

# Control Descentralizado Basado en Rechazo Activo de Perturbaciones para un Servomecanismo Accionado por dos Motores Síncronos de Imanes Permanentes

R. O. García-Valladares\* J. Linares-Flores\*\*  
G. Curiel-Olivares\*\*\* A. Hernández-Méndez\*\*\*\*  
C. G. Pérez-Ibarra†

\* *Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, 69000 México*  
(e-mail: ruben.0702@hotmail.com).  
\*\* (e-mail: jlinares@mixteco.com.mx.)  
\*\*\* (e-mail: gonzcuriel@gmail.com)  
\*\*\*\* (e-mail: arturohm555@gmail.com)  
† (e-mail: cesarperez662@gmail.com)

---

**Abstract:** Este artículo presenta un esquema de control descentralizado por rechazo activo de perturbaciones (ADRC) aplicado a un sistema electromecánico interconectado de dos motores síncronos de imanes permanentes de CA (MSIPCA), los cuales comparten un par de carga común. El objetivo de control es sincronizar la velocidad angular de ambos motores con respecto a una referencia deseada. Además, la repartición de carga aplicada por cada motor debe ser equitativa. Los resultados a nivel simulación demuestran que se compensan adecuadamente las variaciones paramétricas del modelo dinámico (endógenas), las perturbaciones de par de carga arbitrario (exógenas) y los efectos de interconexión debido a la interacción entre los MSIPCA.

*Keywords:* Control por rechazo activo de perturbaciones, Sincronización de velocidad angular en motores de CA, Motor sincrónico de imán permanente, Control descentralizado.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Los servomecanismos accionados por múltiples motores son un tema de interés creciente en la industria. La sincronización de velocidad angular y el reparto de par de carga, son tópicos que se precisan cuando se trabaja con un grupo de motores mecánicamente acoplados. El concepto de accionamiento múltiple en servosistemas, se ha estudiado utilizando motores de CD, motores síncronos y/o motores de inducción. En este sentido, Sruthi et al (2017) simula y sincroniza la velocidad angular de tres motores de inducción trifásicos para regular la velocidad angular de una banda transportadora. Quiang et al (2016) emplea dos motores síncronos de imanes permanentes, usando el enfoque de control descentralizado para accionar un cabezal de una máquina dragadora, la cuál, es utilizada para dar mantenimiento a grandes ríos o canales que sirven como una vía de comercio. En el caso de Scelba et al (2016) y Sira-Ramírez et al (2014) se controla una grúa de gancho con un sistema multi-motor, la sincronización de velocidad angular de los motores previene deslizamientos sobre el riel de carga, los cuales, son causantes de un mal funcionamiento de tracción en la grúa. Otra aplicación que requiere una perfecta sincronización de velocidad

angular es el sistema de tracción eléctrica que utilizan los trenes de alta velocidad Li et al (2014) dado que, una ligera desviación puede provocar un descarrilamiento de la unidad ferroviaria.

Los algoritmos de control descentralizados que se utilizan en servosistemas cooperativos, emplean distintas técnicas de sincronización de velocidad. Un análisis hecho por Li et al (2014), indica que las técnicas de sincronización de velocidad angular más empleadas en servomecanismos cooperativos son las siguientes: la técnica de referencia maestra, el seguimiento maestro-esclavo, el acoplamiento cruzado y por último, la técnica de eje de línea virtual electrónico (ver Li et al (2014)).

Se han reportado técnicas de control robustas que ofrecen un buen desempeño en servomecanismos cooperativos, tal es el caso de Wang et al (2019), quien propone un esquema de control óptimo combinado con un observador de estado extendido, y un seguimiento de carga mediante un enfoque basado en Backstepping. Por otra parte, Sun et al (2015) implementa un controlador por rechazo activo de perturbaciones mediante un enfoque en la teoría de Lyapunov, con la finalidad de mitigar los efectos causados por las no linealidades del sistema. Si bien es cierto que

Sun et al (2015) y Wang et al (2019) utilizan estrategias de control con distintos enfoques, en ambos casos se utilizan observadores de estado extendido.

