohaus, y se emplearon masas de 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1.000 gramos.



Figura 4.10 Masas Patrón.

Tuerca y placa de soporte de las masas: Se colocaba encima del cilindro para que sirva de apoyo cuando se ubicaban las masas patrón.



Figura 4.11 Tuerca y placa de soporte de las masas patrón.

4.2. Cálculo de B, H y μ . [13]

Con los datos de la bobina (Tabla 26), se procede a calcular el valor de H:

$$H = \frac{NI}{L}$$

$$H = \frac{272 (15,31A)}{0,03 \text{ m}}$$

$$H = 138.810,67 \text{ A/m}$$

Con este valor y sabiendo la fracción de hierro por volumen del FMR, se calcula el valor de B con la ecuación 3.1:

$$B = 1,91(\pi^{1,133}) \left[1 - e^{(-10,97 \times \mu_0 \times H)} \right] + H \mu_0$$

$$B = 1,91(0,2^{1,133}) \left[1 - e^{(-10,97 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 138.810,67)} \right] + 138.810,67 (4\pi \times 10^{-7})$$

$$B = 0,44 \text{ Tesla}$$

Entonces, la permeabilidad del FMR es:

$$\mu_{\text{FMR}} = \frac{B}{H \mu_0}$$

$$\mu_{\text{FMR}} = \frac{0,44 \text{ T}}{138.810,67 \text{ A/m} (4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A})}$$

$$\mu_{\text{FMR}} = 2,5$$

4.3. Procedimiento experimental.

- a) Acoplar el caballete de fijación con el canal usando los pernos, arandelas y tuercas de sujeción.
- b) Montar el actuador cilíndrico con la bobina en el caballete de fijación.
- c) Colocar los racores (superior e inferior) en los respectivos orificios del actuador.

- d)** Conectar los tramos de mangueras en los racores del actuador.

- e)** Llenar la aceitera de suministro con FMR.

- f)** Conectar la manguera superior con la aceitera de almacenamiento, y la manguera inferior con la aceitera de suministro.

- g)** Enroscar la tuerca y la placa de soporte de las masas en la parte superior del vástago del actuador.

- h)** Levantar manualmente el vástago y rellenar el actuador con el FMR de la aceitera de suministro. Es importante que toda la longitud de la carrera del cilindro se encuentre extendida. Seguir accionando la aceitera hasta que el vástago quede suspendido sin ayuda.

- i)** Conectar los lagartos de la bobina con la batería.

- j)** Comenzar a colocar cargas (masas patrón) en la placa de soporte del cilindro.



Figura 4.12 Funcionamiento del Prototipo (Actuador Cilíndrico) MR.

- k) En la respectiva tabla de datos y resultados anotar el comportamiento (resistencia a la carga aplicada) del FMR con cada masa propuesta.

- l) Agregar masa hasta que el vástago comience a descender. Este valor límite es el que se utiliza para el análisis hidrostático del actuador cilíndrico.

4.4. Tabla de datos y resultados.

Para encontrar la masa máxima que soporta el FMR dentro del actuador cilíndrico, se comenzó a colocar cargas sobre éste. Entonces, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

TABLA 27

**Datos y Resultados de la Prueba de Resistencia del
Prototipo MR propuesto**

<i>Dato</i>	<i>Masa (g)</i>	<i>Movimiento en el vástago</i>
1	100	No
2	200	No
3	300	No
4	400	No
5	500	No
6	600	No
7	700	No
8	800	No
9	900	No
10	1000	No
11	1100	No
12	1200	No
13	1300	No
14	1400	No
15	1500	No

<i>Dato</i>	<i>Masa (g)</i>	<i>Movimiento en el vástago</i>
16	1600	Sí, comienza a descender
17	1550	Sí, comienza a descender
18	1520	Sí, comienza a descender
19	1510	Sí, comienza a descender
20	1505	Sí, comienza a descender
21	1501	Sí, comienza a descender



Figura 4.13 Prueba de resistencia del Prototipo MR.

a) Con 1.500 gramos. b) Con 1501 gramos.

Entonces, la carga límite que puede soportar el vástago del actuador cilíndrico sin moverse es:

$$\text{Masa máxima} = 1.500 \text{ g} = 1,5 \text{ Kg}$$

4.5. Análisis del resultado obtenido.

Por tratarse de un análisis hidrostático, con la masa máxima se puede determinar la fuerza generada en el actuador cilíndrico porque no existe una fuerza de empuje. Trazando un gráfico de la situación, se tiene lo siguiente:

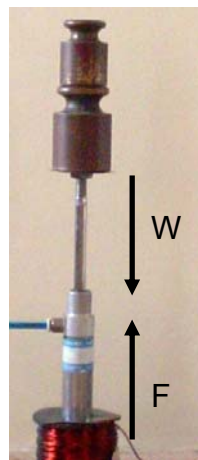


Figura 4.14 Diagrama hidrostático del Prototipo MR propuesto.

donde F es la fuerza de arrastre (resistencia) del FMR, y W es la fuerza producida por la masa.

