

## Desarrollo e Implementación de una interfaz hombre-máquina a un banco de pruebas empleado para la validación de métodos inversos de identificación de fallas en sistemas rotodinámicos.

### Development and implementation of a human-machine interface to a test bench used for the validation of reverse methods of fault identification in rotodynamic systems.

Arturo Aguilar Pérez <sup>a</sup>, Juan Manuel Orozco Rojas <sup>a</sup>, Sergio G. Torres Cedillo <sup>a</sup>, Jacinto Cortés Pérez <sup>a</sup>, Mario R. Cruz Deviana <sup>a</sup>, Alberto Reyes Solís <sup>a</sup>, María de la Luz Delgadillo Torres <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Centro Tecnológico Aragón, Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

<sup>b</sup> División de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, TecNM, México.

---

#### Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de una interfaz hombre-máquina (HMI) para optimizar un banco de pruebas destinado a la detección no invasiva de fallas en sistemas rotodinámicos. La propuesta destaca por su facilidad de uso, dirigida tanto a especialistas como estudiantes, convirtiéndola en una herramienta valiosa para enseñanza e investigación en ingeniería. Además, introduce estrategias que facilitan la comprensión y el avance en esta área. La HMI incluye una pantalla táctil que permite controlar intuitivamente el sistema: regular la velocidad del motor trifásico mediante ajustes de frecuencia, seleccionar el sentido de giro y detener operaciones en emergencias. Todo ocurre en tiempo real mientras sensores distribuidos estratégicamente recopilan datos precisos y eficientes. Esta solución responde a la necesidad de implementar tecnologías avanzadas y formar profesionales capacitados. Permite a los estudiantes ganar experiencia práctica con equipos industriales y prepararse para desafíos reales. Este enfoque enriquece la formación académica, promueve competencias profesionales y beneficia a la sociedad al integrar mejoras tecnológicas relevantes en los planes de estudio, fortaleciendo la conexión entre educación y sector industrial.

*Palabras clave:* Interfaz, Modbus RTU, variador de frecuencias, banco de pruebas, HMI.

#### Abstract

This paper describes the development of a human-machine interface (HMI) for a test bench used in non-invasive fault detection in rotodynamic systems. The HMI is designed to be user-friendly for both specialists and students, serving as an effective tool for engineering education and research. It features a touchscreen for intuitive interaction, allowing users to control the speed of a three-phase motor by adjusting frequency, select rotation direction, and halt operations in emergencies, all in real-time. Data is monitored via sensors integrated into the system, ensuring accurate and efficient collection. This solution enhances understanding of fault detection techniques and supports skill development in this engineering field. By providing hands-on experience with industrial-grade equipment, it prepares students to address real-world industry challenges. The integration of advanced technology into academic curricula enriches education, offering practical knowledge and fostering professional growth. This approach strengthens the competitiveness of academic programs while addressing societal needs by training highly skilled professionals. Ultimately, the HMI bridges education and industry, promoting technological advancements and contributing to a more qualified workforce.

*Keywords:* Interface, Modbus RTU, frequency converter, testing bench, HMI.

---

\*Autor para la correspondencia: [arturoaguilar8s5@aragon.unam.mx](mailto:arturoaguilar8s5@aragon.unam.mx)

**Correo electrónico:** [juanorozco317@aragon.unam.mx](mailto:juanorozco317@aragon.unam.mx) (Juan-Manuel Orozco-Rojas), [storresc@comunidad.unam.mx](mailto:storresc@comunidad.unam.mx) (Sergio-Guillermo Torres-Cedillo), [jacop@unam.mx](mailto:jacop@unam.mx) (Jacinto Cortés-Pérez), [ldelgadillo@tese.edu.mx](mailto:ldelgadillo@tese.edu.mx) (María de la Luz Delgadillo-Torres),.