En éste artículo, se propone un controlador descentralizado basado en rechazo activo de perturbaciones, para sincronizar la velocidad angular y repartir equitativamente el par de carga entre dos diferentes MSIPCA, que comparten una carga en común. La Fig. 1 muestra el diagrama a bloques del servomecanismo utilizado. Se utilizan este tipo de motores debido a sus notables características: alta densidad de potencia y par por su diseño compacto, alta eficiencia eléctrica y escaso mantenimiento. Por otro lado, el diseño del controlador está basado en la propiedad de planitud diferencial del sistema en combinación de un observador de estado extendido Linares et al (2018).

La organización de este artículo es la siguiente: en la Sección 2 se presenta el modelo dinámico del servomecanismo accionado por dos motores de imanes permanentes, en la Sección 3 se presenta el diseño del control por rechazo activo de perturbaciones para la sincronización de velocidad y el reparto equitativo de carga. Por otra parte, en la Sección 4 se muestran los resultados de la simulación del servomecanismo y la propuesta de control. Por último, las conclusiones son presentadas en la sección 5.

## 2. MODELO DINÁMICO DEL SERVOMECANISMO IMPULSADO POR DOS MOTORES SÍNCRONOS DE IMANES PERMANENTES

El servomecanismo que se aborda en éste trabajo, ver Fig. 1, está compuesto por el acoplamiento mecánico entre las flechas de dos motores de imanes permanentes de CA y una flecha central que conecta directamente a una carga. Ambos motores emplean un sistema de engranajes como mecanismo de transmisión de movimiento.

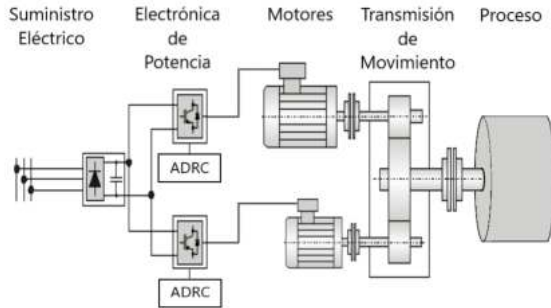


Fig. 1. Servomecanismo accionado por dos motores síncronos de imanes permanentes de CA

La obtención del modelo dinámico se realiza bajo las siguientes consideraciones:

- El motor es una carga trifásica balanceada.
- Los ejes son totalmente rígidos.
- La relación de engranes es la misma para los motores y la carga.

- Se considera que siempre habrá un punto de contacto entre los engranes.

Con el uso de las leyes de Kirchhoff, la segunda ley de Newton y con la ayuda de las transformaciones de Clarke y Parke, se obtiene el modelo dinámico del servomecanismo. El sistema de ecuaciones que describe el comportamiento dinámico del servomecanismo, es un sistema no lineal multivariable de séptimo orden, el cual es de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 L_{s1} \frac{d}{dt} I_{d1} &= -R_{s1} I_{d1} + L_{s1} I_{q1} n_{p1} \omega_1 + u_{d1} \\
 L_{s1} \frac{d}{dt} I_{q1} &= -R_{s1} I_{q1} - L_{s1} I_{d1} n_{p1} \omega_1 - K_{m1} \omega_1 + u_{q1} \\
 J_{eq1} \frac{d}{dt} \omega_1 &= \frac{3}{2} K_{m1} I_{q1} - B_{eq1} \omega_1 - \left(\frac{n}{2}\right) \tau_L \\
 L_{s2} \frac{d}{dt} I_{d2} &= -R_{s2} I_{d2} + L_{s2} I_{q2} n_{p2} \omega_2 + u_{d2} \\
 L_{s2} \frac{d}{dt} I_{q2} &= -R_{s2} I_{q2} - L_{s2} I_{d2} n_{p2} \omega_2 - K_{m2} \omega_2 + u_{q2} \\
 J_{eq2} \frac{d}{dt} \omega_2 &= \frac{3}{2} K_{m2} I_{q2} - B_{eq2} \omega_2 - \left(\frac{n}{2}\right) \tau_L \\
 J_{eq} \frac{d\omega_L}{dt} &= \frac{3}{2} \left(\frac{1}{n}\right) (K_{m1} I_{q1} + K_{m2} I_{q2}) - B_{eq} \omega_L - \tau_L
 \end{aligned} \tag{1}$$

