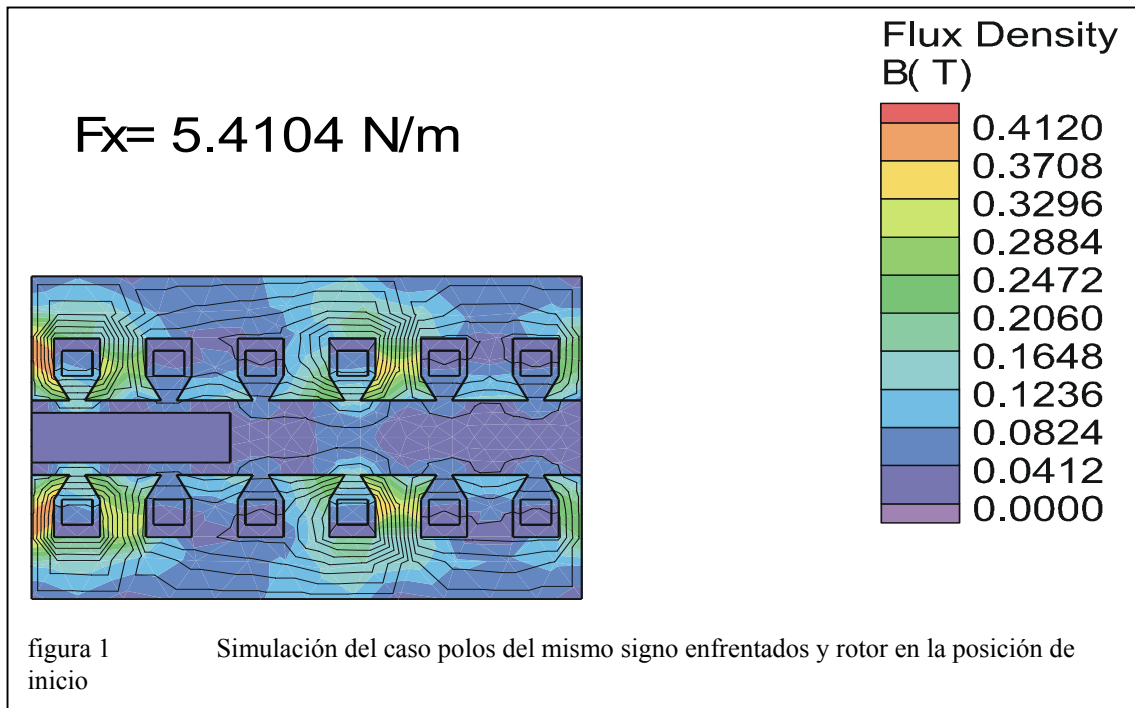
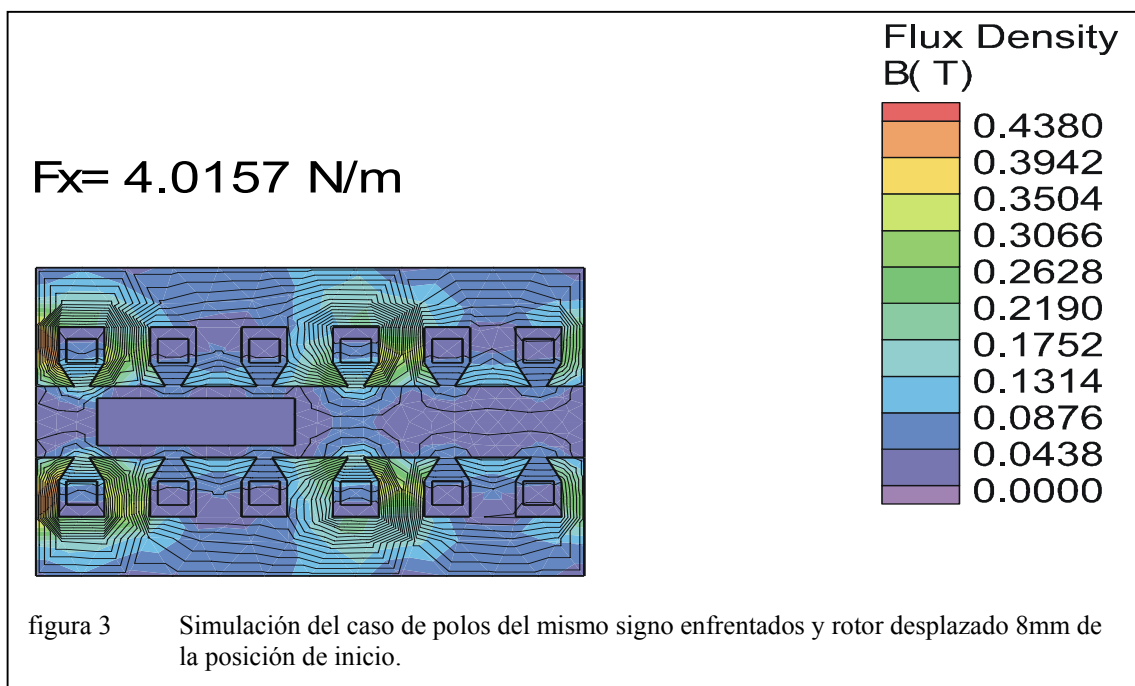
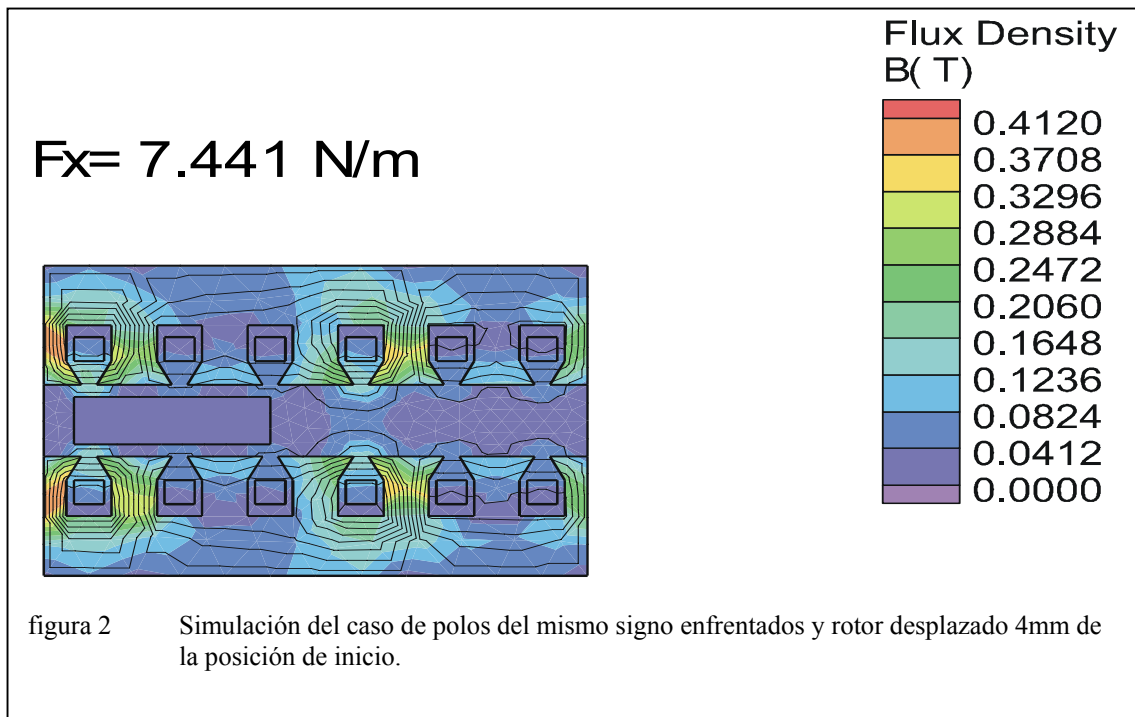
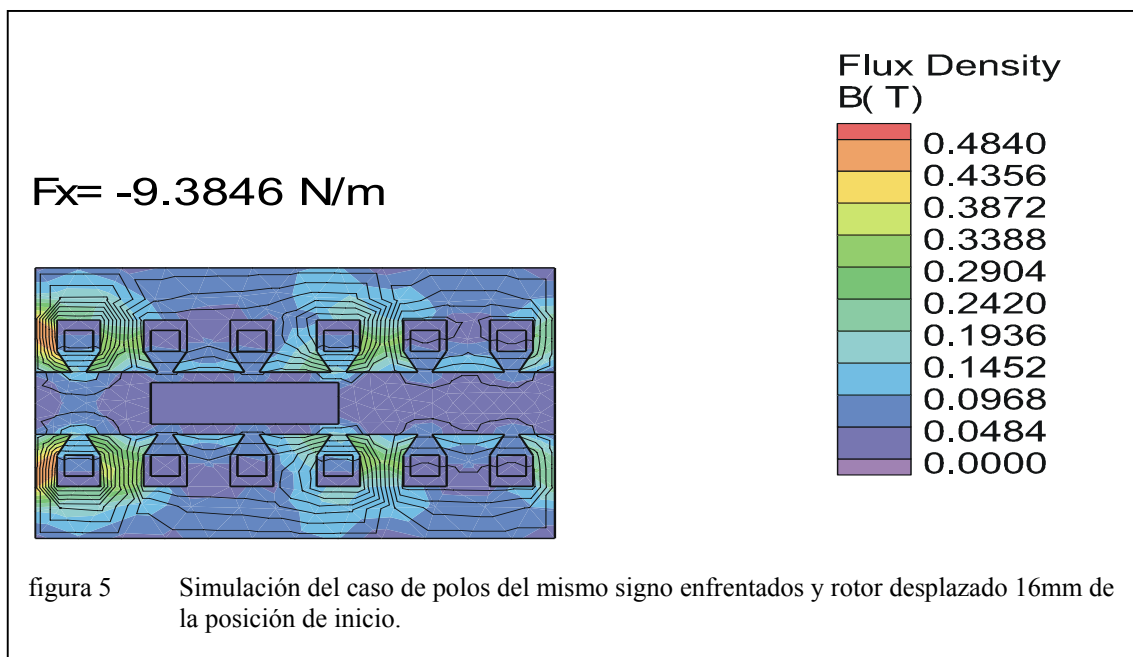
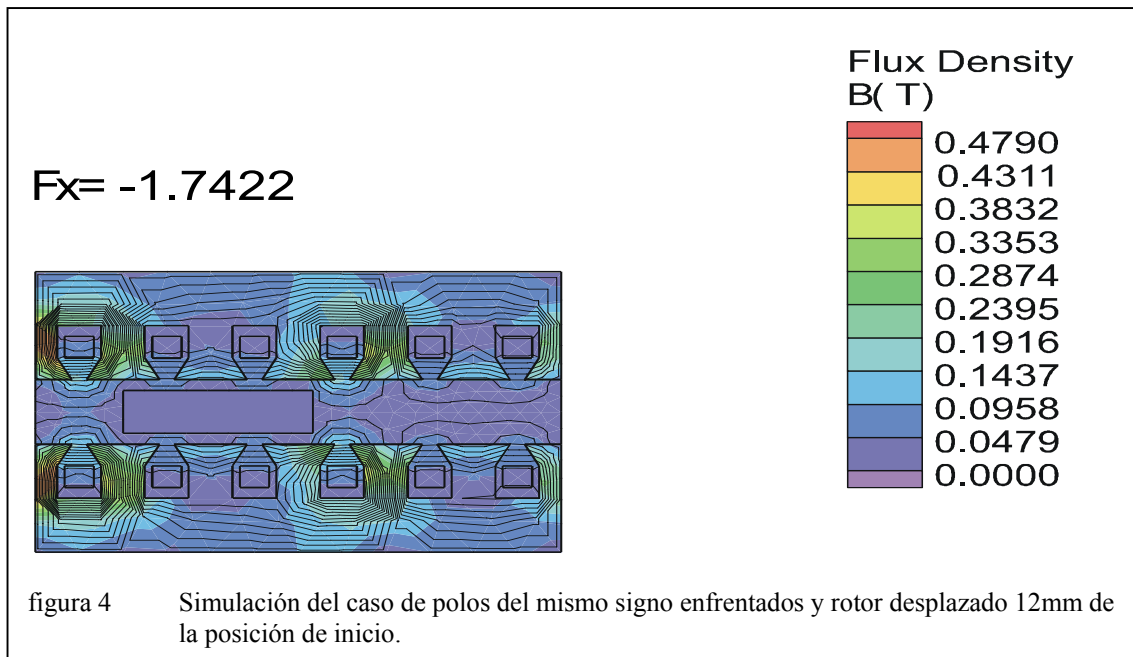