## 1. Introducción

Dentro del Centro Tecnológico de la FES Aragón se encuentra un banco de pruebas de sistemas rotodinámicos para pruebas no invasivas en la detección de desbalances el cual se muestra en la Fig. 1 y que está conformado por los siguientes dispositivos:

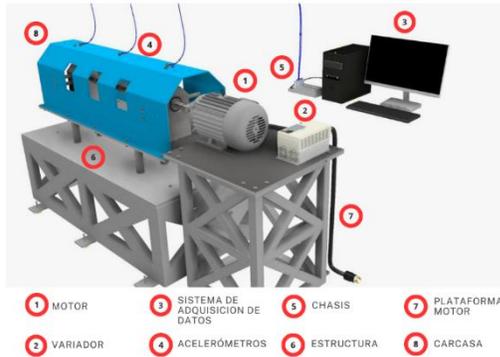


Figura 1 - Ilustración del banco de pruebas.

1. **Motor trifásico.** – Elemento que en conjunto con la carcasa simulan un sistema rotodinámico.
2. **Variador de Frecuencias.** – Sirve para controlar la velocidad de rotación, así como el sentido de giro del motor.
3. **Sistemas de Adquisición de Datos.** – Conjunto de sensores, hardware (chasis) y software (MATLAB® y LabView® de National Instrument®,) que se utiliza para analizar los fenómenos físicos y eléctricos. Conformado por una computadora central que se encarga de recopilar, controlar y gestionar los datos que se adquieren del banco de pruebas; así como de acelerómetros y un chasis.
4. **Acelerómetros.** – Sensores que se adhieren a la carcasa utilizando un pegamento especial permitiendo así modificar su posición en cualquier momento, recolectando las respuestas de vibración, que se envía a través de cables de fibra óptica al chasis.
5. **Chasis.** – De la marca National Instrument®, modelo NI cDAQ-9181, con diseño modular donde la cantidad de elementos capaces de enviar información a la PC puede ampliarse o reducirse según las necesidades de la prueba y que facilita la transferencia de datos entre los sensores y la computadora central.
6. **Estructura.** – Base diseñada sobre la cual reposan diversos soportes, entre los que destacan rodamientos eje-rotor, anillos de desbalance, el eje-rotor, entre otros elementos que integran el banco de pruebas.
7. **Plataforma del motor.** – Base diseñada sobre la cual yace el motor y el variador de frecuencias.
8. **Carcasa.** – Encargada de simplificar los elementos principales de la estructura de una turbina de un avión, se toma en cuenta para emular condiciones

aproximadas a la realidad, por otro lado, brinda protección al usuario.

El banco de pruebas es operado a través de un variador de frecuencia el cual cuenta con un “Operador LED”, que posee un display y un teclado alfanumérico para su puesta en marcha. Esto resulta problemático debido a que únicamente especialistas pueden manipularlo, al tener que introducir determinados parámetros de configuración para su operación, lo que deriva en la necesidad de implementar un sistema que permita controlar el sentido del giro y la velocidad de manera más sencilla para su uso en investigación y docencia.

Asimismo, existe otra problemática que corresponde a la falta de material y equipo de grado industrial en las instalaciones, así como de personal capacitado para su correcta operación; por lo que se busca con este proyecto que el estudiantado tenga más y mejores herramientas para poder comprender de mejor manera algunos tópicos referentes como la automatización, el control, la mecánica, la electrónica, entre muchos otros temas los cuales actualmente requieren de un enfoque teórico-práctico y por ende brindar un enfoque andragógico a las futuras generaciones de ingenieros.

## 2. Antecedentes

**Variador de Frecuencia Yaskawa V1000®.** – El variador de frecuencias Yaskawa V1000 es un dispositivo electrónico que se utiliza para controlar la velocidad de motores eléctricos de corriente alterna (CA). Este dispositivo es fabricado por la empresa japonesa Yaskawa Electric Corporation.