donde los subíndices 1, 2 indican los parámetros de cada motor, el subíndice  $L$  corresponde a los parámetros de la flecha de carga,  $I_d$ ,  $I_q$  son las componentes de corriente directa y cuadratura en cada motor,  $u_d$ ,  $u_q$  son las entradas de control,  $L_s$  es el valor nominal de la inductancia de estator,  $R_s$  es el valor nominal de la resistencia de estator,  $n_p$  es el número de pares de polos de los motores,  $\omega$  es la velocidad angular del rotor,  $\omega_L$  es la velocidad angular en el eje de la carga,  $n$  es la relación de transmisión,  $K_m$  es la constante mecánica del motor,  $B_{eq}$  y  $J_{eq}$ , son los coeficientes de fricción viscosa y momentos de inercia respectivamente.  $B_{eq}$  y  $J_{eq}$  están dados por:

$$J_{eq} = J_L + \left(\frac{1}{n^2}\right) (J_1 + J_2)$$

$$B_{eq} = B_L + \left(\frac{1}{n^2}\right) (B_1 + B_2)$$

a su vez:

$$J_{eq1} = J_1 + n^2 \left(\frac{J_L}{2}\right); B_{eq1} = B_1 + n^2 \left(\frac{B_L}{2}\right)$$

$$J_{eq2} = J_2 + n^2 \left(\frac{J_L}{2}\right); B_{eq2} = B_2 + n^2 \left(\frac{B_L}{2}\right)$$

## 3. DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL POR RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES

### 3.1 Formulación del problema

El esquema de control propuesto debe cumplir los siguientes objetivos de control:

- Ambos motores deben seguir de forma sincronizada una referencia de velocidad angular.

- Al mismo tiempo, los motores deben cooperar de forma equitativa para compensar un par de carga arbitrario aplicado al eje común del servomecanismo mostrado en la Figura 1.
- El esquema de control por rechazo activo de perturbaciones (ADRC) propuesto es descentralizado. Por lo tanto, se diseñan dos leyes de control para cada subsistema (motor 1 y motor 2), las cuales no requieren un enlace de comunicación entre sí. En este sentido, la metodología de diseño se basa en lo reportado por Linares et al (2018) y Hernández-Méndez et al (2017).

Un aspecto importante en el diseño del esquema de control es englobar en un término de perturbación a las incertidumbres paramétricas del modelo dinámico, las perturbaciones de par de carga arbitrario y los efectos de interacción entre los dos motores interconectados. Esto permite desacoplar el modelo original dado en (1), convirtiéndose en dos subsistemas independientes de orden menor, tal como se describe a continuación.

### 3.2 Controlador por rechazo activo de perturbaciones

El control por rechazo activo de perturbaciones es una técnica basada en la propiedad de planitud diferencial que presentan los sistemas planos, de acuerdo con Sira-Ramírez et al (2017) la propiedad de planitud diferencial permite la trivialización de la tarea de diseño del controlador, reduciendo el problema de control por realimentación, a un problema correspondiente a un sistema lineal controlable invariante en el tiempo. La relación entrada-salida plana que guarda el ADRC, permite agrupar las entradas de perturbación externa y los términos no lineales dependientes del estado en una sola función de perturbación. Así, mediante la estimación precisa de la parte desconocida, el observador de estado extendido procede a cancelar los efectos de la entrada de perturbación, mediante un esfuerzo de cancelación que se complementa en la ley de control.