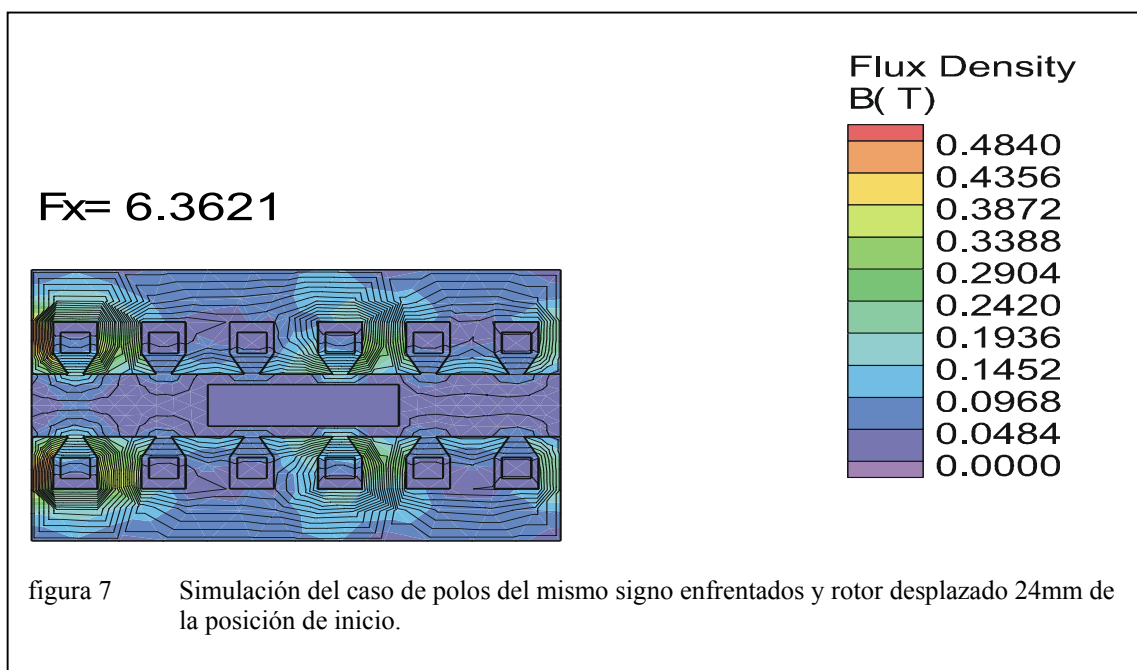
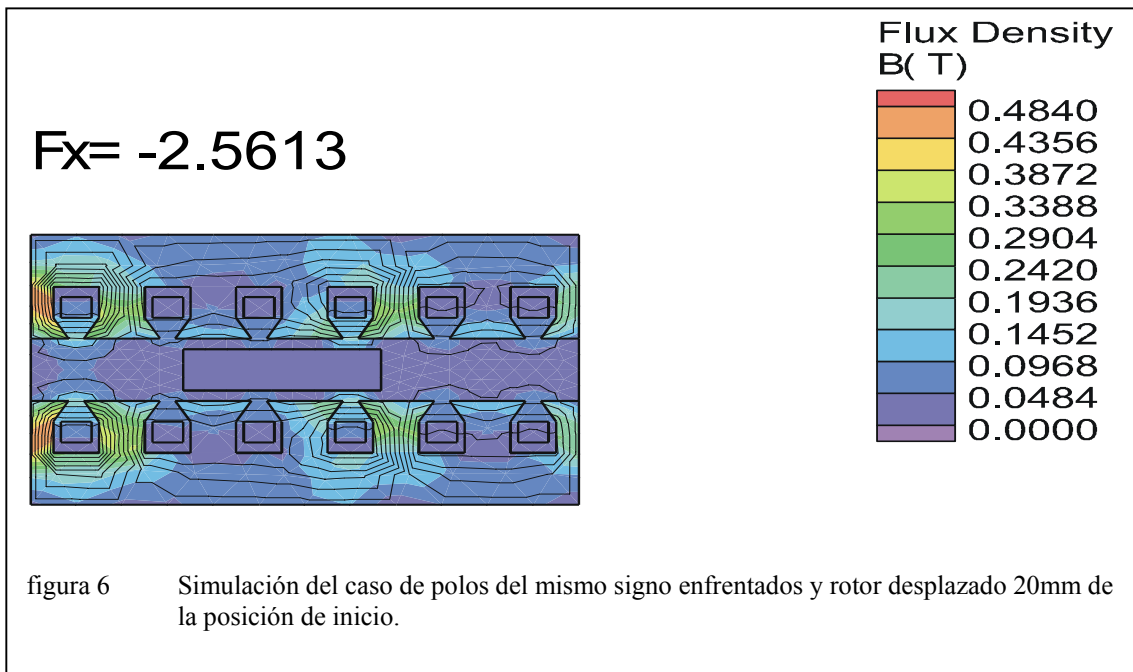
A2 Motor de flujo axial

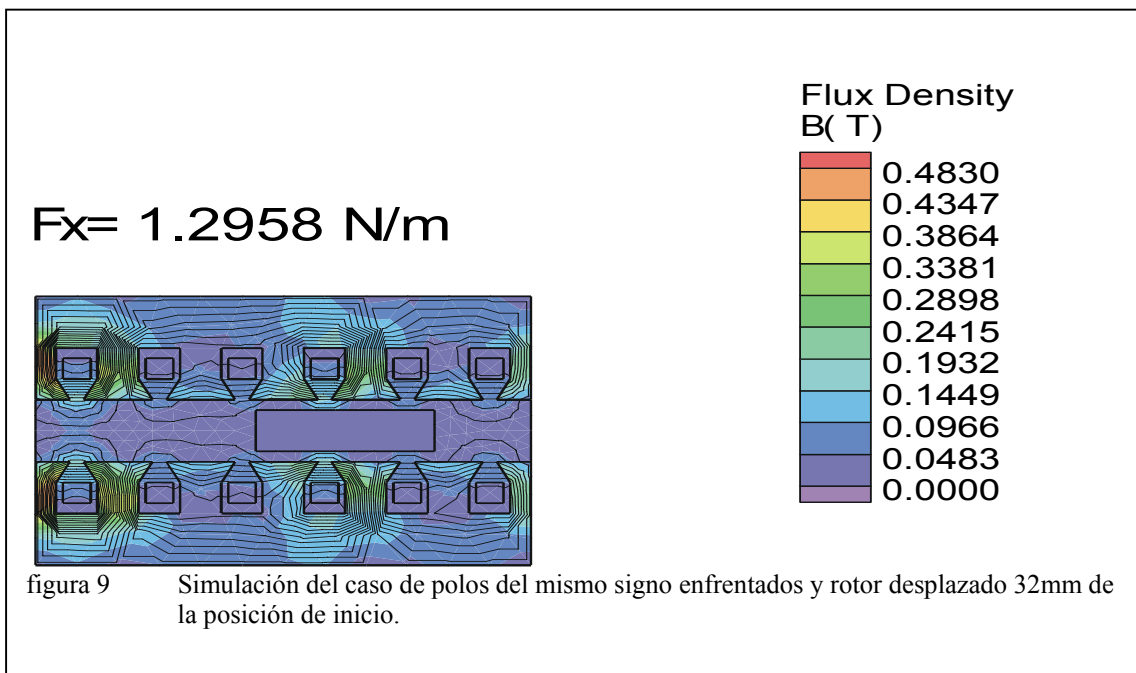
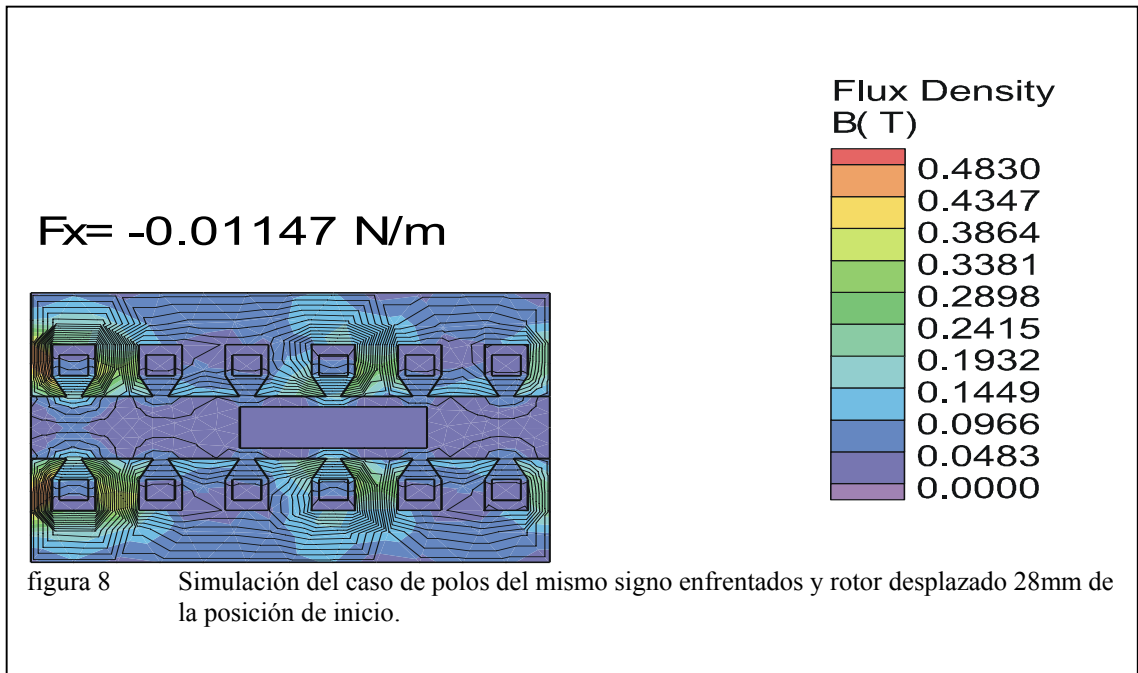
A2.1 Simulaciones en el caso de polos de igual polaridad encarados:

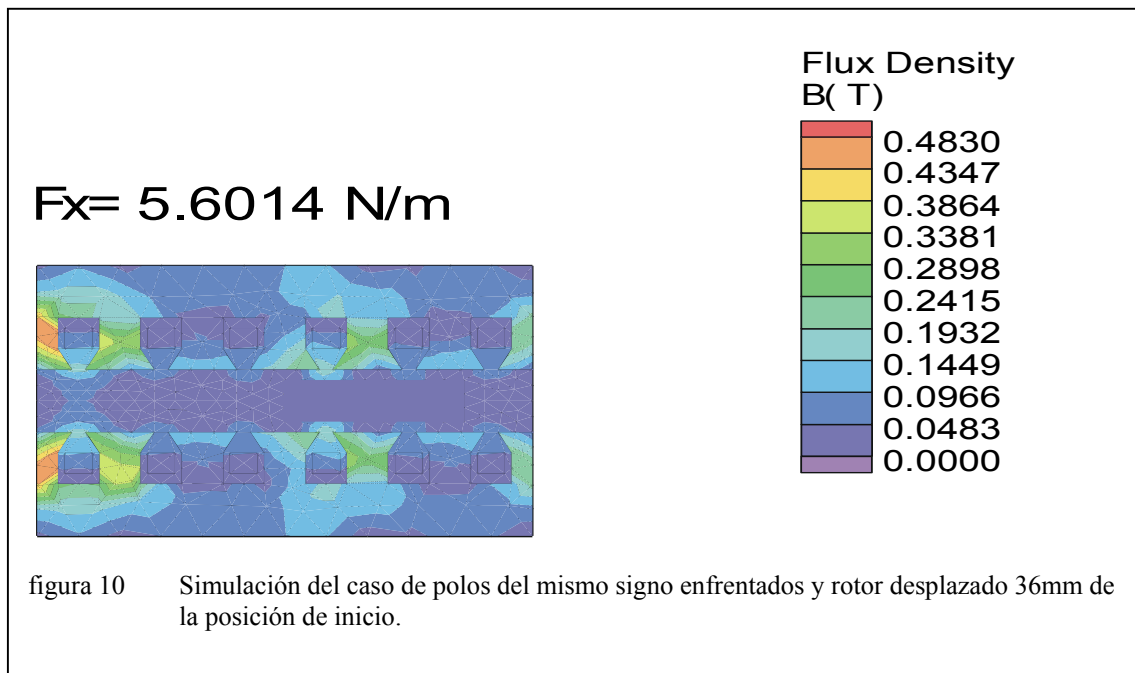




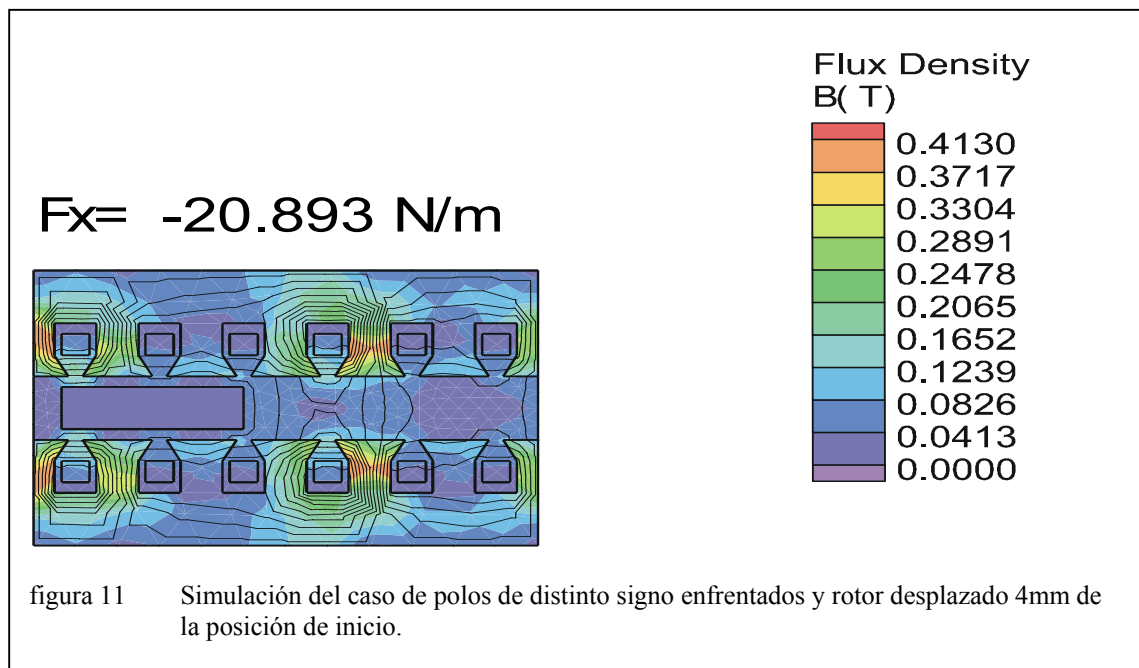


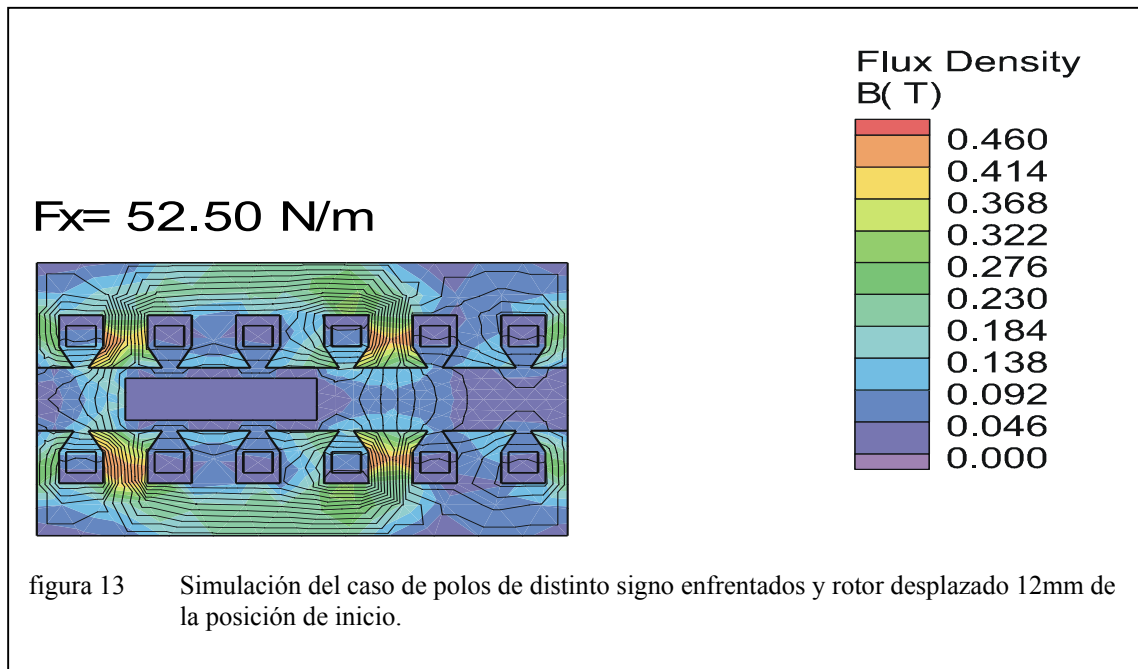
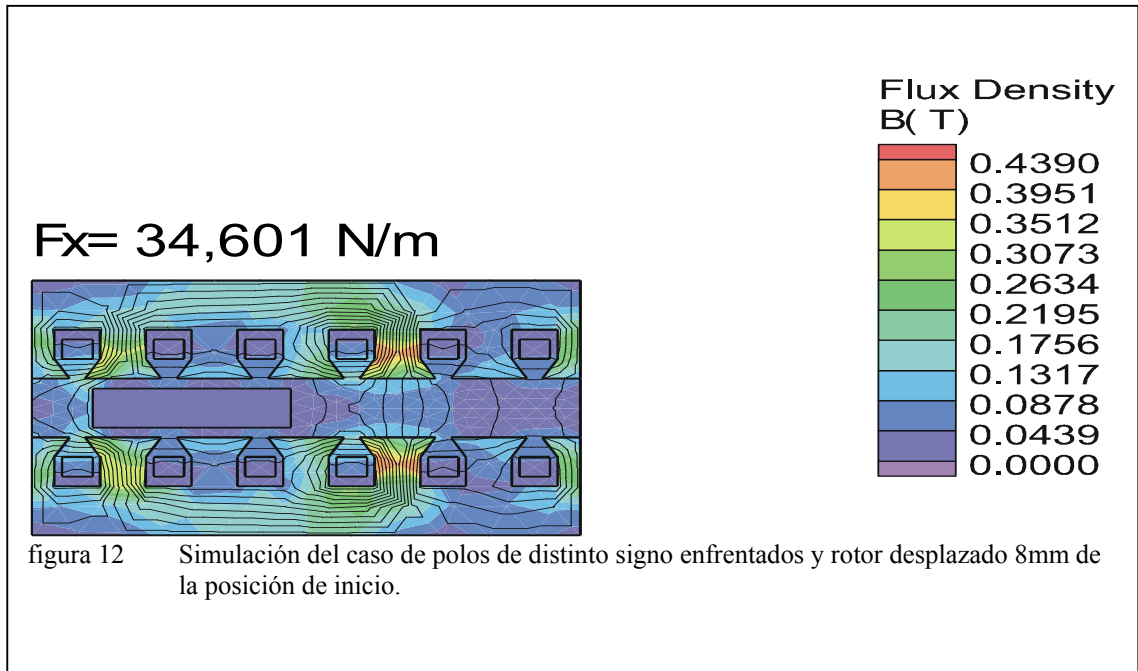