Según el manual de instrucciones de Yaskawa Electric Corporation, (2008), “el V1000 es un variador de frecuencias de alta eficiencia y confiabilidad, diseñado para controlar motores de CA en una amplia variedad de aplicaciones industriales”, tales como bandas transportadoras, maquinaria de empaque, ventiladores, bombas, compresores, lavadoras industriales, entre muchas otras.

Sirve para:

- Controlar la velocidad de motores eléctricos de CA.
- Mejorar la eficiencia energética en aplicaciones industriales.
- Reducir el ruido y las vibraciones en los motores.
- Proporcionar una mayor flexibilidad y control en la operación de los motores.

“La línea V1000 opera a diversos voltajes (200-240V Monofásico 50/60 Hz), (200-240V Trifásicos 50/60 Hz) y (380-480V Trifásicos 50/60 Hz) alcanzando una potencia de 1/8 a 25 HP (*Caballos de Fuerza, de acuerdo con sus siglas en inglés*)” (Yaskawa, 2007).

**HMI.** - Lewis (1995) nos comenta que “Una HMI (Interfaz Hombre-Máquina, por sus siglas en inglés) es un dispositivo o sistema que permite la interacción entre un operador humano y una máquina o sistema automatizado. Las HMI se utilizan para monitorear, controlar y configurar sistemas industriales, como robots, máquinas herramientas, sistemas de control de procesos y otros. Una HMI es un sistema que permite a los operadores humanos interactuar con sistemas

automatizados, como robots y sistemas de control de procesos, de manera segura y eficiente”.

Las HMI sirven para:

- Monitorear el estado de los sistemas y máquinas
- Controlar y configurar los parámetros de los sistemas y máquinas
- Visualizar datos y tendencias en tiempo real
- Recibir alertas y notificaciones de eventos importantes
- Realizar mantenimiento y diagnóstico de los sistemas y máquinas

Hoy en día resultan de gran utilidad en la industria ya que permiten realizar operaciones más confiables y seguras, optimizando un proceso industrial digitalizando y centralizando los datos para que el operador monitoree toda la maquinaria, analizando diversos parámetros relevantes dentro de un sistema, facilitando en gran medida la comunicación entre los diversos componentes que se poseen.

**Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*).** – La página web DITEL (2024) menciona que “es un protocolo de comunicación que consiste en una arquitectura maestro-esclavo, en donde un equipo que solicita información (Maestro) puede comunicarse con múltiples dispositivos que suministran la información (esclavos), todo esto a través de una conexión serial tales como RS-232 o RS-485, que permiten la transmisión eficiente de datos entre dispositivos”, como se explica a continuación:

- **RS-232:** “Permite un flujo de datos simultaneo y full-duplex, ya que envía datos en forma de una serie temporal de bits. Es un estándar para la comunicación entre un aparato terminal de datos (DTE) y una instalación de transmisión de datos (DCE), donde la transmisión (Tx) y la recepción (Rx) full duplex de datos se producen en circuitos diferentes cuando se utilizan líneas Modbus RS-232, lo que significa que los datos pueden ser enviados en ambos sentidos al mismo tiempo” (DPS Telecom, 2022).  
“En la interfaz RS232 se transmiten consecutivamente cada uno de los bits de datos de un signo como estados de tensión a través de una línea de transmisión o de recepción. Un "1" lógico corresponde aquí a un nivel de tensión negativo de -15...-3V, un "0" lógico por el contrario a un nivel de tensión positivo de +3...+15V referido a la masa común de señales” (Wiesemann & Theis GmbH, 2024).
- **RS-485:** “Es Half-Duplex e indica valores utilizando diferencias de voltajes (Potencia Electromecánica, s.f.). Esta conexión multipunto comunica datos en serie indicando valores mediante el envío de diferentes voltajes a través de dos cables” (DPS Telecom, 2022), ayudando a cancelar el ruido,

permitiendo una transmisión robusta de datos a largas distancias.