La parametrización diferencial de un sistema plano, inicia con la adecuada escogencia de la o las salidas planas. En éste caso, se sabe de Sira-Ramírez et al (2014) y Thounthong et al (2018) que las salidas planas del MSIPCA son:

$$\begin{aligned} F_{1i} &= I_{di} \\ F_{2i} &= \omega_i \end{aligned} \quad (2)$$

con  $i = 1, 2$

después de efectuar la parametrización diferencial, el modelo del MSIPCA se muestra en la ecuación 3 como:

$$\begin{aligned} u_{di} &= L_{si}\dot{F}_{1i} + \underbrace{R_{si}F_{1i} - n_{pi}L_{si}F_{2i}I_{qi}}_{\psi_{di}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L)} \\ u_{qi} &= \frac{2}{3} \frac{J_{eqi}L_{si}}{k_{mi}} \ddot{F}_{2i} \\ &+ \underbrace{\frac{2}{3} \frac{B_{eqi}}{K_{mi}} L_{si}\dot{F}_{2i} + R_{si}I_{qi} + n_{pi}L_{si}F_{2i}F_{1i} + K_{mi}F_{2i}}_{\psi_{qi}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L)} \end{aligned} \quad (3)$$

siendo  $I_{qi}$  igual a:

$$I_{qi} = \frac{2}{3} \frac{J_{eqi}}{K_{mi}} \dot{F}_{2i} + \frac{2}{3} \frac{B_{eqi}}{K_{mi}} F_{2i} + \frac{n}{3K_{mi}} \tau_L \quad (4)$$

La representación matricial del sistema está dada por:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} L_{si} & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} \frac{J_{eqi}L_{si}}{k_{mi}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{di} \\ v_{qi} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} \psi_{di}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L) \\ \psi_{qi}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

de ésta forma, el sistema lineal perturbado se convierte en la siguiente cadena de integradores:

$$\begin{aligned} \dot{F}_{1i} &= v_{di} \\ \ddot{F}_{2i} &= v_{qi} \end{aligned} \quad (6)$$

Las funciones  $\psi_{di}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L)$  y  $\psi_{qi}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L)$  de la ecuación (5) son, en general, desconocidas debido a que éstas funciones son afectadas por la flecha de carga, por tanto, su valor es estimado por un observador lineal de estado extendido, como se muestra en la subsección 3.4.

### 3.3 Ley de control

De (3), se sustituye las derivadas de mayor orden de las salidas planas por una variable de control interna,  $\dot{F}_{1i} = v_{di}$  y  $\ddot{F}_{2i} = v_{qi}$ , las cuales imponen las dinámicas deseadas en lazo cerrado. A éstas dinámicas se les adapta las funciones de estimación ( $\hat{\psi}_{di}$  y  $\hat{\psi}_{qi}$ ) para reducir los efectos causados por  $\psi_{di}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L)$  y  $\psi_{qi}(F_{1i}, F_{2i}, \dot{F}_{2i}, \tau_L)$ , como se muestra en ec. (8).

$$\begin{aligned} u_{di} &= L_{si}v_{di} \\ u_{qi} &= \frac{2}{3} \left( \frac{J_{eqi}L_{si}}{k_{mi}} \right) v_{qi} \end{aligned} \quad (7)$$

con,

$$\begin{aligned} v_{di} &= \dot{F}_{1i}^* - k_{di0} \left( \hat{F}_{1i} - F_{1i}^* \right) - \hat{\psi}_{di} \\ v_{qi} &= \ddot{F}_{2i}^* - k_{qi1} \left( \hat{F}_{2i} - \dot{F}_{2i}^* \right) - k_{qi0} \left( \hat{F}_{2i} - F_{2i}^* \right) - \hat{\psi}_{qi} \end{aligned} \quad (8)$$

La ganancia  $k_{di0}$  debe ser mayor que cero, las ganancias del controlador  $v_{qi}$  son sintonizadas mediante la igualación de coeficientes con un polinomio Hurwitz de segundo orden de la siguiente manera:  $k_{qi1} = 2\varphi_{qi}\omega_{nqi}$  y  $k_{qi0} = \omega_{nqi}^2$ .

