

Capítulo 8

Resultados de la aplicación del método a un motor de parámetros conocidos

Se utilizó el método en un motor de marca conocida, cuyos parámetros son posibles de consultar en el sitio web del fabricante.

Dicho motor se muestra en la siguiente imagen:



Imagen 8.1. Motor "PMDC" SERVO SYSTEMS CO., Modelo: SSC 23SMDC-LC55

Es del tipo de motores de corriente directa llamados "PMDC"; significa que el flujo magnético que provoca el movimiento en el rotor, es debido a imanes permanentes; dando lugar a un flujo magnético constante. Sin lugar a dudas, es candidato a la aplicación del método.

8.1 Aplicación del método a un motor de parámetros conocidos

La caracterización se realizó con el orden propuesto en esta publicación.

8.1.1 Resultados de la obtención de “R”

8.1.1.1 Uso de un óhmetro

El uso de este método no ofreció un resultado contundente, el instrumento siempre mostró una lectura inestable alrededor de variados valores. No es posible considerar el promedio de dichos valores como un resultado veraz.

La imagen siguiente muestra lo mencionado en el párrafo anterior:

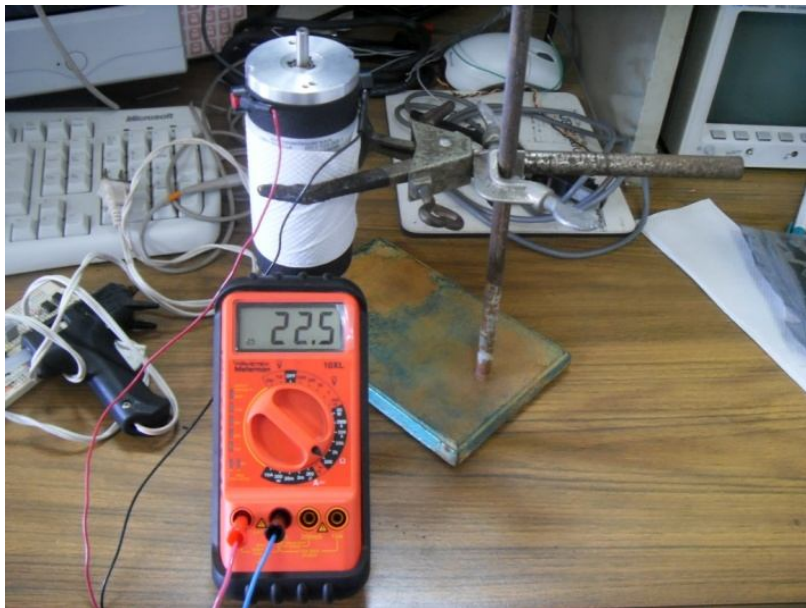


Imagen 8.2. Uso de un óhmetro

8.1.2.1 Reducción del sistema a uno de primer orden

A modo de evitar un daño irreversible en los embobinados de este motor, esta prueba se realizó alimentando al motor con bajas tensiones eléctricas.

Se tomaron dos lecturas por cada cuadrante que puede generar una revolución del rotor de nuestro motor de prueba; produciendo así, ocho lecturas para cada dos diferentes amplitudes de tensión eléctrica de alimentación.

La siguiente imagen muestra el modo en el cual se pudo realizar la reducción, ya mencionada, del sistema.



Imagen 8.3. Reducción del motor a un sistema de primer orden

Lectura	V [V]	i_f [A]	$R = \frac{V}{i_f}$ [Ω]	Lectura	V [V]	i_f [A]	$R = \frac{V}{i_f}$ [Ω]	
1	1.9219	1.198	1.604257095	9	2.9962	1.73	1.731907514	
2	1.9247	1.101	1.748138056	10	3.0565	1.933	1.5812209	
3	1.9634	1.227	1.600162999	11	3.0524	1.939	1.574213512	
4	1.962	1.227	1.599022005	12	3.0616	1.884	1.625053079	
5	1.9626	1.206	1.627363184	13	2.9968	1.791	1.673255165	
6	1.9622	1.214	1.61630972	14	2.9998	1.769	1.695760317	
7	1.9891	1.172	1.6971843	15	2.9999	1.758	1.706427759	
8	1.9876	1.152	1.725347222	16	2.9999	1.748	1.716189931	
							$\bar{R} = 1.657613297$	

Tabla 8.1. Reducción del motor a un sistema de primer orden

Consideraremos el promedio de los datos de la tabla anterior, como el valor veraz de "R".

$$R = 1.65761329742798 \text{ } [\Omega]$$

8.1.2 Resultados de la obtención de “ K_E ”

El tacómetro, que se utilizó, nos ofrece medidas en las unidades conocidas como “RPM’s”. Para poder utilizar directamente el valor de “ K_E ” en otras expresiones (evitando los problemas que provoca la mezcla de sistemas de unidades), convertimos las lecturas del tacómetro en cantidades que usan como unidades los “RPS’s”.

8.1.2.1 Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor de C.D.

Para esta prueba se hicieron once lecturas del experimento propuesto en el “Capítulo 3”. Dicho experimento se ejemplifica en la foto de la siguiente figura:

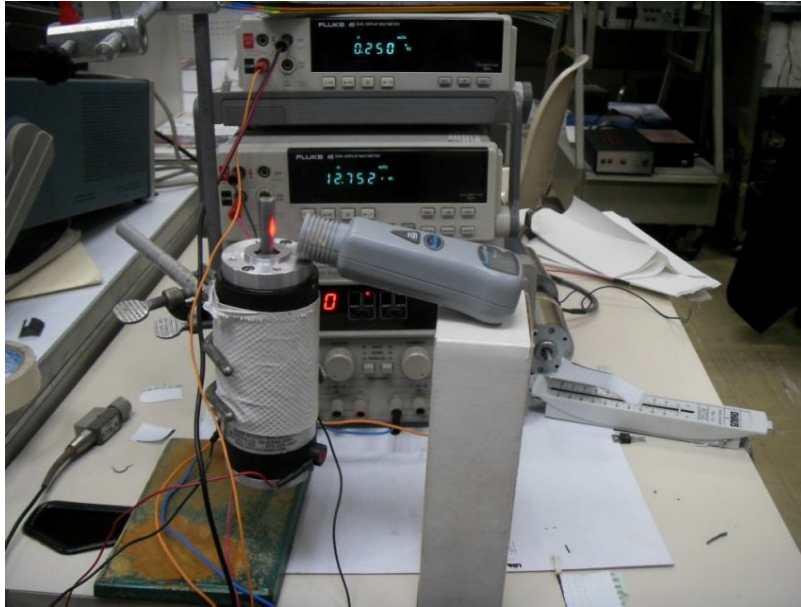


Imagen 8.4. Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor

Usualmente las hojas de datos refieren a este parámetro en “[$\frac{Vs}{rad}$]”; para el caso de esta caracterización en particular, este parámetro en cálculos posteriores, será utilizado en las unidades que ofrece la siguiente tabla:

Resultados de la aplicación del método a un motor de parámetros conocidos

Lectura	V [V]	i_F [A]	ω_F [RPM 's]	ω_F [RPS 's]	$K_E = \frac{V-Ri_F}{\omega_F}$ [Vs]
1	3.13	0.188	277.16	4.61933333	0.61012456
2	4.304	0.197	399.33	6.6555	0.64668319
3	5.149	0.202	479.37	7.9895	0.60391014
4	6.161	0.209	584.61	9.7435	0.59482108
5	7.197	0.216	699.58	11.6596667	0.58761241
6	8.051	0.222	772.91	12.8818333	0.59743182
7	9.057	0.229	850.77	14.1795	0.61245699
8	10.355	0.237	1014.7	16.9116667	0.58964825
9	11.092	0.242	1047.9	17.465	0.6115821
10	12.253	0.247	1192.2	19.87	0.59521083
11	13.3554	0.253	1258.2	20.97	0.63688126
					$\overline{K_E} = 0.6286835346$

Tabla 8.2. Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor

8.1.2.2 Uso del modelo “Motor-Generador”

Se requirió de la elaboración de una pieza mecánica para esta parte del método, a pesar de que se pudo contar con su ayuda, fue muy complicado el acoplamiento de los rotores.