Otros autores nos comentan que la comunicación Modbus RTU tiene como características clave:

- **Comunicación asíncrona y simple de implementar:** Utiliza comunicación asíncrona, lo que significa que no requiere de un reloj de sincronización entre dispositivos para la transmisión de datos. Esta característica simplifica considerablemente la implementación y permite que los dispositivos puedan comunicarse de manera eficiente sin necesidad de una sincronización precisa en el tiempo.
- **No requiere una dirección de dispositivo explícita:** A diferencia de otros protocolos, utiliza un esquema maestro-esclavo donde el dispositivo maestro inicia y controla las comunicaciones con los dispositivos esclavos. No es necesario que cada dispositivo tenga una dirección de dispositivo explícita asignada de antemano, lo que facilita la configuración y flexibilidad en la red.
- **Utiliza una trama de datos compacta con código de función, dirección y suma de comprobación:** Las tramas de datos son eficientes y compactas. Cada trama incluye un código de función que indica la acción que debe realizar el dispositivo esclavo, la dirección del dispositivo esclavo al que se dirige la comunicación y una suma de comprobación CRC (Cyclic Redundancy Check) que garantiza la integridad de los datos transmitidos.
- **Robusto y confiable, incluso en ambientes industriales hostiles:** Está diseñado para ser robusto y confiable en entornos industriales adversos. Es resistente a las interferencias electromagnéticas y al ruido, lo que garantiza una comunicación estable y confiable incluso en ambientes con condiciones hostiles como altas temperaturas, humedad, vibraciones o interferencias eléctricas (DITEL, 2024).

### 3.1 Metodología

En la Fig. 2, se muestra una cronología donde se muestra el desarrollo del proyecto, a lo largo de las fases establecidas, partiendo por la investigación previa, el armado de los elementos que lo componen, concluyendo con su instalación y puesta en marcha, así como el posible desarrollo de futuros proyectos.

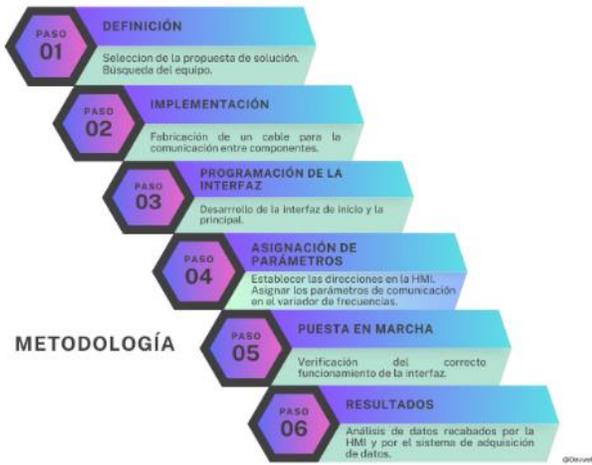


Figura 2 - Diagrama de Metodología.

Partiendo de la necesidad de mejorar el banco de pruebas que se posee, se comenzó con la etapa de **Definición** que consiste en la búsqueda del equipo en base a la propuesta de solución; por lo que se realizó una investigación comparando diversas marcas de HMI en base a su funcionalidad y precio. Se optó por una interfaz marca Samkoon® con un puerto RS485, el cual puede vincularse de manera correcta con el variador de frecuencias, modelo Yaskawa V1000®, a través del protocolo de comunicación Modbus RTU.

3.2 Implementación

Siguiendo con la metodología, la interfaz requería de un cable de conexión para enlazarse con el variador de frecuencias a través del protocolo de comunicación Modbus RTU, se procedió a fabricar un cable soldando de un extremo una terminal DB9 hembra en los pines 8 y 9 de acuerdo con las especificaciones que indica el manual de uso tanto del variador de frecuencias como de la HMI, esto lo podemos observar en la Figs. 3 (A)-(B).

