

# Construcción de un sistema de carga variable para la calibración de sensores de corriente utilizados en el control de motores PMSM

---

Jordy Cordero Montero

29 de agosto de 2022



**ARCOS-LAB**  
Autonomous Robots and Cognitive  
Systems Laboratory

**INII**

**UCR**  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**EIE**

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable

Prueba de circuito abierto

Prueba de circuito cerrado

- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable
  - Prueba de circuito abierto
  - Prueba de circuito cerrado
- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

## Objetivo General:

Construir un sistema de carga mecánica variable para ajustar los sensores de corriente usados en el sistema de control OpenCoRoCo de motores PMSM esponiéndolo a diferentes condiciones de carga

## Objetivos específicos:

- Poner en marcha el sistema actual de OpenCoRoCo para el control de motores.
- Diseñar e implementar una propuesta de carga mecánica variable para motores PMSM.
- Probar el funcionamiento de la carga variable en conjunto con el sistema de control de motores PMSM.
- Calibrar por software los sensores de OpenCoRoCo en diferentes condiciones de carga si fuera necesario.

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable
  - Prueba de circuito abierto
  - Prueba de circuito cerrado
- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

# Planteamiento del problema

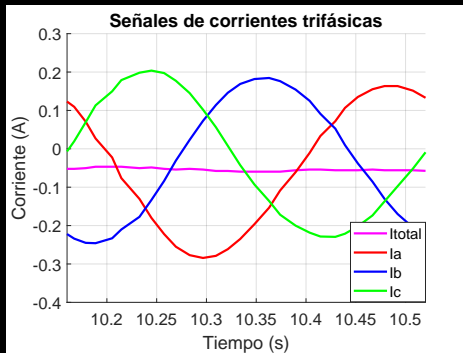


Figura 1: Señales medidas por los sensores de corriente.

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable
  - Prueba de circuito abierto
  - Prueba de circuito cerrado
- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias



## Algoritmo de calibración de sensores de corriente

1. Se recibe la instrucción de iniciar el ciclo de control.
2. Se espera a que la lectura de los sensores den un valor entre  $-0.25\text{A}$  y  $0.25\text{A}$ .
3. Se guardan los datos medidos por los sensores en una variable de offset para cada sensor (Solo se calcula antes de encender el motor).
4. Se enciende el motor y se inicia el ciclo de control.
5. A todas las mediciones de los sensores se resta el valor de offset guardado.

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- **Diseño e implementación del sistema de carga variable**
- Resultados del sistema de carga variable
  - Prueba de circuito abierto
  - Prueba de circuito cerrado
- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

## Estado del arte

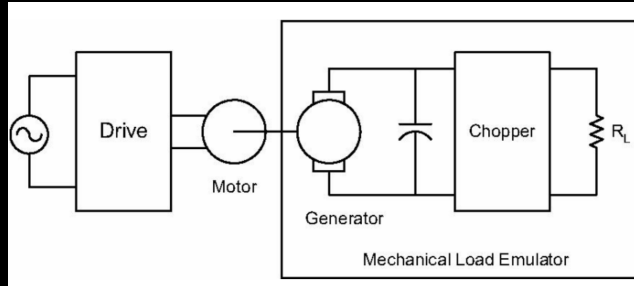


Figura 2: Diagrama de bloques de un sistema de carga variable (Pedrasa. et al, 2006 ).

## Diseño a implementar

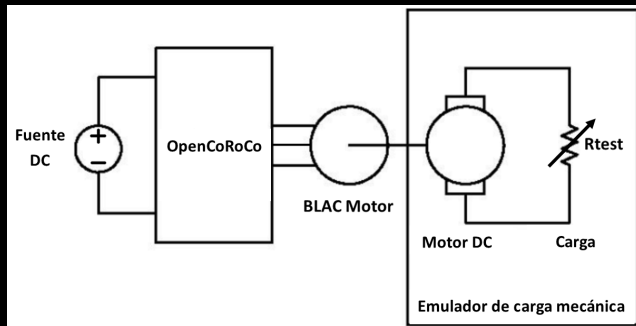


Figura 3: Diagrama de bloques del sistema de carga variable a implementar.

## Proceso de creación del sistema de carga variable

Elementos del sistema:

- Motor de accionamiento.
- Motor de carga.
- Poleas.
- Faja.
- Base de soporte.
- Resistencia de carga.