Los resultados de la prueba se muestran a continuación:

Lectura	V_{in} [V]	V_{SF} [V]	ω_F [RPM 's]	ω_F [RPS 's]	$K_E = V_{SF}/\omega_F$ [Vs]
1	2.9	1.3222	130.39	2.17316667	0.60842089
2	4	2.465	240.36	4.006	0.61532701
3	4.7	3.1853	313.19	5.21983333	0.61023021
4	6.2	4.667	451.55	7.52583333	0.62013066
5	7.6	5.962	587.79	9.7965	0.6085847
6	8.5	6.951	673.78	11.2296667	0.61898543
7	9.7	8.154	797.56	13.2926667	0.61342093
8	11	9.582	930.35	15.5058333	0.61796098
9	13.5	12.115	1192.9	19.8816667	0.60935535
10	14.2	13.02	1232.2	20.5366667	0.63398799
11	16	14.771	1445.8	24.0966667	0.61298935
					$\overline{K_E} = 0.615399409430087$

Tabla 8.3. Uso del modelo “Motor-Generador”

Es de mencionar que eran perceptibles las vibraciones mecánicas que produjo el desarrollo de esta prueba, sin embargo, sus resultados generan un valor muy parecido al obtenido en la prueba anterior.

Dicho experimento se ejemplifica en la foto de la siguiente figura:

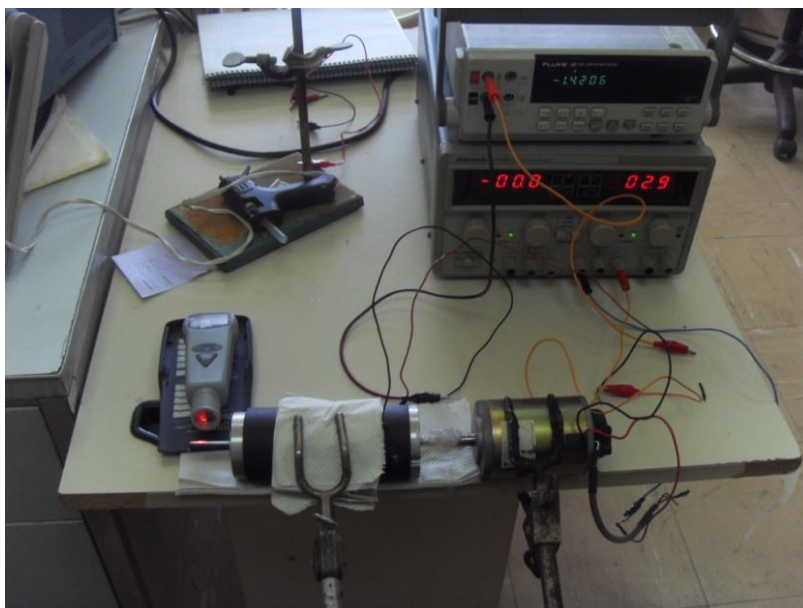


Imagen 8.5. Uso del modelo "Motor-Generador"

Consideraremos el promedio del resultado de las tablas anteriores como el valor veraz de " K_E ".

$$K_E = 0.62204147 [Vs]$$

8.1.3 Resultados de la obtención de " K_T "

8.1.3.1 Uso de un Medidor de Par

Debido a su alto costo, no se pudo contar con el apoyo de este instrumento de medición.

8.1.3.2 Demostración de $K_E = K_T$

Con anterioridad se demostró esta igualdad en el “Capítulo 4”; tómense en cuenta las consideraciones que se hacen de dicha demostración.

Para el caso de esta caracterización en particular, este parámetro en cálculos posteriores, será utilizado en las unidades en las que se obtuvo “ K_E ”.

$K_T = 0.099000974 [Vs]$

8.1.4 Resultados de la obtención de “ T_i ” y “ B ”

8.1.4.1 Uso del modelo en estado estacionario de la parte eléctrica del motor de C.D.

Directamente se pueden tomar algunas columnas de la “Tabla 2” para acoplar sus mediciones al modelo matemático propuesto en el “Capítulo 5”.

<i>Lectura</i>	ω_F [RPS s]	i_F [A]	i_F [mA]
1	4.61933333	0.188	188
2	6.6555	0.197	197
3	7.9895	0.202	202
4	9.7435	0.209	209
5	11.6596667	0.216	216
6	12.8818333	0.222	222
7	14.1795	0.229	229
8	16.9116667	0.237	237
9	17.465	0.242	242
10	19.87	0.247	247
11	20.97	0.253	253

Tabla 8.4. Uso del modelo en estado estacionario de la parte mecánica del motor

Con la ayuda de una hoja de cálculo, y con los datos de la tabla anterior, se construyó la recta de la siguiente figura:

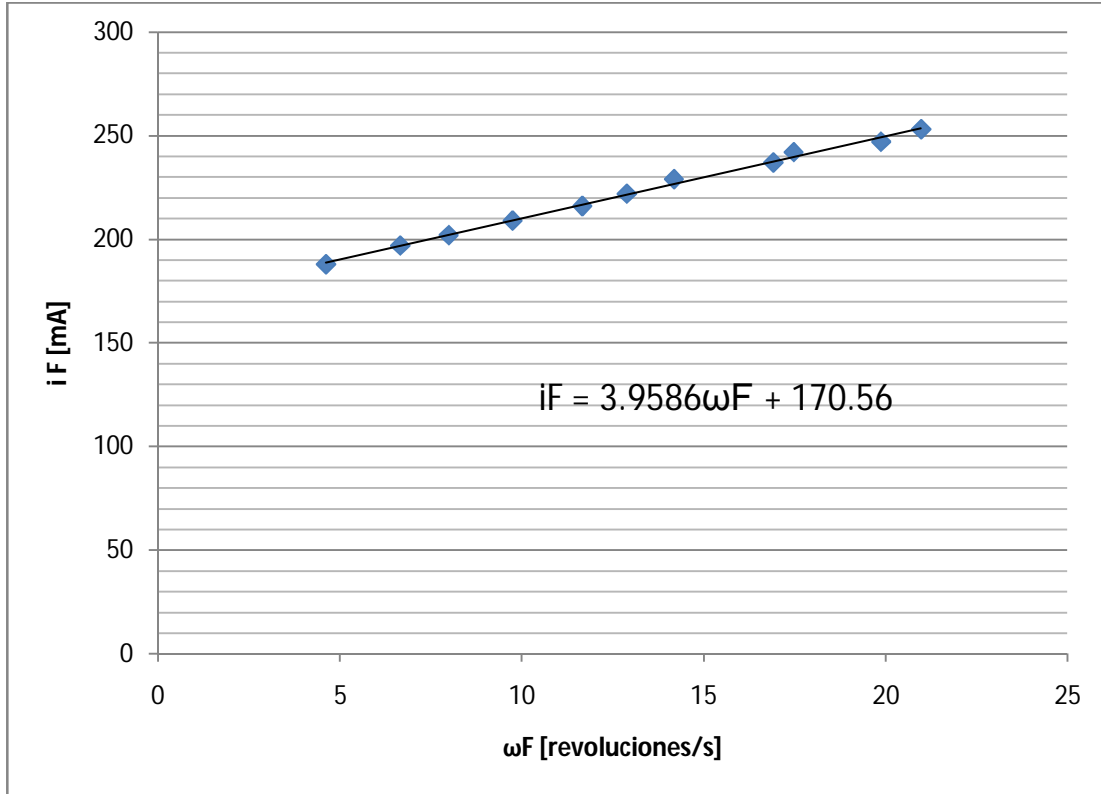


Figura 8.1. Modelo de línea recta "ω_F" vs "i_F" del motor de parámetros desconocidos

Donde:

$$m = \frac{B}{K_T} = 0.0039586 [As] \rightarrow B = 0.000391905 [VAs^2]$$

$$b = \frac{T_i}{K_T} = 0.17056 [A] \rightarrow T_i = 0.016830165 [VAs]$$

Usualmente las hojas de datos refieren a estos parámetros en otras unidades; para el caso de esta caracterización en particular, serán utilizados en las unidades en las que se obtuvieron.

