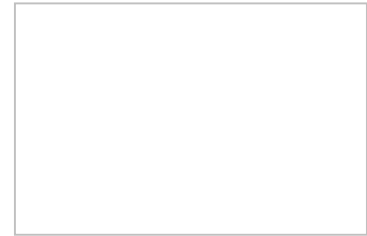


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**  
 COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**INFORME TÉCNICO DE INVESTIGACIÓN**



(Para uso interno de la CIP únicamente)  
 Sello de recibo con fecha y firma de quien recibe

Ciudad Juárez, Chihuahua a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

**Periodo que cubre el informe:** (dd/mm/aa): De 14\_\_ / \_02\_\_ / 2018\_\_ a 15\_\_ /15\_\_ / 2018\_\_

**Fecha de recepción:** \_\_10\_\_ / 02\_\_ / 2019\_\_

**Fecha de evaluación:** 10\_\_ / 02\_\_ / 2019\_\_

Parcial 1\_\_ 2\_\_ 3\_\_ Final X

**I. Título del proyecto**

## **CONTROL POR MODOS DESLIZANTES DE MOTORES CD A PASOS**

**I. Resumen (Máximo 200 palabras)**

Los motores de pasos son una subclasificación de los motores de CD estos son fácilmente posicionables, su velocidad esta determinada por la frecuencia de conmutación de los devanados que lo componen los cuales pueden ser tratados como cualquier máquina CD. Es por su facilidad de manejo que se utilizan en infinidad de procesos industriales e instrumentales que necesitan de una precisión y exactitud considerable en el posicionamiento y desplazamiento de diversos procesos, por ello su extendido uso en la robótica, bandas transportadoras en procesos industriales que requieren de colocar objetos en posiciones definidas, en equipos de instrumentación entre otros.

Se pretende por lo tanto buscar alternativas para estimar variables y mejorar el control de un motor CD de pasos, a su vez lograr un adecuado desempeño del motor que supere la dinámica de las formas de control actual con las consiguientes ventajas de utilizar el control de modos deslizantes. Para lograrlo se utilizara la técnica de control por modos deslizantes con un algoritmo reciente de control denominado (algoritmo *Twisting*) respecto a las técnicas clásicas de control. Por lo tanto la implementación y las consecuentes conclusiones a las que se lleguen serán de gran utilidad para actuales y futuras aplicaciones.

## II. Principales resultados

Se revisa el control On-Off, PID, Difuso, Redes neuronales y Control Geométrico, además todos ellos pueden ser usados con el control de modos deslizantes en conjunto. Se estudia lo referente a modos deslizantes de la forma relevada, multidimensionales, se explica la metodología del control y el concepto de diseño con las diversas condiciones de existencia, invarianza etc. e inclusive algunos problemas comunes a los controles del tipo conmutado como es el efecto del *chattering* y las posibles formas de solucionarlo. También se revisa la topología del motor a pasos, los diversos tipos existentes de estos, las secuencias con las cuales pueden ser controlados de forma discreta, así como los propulsores utilizados más comúnmente en el control de los motores a pasos. Al final del mismo se da el modelo matemático así como una introducción a los modos deslizantes de orden superior. Se estudian las herramientas, con las cuales puede controlarse un motor a pasos, primeramente se hace de una forma tradicional. Aplicando pulsos de voltaje a sus devanados. Luego, por modos deslizantes usando control equivalente, para luego analizar una superficie de control basada en corrientes de referencia, y al final se desarrolla el control por medio del algoritmo de orden superior de modos deslizantes “*Twisting*” se analiza para cada uno de ellos el tiempo que tarda en alcanzar el valor de velocidad de referencia y la estabilidad.

Anexar evidencias.

## III. Conclusiones.

Los resultados de la simulación muestran una alta velocidad de convergencia, así como una rápida estabilidad con un tiempo finito realmente pequeño. La exactitud del algoritmo de modos deslizantes de orden superior está supeditada al tiempo  $t$  de muestreo en la simulación numérica, y a que el tiempo de estabilización es proporcional a la magnitud de los vectores de control utilizados, los cuales por supuesto están limitados según el diseño físico del motor. En esta simulación en particular el  $t$  de muestreo es de 0.1 microsegundos, lo cual nos da un tiempo de establecimiento de 1.5 milisegundos. Presentando un sobreimpulso del 60% en un principio, mismo que decae rápidamente, así se observa que se tienen ligeras oscilaciones mientras se estabiliza el sistema, el decrecimiento de la amplitud de esta variable se comporta cuadráticamente, así la convergencia a cero del error de la misma es en tiempo finito.