### 3.4 Observadores lineales de estado extendido

Para el diseño del observador de las corrientes de componente directa se define a  $\hat{F}_{1i} = y_{1i}$  y  $\hat{\dot{F}}_{1i} = \dot{y}_{1i}$ . Posteriormente, se realiza una copia de  $u_{di}$  dada en la ecuación (3) y se extiende la dinámica de la función de estimación de la perturbación  $\hat{\psi}_{di}$  como sigue:

$$\begin{aligned} \dot{y}_{1i} &= \frac{1}{L_{si}} v_{di} + \hat{\psi}_{di} + \lambda_{1i} (F_{1i} - y_{1i}) \\ \hat{\psi}_{di} &= \lambda_{0i} (F_{1i} - y_{1i}) \end{aligned} \quad (9)$$

donde los coeficientes  $\lambda_{1i}$  y  $\lambda_{0i}$  son valores constantes sintonizados por medio de un polinomio Hurwitz de segundo orden, por lo que  $\lambda_{1i} = 2\varphi_{o1i}w_{o1i}$  y  $\lambda_{0i} = w_{o1i}^2$ .

Por otra parte, en el observador de  $F_{2i}$ , se define a  $\hat{F}_{2i} = \gamma_{1i}$  y  $\hat{\dot{F}}_{2i} = \gamma_{2i}$ . Posteriormente, se realiza una copia de  $u_{qi}$  dada en la ecuación (3) y se extiende la dinámica de la función de estimación de la perturbación  $\hat{\psi}_{qi}$  como sigue:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_{1i} &= \gamma_{2i} + \Gamma_{2i} (F_{2i} - \gamma_{1i}) \\ \dot{\gamma}_{2i} &= \frac{3K_{mi}}{2J_{eqi}L_{si}} v_{qi} + \hat{\psi}_{qi} + \Gamma_{1i} (F_{2i} - \gamma_{1i}) \\ \hat{\psi}_{qi} &= \Gamma_{0i} (F_{2i} - \gamma_{1i}) \end{aligned} \quad (10)$$

donde los coeficientes  $\Gamma_{2i}$ ,  $\Gamma_{1i}$  y  $\Gamma_{0i}$  son sintonizados mediante un polinomio Hurwitz de tercer orden, por lo que  $\Gamma_{2i} = \alpha_{o2i}w_{o2i}$ ,  $\Gamma_{1i} = 2\varphi_{o2i}\alpha_{o2i}w_{o2i} + 2w_{o2i}^2$  y  $\Gamma_{0i} = \alpha_{o2i}w_{o2i}^2$ .

## 4. RESULTADOS A NIVEL SIMULACIÓN

Esta sección presenta los resultados que describen el desempeño del control descentralizado para el servomecanismo impulsado por dos motores síncronos de imanes permanentes, ver Fig. 1. El análisis de desempeño del sistema acoplado se realiza a través de una simulación en el software Matlab/Simulink, ver Fig. 2. Como se observa, la simulación está compuesta por dos esquemas ADRC, uno para cada motor. Las referencias para ambos motores se establecieron como sigue:  $\dot{F}_{1i}^* = F_{1i}^* = \dot{F}_{2i}^* = F_{2i}^* = 0$ , por lo que se prueba el control sólo para regular al sistema en una referencia de velocidad dada por  $F_{2i}^* = 200\text{rad/s}$ . Las ganancias de los controladores para el motor 1 son:  $k_{di1} = 20$ ,  $w_{nq1} = 50$  y  $\varphi_{q1} = 0.707$ , las ganancias de los controladores para el motor 2 son:  $k_{di2} = 150$ ,  $w_{nq2} = 350$  y  $\varphi_{q2} = 0.707$  y para los observadores de ambos motores son:  $\varphi_{o1} = 0.707$ ,  $w_{o1} = 300$ ,  $\varphi_{o2} = 0.707$ ,  $w_{o2} = 300$  y  $\alpha_{o2} = 50$ . Con la finalidad de verificar la robustez del esquema de control propuesto, se aplica un par de carga  $\tau_L = 1\text{Nm}$  en  $t = 2$ . Los parámetros que describen a cada actuador se muestra en la Tabla 1.