8.1.5 Resultados de la obtención de “L”

8.1.5.1 Uso de un puente de impedancias

El puente de impedancias, utilizado para esta prueba, también nos puede proporcionar lecturas del valor de la resistencia óhmica de los embobinados del rotor.

Lectura	L [mH]	R [Ω]	Lectura	L [mH]	R [Ω]
1	3.5389	7.864	8	3.1415	6.644
2	3.8926	8.071	9	3.7925	6.189
3	3.3476	8.077	10	4.4436	6.351
4	4.2609	6.823	11	4.8538	6.209
5	4.2187	7.43	12	4.2882	5.269
6	4.825	5.717	$\bar{L} = 4.0751$		
7	4.442	7.767			

Tabla 8.5. Uso de un puente de impedancias

El uso de este método no ofreció un resultado contundente para “R”. A pesar de lo mencionado, es de notar que las lecturas de inductancia están en un rango aceptable.

La imagen siguiente muestra lo mencionado en el párrafo anterior:

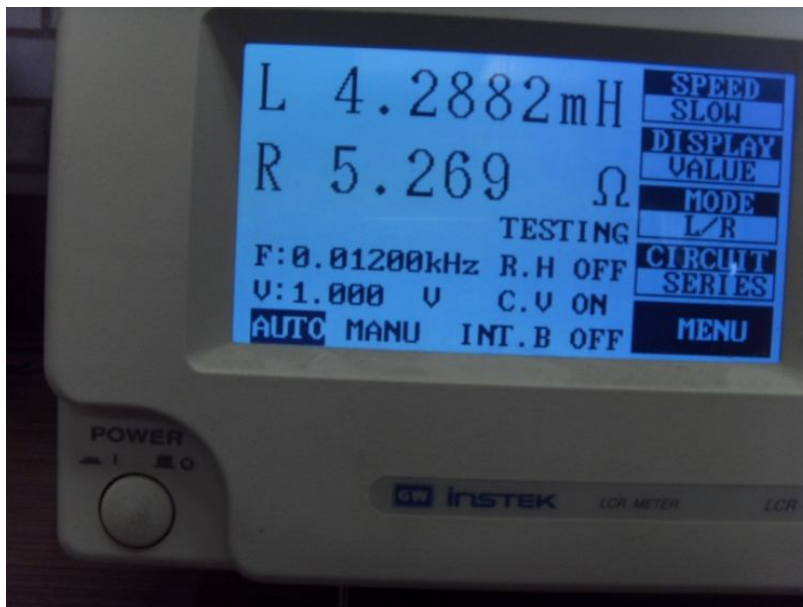


Imagen 8.6. Uso de un puente de impedancias

8.1.5.2 Reducción y conmutación del sistema

A modo de evitar un daño irreversible en los embobinados de este motor, esta prueba se realizó alimentándolo con bajas tensiones eléctricas.

El transistor utilizado para efectuar la conmutación es el “TIP 122”, se utilizó debido a su gran capacidad de manejo de corriente; bajo el mismo criterio se seleccionó el diodo “1N4002”.

Para observar directamente una señal de corriente en el osciloscopio, es imprescindible el uso de una “punta de corriente”; afortunadamente, en nuestro lugar de trabajo se cuenta con el apoyo de este instrumento. La siguiente imagen muestra la “punta de corriente” utilizada en esta parte del método:



Imagen 8.7. Punta de corriente “TEKTRONIX”, modelo: TCP202

Se tomaron dos lecturas por cada cuadrante que puede generar una revolución del rotor de nuestro motor de prueba; produciendo así, seis lecturas para cada dos diferentes amplitudes de tensión eléctrica de alimentación.

En la siguiente imagen podemos observar el montaje del experimento de esta parte del método:

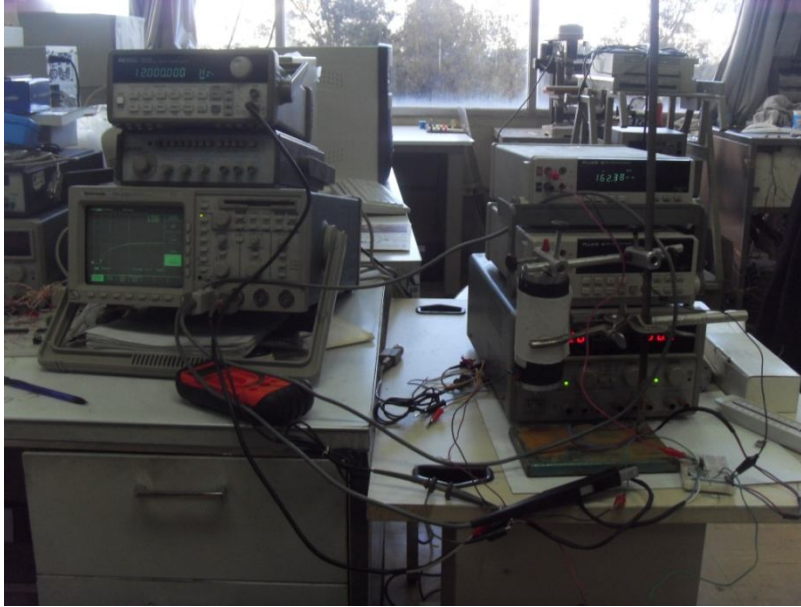


Imagen 8.8. Reducción y conmutación del sistema

El valor de la caída de tensión, por el uso del sistema electrónico, es: “ $V_{CE} = 1.0893 [V]$ ”

Lectura	V [V]	i_F [A]	63% i_F [A]	τ [ms]	$L = R\tau$ [mH]
1	3.312	1.35	0.8532	2.68	4.44240364
2	4.027	1.91	1.20712	2.72	4.50870817
3	3.819	1.73	1.09336	2.96	4.90653536
4	3.562	1.52	0.96064	2.68	4.44240364
5	3.852	1.68	1.06176	2.72	4.50870817
6	3.414	1.36	0.85952	2.08	3.44783566
7	3.705	1.48	0.93536	2.24	3.71305379
8	4.021	1.74	1.09968	2.44	4.04457645
9	3.205	1.21	0.76472	2.28	3.77935832
10	3.352	1.32	0.83424	2.56	4.24349004
11	3.591	1.6	1.0112	2.56	4.24349004
12	4.027	1.69	1.06808	2.32	3.84566285
					$\bar{L} = 4.17718551$

Tabla 8.6. Reducción y conmutación del motor

Se observa a simple vista, en las lecturas de la tabla anterior, que el osciloscopio nos ofrece una resolución pobre. Esto se debe a que lo estamos operando en su frecuencia mínima posible. Recordemos que tenemos que garantizar, en la conmutación del sistema, el

alcance del valor en estado estacionario de la señal transitoria de corriente eléctrica instantánea. Los componentes que conforman a este motor, a caracterizar, lo hacen un sistema que nos obliga a operar al osciloscopio en las condiciones ya mencionadas.

