

## Diseño de plataforma mecatrónica experimental para pruebas de motores de pulsos experimentales.

Manuel-Pérez Ruvalcaba<sup>1</sup>, José de Jesús-López Villalobos<sup>1</sup>, Oscar-Arreola Soria<sup>1</sup>, Enrique-González Cime<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Nuevo León; Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Av. Eloy Cavazos 2001, Toluca, Guadalupe, N.L. 67170, México. Email principal: jose.lv@nuevoleon.tecnm.mx

### Resumen

El diseño de máquinas eléctricas es parte fundamental de la ingeniería eléctrica y en particular este trabajo se planteó la necesidad de hacer un rediseño de un motor pulsante diseñado originalmente por [1] con el fin de mejorar su desempeño y así mismo generar la posibilidad de desarrollar habilidades y competencias en diseño de máquinas. En principio se hizo un rediseño de este tipo de motor, desarrollando también la instrumentación correspondiente para poder medir sus características de par y corriente, así mismo que nos sirve para evaluar desempeño y compararlo con otros modelos de motores del mismo tipo. Para el desarrollo integral del presente proyecto se utilizaron herramientas de lenguajes visuales para la instrumentación virtual y así mismo de modelado CAD previo al diseño físico de la nueva máquina propuesta.

**Palabras clave**— máquinas eléctricas, sistemas de adquisición de datos, sistemas embebidos.

### Abstract

*The design of electric machines is a fundamental part of electrical engineering and in particular this work arises from the need to redesign from a pulsating engine originally designed by [1] to improve its performance and generate the possibility of developing skills and competences in machines design. In principle, a redesign was made of this type of engine, also developing the corresponding instrumentation to be able to measure its characteristics of torque and current, as well as it serves to evaluate performance and comparison with other models of motors of the same type. For the integral development of this project, visual languages tools for virtual instrumentation and CAD modeling were used prior to the physical design of the new proposed machine.*

**Keywords**— electrical machines, data acquisition systems, embedded systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los motores eléctricos de nueva generación, como son los motores pulsantes da pie a una oportunidad de desarrollar nuevas técnicas de diseño electromecánico en ellos con lo cual se puede generar una mejora en el desempeño de estos, tal como se menciona en [2-4]. Para el

desarrollo de este trabajo se partió en el modelo presentado por Robert Adams, partiendo de sus resultados de diseño mecánico presentado, se ve la opción de modificar su propuesta de motor por otro que sea de más fácil construcción y su mejora en cuanto desempeño si es factible. Para el presente trabajo se tiene en primer parte el remodelado mecánico y eléctrico del motor, la segunda parte considera la interface electrónica para la alimentación del motor y la parte final del desarrollo es la implementación del sistema de adquisición de datos para la medición de par, velocidad, corriente de consumo y voltaje aplicado, así también las conclusiones del proyecto.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Motor de pulsos

El motor de pulsos electromagnético diseñado para este caso es un motor con cuatro bobinas que provocan el giro del eje de este, dicho motor se compone de los siguientes materiales:

- Rotor de material Nylamid: Esta es una rueda con cinco orificios, el orificio central ensamblado al eje y asegurada con tuercas, los cuatro orificios restantes son en donde se fijarán los imanes de neodimio las cuales serán en total de cuatro.
- Flecha: Esta estará sujeta con dos tuercas a la rueda en este caso girarán las dos al mismo tiempo, tanto el rotor que contiene los imanes y nuestra flecha.
- Cuatro bobinas de inducción: Distribuidas simétricamente para que la fuerza de atracción y repulsión de los imanes este balanceado. Dos bobinas se fijarán en una placa de metal, estas se conectarán en serie, las otras dos bobinas restantes se colocarán en la segunda placa conectadas en serie y en paralelo con las otras dos.
- Imanes de neodimio: Estos imanes se fijaron a los cuatro orificios de la rueda para entrar en repulsión y atracción con las bobinas, de esta manera provocarán el giro del rotor junto con nuestra flecha dándole pulsos a las bobinas en cierto ángulo definido por el usuario.
- Placas de soporte: Son parte del chasis que le da forma al motor.
- Codificador: Se utiliza un disco que se fija en uno de los extremos de la flecha, esto con el fin de poder monitorear la velocidad que tiene el motor y el ángulo de los pulsos, esto se logrará mediante el uso de un optoacoplador la cual estará mandando la señal a la computadora.