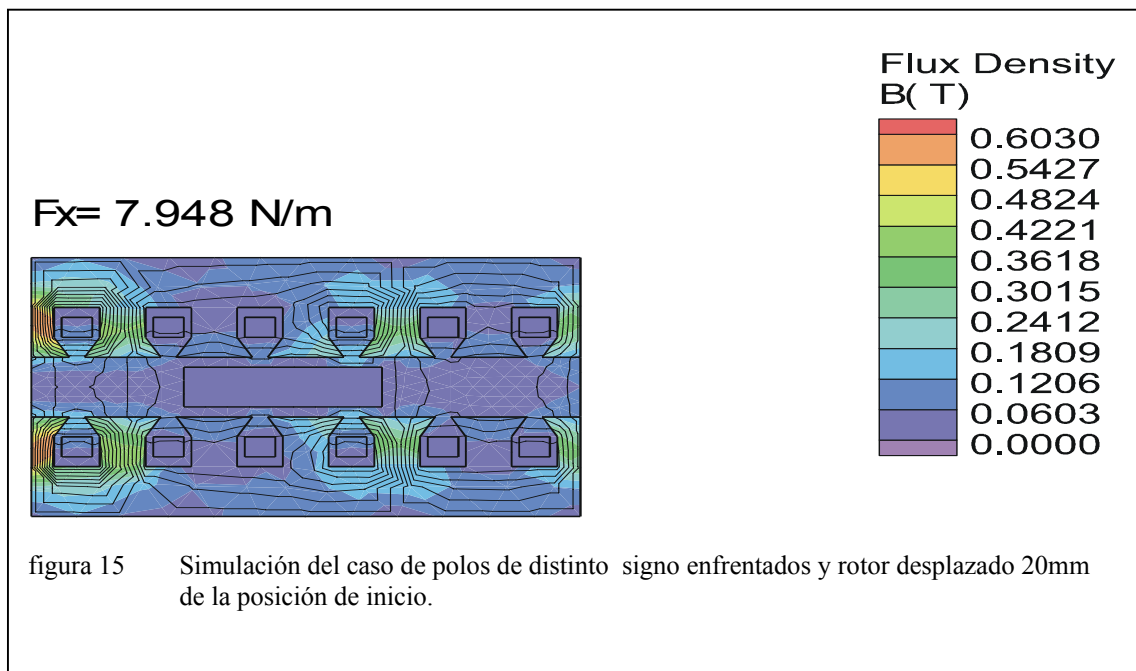
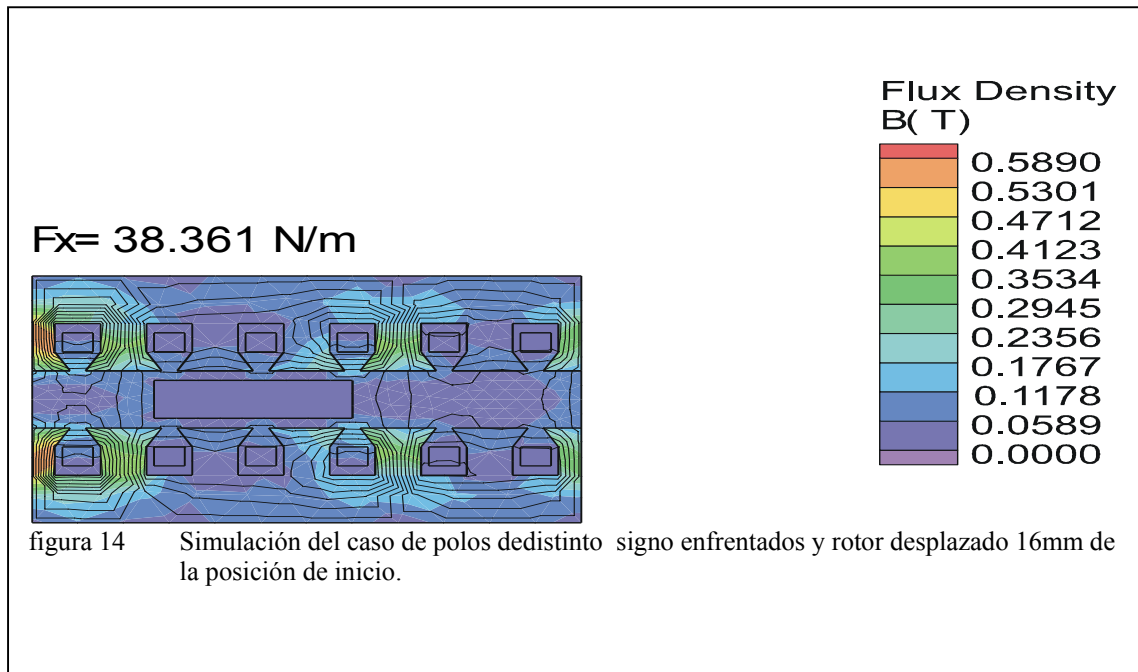


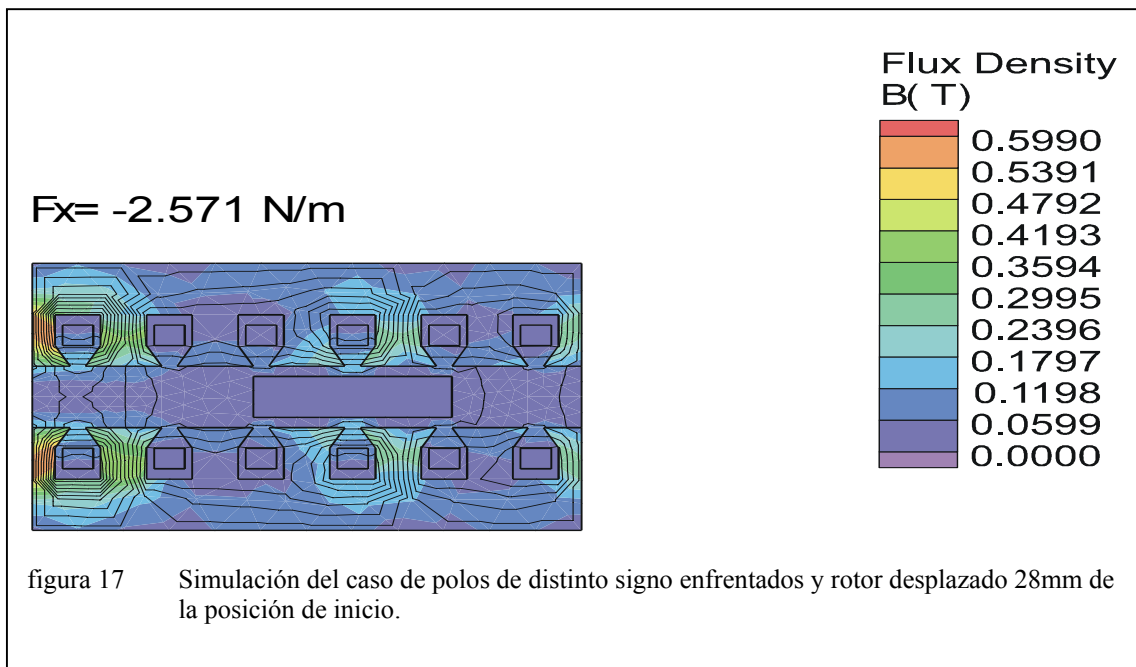
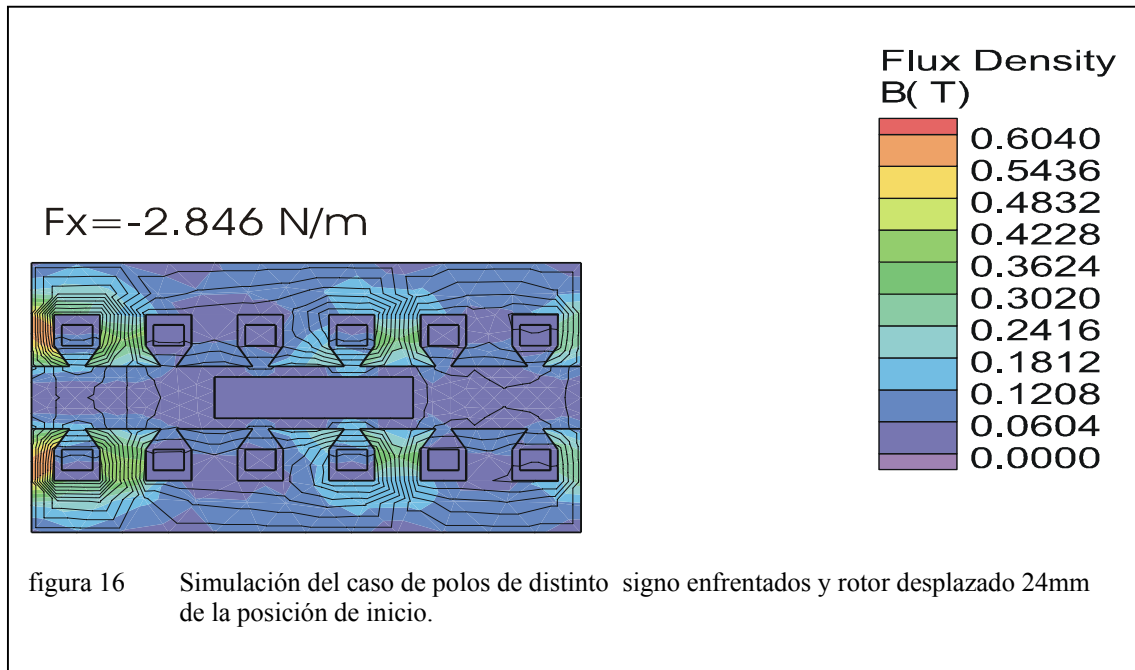