El texto del párrafo anterior se ejemplifica en la siguiente imagen, que se tomó de una muestra que conforma la tabla de resultados de este subtema:

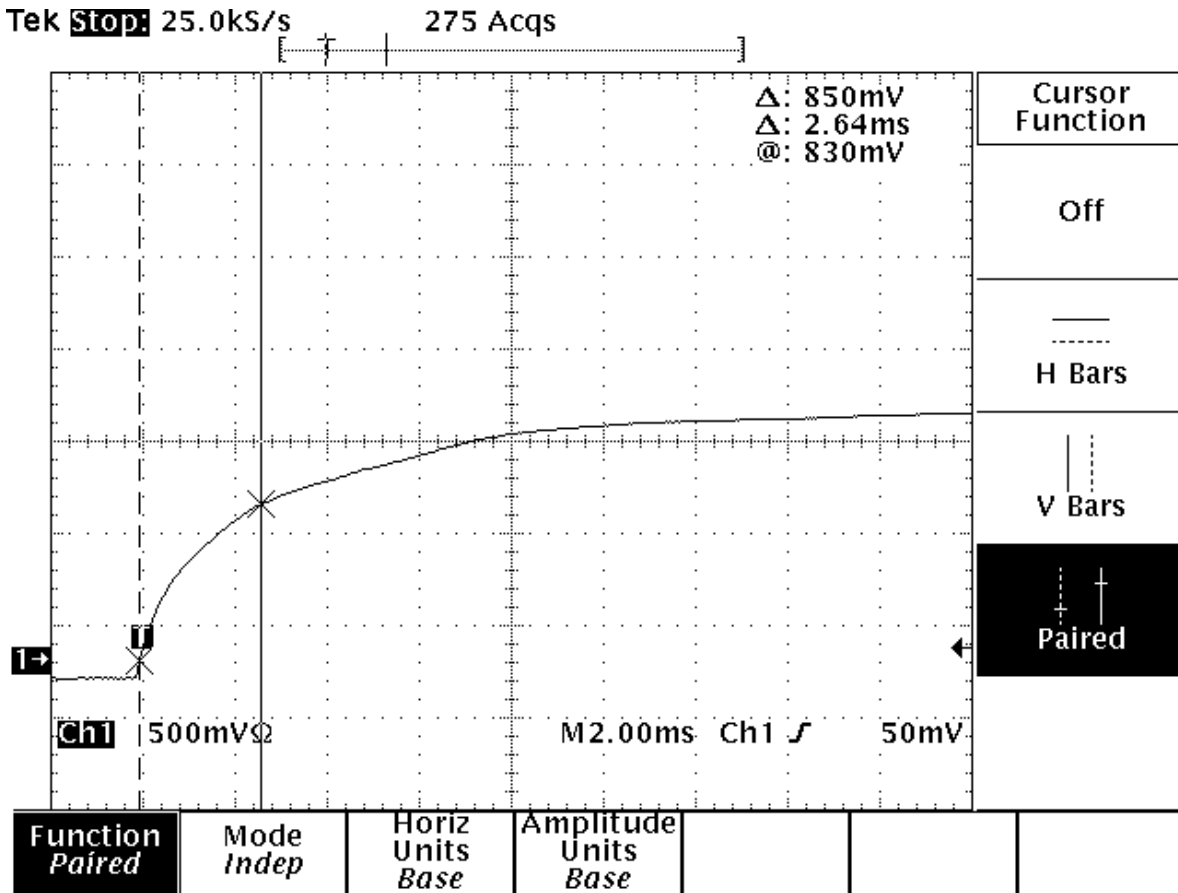


Figura 8.1 Conmutación de la reducción del motor

Debido a la pobre resolución que ofrece el osciloscopio, se requiere redondear el valor del 63.2% de i_f para ubicarlo en la pantalla de dicho instrumento. Los valores de τ que se obtuvieron también tienen esta problemática.

A pesar de lo mencionado en los párrafos anteriores, se observa que el valor promedio obtenido por esta prueba, es muy aproximado al obtenido por el uso del puente de impedancias.

Consideraremos el promedio de los dos resultados obtenidos como el valor veraz de " L ".

$$L = 0.0041261427 [H]$$

8.1.5 Resultados de la obtención de " J "

8.1.5.1 Expresión de " J " como una función de los demás parámetros, de instantes concretos " t_n ", y de amplitudes " $i(t_n)$ "

Para el desarrollo de esta prueba se utilizaron los mismos estándares, dispositivos electrónicos, e instrumentos, usados en la prueba "Reducción y conmutación del sistema". Obviamente el desarrollo de esta parte del método se realizó sin ningún tipo de carga en el rotor de nuestro motor a caracterizar.

La siguiente ilustración muestra el montaje del experimento:



Imagen 8.9. Expresión de " J " como una función de los demás parámetros, de instantes concretos " t_n " y de amplitudes " $i(t_n)$ "

La siguiente imagen representa una de las señales que se observaron en el osciloscopio.

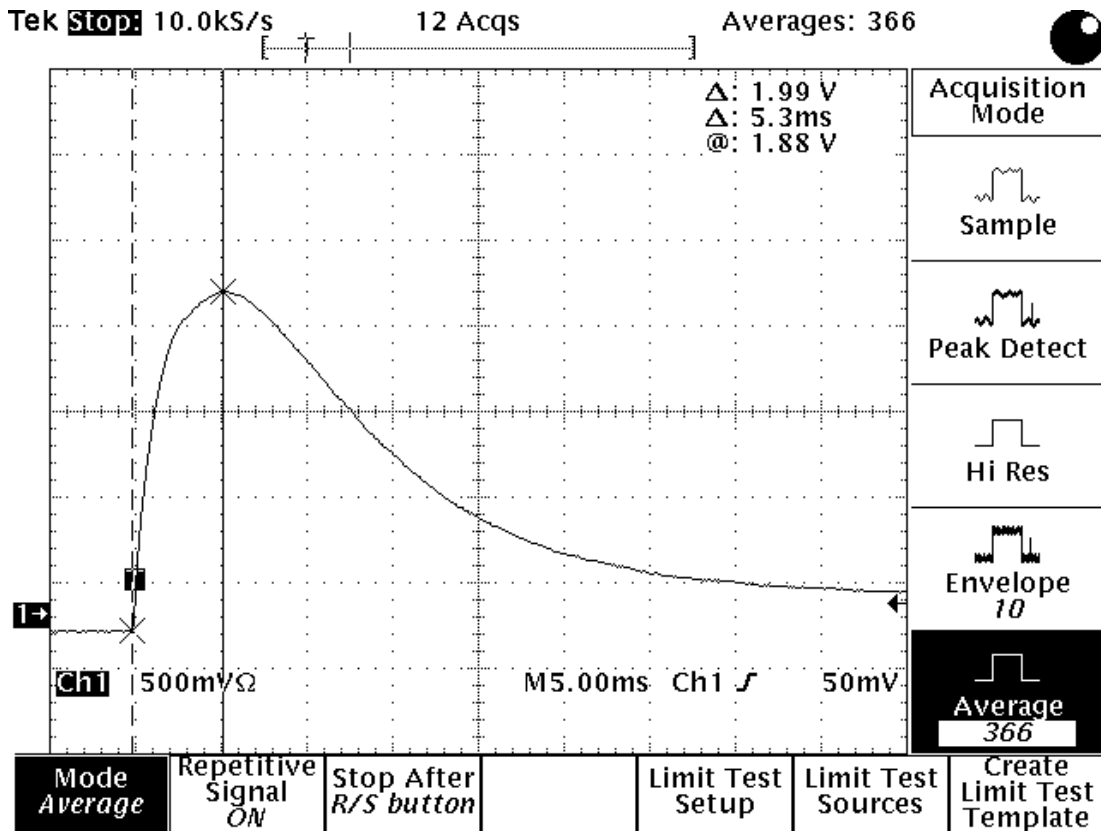


Figura 8.2. Conmutación del motor a rotor libre

Del mismo modo que la inductancia, estamos operando al osciloscopio en su frecuencia mínima posible. Los componentes que conforman a este motor, a caracterizar, lo hacen un sistema que nos obliga a operar a este instrumento en las condiciones ya mencionadas.