El control por modos deslizantes tradicionales, tiene una buena respuesta en el control de la velocidad, su tiempo para alcanzar el valor de referencia es inferior a los 2 milisegundos, con una referencia de velocidad de 1 Rad./Seg. Y no existe sobreimpulso lo cual es muy interesante para aplicaciones en donde es muy importante no sobrepasar los valores de referencia, aunque si se desea velocidad en el tiempo de estabilización, una mejor opción es el control por modos deslizantes de orden superior, ya que en este aspecto es un 25% más rápido como se muestra en el control por medio del algoritmo *twisting* con el inconveniente del sobreimpulso. Este puede ser o no un problema dependiendo de la aplicación. Y en caso de ser una amenaza grave del control puede generarse una trayectoria de referencia suave con la cual se elimina el inconveniente o sobreimpulso a cero, y la eliminación de castañeteo que es una de las características principales que dieron origen a este controlador. Sin tomar en cuenta que se tienen dos variables controladas al mismo tiempo en este caso velocidad y posición

El control por modos deslizantes por medio de la superficie de corrientes de referencia que están dadas en función de la velocidad de referencia deseada, se observa que es relativamente bueno el control. Ya que mantiene la velocidad dentro de un rango de error inferior al 25% a una velocidad de referencia de 1 Rad./seg. y esto es debido principalmente a que el valor del vector de control es bajo así como la variable. Esto disminuye en gran

medida el consumo de energía ya que sólo se consume lo necesario, y en caso de perturbaciones se aplican las correcciones necesarias. Se observa también en el inicio un pequeño problema para alcanzar la superficie deslizante, esto no es instantáneo ni de forma directa debido a que el vector de control está determinado por el control equivalente, así el resultado del tiempo de estabilización es relativamente grande comparado con los anteriores formas de control dando un tiempo del orden de 50 milisegundos. Todos los anteriores controles tienen la ventaja de que la posición angular ya no depende propiamente del tamaño de paso del motor sino solamente de la estabilidad en el control de la velocidad y de posición del eje del motor. Todas las gráficas de posición angular muestran claramente una dependencia lineal entre velocidad y posición. Sin sobre impulsos, ni perturbaciones en la misma.

Con el uso del algoritmo *Twisting* utilizado en el control de un motor de corriente directa a pasos se tiene una amplia ventaja sobre los algoritmos tradicionales debido a que se llega en un tiempo finito a un estado estable en forma más rápida. También se está protegido contra diversas perturbaciones y variaciones en los parámetros del sistema aprovechando con esto las inherentes características de los modos deslizantes de segundo orden aplicados aquí, ya que se obtiene un control robusto de todo el sistema con una rápida respuesta ante cualquier cambio. Los resultados de la simulación muestran una alta velocidad de convergencia así como una rápida estabilidad con un tiempo finito realmente pequeño. Donde la exactitud del algoritmo de modos deslizantes está supeditada a la amplitud de los vectores de control y al tiempo  $t$  de muestreo, ya que el tiempo de estabilización es proporcional a este. Para la figura 4.14, donde nos muestra las variables  $i_a$  e  $i$ , tenemos variaciones de corriente abruptas en la amplitud de la misma. Aún así, el tiempo estimado de convergencia para llegar a valor nominal es muy pequeño, estabilizándose en el peor de los casos en 10. Como se sabe, el decrecimiento de la amplitud de esta variable se comporta cuadráticamente. El diagrama de fases de la trayectoria del algoritmo *Twisting*, nos muestra  $i_b$  en forma gráfica la convergencia a cero de las variables del sistema  $V_{ss}$ . Se muestran los vectores de control aplicados después del análisis de control requerido de las variables de salida del sistema necesarias para determinar el mismo. En un principio, cuando se hacen los cambios de referencias de velocidad, se observa una relativa estabilidad del control que se sostuvo hasta poco antes de llegar la variable de error de la velocidad angular a cero donde claramente se aprecia que, un tiempo antes, el control previene que dicha variable se pase del cero propuesto, aún así hay un cierto impulso de esta variable a un valor negativo, por lo cual el control suministra un vector de control positivo  $V$  al sistema para contrarrestar y volver a cero esta variable después un control de magnitud  $V_m$ , siendo este valor inferior al  $V_M$ , (Fridman y Levant, 2002). Así los vectores de control se están alternando no solo en dos valores positivo y negativo de una misma magnitud como se usa en el control por modos deslizantes tradicionales esto limita la capacidad de respuesta ante perturbaciones, sino que los vectores de control son de dos magnitudes diferentes, una  $V$  con la suficiente amplitud para lograr una más rápida estabilización de la planta y además proporciona un mayor margen de tolerancia a perturbaciones y  $V_m$ , debe de tener la suficiente amplitud para lograr controlar el sistema dinámico de la planta bajo condiciones normales de operación.

En conclusión el control por modos deslizantes de orden superior *Twisting*, aplicado al control de motores de corriente directa a pasos, ha sobrepasado con sus características a los controladores clásicos, en variables tales como control de velocidad y posición, así como la calidad de la estabilidad a un valor de referencia deseado.

## **V. Productos de la investigación**

Los resultados de esta investigación se verán reflejados en la publicación de un artículo en una revista de impacto en el área en el año 2019.

## **PUBLICACIONES**

Anexar evidencias.