## Video demostrativo del sistema en funcionamiento



# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable

Prueba de circuito abierto

Prueba de circuito cerrado

- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

# Prueba de circuito abierto

Ecuación que relaciona velocidad y tensión:

$$V_{out} = K_t \cdot \omega_m$$

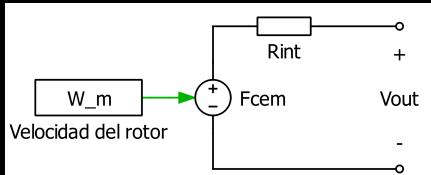


Figura 4: Circuito DC para la prueba.

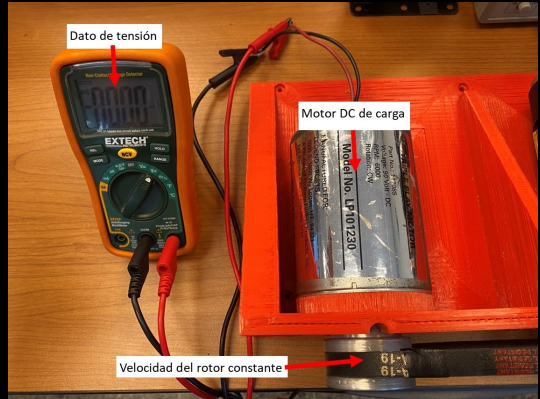


Figura 5: Maqueta para la prueba de circuito abierto.

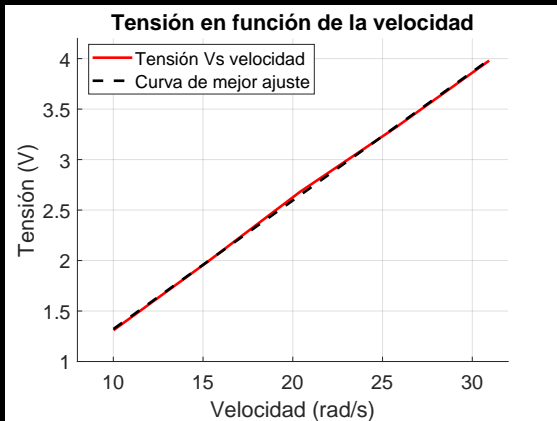


## Resultados de la prueba de circuito abierto

Prueba	Velocidad promedio del rotor (rad/s)	Tensión promedio (V)	$K_t$ (Nm/A)
1	10,010	1,318	0,132
2	15,271	1,998	0,131
3	20.400	2,682	0,131
4	25,749	3,322	0,129
5	30,944	3,985	0,129

Cuadro 1: Datos obtenidos en la prueba de circuito abierto

## Resultados de la prueba de circuito abierto



$$f(x) = 0,1274x + 0,0471$$

$$\therefore K_t = 0,1274[Nm/A]$$

Figura 6: Gráfica de tensión en función de la velocidad.

# Prueba de circuito cerrado

Ecuación que relaciona par y corriente:

$$\tau_m = K_t \cdot I_a$$

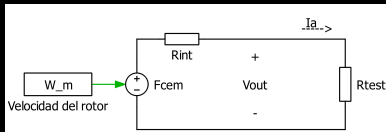


Figura 7: Circuito DC para la prueba.



Figura 8: Maqueta para la prueba de circuito cerrado.

## Resultados de la prueba de circuito cerrado

Prueba	Corriente entregada por la fuente (A)	$V_{out}$ (V)	$i_a$ (A)	R_test $\Omega$	Torque (Nm)
1	2,804	0,584	0,807	0,724	0,105
2	2,397	1,594	0,521	3,058	0,068
3	2,278	2,139	0,386	5,545	0,050
4	2,238	2,444	0,299	8,188	0,039
5	2,138	3,043	0,179	17,035	0,023
6	1,800	3,150	0,151	20,913	0,020
7	1,585	3,207	0,133	24,137	0,017
8	1,498	3,291	0,118	27,941	0,015

Cuadro 2: Datos obtenidos en la prueba de circuito cerrado.