Se tomaron cuatro lecturas de puntos cercanos al máximo de la señal transitoria periódica. Esta prueba no se pudo realizar a valores de “V”, tales que “ $V > 5.576 [V]$ ”, por el motivo que la fuente de excitación utilizada sólo nos puede proveer “2 [A]” como corriente máxima. El sistema electrónico es el mismo que se usó para la obtención de la inductancia, por tal motivo, se considera que “ $V_{CE} = 1.0893 [V]$ ”.

Para la generación del algoritmo se utilizó “MATLAB”. Por facilidad, dado a que puede realizar operaciones con números complejos, se puede utilizar sólo el modelo de corriente eléctrica instantánea, considerando polos reales.

$$i(t) = \frac{V - V_{CE}}{JL} \left[\left(\frac{B + \frac{K_E T_i}{V - V_{CE}}}{p_1 p_2} \right) + \left(\frac{J p_1 - \left(B + \frac{K_E T_i}{V - V_{CE}} \right)}{p_1 (p_2 - p_1)} \right) e^{-p_1 t} + \left(\frac{J p_2 - \left(B + \frac{K_E T_i}{V - V_{CE}} \right)}{p_2 (p_1 - p_2)} \right) e^{-p_2 t} \right] \Bigg|_{t \geq 0} \quad (7.3)$$

Los datos de la siguiente tabla fueron los obtenidos mediante la observación de la señal transitoria conmutada del motor; una muestra de estas se ejemplifica en la “Figura 8.2”.

Lectura	t_n [ms]	$i(t_n)$ [A]	V_n [V]
1	5.3	1.61	4.667
2	5.3	1.79	5.11
3	5.3	1.43	4.269
4	5.3	1.99	5.576

Tabla 8.7. Conmutación del motor a caracterizar, a rotor libre

MATLAB nos ofrece herramientas simples y directas para poder programar el algoritmo, propuesto anteriormente, dentro de su espacio de trabajo.

Antes de mostrar el código, se requirió establecer el valor final de la iteración “ J_n ”, recordemos que su aproximación es a la de un cilindro macizo, con radio constante; de tal forma que:

$$J_n = \frac{Mr^2}{2} ; M = 1.6 [Kg] ; r = 0.0285 [m];$$

$$J_n = \frac{(1.6)(0.0285)^2}{2} = 0.0006498 [Kgm^2]$$

En otras palabras, el momento de inercia del rotor es un valor tal que:

$$0 < J < 0.0006498 [Kgm^2]$$

A continuación se muestra, para los valores específicos de “ t_1 ”, “ $i(t_1)$ ” y “ V_1 ”, el código y la gráfica de la iteración propuesta en esta parte del método:

Resultados de la aplicación del método a un motor de parámetros conocidos

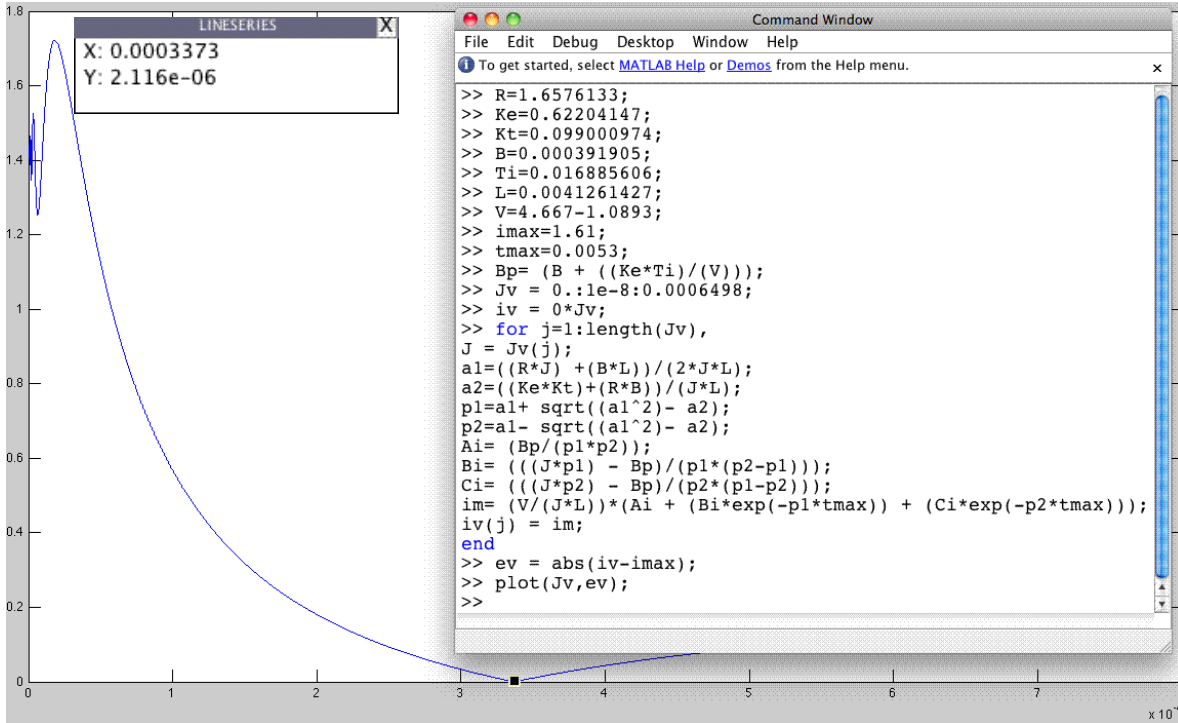


Figura 8.3. Gráfica y código del algoritmo

Los valores obtenidos del algoritmo, para las cuatro diferentes lecturas, se muestran a continuación:

Lectura "n"	t_n [ms]	$i(t_n)$ [A]	V_n [V]	J [Kgm ²]
1	5.3	1.61	4.667	0.0003373
2	5.3	1.79	5.11	0.00032671
3	5.3	1.43	4.269	0.0003308
4	5.3	1.99	5.576	0.0003257
				$\bar{J} = 0.0003301275$

Tabla 8.8. Resultados de la aplicación del algoritmo

Consideraremos el promedio de los datos de la tabla anterior, como el valor veraz de "J".

$$J = 0.0003301275 \text{ [VAs}^3\text{]}$$

8.2 Comparación de resultados

La siguiente imagen es obtenida de la página web del fabricante del motor; esta nos muestra la hoja de datos del motor que acabamos de caracterizar:

ELECTROCRAFT BRUSH TYPE DC SERVO MOTOR SPEC	
MOTOR RATINGS	
Continuous Stall Torque	55 oz-in.
Peak Torque	400 oz-in.
Max. Terminal Voltage	60VDC
Max. Operating Speed	6000 RPM
MECHANICAL DATA	
Rotor Inertia	0008 oz-in. /sec/sec
Damping Constant	0.25 oz-in./KRPM
Thermal Resistance	4 Deg. C/Watt
Max. Armature Temp	155 Deg. C
Max. Friction Torque	3 oz-in.
Max. Radial Load (1" from Bearing)	10 lbs.
Weight	3.5 lbs. (motor only)
ELECTRICAL DATA	
Torque Constant	13.7 oz-in./amp
Voltage Constant	10.2 V./KRPM
Terminal Resistance	1.6 Ohms
Electrical Time Constant	2.6 msec.
Mechanical Time Constant	8.9 msec.
Max. Continuous Current	4 Amps
Armature Inductance	4.1 mH.
Max. Peak Current	34 Amps
PRICING & OPTIONS	
Motor with Dual Shaft - P/N 23SMDC-LCSS/Stock No. RDM-103: \$189.00	
H.P. 500 PPR Single Ended Modular Encoder Mounted - P/N HEDS-5640-A06/Stock No. ADC-244: \$82.00	
1000 PPR Line Driver Output Modular Incremental Encoder with 18" Shielded Cable - P/N SSC DA15-1000-5VLD Encoder/Stock No. ADC-256D: \$110.00	
NEMA 23 Mount: \$30.00	

Imagen 8.10. Datos de fabricante

Antes de mostrar nuestros resultados obtenidos, respecto a los del fabricante, es de notar que la hoja de datos nos ofrece un momento de inercia erróneo; tal error nos sugiere que dicho parámetro es de dimensiones muy superiores al momento de inercia del motor en conjunto, en otras palabras, ofrece dimensiones ilógicas.