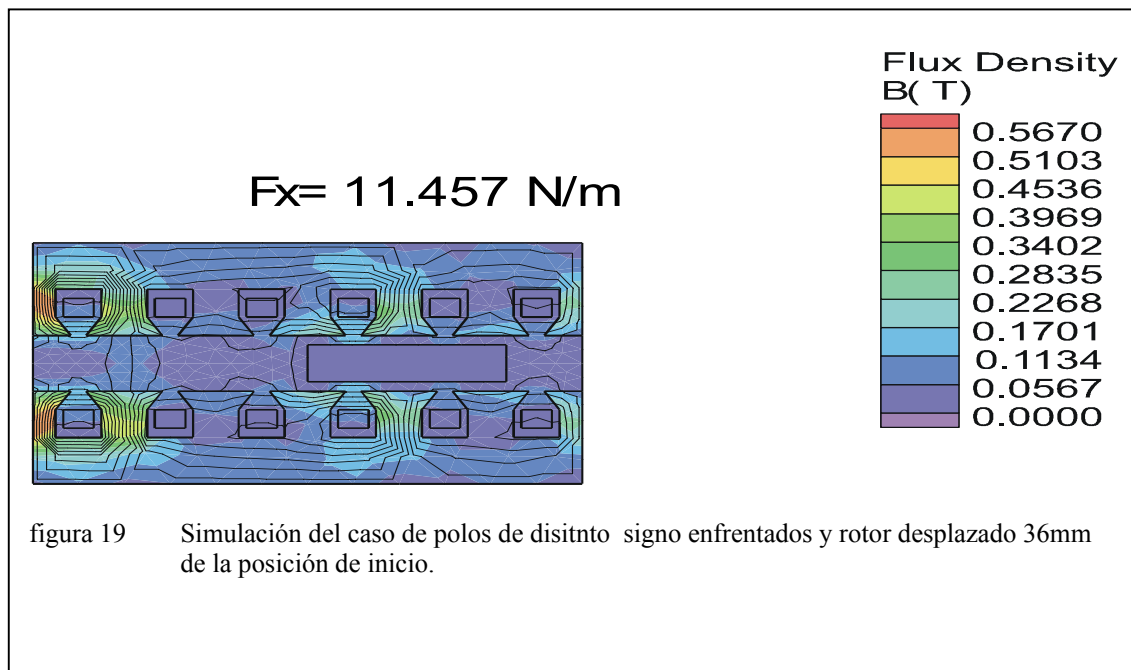
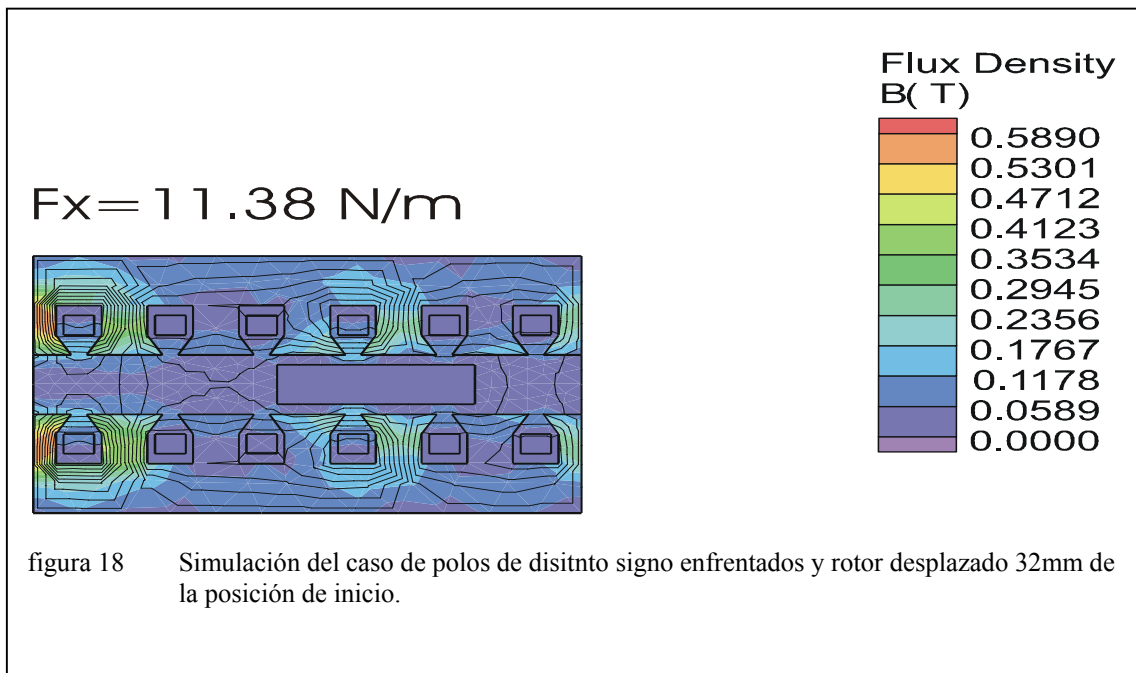
- Simulaciones de polos de diferente polaridad encarados:







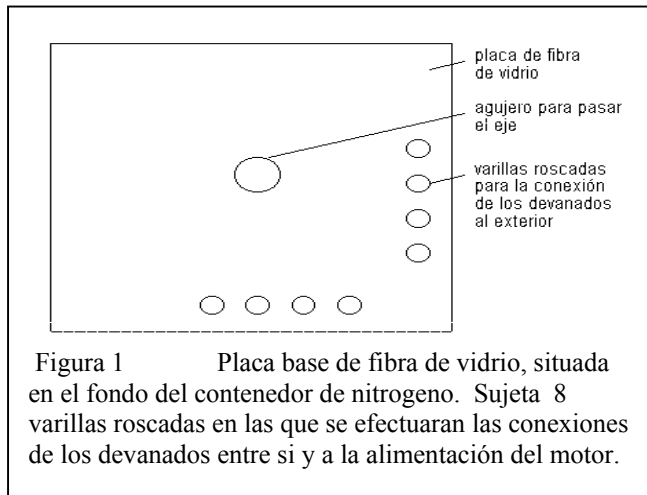




A2.2 Sistema de medidas para la caracterización estática

-Sistema de montaje y sujeción de todos los componentes

Todo el motor estará sumergido en nitrógeno líquido. Para ello se dispone de una caja de poliestireno expandido en la que se situaran los dos semiestátores y el rotor.



En la parte inferior de la caja se colocará una placa de fibra de vidrio a la que se le han practicado 6 agujeros. Por estos agujeros se pasarán 8 varillas roscadas de acero inoxidable (Figura 1), que se sujetarán a la placa mediante dos contratuercas y arandelas. Estas varillas servirán para efectuar todas las conexiones eléctricas del sistema trifásico que forman los devanados del motor.

Cada una de los dos semiestátores se sujetarán mediante 6 tornillos a unas piezas de acero de forma triangular. Estas irán sujetas entre si por tres barras roscadas de M-10 que permitirán, si se requiere, modificar la posición relativa de

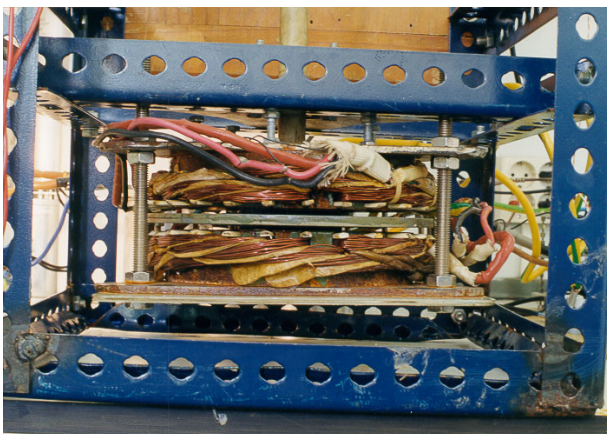


Fig. 2 Fotografía del semiestátor y la plancha de acero

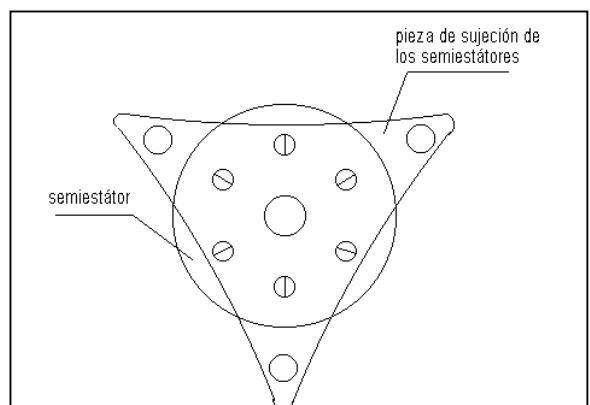


Fig. 3 Sujeción del semiestátor a una pieza de acero mediante 6 tornillos. Se pueden observar los 3 agujeros por los que se pasa una varilla roscada, a la que va sujeta la pieza mediante tuercas y arandelas. Así se puede modificar la posición relativa de los dos semiestátores.

ambos semiestátos. La figura 3 muestra el esquema de un semiestátor y la pieza que lo sujeta.

Esta pieza ha sido realizada cortando una plancha de 5mm de acero para conseguir un conjunto con suficiente rigidez para que aguante el peso del semiestátor y las fuerzas de origen magnético. La deformación que se producirá en el centro debe ser suficientemente pequeña para no afectar el movimiento del rotor.

Para generar el par de fuerzas se ha dispuesto una rueda de madera sujeta al eje del motor mediante un cojinete que la centra, pero no afecta la transmisión del par. Esta rueda lleva sujeta mediante tornillos una pieza de aluminio que es la encargada de empujar la célula de carga sujeta al eje. Así se transmite y se mide el par simultáneamente.

Tal como se muestra en la figura 4, el par de fuerzas se ejerce mediante un cable previamente enrollado en la periferia de la rueda y dos ruedas auxiliares. Un motor de corriente alterna se encarga de realizar el movimiento del cable, que se mantiene tensado mediante un contrapeso de 1 kg. aproximadamente.

El conjunto de piezas están sujetadas a una estructura de ángulo de hierro ranurado mediante tornillos y arandelas. Algunas de las uniones se han realizado con soldadura para garantizar dimensiones y rigidez. Una de las dos ruedas auxiliares se ha sujetado con una varilla de acero con un fuerte peso en la base. La rigidez del conjunto se ha completado con una barra de hierro ranurado sujeta al resto de la estructura mediante tornillos y abrazaderas.

En la figura 4 puede verse el esquema del montaje efectuado con la indicación de las partes más importantes. La figura 5 muestra una fotografía del conjunto.

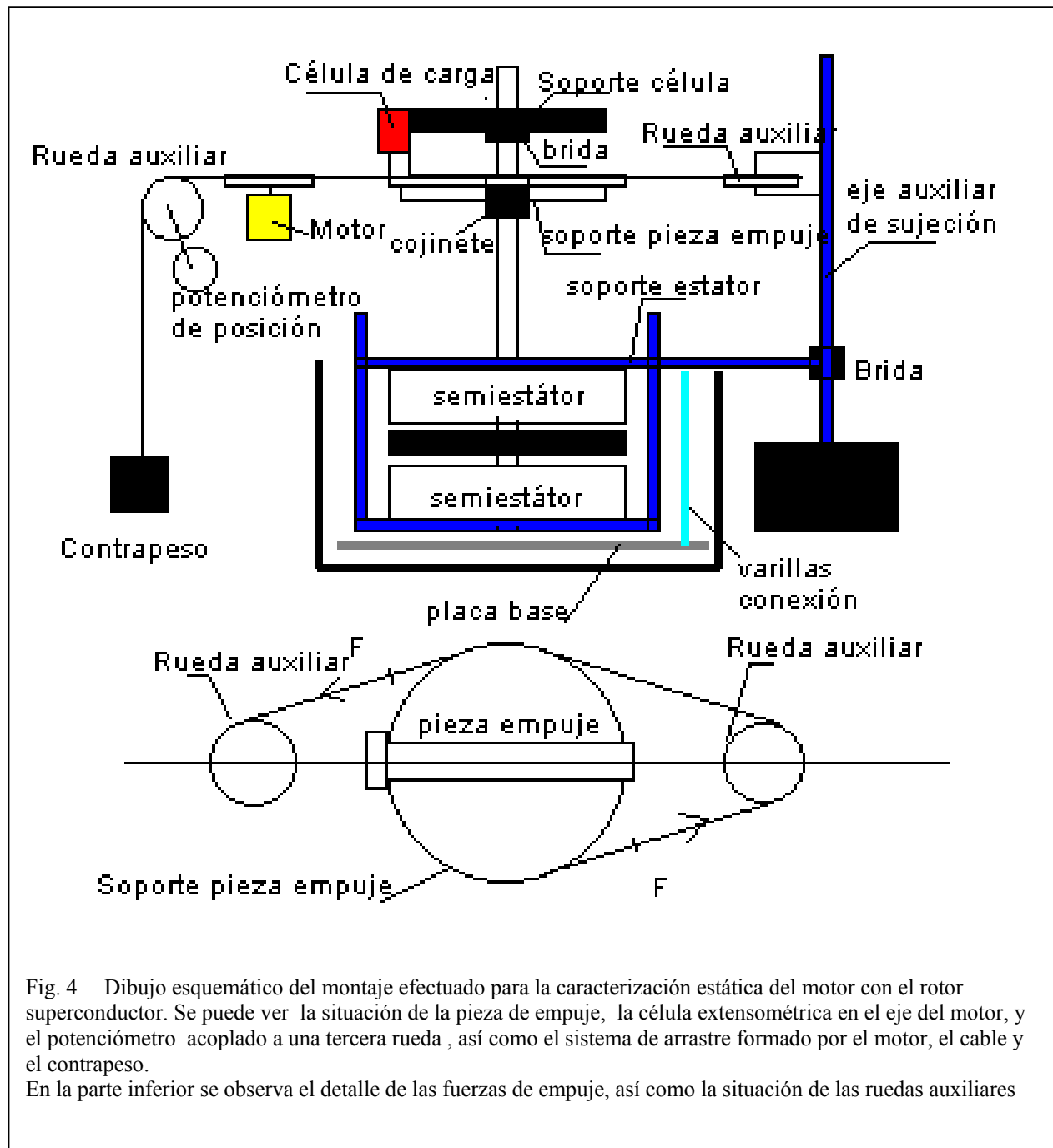


Fig. 4 Dibujo esquemático del montaje efectuado para la caracterización estática del motor con el rotor superconductor. Se puede ver la situación de la pieza de empuje, la célula extensométrica en el eje del motor, y el potenciómetro acoplado a una tercera rueda, así como el sistema de arrastre formado por el motor, el cable y el contrapeso.