**a) Revistas internacionales con arbitraje**

Autor	Título	Revista	Número	Año	País

**b) Memorias en Congresos in extenso con arbitraje**

Autor	Título	Revista	Número	Año	País

**c) Otras revistas**

Autor	Título	Revista	Número	Año	País

**d) Artículos de divulgación**

Autor	Título	Revista	Número	Año	País

**e) Libros**

Autor	Título	Editorial	Año	País

**f) Otros productos de la investigación como antologías, patentes, prototipos, modelos de utilidad.**

Anexar evidencia como portada e índice de contenido de la antología, o el registro de la patente, prototipo y/o modelo de utilidad.

**g) Formación de recursos humanos**

Anexar copia de la portada de la tesis y del acta de examen como evidencias.

Nombre	Grado obtenido o avance	Título de la tesis	Departamento

**h) Ponencias presentadas**

Anexar presentación, programa y/o constancia como evidencia.

Nombre	Fecha	Nacional/Internacional	Título del Trabajo	Memoria

**VI. Compromisos adicionales adquiridos al inicio del proyecto**

1. Señale si su proyecto fue sometido a evaluación, a fuentes externas de financiamiento, indicando el organismo financiador. (Anexar documentación comprobatoria, excepto fondos CONACYT).
2. ¿Hubo productos adicionales a los comprometidos? ¿Cuáles? (Anexar evidencias)

### **VII. Consistencia entre objetivos y metas (ver punto VIII)**

Utilizar para hacer su autoevaluación el protocolo de inicio de proyecto.

- **Iniciales:**

**Los objetivos iniciales fueron cumplidos al 100%**

- **Alcanzados:**

**Se logró implementar tres tipos de métodos de control para un de pasos**

- **Por alcanzar:**

**Publicación de la investigación en una revista arbitrada**

### **VIII. Evolución**

#### **El proyecto finalizo al 100%**

En cuanto a lo que reporta de su proyecto considera que:

- a) **¿Se obtuvieron los objetivos planteados originalmente? (Comente)**

**Se alcanzaron todos los objetivos planteados.**

- b) **¿Surgieron nuevos problemas no contemplados originalmente? ninguno**

- c) **¿La línea de investigación realizada dio lugar o puede dar lugar en el futuro a aplicaciones, patentes, modelos de utilidad, prototipos, etc.? (Comente)**

la investigación realizada es única en su área dando como resultado furas aplicaciones patentes y prototipos.

### **IX. Comentarios adicionales**

---

M.C. Jorge Arturo Perez Venzor.

**\*\*Nota:** Para informe final deberá entregarse anexa la documentación comprobatoria correspondiente.

El original de éste formato es para la CIP y la copia de recibo sellada se entrega al Investigador responsable del proyecto.

Silao, Guanajuato a 4 de Diciembre de 2018.

Coordinación General de investigación y posgrado.

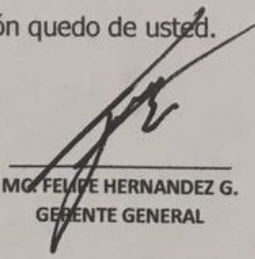
PRESENTE.

A través del presente documento hago del conocimiento que el informe técnico desarrollado durante los meses de Enero Diciembre del 2018, denominado **CONTROL POR MODOS DESLIZANTES DE MOTORES CD A PASOS**, Desarrollado por los profesores: **Dr. Manuel Iván Castellanos García, M.C. Jorge Arturo Perez Venzor, Dr. Luis Carlos Méndez González, M.C. David García Chaparro, M.C. Abel Quezada Carreón.** Adscritos al Departamento de Eléctrica y Computación, ofrece una valiosa y destacada aportación para el Control de motores en corriente directa y motores a pasos.

El resultado de Implementar un esquema de control con modos deslizantes de segundo orden permite obtener un control robusto que garantice la eliminación eficaz de las perturbaciones, además implementar un control bajo este esquema libera al diseñador de la tarea de obtener un modelo matemático del sistema que se desea controlar. Esta es la razón por la que el sistema de control es robusto e invariable ante cambios de los parámetros del sistema. Por lo anterior se facilita su implementación ya que solo es necesario conocer algunos parámetros de diseño.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, el desarrollo de la metodología de las estrategias de control es robusta para ser implementada en control de motores de pasos y de corriente directa esto para futuras aplicaciones industriales, Robóticas bandas transportadoras donde se requiera el colocar objetos en posiciones definidas, en equipos de instrumentación con aplicaciones muy viables para esta empresa, ya que esto permitirá el ahorro de energía con implementación de controladores robustos.

Agradeciendo de antemano su atención quedo de usted.



MG FELIPE HERNANDEZ G.  
GERENTE GENERAL

CORREO: [felipe.hernandezgalvan@ionbond.com](mailto:felipe.hernandezgalvan@ionbond.com)

[www.ionbond.com](http://www.ionbond.com)

OFICINA: 8110772362/ MOVIL: 4611385180

IONBOND DE MEXICO, S.A. DE C.V.

[www.ionbond.com](http://www.ionbond.com)

Ionbond de Mexico S.A. de C.V.  
Lateral Carretera a Garcia #1152  
Parque Industrial Las Palomas  
Santa Catarina, N.L. 66266 MX