Parte de la bibliografía consultada, nos sugiere una ecuación en la cual implica al momento de inercia del rotor, y a la constante de tiempo mecánica del sistema “ τ_m ”. Ya que el fabricante nos proporciona dicha constante de tiempo en la hoja de datos, haremos uso de dicha ecuación para obtener el momento de inercia del rotor. La sustitución de otros parámetros, que también conforman dicha expresión matemática, se realiza tomando directamente los valores de la hoja de datos del fabricante, haciendo su conversión al sistema de unidades que utilizamos a lo largo del método. De ese modo tenemos que:

$$J = \frac{(K_E K_T + RB)\tau_m}{R} \quad (8.1)$$

$$J = \frac{((0.612)(0.09864) + (1.6)(0.000108))0.0089}{1.6}$$

$$J = 0.00033675 [VAs^3]$$

Una vez encontrado el valor teórico del momento de inercia, se muestra a continuación la siguiente tabla comparativa; se les hizo la conversión de las unidades de los datos del fabricante, a nuestro sistema de unidades empelado a lo largo del método “Caracterización de un motor de corriente directa”.

Nombre del parámetro	Símbolo	Fabricante	Fabricante en unidades del método	Resultados
Resistencia de armadura	R	1.6 [Ω]	1.6 [Ω]	1.657 [Ω]
Constante eléctrica	K_E	10.2 $\left[\frac{V}{KRPM \cdot s}\right]$	$6.12 \times 10^{-1} [Vs]$	$6.22 \times 10^{-1} [Vs]$
Constante mecánica	K_T	13.7 $\left[\frac{oz_f - in}{A}\right]$	$9.864 \times 10^{-2} [Vs]$	$9.9 \times 10^{-2} [Vs]$
Fricción viscosa	B	0.25 $\left[\frac{oz_f - in}{KRPM \cdot s}\right]$	$1.08 \times 10^{-4} [VAs^2]$	$3.919 \times 10^{-4} [VAs^2]$
Par de fricción	T_i	3 [oz _f - in]	$2.16 \times 10^{-2} [VAs]$	$1.683 \times 10^{-2} [VAs]$
Inductancia de armadura	L	4.1 [mH]	$4.1 \times 10^{-3} [H]$	$4.177 \times 10^{-3} [H]$
Inercia del rotor	J	0.00033675 $\left[\frac{V}{As}\right]$	$3.3675 \times 10^{-4} [VAs^3]$	$3.3012 \times 10^{-4} [VAs^3]$

Tabla 8.9. Comparación de resultados.

Para la mayoría de los parámetros, la coincidencia de los resultados es sumamente cercana; las explicaciones sobre variaciones considerables, en otros parámetros de la misma tabla, serán expuestas en las conclusiones de esta publicación; en dichas conclusiones también se hacen otros análisis en base a los resultados obtenidos.

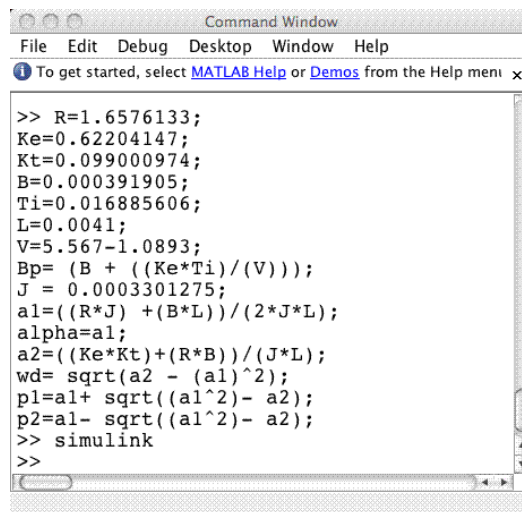
8.3 Recreación de una señal de corriente eléctrica instantánea

Dicha recreación se realizó con el afán de dar veracidad a los modelos que se obtuvieron en el “Capítulo 1” de esta publicación. Nuestra muestra esta descrita por los datos obtenidos en la “Figura 8.2”, y todos los cálculos se realizaron utilizando MATLAB, que nos puede ofrecer una forma simple, y rápida, para la simulación de la señal en cuestión.

8.3.1 Uso de las funciones de transferencia de corriente eléctrica

Una primera prueba se hizo utilizando el módulo “SIMULINK”, en éste se pueden colocar directamente las funciones de transferencia que son obtenidas de la ecuación (1.15); cada una de ellas con uno de los diferentes tipos de polos que puede poseer un motor a caracterizar.

Se ingresaron los parámetros obtenidos del método, al espacio de trabajo de MATLAB, en conjunción con las condiciones que generaron a la señal de la “Figura 8.2” (Como la tensión de alimentación y la caída de voltaje en el sistema electrónico); estos mismos conforman las fórmulas que obtienen directamente los valores de “ p_1 ”, “ p_2 ”, “ ω_d ” y “ α ”.



```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu x

>> R=1.6576133;
Ke=0.62204147;
Kt=0.099000974;
B=0.000391905;
Ti=0.016885606;
L=0.0041;
V=5.567-1.0893;
Bp= (B + ((Ke*Ti)/(V)));
J = 0.0003301275;
a1=((R*J) +(B*L))/(2*J*L);
alpha=a1;
a2=((Ke*Kt)+(R*B))/(J*L);
wd= sqrt(a2 - (a1)^2);
p1=a1+ sqrt((a1^2)- a2);
p2=a1- sqrt((a1^2)- a2);
>> simulink
>>
    
```

Imagen 8.11. Ingreso de datos

Se transfirieron los valores del espacio de trabajo a “SIMULINK”, de esta forma se pueden generar las funciones de transferencia que utilizamos a lo largo del método.

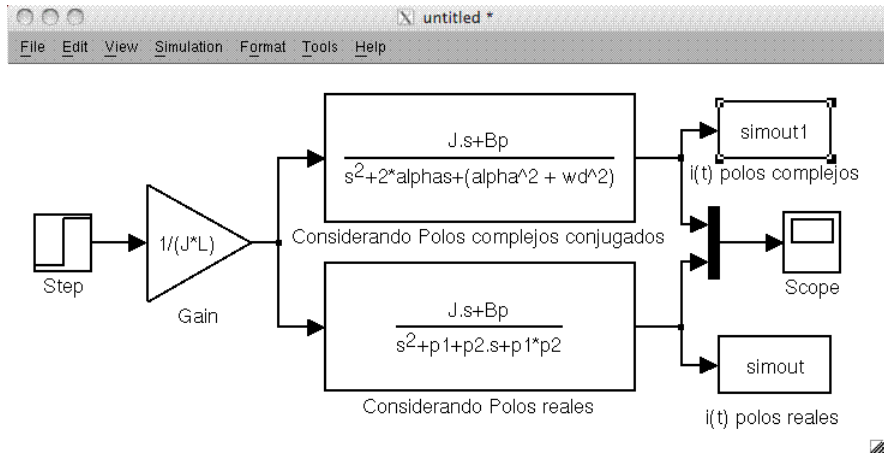


Imagen 8.12. SIMULINK

Una vez simulado, en el espacio de trabajo recabamos los arreglos que genera MATLAB en su módulo SIMULINK; y ahí mismo se graficaron dichos arreglos, unos respecto a otro.