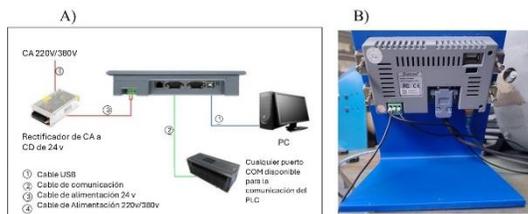


Figura 3 – Conexión de la HMI. En A) esquema de la conexión de la HMI, en B) fotografía de la conexión.

Mientras que al otro extremo del cable se poncharon terminales de pines aislados, como se muestra en la Fig. 4 A), y se realizó una conexión paralela que se muestra en la Fig. 4 B).

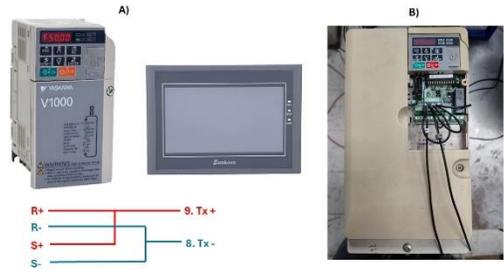


Figura 4 – Conexión de la HMI con el variador de frecuencias. En A) se muestra un esquema de la conexión del variador de frecuencias. En B) fotografía de la conexión.

3.3 Programación de la Interfaz HMI

Una vez teniendo el cable de conexión se prosiguió con el paso 3 de la metodología que consiste en la realización de la interfaz para el manejo del banco de pruebas, a través del programa SATOOL 6.2®, dicho programa facilita la comprensión para el desarrollo de interfaces ya que su configuración permite enlazarse diversos componentes de diferentes marcas.

Al configurar un nuevo proyecto, se tienen que establecer los datos de la pantalla, el tipo de comunicación y el dispositivo al cuál se conectará, como lo podemos observar en la Fig. 5.

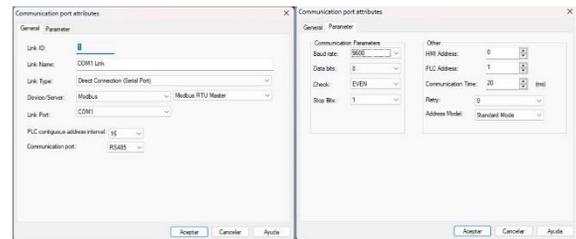


Figura 5 - Atributos de comunicación del puerto.

Teniendo esto se realizó la interfaz, como se muestra en la Fig. 6, cuyo propósito es brindar un mensaje de alerta para la prevención de accidentes en el área de trabajo, asimismo posee un botón de inicio el cuál realiza un cambio de pantalla donde se encuentra el mecanismo para puesta en marcha.



Figura 6 - Interfaz de inicio.

Posterior a ello, se añadió al programa una segunda pantalla la cual se compone de 3 botones, que indican el sentido de giro, uno de ellos en sentido horario y el otro en sentido antihorario; por otra parte, el tercer botón corresponde a un botón de paro. En la Fig. 7 también podemos observar un panel, el cual se puede configurar para indicar la frecuencia de operación a la que trabajará el banco de pruebas. Además, se encuentran 3 displays en la parte inferior de la pantalla, los cuales indican los valores recabados por la HMI como la frecuencia, el voltaje y la corriente a la cual está operando la plataforma experimental.



Figura 7 - Interfaz principal.

### 3.4 Asignación de parámetros del variador de frecuencias

Teniendo diseñada la interfaz, se prosiguió con la fase de integración, para esto cada botón y display de la pantalla principal requerían de una dirección específica para vincularse al variador de frecuencias y de ahí controlar el banco de pruebas, por lo que a continuación en la Tabla. 1 se explica cada dirección, parámetro y botón o display utilizado.

Tabla 1 - Direcciones de la interfaz.