Entonces:

$$\text{Empuje} = 0$$

$$F - W = 0$$

$$F = W = \text{masa} \times \text{gravedad} = 1,5 \text{ Kg} (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$F = 14,7 \text{ Newton}$

Para hallar el valor de la presión, producto de la fuerza de resistencia del FMR, se tiene que encontrar el área y el volumen de la suspensión dentro del actuador cilíndrico. Los datos usados a continuación se encuentran en la Tabla 22.

$$\text{Area}_{\text{FMR}} = \pi r_{\text{émbolo}}^2 = \pi (0,0125 \text{ m})^2 = \underline{\underline{4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{FMR}} = \pi r_{\text{émbolo}}^2 h_{\text{cavidad inferior}} = \pi (0,0125 \text{ m})^2 (0,03 \text{ m})$$

$$\text{Volumen}_{\text{FMR}} = \underline{\underline{1,473 \times 10^{-5} \text{ m}^3}} = \underline{\underline{14,73 \text{ ml}}}$$

El valor máximo de la presión del prototipo MR propuesto está dado por:

$$F = P_{\text{FMR}} A_{\text{FMR}}$$

$$P_{\text{FMR}} = \frac{F}{A_{\text{FMR}}} = \frac{14,7 \text{ Newton}}{4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$P = 29.938,90 \text{ Pa} = 0,29 \text{ bar} = 4,34 \text{ psi}$$

4.6. Cálculo de la potencia total disipada.

Para determinar la potencia total de la batería se debe conocer el valor de la resistencia interna de la misma. Sabiendo los datos de la fem (Tabla 7) y de la bobina del actuador (Tabla 26), la resistencia en cuestión está dada por la ecuación 1.5:

$$\varepsilon = IR_{\text{bobina}} + Ir_{\text{interna}}$$

$$r_{\text{interna}} = \frac{\varepsilon - IR_{\text{bobina}}}{I}$$

$$r_{\text{interna}} = \frac{12,90 \text{ V} - (15,31 \text{ A} \times 0,8 \Omega)}{15,31 \text{ A}}$$

$$\underline{\underline{r_{\text{interna}} = 0.043 \Omega}}$$

De la ecuación 1.6 se tiene que:

$$P_{\text{resist. carga}} = I^2 R = (15,31 \text{ A})^2 (0,8 \Omega) = \underline{\underline{187,52 \text{ W}}}$$

$$P_{\text{resist. interna}} = I^2 r = (15,31 \text{ A})^2 (0,043 \Omega) = \underline{\underline{10,08 \text{ W}}}$$

Entonces:

$$P_{\text{total fem}} = P_{\text{resist. carga}} + P_{\text{resist. interna}}$$

$$P_{\text{total fem}} = 187,52 \text{ W} + 10,08 \text{ W}$$

$P_{\text{total fem}} = 197,60 \text{ W}$

De lo cual se deduce que:

$$\text{Porc. resist. carga} = \frac{P_{\text{resist. carga}}}{P_{\text{total fem}}} \times 100\% = \frac{187,52 \text{ W}}{197,60 \text{ W}} \times 100\% = \underline{\underline{94,90\%}}$$

$$\text{Porc. resist. interna} = \frac{P_{\text{resist. interna}}}{P_{\text{total fem}}} \times 100\% = \frac{10,08 \text{ W}}{197,60 \text{ W}} \times 100\% = \underline{\underline{5,10\%}}$$

4.7. Costos de operación del actuador cilíndrico MR.

Dado que el prototipo MR funciona con una batería, el único costo que habría que considerar sería el de la recargada ésta.

La batería opera dentro de los rangos requeridos de potencial eléctrico durante 72 minutos. El prototipo MR va a trabajar como cualquier cilindro neumático, es decir sólo breves instantes; por lo cual, en el más crítico de los casos, la fem usada durará un día. Para que la fuente de voltaje vuelva a estar apta, se usará un ***Cargador de Batería.***



Figura 4.15 Cargador de Batería.

Los datos técnicos son los siguientes:

TABLA 28

Especificaciones Técnicas del Cargador de Batería

<i>Marca</i>	Incar
<i>Tipo</i>	Autorregulable
<i>Voltaje (V)</i>	110
<i>Intensidad (A)</i>	5
<i>Tiempo de recarga (H)</i>	5

Para cargar una batería, se recomienda conectar primero el borne positivo, y después el negativo.



Figura 4.16 Proceso de recargada de Batería.

Se procede a calcular la potencia de este equipo:

$$\text{Potencia} = \text{Intensidad} \times \text{Voltaje}$$

$$\text{Potencia} = 5 \text{ A} (110 \text{ V})$$

$$\underline{\underline{\text{Potencia} = 550 \text{ W} = 0,55 \text{ KW}}}$$

El consumo de energía del cargador está dado por:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} \times \text{tiempo de funcionamiento}$$

$$\text{Consumo} = 0,55 \text{ KW} (5 \text{ H})$$

$$\underline{\underline{\text{Consumo} = 2,75 \text{ KWH}}}$$

Sabiendo que el costo de 1 KWH es de \$ 0,10, el costo de operación diario de la recargada de la batería es:

$$\text{Costo de operación diario} = \text{Consumo} \times \text{Factor}$$

$$\text{Costo de operación diario} = 2,75 \text{ KWH} \left(\frac{\$ 0,10}{1 \text{ KWH}} \right)$$

$$\underline{\underline{\text{Costo de operación diario} = \$ 0,275}}$$

Si a este costo de operación lo multiplico por un mes laboral (20 días), se obtiene el costo de operación mensual del dispositivo

MR:

Costo de operación mensual = Costo de operación diario x tiempo

Costo de operación mensual = \$ 0,275 (20 días)

Costo de operación mensual = \$ 5,50

Costo de operación mensual = \$ 5,50