El ensamblaje del motor previamente se modeló con el apoyo de herramientas CAD para validar el correcto ensamblaje del motor y que además refuerza la parte del diseño mecánico del mismo. En la siguiente página se muestran en las figuras siguientes 1 y 2 respectivamente diferentes perfiles del motor diseñado para sus respectivas pruebas [5-7].

Por otro lado, al llevar a cabo la construcción física de la máquina se utilizaron diversos accesorios comerciales para

el ensamblaje como las flechas, tornillos y elementos de sujeción, para que la parte de ensamblaje fuera relativamente sencilla, dejando únicamente los montajes del rotor y los soportes de las bobinas ajustados de acuerdo con las medidas previamente analizadas con el apoyo de las herramientas CAD de diseño utilizadas.

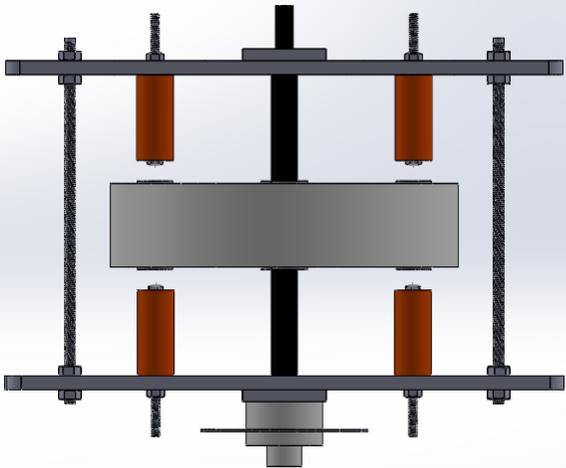


Figura 1 Perfil del motor de pulsos previamente diseñado, note las cuatro bobinas de inducción.

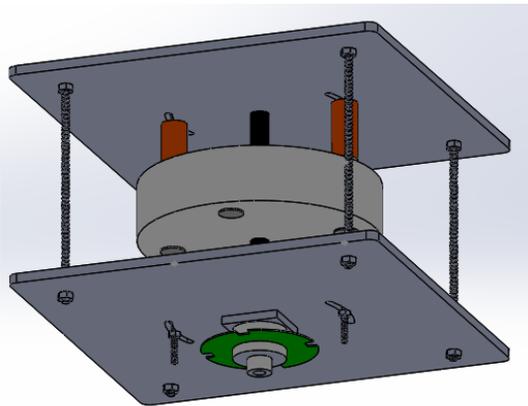


Figura 2 Vista en isométrico de nuestro motor diseñado, note el codificador en la parte inferior, para la lectura de velocidad.



Figura 3 Motor construido para pruebas de rendimiento eléctrico y mecánico.

## 2.2 Tarjeta de alimentación al motor

Para la alimentación del motor se requiere alimentar a partir de una tensión monofásica de 110 volts que son convertidos a directa y preparados para la alimentación del motor de pulsos. A continuación, se muestra el circuito de alimentación del motor.

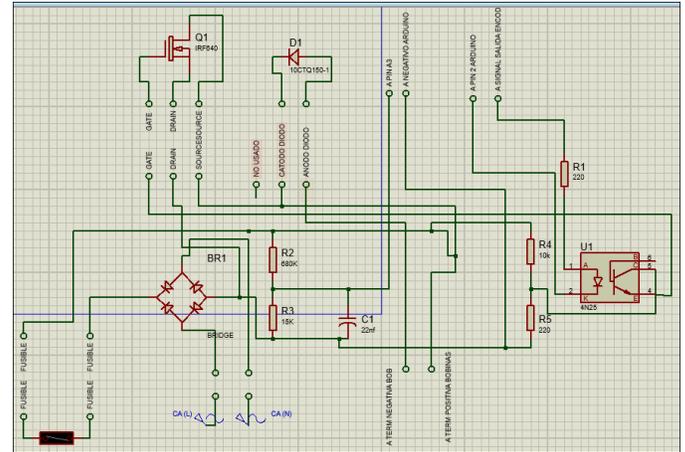


Figura 4 Diagrama electrónico del circuito de alimentación del motor.

En el circuito que se muestra contiene un MOSFET de 500V a 20 A el cual nos sirve para estar generando los pulsos eléctricos, el diodo Schottky funciona como un disipador de energía, por efecto de las inductancias del circuito, evitando retroalimentación por altos voltajes inducido. El opto acoplador sirve un aislador de niveles de voltaje de la etapa de potencia y de control.