En la parte inferior se observa el detalle de las fuerzas de empuje, así como la situación de las ruedas auxiliares

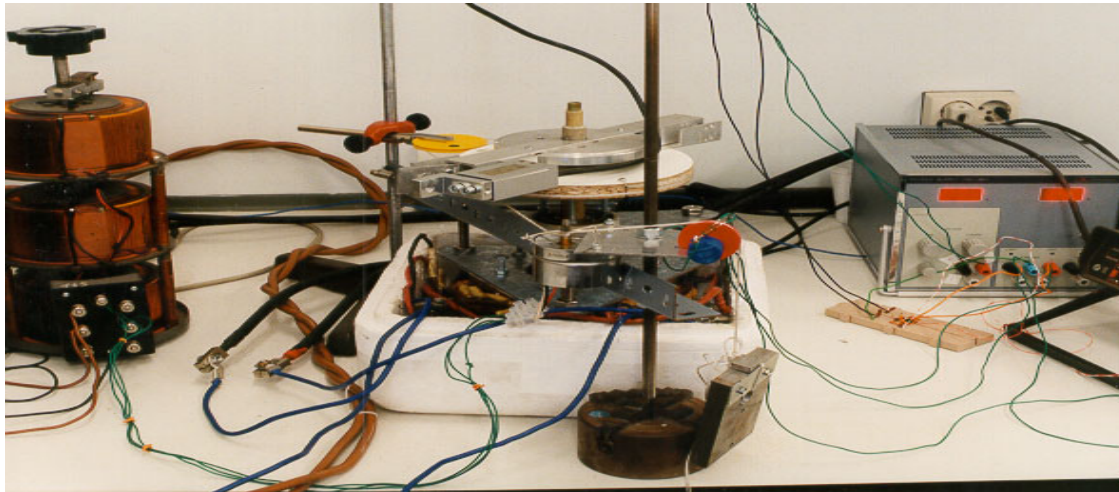


Fig. 5 Fotografía de la estructura donde pueden verse las partes indicadas anteriormente.

-Fuente de alimentación

El sistema de alimentación debe proveer las tensiones adecuadas para la célula de carga, el potenciómetro, y los sistemas de acondicionamiento de la señal.

Para ello se usará una fuente de alimentación de corriente continua comercial que dispone de salidas fijas de +15- 0 - -15 V, 2A y una salida que puede variar entre 0 y 30V, 2A. Esta última regulable en intensidad y ambas protegidas contra cortocircuitos.

- Célula de carga:

Se dispone en el ICMAB de una célula UTILLCEL, Mod 120 de 10 kg. El catálogo del fabricante indica que hay que alimentarla a 10V. Para alimentarla se usará la fuente regulable descrita en el parágrafo anterior.

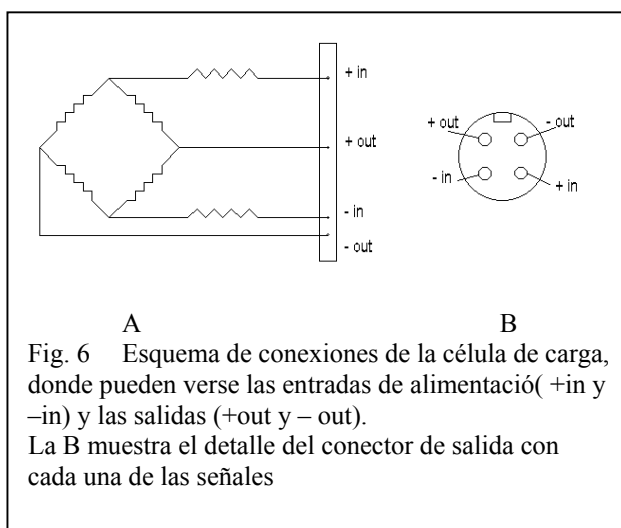
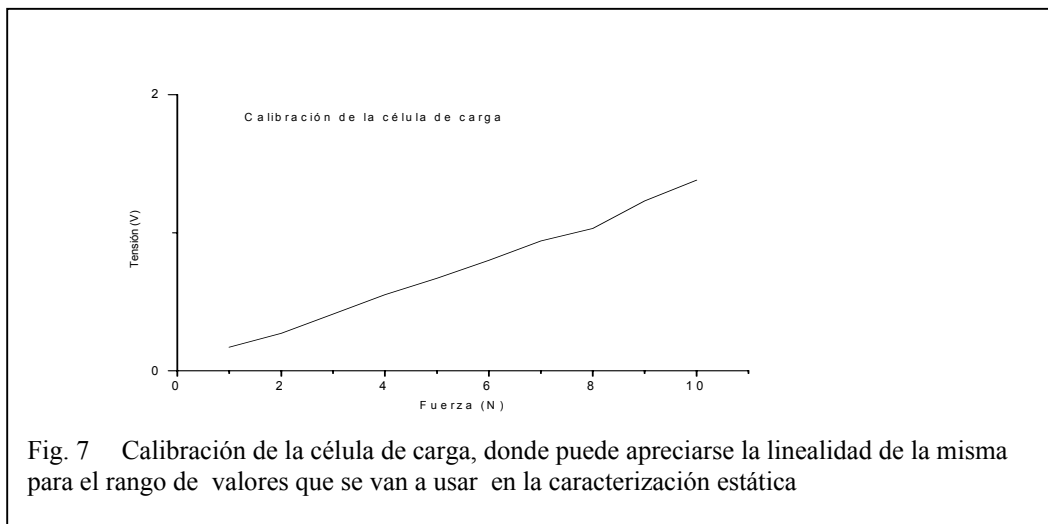


Fig. 6 Esquema de conexiones de la célula de carga, donde pueden verse las entradas de alimentación (+in y -in) y las salidas (+out y -out). La B muestra el detalle del conector de salida con cada una de las señales

adquisición de datos que se ha encargado de registrar los datos de salida del amplificador. La lectura de los mismos se ha realizado mediante un programa de lectura y tratamiento de datos (Dades.txt- Anexo 3). Además se ha puesto un voltímetro en

paralelo para comprobar la validez de los mismos durante la fase de comprobación. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla y se han representado en la figura 7

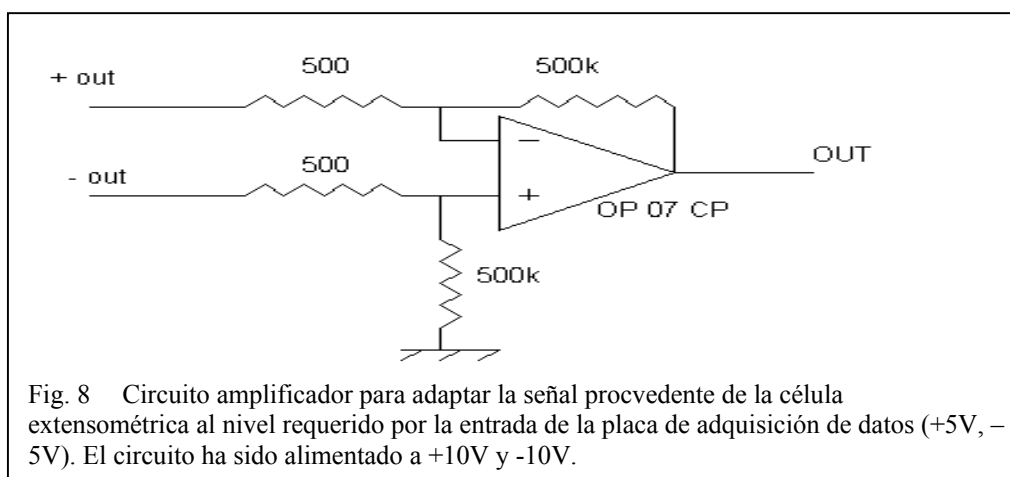
Fuerza (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tensión (V)	0.17	0.27	0.41	0.55	0.67	0.80	0.94	1.03	1.23	1.38	1.5



-Acondicionamiento de la salida de la célula de carga

La placa de adquisición de datos conectada al ordenador tiene un margen de lectura de de +5 a -5 V. Para el rango de fuerzas que esperamos en nuestra prueba, las tensiones de salida de la célula son del orden de -4mV a +4mV. El circuito interface deberá multiplicar por 1000 estas tensiones para adaptarlas a las de entrada de la placa de adquisición de datos. La figura 8 muestra este circuito amplificador.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos y la gráfica de los mismos permite observar la linealidad de la respuesta del sistema en el rango de valores en los que va a ser usada.



Se desea obtener la gráfica posición- par para distintos valores de corriente de alimentación. Puesto que lo que se mide es la fuerza ejercida sobre la célula de carga, hay que multiplicar este valor por la distancia de la célula al eje y así se obtiene el par. A partir de la lectura de tensión en voltios hay que realizar las siguientes operaciones:

$$\text{pendiente de la célula} : \frac{1.5}{11} = 0.1363636 \quad \frac{V}{N}$$

Y para cada lectura de tensión:

$$\text{fuerza sobre la célula} : \frac{\text{lectura de tensión (V)}}{\text{pendiente de la célula} \left(\frac{V}{N}\right)} = F (N)$$

Y teniendo en cuenta que la célula se encuentra a 160 mm del eje:

$$\text{par} : F(N) \times d(m) = \frac{\text{lectura de tensión}}{0.1363636} \times 0.16 = \text{lectura de tensión (V)} \times 1.1733 \left(\frac{N}{V}\right) = \tau \left(\frac{N}{m}\right)$$

Este valor debe introducirse en el programa de lectura de datos para poder determinar el par a partir de la lectura de la tensión del amplificador de la célula de carga

-Lectura de la posición angular

Para la lectura de la posición angular, se gira la rueda del potenciómetro hasta que el contrapeso esta en su posición más alta. Esta es la posición que se tomará como referencia cero. En este punto se lee la tensión que proporciona el potenciómetro. Se da una vuelta completa al motor y se vuelve a leer la tensión. Con estas dos lecturas, se realiza la siguiente operación:

$$\begin{array}{ll} \text{Lectura inicial:} & -5.079 \text{ V} \\ \text{Lectura tras una vuelta:} & -0.164 \text{ V} \end{array}$$

$$\text{Angulo girado: } \frac{360}{5.079 - 0.164} \left(\frac{\text{Grados}}{V}\right) \times \text{lectura (V)} = 0.134 \times \text{lectura (Grados)}$$

Este valor debe introducirse en el programa de lectura de datos para obtener la posición en grados a partir de la lectura en voltios del potenciómetro. Si además quiere tomarse el primer valor como cero, debe sumarse a todas las lecturas el valor de la primera lectura cambiada de signo. El programa Dades.txt (anexo 1), es el encargado de la lectura de estos datos.