# Observación de la corriente entregada por la fuente de alimentación

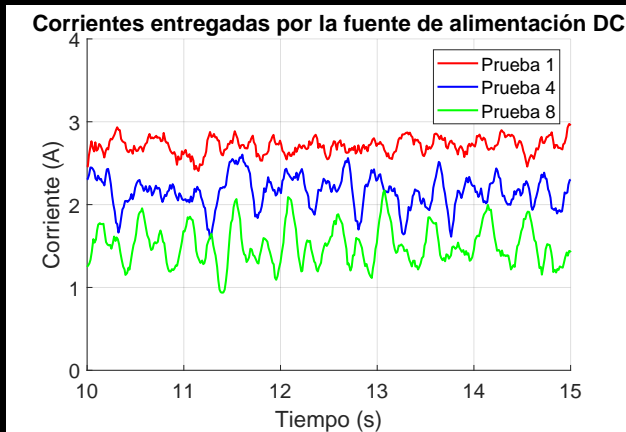


Figura 9: Corriente entregada por la fuente.

## Par mecánico en función de la resistencia

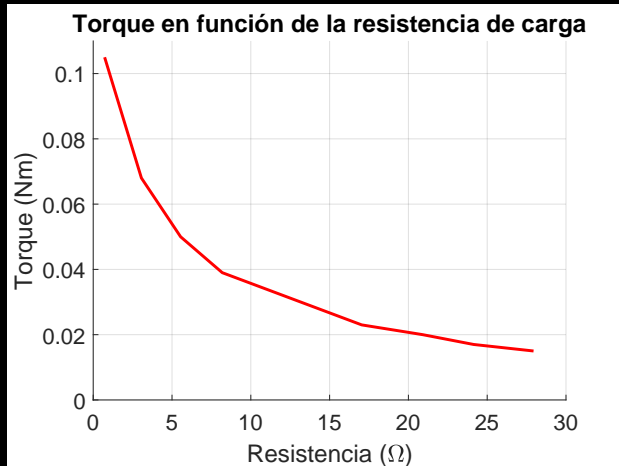


Figura 10: Gráfica del torque en función de la resistencia.

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable

Prueba de circuito abierto

Prueba de circuito cerrado

- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

Prueba 1:  $R_{test} = 0,724\Omega$ .

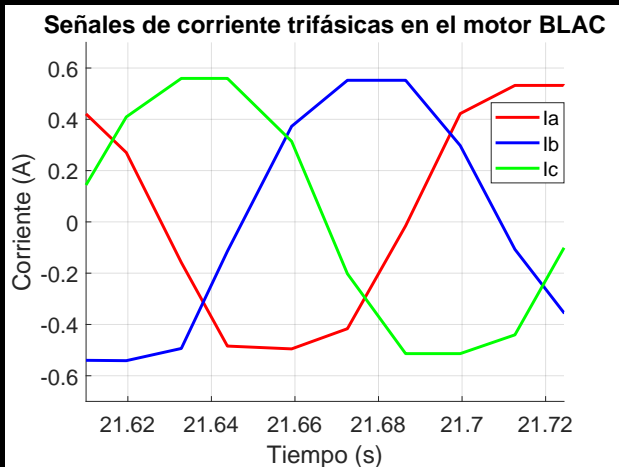


Figura 11: Señales de corriente trifásica para la prueba 1.



Prueba 4:  $R_{test} = 8,188\Omega$ .

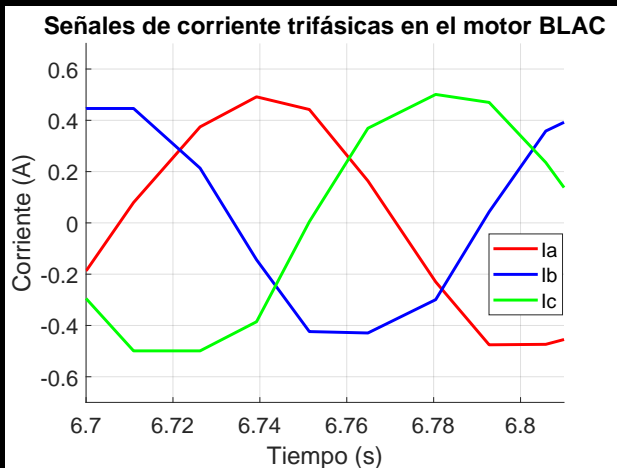


Figura 12: Señales de corriente trifásica para la prueba 4.

Prueba 8:  $R_{test} = 27,941\Omega$ .