Dirección	Descripción	Configuración
4x2	Frequency Setting Command	
4x1	Forward Run Command	1
4x1	Reverse Run Command	2
4x1	Stop Command	0
4x36	Frequency Output	
4x38	Current Output	
4x37	Voltage Output	

Para establecer la comunicación Modbus RTU, el variador de frecuencias requiere de la asignación de parámetros a través de su operador LED y teclado, para esto con ayuda de un simulador, que se muestra en la Fig. 8, se identificaron tanto los pasos a seguir para su calibración, como la operación de dicho componente.

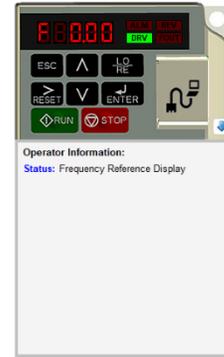


Figura 8 - Operador LED y teclado alfanumérico.

Las instrucciones necesarias para la puesta en marcha del banco de pruebas se aprecian en la Fig. 9, complementando esto con la Tabla 2 se explica más a detalle su funcionamiento de cada instrucción.



Figura 9 - Parámetros de comunicación del simulador Yaskawa V1000 ®.

Tabla 2 – Direcciones de registros Modbus RTU.

Parámetro	Descripción	Configuración	Observación
<b>Comunicación Modbus</b>			
H5-01	Drive, slave address	1	(Set “1” not “1F”)
H5-02	Com. Speed	3	=9600 bps
H5-03	Parity	1	=Even
H5-04	Stop, method after com. Error	3	=Alarm only, continue operation
H5-05	Com. Fault detection	0	=Disable
H5-06	Drive transmit wait time	10	ms
H5-07	RTS selection	1	For RS485
H5-10	Unit selection for Register 0025H	0	=0.1V unit
H5-12	Run command method	0	Bit 0 of Register 0001H for Start/Stop run Fwd command
<b>Modo de operación b1</b>			
b1-01	Freq. Reference selection 1	2	
b1-02	Run command selection 1	2	
b1-03	Stop method selection	0	

### 3.5 Puesta en marcha

A partir de las etapas anteriormente descritas con la interfaz hecha y con los parámetros de comunicación establecidos en el variador de frecuencias, se prosiguió con la penúltima fase del proyecto en donde se integró todo lo desarrollado. Para esto se realizaron las conexiones pertinentes para cada dispositivo, alimentando la HMI a través de una fuente de energía de 24v, de ahí el cable fabricado se vinculó la HMI con el variador de frecuencias y se conectaron los acelerómetros para la captación de datos, véase la Fig. 10.



Figura 10 - Implementación del sistema completo.

Con el banco de pruebas energizado, se verificó la estabilidad de la comunicación entre la HMI y el variador, sin detectar error alguno, aprovechando el LED indicador que posee la misma HMI; revisando también el correcto funcionamiento de las pantallas al momento de la transición entre la interfaz de inicio y la interfaz principal.

Para confirmar que los botones de la interfaz principal funcionaban de manera adecuada, se realizaron pruebas donde se estableció un valor de frecuencia como se muestra en la Fig. 11 para proseguir con el arranque del motor.



Figura 11 - Asignación de valores de frecuencia.

Una vez asignada la frecuencia, se corroboró que el motor girara en sentido horario y antihorario, dependiendo del botón que se presionara como se muestra en la Fig. 12.



Figura 12 - Configuración del sentido de giro.

Por otra parte, en la Fig. 13 podemos observar la verificación del correcto funcionamiento del botón “STOP” para detener el movimiento del motor.



Figura 13 - Verificación del botón STOP.

#### 4 Resultados

En la Fig. 14, se muestra la integración de la HMI al banco de pruebas, de manera que estudiantes y docentes podrán trabajar de manera práctica con equipo industrial, mejorando así sus conocimientos y habilidades en el área de la automatización.



Figura 14 - Banco de pruebas.