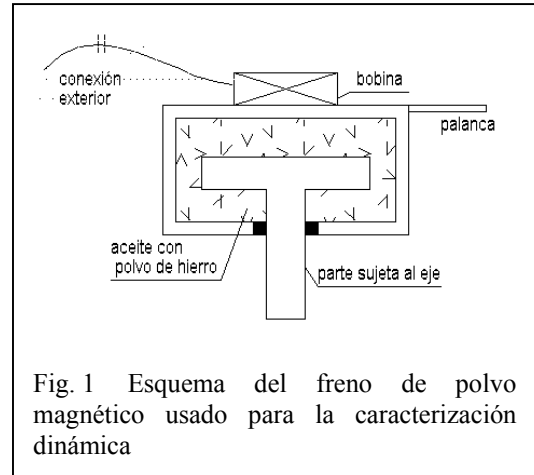
Se ha realizado la prueba para alimentaciones de 30 A, 40 A, 50 A y 60 A .

A2.3 Sistema de medidas para la caracterización dinámica

- Sistema de freno para variar el par:

Se ha utilizado un freno de polvo magnético acoplado al eje del motor. Esencialmente consta de dos partes móviles entre las que hay aceite con polvo de hierro y una bobina por la que se hace pasar intensidad. La bobina está situada de forma que puede provocar un campo magnético sobre el espacio ocupado por el polvo magnético. Una de las partes se sujeta al eje y la otra a una célula de carga.

Al incrementar la intensidad, las partículas de hierro se entrelazan, incrementando la viscosidad aparente del conjunto. Así la fuerza del eje se transmite a la parte que presiona la célula de carga. La fuerza de esta célula por la distancia al eje mide el par. El freno comercial que hemos utilizado es .



FBB TYPE FRAT 120

FTQR 120

Tensión máxima: 24V c.c.

Par máximo: 12 Nm

Potencia máxima: 200W

Imax: 0.51A

- Control del freno:

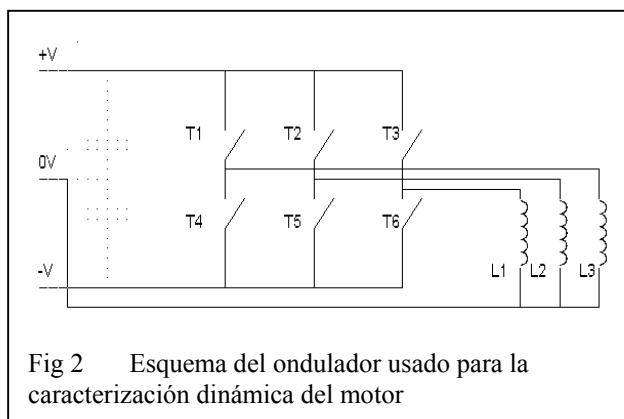
Para controlar el freno se ha usado la fuente de intensidad programable KEITHLEY 228A a la que se ha conectado la bobina del freno de polvo magnético.

El programa que controla el ondulator hace que el estator de 1000 ciclos eléctricos (250 vueltas mecánicas) en un tiempo de unos 65 segundos. Para cada prueba se ha pensado en dejar el motor funcionando los 10 primeros segundos sin par de freno, los siguientes 40 segundos para la introducción del par y los 15 últimos otra vez sin par en el freno. Esto da un tiempo de 2 segundos para cada paso. La siguiente tabla muestra los detalles de la programación de la fuente:

TEP										0	1
OLTS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MP		.05	.1	.15	.2	.25	.3	.35	.4	.45	.5
EG.											
TEP	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
OLTS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MP.	.45	.4	.35	.30	.25	.20	.15	.10	.05		
EG.											

- Alimentación del motor.

Para la alimentación del motor se ha diseñado un ondulator trifásico controlado desde un ordenador. Esto permitirá modificar la frecuencia si se requiere en pruebas posteriores y en todo caso, permitirá conocer la posición del campo generado en el estator en cada instante. Con la lectura de la posición del rotor podremos conocer el ángulo de carga para cada par. Para ello se ha pensado en un ondulator como el que se muestra en la figura 6.67



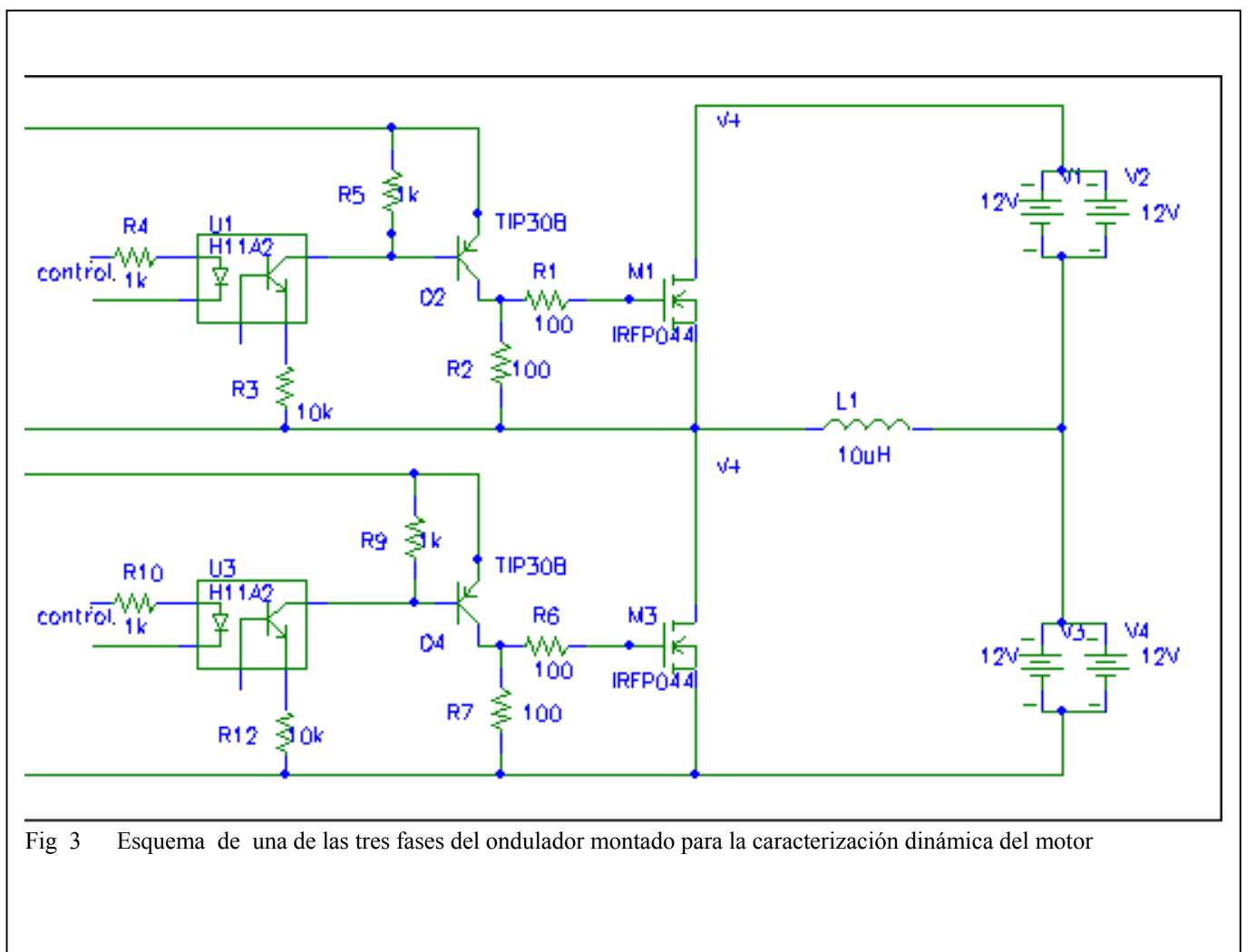
Para cada interruptor mostrado en la figura se han elegido 4 transistores Rectifier hexfet Power mosfets IRFP054, cuyas características principales se muestran en la siguiente tabla. Se montarán sobre una superficie de aluminio a la que se unirán mediante tornillo y tuerca.

Esta superficie servirá de refrigerante, así que entre los transistores y la misma se colocará una capa de silicona que mejore la transmisión de calor. Para cada transistor se ha previsto una corriente que puede variar desde los 280 A para 25 °C a los 256 A a 100 °C

	Vbr D-S	RDS(0n)	Id (25°C)	Id(100°C)	Pd
IRFP450	60 V	0.014 Ω	70 A	64 A	230 W

La figura 3 muestra el esquema eléctrico de una de las tres fases del ondulator realizado para la caracterización dinámica. Para la alimentación se han usado el conjunto transformador, rectificador y filtro expuestos en la sección siguiente, para las primeras pruebas. Para el filtro se han dispuesto condensadores en paralelo que en total representan una capacidad de 163 mF. Para esta capacidad, que es la máxima disponible en el laboratorio, se ha observado un rizado importante (de hasta 10V). Es

por ello que en las siguientes pruebas se ha alimentado el conjunto con 4 baterías de **40A-Hora**. Según las necesidades podrán conectarse en serie y en paralelo y se dispondrá un circuito para la recarga de las mismas durante los periodos en los que no se realicen las pruebas. Esta es la alimentación dibujada en el circuito de la figura 3.



- Transformador-rectificador-filtro:

El motor original del cual se han tomado los semiestatores tiene en el rotor 8 bloques de imán permanente de Samario-Cobalto. Este material tiene una magnetización remanente de 1T aproximadamente y una fuerza coercitiva de casi 700

KA/m. La pendiente de la línea de rebote (permeabilidad de rebote) es prácticamente tangente a la curva de histéresis, no existiendo prácticamente desmagnetización en el funcionamiento normal del motor como motor síncrono. Es por ello que a pesar del gran entrehierro, esta máquina tenga una inductancia equivalente relativamente grande y pueda conectarse, durante los transitorios de aceleración, a una tensión de 220V.