## 2.3 Interfaz con la computadora

Para interconectar a la computadora se tiene el uso de una tarjeta de adquisición de datos de bajo costo con la cual, debido a los estándares de comunicación con sensores de temperatura, entradas analógicas y de entradas basadas a PWM, facilitan la interconexión con el Arduino UNO® y de esta con la interfaz USB hacia la computadora. Dadas las características del controlador cumple perfectamente la lectura de las variables a leer y facilita su interconexión con la computadora, como se muestra en [4,8]

En el caso de la medición de temperatura se utiliza un sensor LM35 con las características de funcionamiento ya conocidas y su fácil conexión al microcontrolador, para fines de calibración se tomó como referencia un algoritmo tomado de [6] que ajusta la medición en un rango de 0 a 100°C. En el caso de los sensores de voltaje y corriente se utilizan sensores comerciales con salida PWM que facilitan la lectura de estos hacia el procesador. En la figura siguiente se muestra el sensor de corriente utilizado.

Para leer la velocidad a partir del codificador montado en el rotor del motor se implemento un sensor para la lectura de velocidad de este basado en optoaisladores.

#### 2.4 Software para la adquisición de datos.

Para el desarrollo de la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos y la recolección de datos se utiliza LabView© que dentro de sus características es la programación visual y su facilidad para adaptar tarjetas de adquisición de diversos tipos y capacidades. Para el desarrollo del programa se utilizo una estrategia de diseño de máquina de estado finito, en la cual se programa la secuencia de lectura de la tarjeta de adquisición de datos (Arduino UNO ©) y así como las diversas condicionantes para establecer las lecturas de parámetros, tal como se muestran en las figuras siguientes. Otra cualidad importante, es la facilidad de implementación de las ecuaciones de potencia eléctrica y mecánica propias del motor, con el modulo de desarrollo de ecuaciones.

Otra de las ventajas fue la fácil implementación de la interfaz de usuario con las que se leen las diversas variables del motor, ajustes en los ángulos de ajuste en las bobinas e indicadores. Adicionalmente se muestran las alertas para saber si el motor esta presente y la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos es correcta.

La estrategia metodológica para el modelado se baso en el desarrollo de máquinas de estado implementadas con el lenguaje visual integradas con el apoyo de microcontroladores de adquisición de datos, la programación se llevo a cabo en lenguaje C.

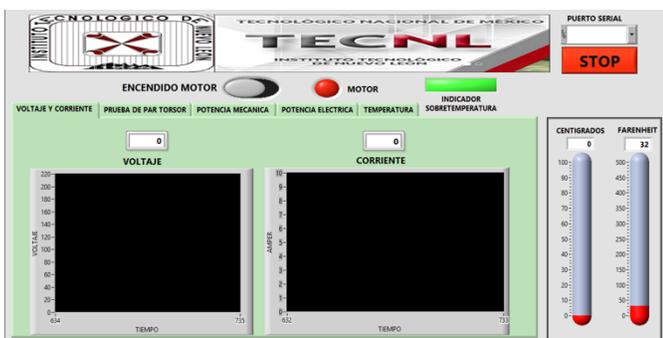


Figura 5 Pantalla de lectura de voltaje y corriente del motor.

Adicionalmente se pueden adicionar parámetros para las pruebas correspondientes previas antes de arrancar y operar el motor, como es el caso de la prueba del par-torsor. A continuación, la pantalla de resultados.



Figura 6 Pantalla del resultado de la prueba de par-torsión.

Para la obtención y lectura de las variables características del motor implementados se analizaron las siguientes pruebas:

- Prueba 1 de RPM cerrando el ángulo de energización de las bobinas.
- Prueba 2 de RPM variando el ángulo con respecto a las bobinas.
- Prueba 3 de Carga/Velocidad.

Los resultados de estas se muestran en las siguientes figuras que se muestran en esta página.