La Fig. 3 muestra que la respuesta de la velocidad angular de cada motor llega a la referencia de velocidad impuesta en  $F_{2i}^*$  en aproximadamente 1 seg. Se observa que el controlador descentralizado sincroniza las variables de

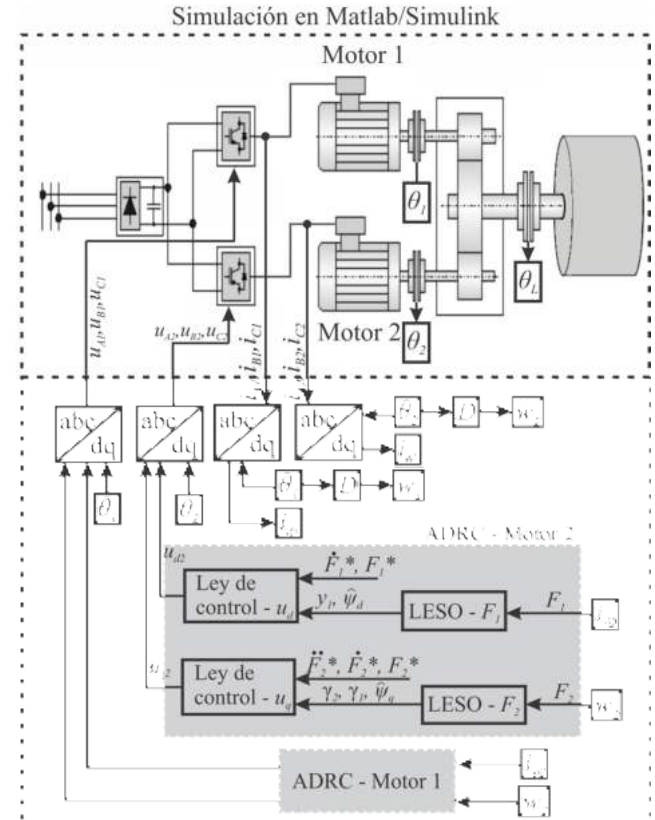


Fig. 2. Servomecanismo accionado por dos motores de imanes permanentes

Parámetro	Valor MSIPCA <sub>1</sub>	Valor MSIPCA <sub>2</sub>
$R_s$	1.6 [ $\Omega$ ]	4.7 [ $\Omega$ ]
$L_s$	6.365[mH]	14.5[mH]
$V_{pk}/K_{rpm}$	77.4[V]	29.02[V]
Momento de inercia J	0.182E-3[kg-m <sup>2</sup> ]	0.29E-4[kg-m <sup>2</sup> ]
Coefficiente de fricción	8.75E-5[kg-m <sup>2</sup> /s]	9.6E-6[kg-m <sup>2</sup> /s]
Num. de pares de polos $n_p$	2	4
Relación de transmisión n	1:1	1:1

Tabla 1. Parámetros de simulación

velocidad angular cuando los motores se encuentran en el estado transitorio, en  $t < 1$  seg.

Por otra parte, la Fig. 4 b) muestra la gráfica de la respuesta de la corriente de cuadratura de ambos motores. Cuando se aplica el par de 1 Nm, éstas señales toman un valor de  $I_{q1} = 0.86$  e  $I_{q2} = 2.24$ . En la gráfica mostrada por la Fig. 4 a) se observa que las respuestas de las corrientes directas se encuentran cerca de cero. Ésta imposición provoca que el motor síncrono sea capaz de entregar el máximo par interno cuando se le demande.