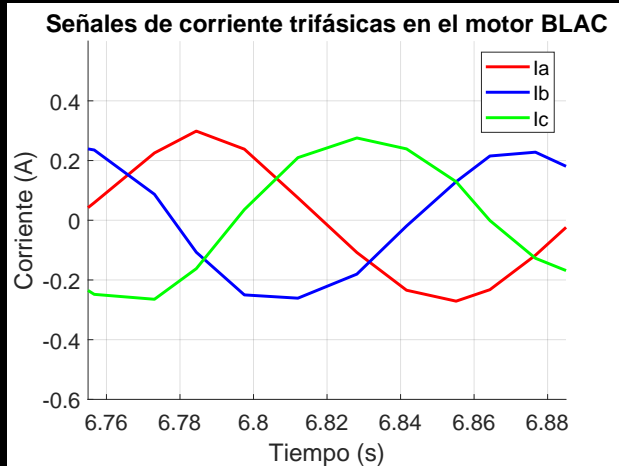


Figura 13: Señales de corriente trifásica para la prueba 8.

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable

Prueba de circuito abierto

Prueba de circuito cerrado

- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

## Conclusiones:

- Una calibración de sensores de corriente genera mediciones con mayor exactitud que influyen positivamente en el control del motor.
- Necesidad de un sistema de carga variable.
- La carga generada tiene una componente constante y una componente variable.
- La componente variable depende de la resistencia de carga.
- Error de medición de sensores no depende de la carga.

# Contenidos:

- Objetivos
- Planteamiento del problema
- Algoritmo de calibración de sensores de corriente
- Diseño e implementación del sistema de carga variable
- Resultados del sistema de carga variable

Prueba de circuito abierto

Prueba de circuito cerrado

- Resultados de la calibración de sensores de corriente
- Conclusiones
- Referencias

## Referencias

- Jimenez Huerta A, Felix Beltran O, Hernandez Sanchez J, and Reyes Cortés F. Algoritmos de control de impedancia para un rotradi. Universidad Autónoma de Puebla, 2013.
- ALLEGRO Microsystems. ACS70331, 9 2021.
- Farnell company. Motores sincrónicos de imanes permanentes. Disponible en: <https://es.farnell.com/motor-control-permanent-magnet-sync-motor-pmsm-technology>. Accesado el 24 de mayo de 2022.
- Sancho Abarca E. Implementación de un sistema de control para un motor pmsm basado en control vectorial y plataforma opencoroco. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 4 2022.

## Referencias (cont.)

- Andreas Echle, Yuancong Gong, Jonathan Terfurth, and Nejila Parspour. Fea-based comparison of bldc and blac modes for an axial flux motor with trapezoidal bemf. In IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pages 2694–2701, 2020.
- Md Inzamamul Haq, Jerin Tasnim Humayra, Mahmuda Rahman, Shahria Tanzil, and Abdul Hadi Hanan. Control and simulation of a three-phase inverter. In 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), pages 1419–1424, 2021.
- Alon Kuperman. Hil-based virtual disturbance and parameter variations of controlled electric drive. In 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pages 2165–2170, 2008.
- Roberto Morales-Caporal, Montiel German, Allan Pérez López, K. Hernández Castañeda, and F. Vázquez-Tonix. Diseño de un inversor trifásico e implementación del control escalar para accionar una máquina de inducción con aplicaciones en vehículos eléctricos. Academia Journals, 11 2016.

## Referencias (cont.)

- Gholamreza Nazmara, Mohammad Mehdi Fateh, and Seyed Mohammad Ahmadi. A robust adaptive impedance control of robots. In 2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM), pages 40–45, 2018.
- Sehoon Oh and Yoichi Hori. Fractional order impedance control by particle swarm optimization. In 2008 International Conference on Control, Automation and Systems, pages 1936–1941, 2008.
- Daniel Ortuño and Federico Ruiz. Sensor de fuerza/torque para un control por impedancia de la base móvil de un robot. ARCOS-Lab (Laboratorio de Investigación en Robots Autónomos y Sistemas Cognitivos), Universidad de Costa Rica, 2019.



## Referencias (cont.)

- Michael Angelo A. Pedrasa and Vincent Louie S. Delfin. Low cost mechanical load emulator. In TENCON 2006 - 2006 IEEE Region 10 Conference, pages 1–3, 2006.
- M. Rodic and K. Jezernik. An approach to the dynamic emulation of mechanical loads. In IEEE International Conference on Industrial Technology, 2003, volume 1, pages 489–494 Vol.1, 2003.
- M. Rodic, K. Jezernik, and M. Trlep. Control design in mechatronic systems using dynamic emulation of mechanical loads. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2005. ISIE 2005., volume 4, pages 1635–1640, 2005.