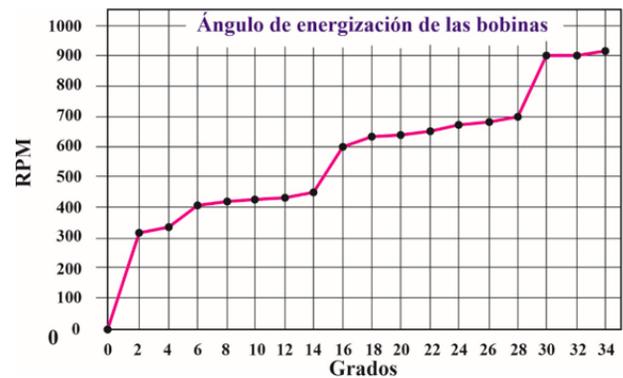
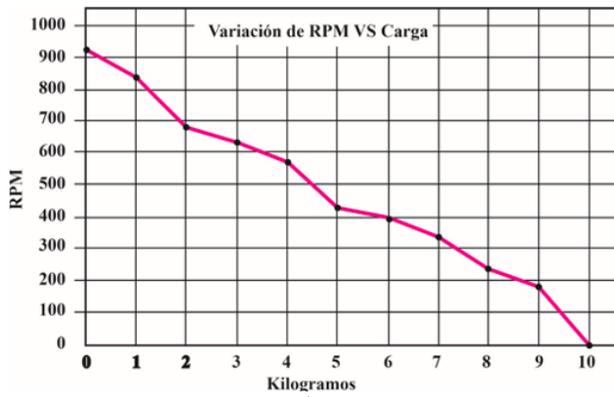
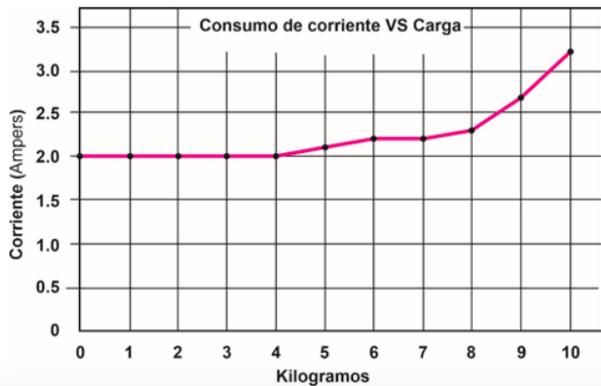


Figura 7 Resultados de prueba 1, en donde se visualiza la variación de los grados y su efecto en velocidad.



a)



b)

Figura 8 Efecto de carga respecto a, a) velocidad y b) consumo de corriente

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del desarrollo de este prototipo, se tuvieron respuestas comparadas con respecto al modelo original en promedio de 14 % de acuerdo al monitoreo y pruebas obtenidas en laboratorio para este tipo de motor pulsante rediseñado, observándose un diseño mecánico mejorado en cuanto a la estrategia de ensamblaje, optimizando su ajuste fino para la obtención de un par y velocidad, con una carga variable. Además se reforzó la integración de un sistema de control e instrumentación para leer los parámetros del motor en cuestión, logrando la integración de un proyecto mecatrónico para ser utilizado como apoyo del laboratorio y así mismo en la generación de competencias técnicas de los colaboradores del proyecto.

#### 3.1 Recomendaciones

Se está actualmente trabajando en un modelo mecánico para un mejor montaje del estator, dado que, aunque no esta parte de este trabajo, tiene oportunidad de mejora debido a las

vibraciones que se generaron por un ensamble no exacto, generando ruido en su estructura, aclarando que bien ajustados los elementos mecánicos, el problema desaparece, pero exige un ensamblado detallado.

### 4. REFERENCIAS

- [1] DA SILVA, J. M. KEPPE MOTOR: Uma inovação tecnológica para a indústria.
- [2] Niño Castillo, E. A., & Sánchez Huertas, J. X. Diseño de una Interfaz Labview y Arduino e Implementación de un Programa Aplicado a la Máquina de Vacío del Laboratorio de Mecánica.
- [3] Andrango Quishpe, D. G., & Angueta Ramos, J. L. (2021). "Diseño de un simulador en entorno virtual Labview con el análisis de variables eléctricas y técnicas de arranque de motores trifásicos" (Bachelor's thesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- [4] Duc, T. Q. (2021). LabVIEW and Open Embedded System.
- [5] Mejía Cáceres, C. (2013). "Análisis de los parámetros eléctricos para la regulación de velocidad óptima de motores asíncronos mediante control escalar con modulación de ancho de pulso".
- [6] Burt, C. M., Piao, X., Gaudi, F., Busch, B., & Taufik, N. F. (2008). Electric motor efficiency under variable frequencies and loads. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 134(2), 129-136.
- [7] Agamloh, E. B. (2009, May). A comparison of direct and indirect measurement of induction motor efficiency. In *2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference* (pp. 36-42). IEEE.
- [8] Boglietti, A., Cavagnino, A., Lazzari, M., & Pastorelli, M. (2003, October). International standards for the induction motor efficiency evaluation: a critical analysis of the stray-load loss determination. In *38th IAS Annual Meeting on Conference Record of the Industry Applications Conference, 2003*. (Vol. 2, pp. 841-848). IEEE.