Asímismo, la gráfica mostrada en la Fig. 5 señala el comportamiento de la velocidad angular en el eje de salida. Se observa el resultado emergente de la acción descentralizada de los controladores y, cómo éstos atenúan

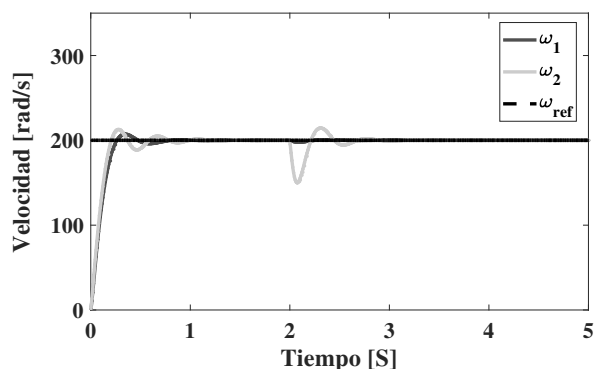


Fig. 3. Gráfica de velocidad angular de los MSIPCA

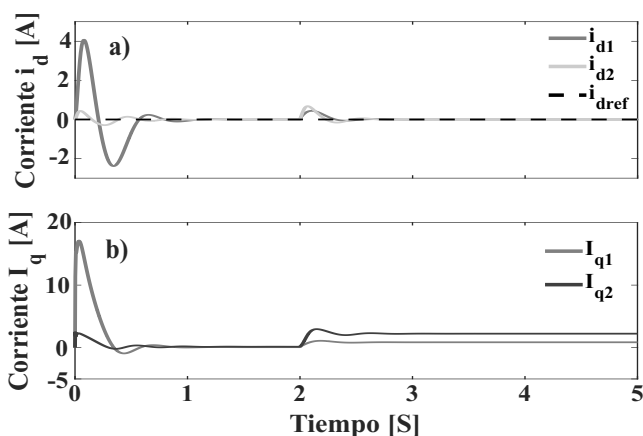


Fig. 4. Gráfica de corrientes  $I_d$ ,  $I_q$

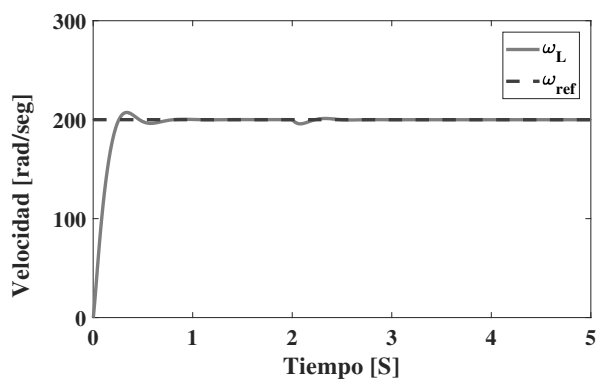


Fig. 5. Gráfica de velocidad en el eje de salida

el efecto producido por la entrada de perturbación  $\tau_L$  en  $t = 2$ .

Como resultado de una conducta colectiva, se puede apreciar también una aportación equitativa de par interno en la Fig 6. El par nominal del MSIPCA<sub>1</sub> es de  $3.2Nm$  mientras que para el MSIPCA<sub>2</sub> es de  $1.27Nm$ . El par

máximo que soportan los MSIPCA por un instante de tiempo es  $12.8Nm$  y  $3.9Nm$  respectivamente.

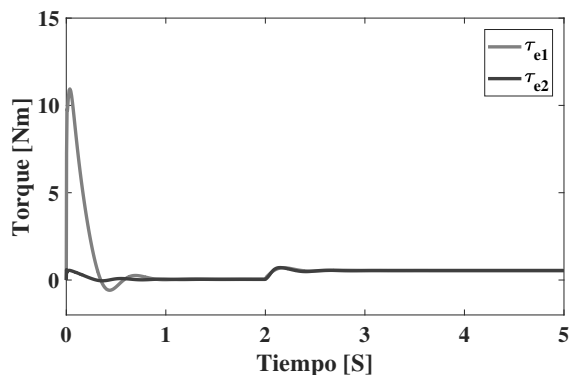


Fig. 6. Par eléctrico desarrollado por los MSIPCA

Los parámetros de velocidad y par nominal, así como los mostrados en la Tabla 1, pueden ser consultados en la hoja de datos de los motores:

- Baldor serie: BSM80N-275AA
- SZGHAUTO serie: SZGH-06040DC

## 5. CONCLUSIONES

El esquema de control descentralizado basado en la técnica de rechazo activo de perturbaciones, mostró un buen desempeño en materia de sincronización de velocidad angular, logrando que la flecha de salida del servomecanismo gire a la misma velocidad de los motores que la impulsan, dada la relación de transmisión 1:1 que hay entre los motores y la flecha de carga. Otro aspecto importante que se consigue con éste esquema de control, es un aporte de igual magnitud de par eléctrico desarrollado por los MSIPCA hacia la flecha de carga, a partir del comienzo de la estabilización del sistema en aprox.  $t = 1$ , aún tratándose de motores cuyas dinámicas son diferentes.

Los resultados obtenidos en simulación muestran que es viable continuar con la investigación. Por lo tanto, se seguirá trabajando para validar la propuesta de control en una plataforma experimental.

## REFERENCIAS

- M. P. Sruthi, C. Nagamani and G. S. Ilango, "Dynamic load sharing in multi-machine conveyor belt systems," *2017 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Bangalore, 2017, pp. 1-6.
- M. Wang, X. Ren and Q. Chen, "Cascade Optimal Control for Tracking and Synchronization of a Multimotor Driving System," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 27, no. 3, pp. 1376-1384, May 2019.

- G. Sun, X. Ren and D. Li, "Neural Active Disturbance Rejection Output Control of Multimotor Servomechanism," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 23, no. 2, pp. 746-753, March 2015.
- C. Qiang, D. Fang, T. Liang and N. Yurong, "Sensorless speed control of permanent magnet synchronous motor system based on active disturbance rejection control," 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Yinchuan, 2016, pp. 6719-6723. doi: 10.1109/CCDC.2016.7532206
- J. Li, Y. Fang, X. Huang and J. Li, "Comparison of synchronization control techniques for traction motors of high-speed trains," 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Hangzhou, 2014, pp. 2114-2119.
- G. Scelba, G. Scarcella, S. Foti, A. Testa, S. De Caro and T. Scimone, "An Open-end Winding approach to the design of multi-level multi-motor drives," IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, 2016, pp. 5026-5032. doi: 10.1109/IECON.2016.7793869
- H. Sira-Ramírez, Z. Gao and L. Cuevas-Ramírez, "Tracking in interconnected gantry crane systems: A decentralized Active Disturbance Rejection Control," Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference, Nanjing, 2014, pp. 4342-4347.
- J. Linares-Flores, A. Hernández-Méndez, J. F. Guerrero-Castellanos, G. Mino-Aguilar, E. Espinosa-Maya and E. W. Zurita-Bustamante, "Decentralized ADR angular speed control for load sharing in servomechanisms," 2018 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), Champaign, IL, 2018, pp. 1-5.
- A. Hernández-Méndez, J. Linares-Flores, H. Sira-Ramírez, J. F. Guerrero-Castellanos and G. Mino-Aguilar, "A Backstepping Approach to Decentralized Active Disturbance Rejection Control of Interacting Boost Converters," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 4, pp. 4063-4072, July-Aug. 2017.
- H. Sira-Ramírez, A. Luviano-Juárez, M. Ramírez-Neria and E. Zurita-Bustamante, 2017. *Active Disturbance Rejection Control of Dynamics Systems: A Flatness-Based Approach*. Estados Unidos: Butterworth-Heinemann.
- H. Sira-Ramírez, J. Linares-Flores, C. García-Rodríguez and M. A. Contreras-Ordaz, "On the Control of the Permanent Magnet Synchronous Motor: An Active Disturbance Rejection Control Approach," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 22, no. 5, pp. 2056-2063, Sept. 2014.
- P. Thounthong, S. Sikkabut, N. Poonnoy, P. Mungporn, B. Yodwong, P. Kumam, N. Bizon, B. Nahid-Mobarakeh and S. Pierfederici, "Nonlinear Differential Flatness-Based Speed/Torque Control With State-Observers of Permanent Magnet Synchronous Motor Drives," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, no. 3, pp. 2874-2884, May-June 2018.