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu.
>> whos
Name          Size          Bytes  Class  Attributes
B              1x1            8  double
Bp             1x1            8  double
J              1x1            8  double
Ke             1x1            8  double
Kt             1x1            8  double
L              1x1            8  double
R              1x1            8  double
Ti             1x1            8  double
V              1x1            8  double
a1             1x1            8  double
a2             1x1            8  double
alpha          1x1            8  double
p1             1x1           16  double  complex
p2             1x1           16  double  complex
simout         82x1          656  double
simout1        82x1          656  double
tout           82x1          656  double
wd             1x1            8  double

>> plot(tout, simout)
hold on
plot(tout, simout1)
hold off
>>
    
```

Imagen 8.13. Arreglos en el espacio de trabajo

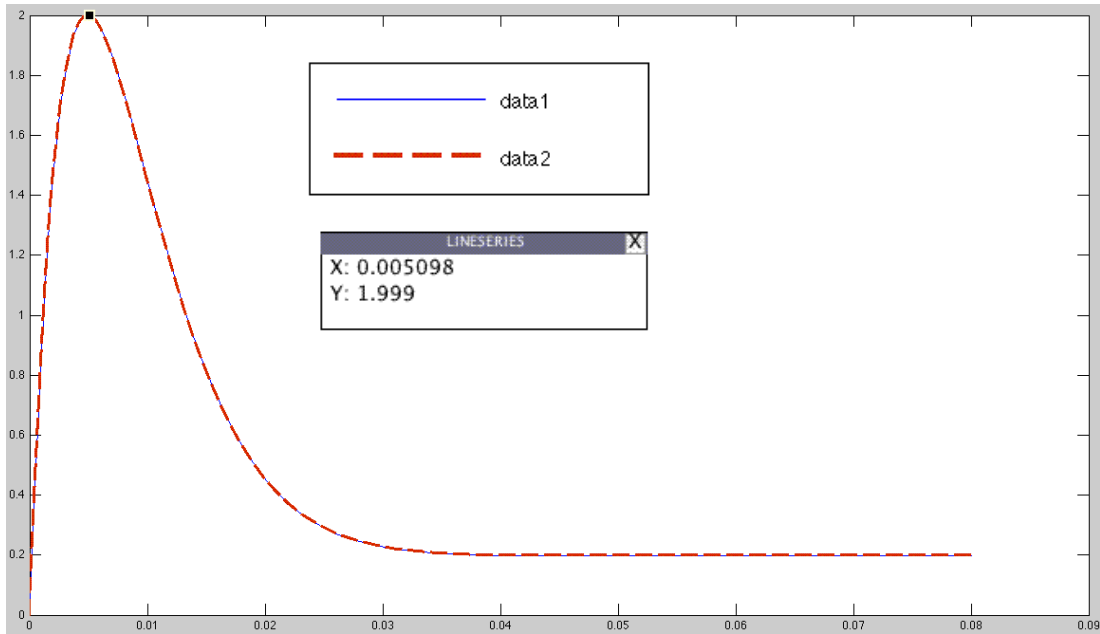


Figura 8.4. Recreación de una señal de corriente eléctrica instantánea, usando función de transferencia

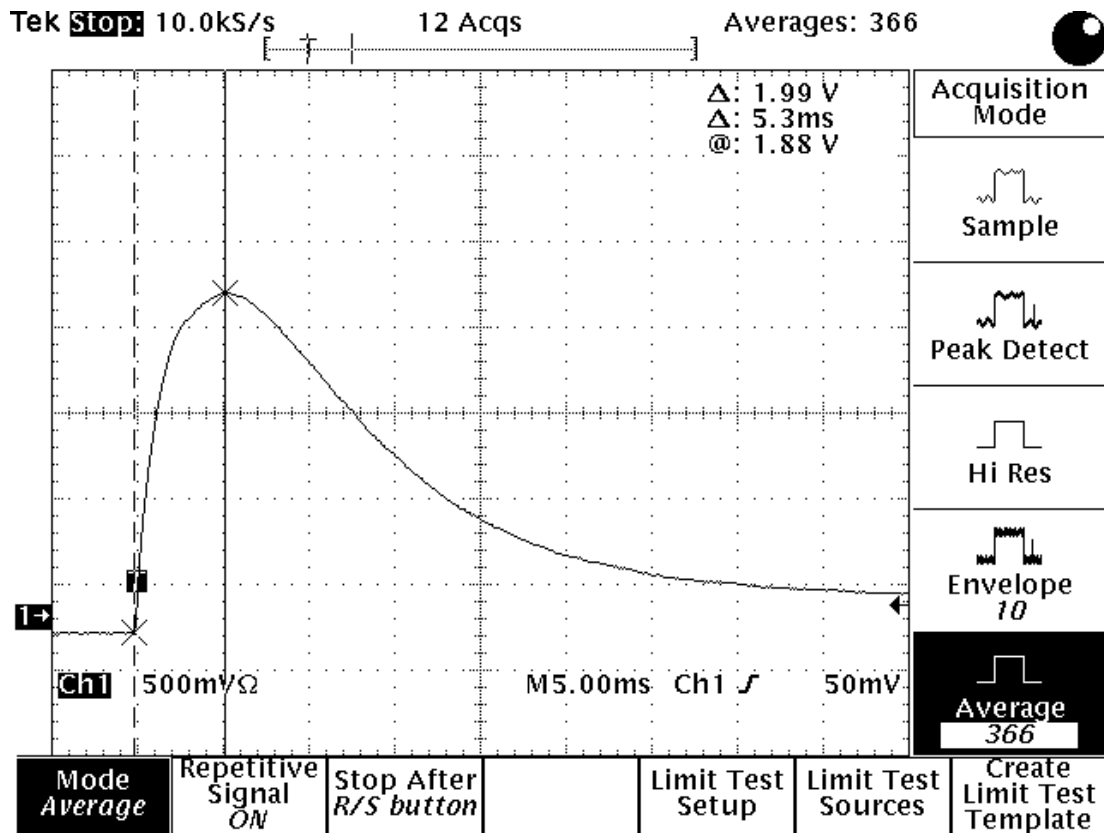


Figura 8.2. Conmutación del motor a rotor libre

La “Figura 8.4” muestra las señales de corriente eléctrica que generan los dos tipos posibles de funciones de transferencia; las dos señales siguen la misma trayectoria, es decir, ambas representan el mismo evento, para el mismo sistema físico. La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de los puntos máximos de las “Figuras 8.4 y 8.2”:

Figura	t_{max} [ms]	$i(t_{max})$ [A]
Figura 8.2	5.3	1.99
Figura 8.4	5.098	1.999

Tabla 8.10. Comparación de una señal de corriente eléctrica instantánea, con el modelo matemático de función de transferencia recreado en SIMULINK

Los resultados obtenidos son muy cercanos a la muestra tomada (Figura 8.2).

8.3.2 Uso de la señal de corriente eléctrica instantánea

Otra forma de comprobar la veracidad en cuestión, consiste en tomar el modelo de corriente eléctrica instantánea, simulándola directamente en el espacio de trabajo de MATLAB. Al igual que la forma pasada, se ingresaron los parámetros obtenidos del método, al espacio de trabajo de MATLAB, en conjunción con las condiciones que generaron a la señal de la “Figura 8.2” (Como la tensión de alimentación y la caída de voltaje en el sistema electrónico); a continuación se muestra el código y la comparación de resultados.

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu.
>> R=1.6576133;
Ke=0.62204147;
Kt=0.099000974;
B=0.000391905;
Ti=0.016885606;
L=0.0041261427;
V=5.567-1.0893;
Bp= (B + ((Ke*Ti)/(V)));
J = 0.0003301275;
t=[0:0.000001:0.06];
a1=((R*J) + (B*L))/(2*J*L);
a2=((Ke*Kt)+(R*B))/(J*L);
p1=a1+ sqrt((a1^2)- a2);
p2=a1- sqrt((a1^2)- a2);
Ai= (Bp/(p1*p2));
Bi= (((J*p1) - Bp)/(p1*(p2-p1)));
Ci= (((J*p2) - Bp)/(p2*(p1-p2)));
im= (V/(J*L))*(Ai + (Bi*exp(-p1*t)) + (Ci*exp(-p2*t)));
plot(t,im);
>>
    
```

Imagen 8.14. Código de la recreación de una señal de corriente eléctrica instantánea.