Si se sustituyen los imanes del rotor por superconductores, el caso es totalmente distinto y ahora se requiere una adaptación de impedancias. La tensión de alimentación depende de la intensidad que se quiera hacer pasar por el motor. Ya vimos que el conductor de cobre a temperatura de ebullición del nitrógeno permitía el paso de hasta 1700 A. Para nuestros propósitos (unos 120 A como máximo) deberemos disponer de un sistema regulador de tensión. Para ello se dispone un autotransformador trifásico que regula la tensión de entrada y un transformador toroidal en el que se ha devanado un segundo arrollamiento de 40 vueltas con una toma central.

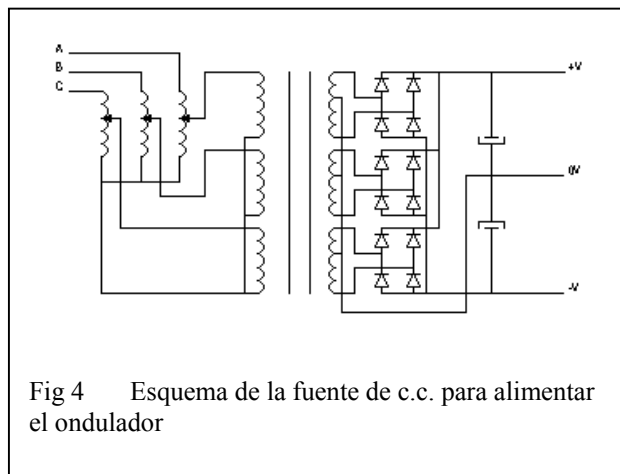


Fig 4 Esquema de la fuente de c.c. para alimentar el ondulator

Los transformadores son de tipo toroidal. Se han usado 3 toroidales de INTELISA de 220 v en el primario y dos secundarios de 22V 5A.

Para nuestros propósitos se han bobinado nuevos secundarios formados por 10 hilos de cobre de 1mm en paralelo con los cuales se han dado 40 vueltas con una toma intermedia. Las tensiones en estas condiciones son de 7.6 V en cada mitad del secundario.

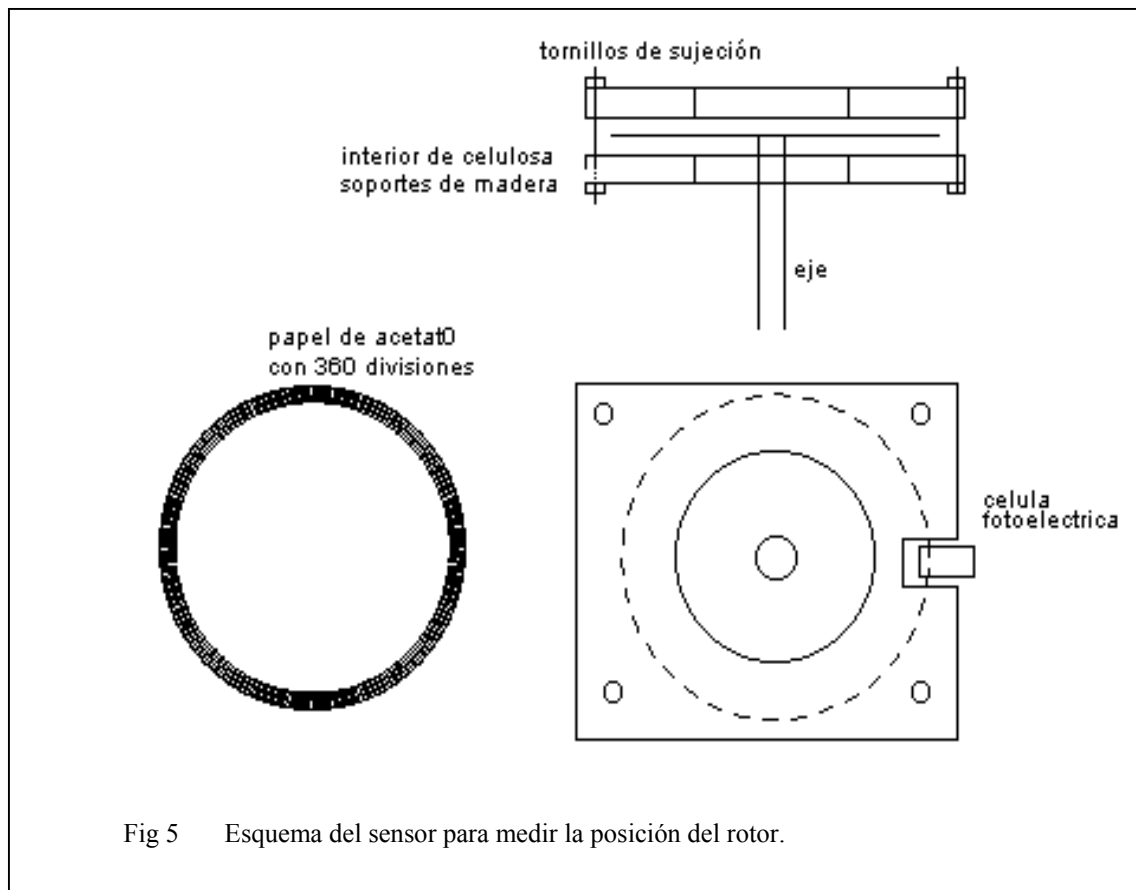
- Para cada rectificador de la figura se han usado 3 rectificadores en paralelo tipo FAGOR FB5006 B250/220-50
Cada uno puede proporcionar una intensidad media de 50A
 - El filtro esta constituido por 36 condensadores SPRAGUE EXTRALYTIC de 75 VDC y 4500 μ F cada uno, lo que hace un total de 162000 μ F
 - Para la conexión del primario del autotransformador trifásico a la red se ha usado un INTERRUPTOR magnetotérmico de MERLIN GERIN, MULTI9, de 4 polos, 380 V. y 5 A.
- Sensor para la determinación de la posición del rotor**
- El sensor para determinar la posición del rotor se ha realizado a partir de las siguientes piezas:

hoja de poliéster con 360 divisiones
célula fotoeléctrica

soporte (madera contrachapada de 1 mm) con interior de celulosa para reducir el rozamiento

La figura 6.70 muestra las diferentes partes del sensor de posición y el esquema del conjunto. El papel de acetato con las 360 divisiones se sujeta a la parte superior del eje mediante un pequeño imán. Para sujetar la célula y dirigir el papel de acetato, se ha construido una caja de madera contrachapada, cuyo interior se ha forrado con celulosa para reducir el rozamiento.

Cada vuelta del rotor se detectan 360 pulsos que tras amplificarse, son



leídos por la placa de adquisición de datos. El resultado es que se conoce la posición del rotor con una resolución de un grado.

- Amplificador para la célula fotoeléctrica:

La salida de la célula fotoeléctrica se amplifica y se hace cuadrada para tener un pulso cada grado. Tras fijarla al nivel de 5V, se manda a la entrada de la placa de adquisición de datos y es leída por el programa.

La figura 4 muestra el amplificador usado para la célula fotoeléctrica.

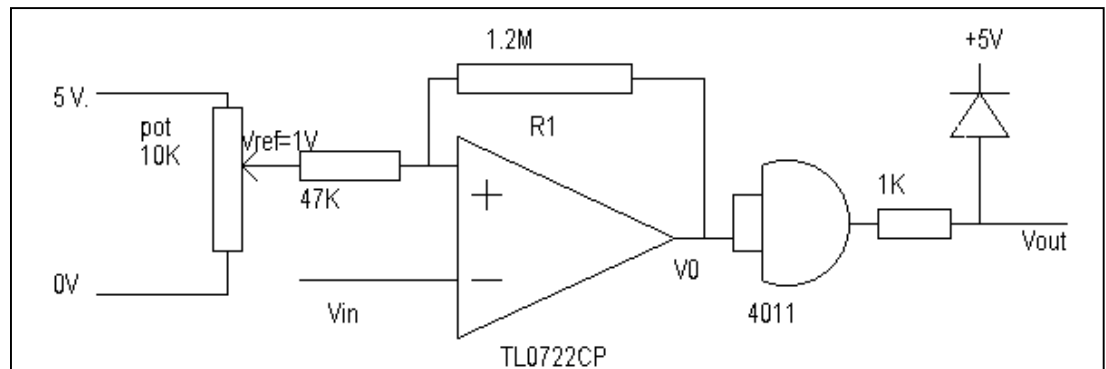


Fig. 6 El Amplificador para la célula fotoeléctrica toma como tensión umbral 1V. Tras multiplicar la salida por 25, la señal es cuadrada y fijada a 5V.

- Amplificador para célula de carga:

Para la célula de carga se ha usado un amplificador diferencial que multiplica la entrada por 1000.

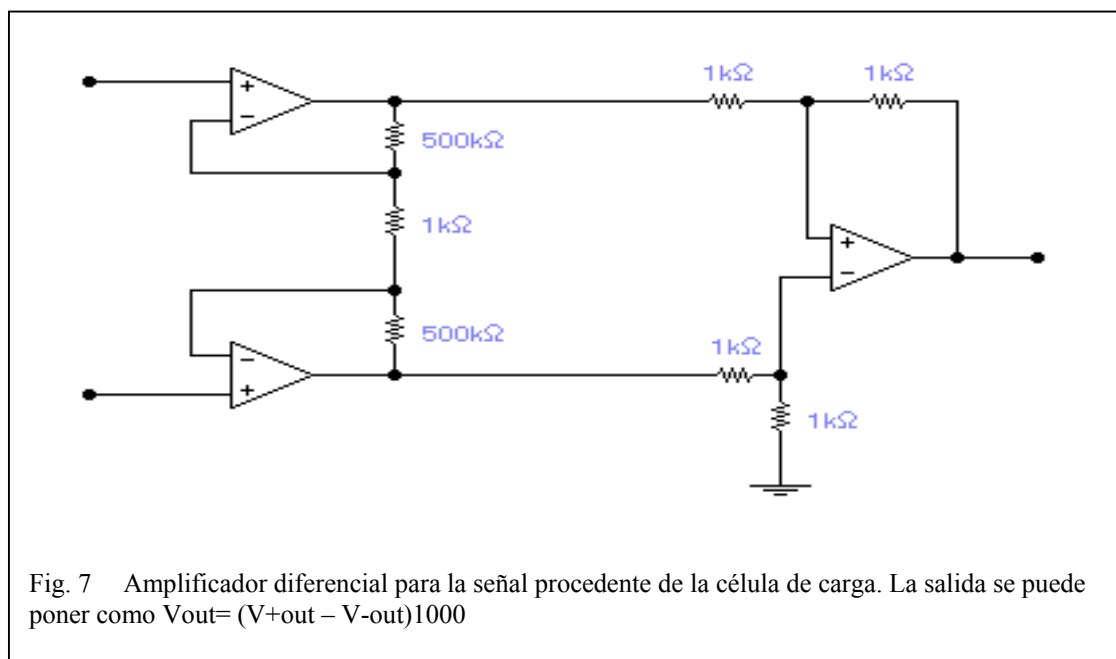


Fig. 7 Amplificador diferencial para la señal procedente de la célula de carga. La salida se puede poner como $V_{out} = (V_{+out} - V_{-out})1000$

La salida del mismo se conecta a la placa de adquisición de datos y es leída por el programa. La figura 7 muestra este amplificador