Resultados de la aplicación del método a un motor de parámetros conocidos

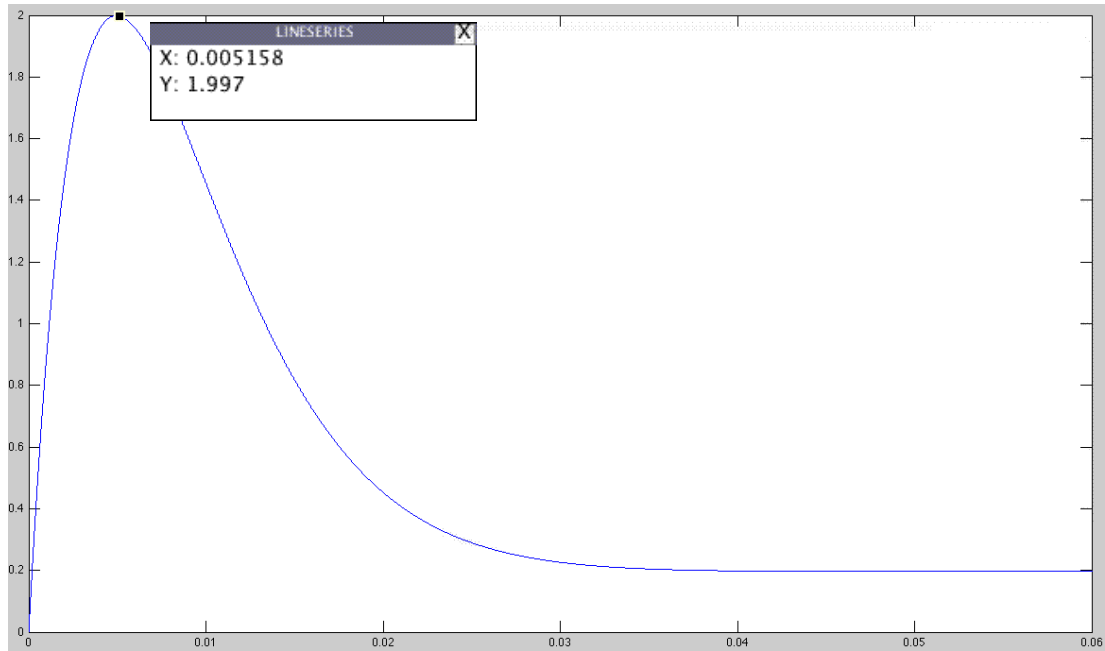


Figura 8.5. Recreación de una señal de corriente eléctrica instantánea, usando el modelo en el dominio del tiempo

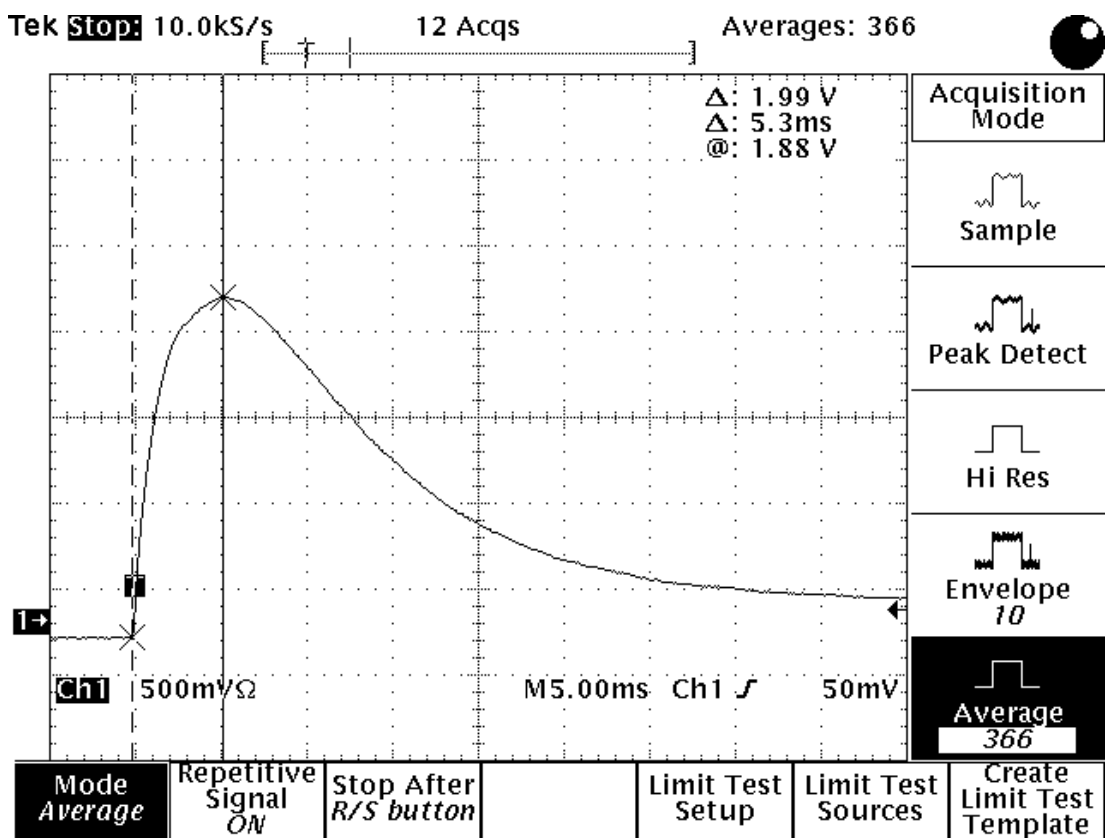


Figura 8.2. Conmutación del motor a rotor libre

La “Figura 8.5” muestra la señal de corriente eléctrica que genera la expresión matemática (7.3); la siguiente tabla muestra los datos obtenidos de los puntos máximos de las “Figuras 8.5 y 8.2”:

Figura	t_{max} [ms]	$i(t_{max})$ [A]
Figura 8.2	5.3	1.99
Figura 8.5	5.158	1.997

Tabla 8.11. Comparación de una señal de corriente eléctrica instantánea, con el modelo matemático en el dominio del tiempo

Los resultados son muy cercanos a la muestra tomada (Figura 8.2).

8.4 Constantes de control

La siguiente tabla muestra el valor de algunos parámetros, de nuestro motor caracterizado, propios del estudio del control de sistemas de segundo orden.

Nombre	Símbolo	Unidades del método	Unidades usuales
Polo Uno	P_1	$-202.74 - 69.81j$ [$\frac{rev}{s}$]	$-1273.85 - 438.65j$ [$\frac{rad}{s}$]
Polo Dos	P_2	$-202.74 + 69.81j$ [$\frac{rev}{s}$]	$-1273.85 + 438.65j$ [$\frac{rad}{s}$]
Frecuencia natural amortiguada	ω_d	69.8135 [$\frac{rev}{s}$]	438.6511 [$\frac{rad}{s}$]
Frecuencia natural no amortiguada	ω_n	214.4249 [$\frac{rev}{s}$]	1347.2713 [$\frac{rad}{s}$]
Factor de amortiguamiento real	α	202.7415 [$\frac{rev}{s}$]	1273.8624 [$\frac{rad}{s}$]
Factor de amortiguamiento relativo	ξ	0.9455 [1]	0.9455 [1]

Tabla 8.12. Constantes de control