Por lo que, una vez colocada la interfaz y a partir de las pruebas hechas para corroborar el correcto funcionamiento de la interfaz principal, así como de todos los elementos que la integran, se analizaron los datos recabados por los 3 displays de la interfaz los cuales indican la frecuencia, el voltaje y la corriente a la cual opera el banco de pruebas, esto lo podemos observar en la Fig. 15.



Figura 15 - Valores recabados en el HMI.

Asimismo, se pudo monitorear de manera simultánea con el sistema de adquisición de datos donde podemos apreciar las gráficas generadas en los programas MATLAB® y LabView®, como se logra apreciar en las Figs. 16 (A)-(C).

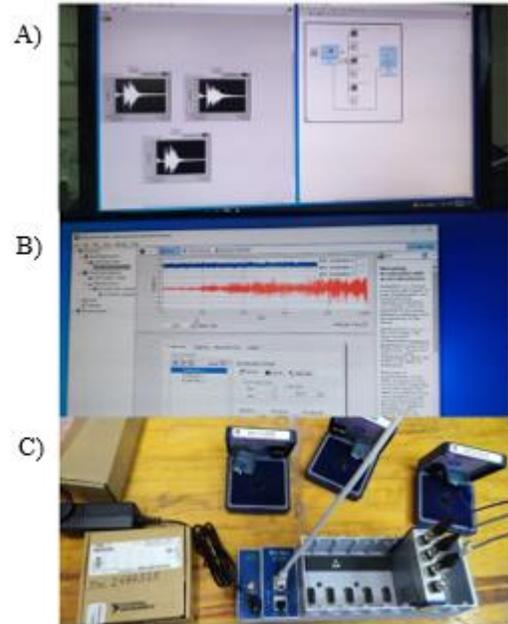


Figura 16 - Sistema de adquisición de datos. En A) programa diseñado para la adquisición de datos. En B) se observan las gráficas generadas. En C) se muestra el chasis y acelerómetros de National Instrument®.

Teniendo ya implementado el sistema se realizaron pruebas con ayuda de personal capacitado y no capacitado, como docentes y alumnos del Centro Tecnológico Aragón, quienes interactuaron con la interfaz y la plataforma experimental, percatándonos que al ser la primera vez de algunos operando maquinaria de grado industrial, muchos se mostraban temerosos, pero a pesar de eso lograron poner en funcionamiento el banco de pruebas, asignando diversos valores de frecuencia así como alternar su sentido de giro y detener su movimiento; inclusive mientras unos manipulaban la interfaz otros analizaban el sistema de adquisición de datos, observando las gráficas generadas y comparándolas con los valores del HMI.

#### 5 Conclusiones

En conclusión, este proyecto encontró en primera instancia que el implementar una interfaz HMI al banco de pruebas mejora en gran medida la experiencia del usuario al interactuar con equipo enfocado a los sistemas rotodinámicos. En segunda instancia facilitó la comunicación entre dispositivos, específicamente del variador de frecuencias con el motor trifásico, permitiendo así que la comunidad estudiantil pueda ocupar de manera didáctica y educativa la plataforma experimental.

Por otra parte, se observó en la exposición ante diversos profesores y estudiantes del Centro Tecnológico Aragón, que la interfaz puede ser operada tanto por especialistas como por

estudiantes quienes no habían tenido interacción con estos componentes, y en consecuencia, se desarrollen en el futuro nuevas líneas de investigación para la detección de fallas de manera no invasiva en sistemas rotodinámicos, así como en el área de control y automatización contribuyendo en la comprensión de estos tópicos y en el desarrollo de material educativo.

## 6 Agradecimientos

A los integrantes del Laboratorio de Mecánica Aplicada del Centro Tecnológico Aragón, quienes me apoyaron en el desarrollo de este proyecto.

A todo el personal docente y autoridades de la FES Aragón de la UNAM por las facilidades brindadas para la elaboración de este proyecto, así como en los tramites posteriores que conllevo este trabajo.

Al Dr. Arturo Aguilar Pérez, por ser mi asesor de proyecto, brindándome su ayuda en todo momento y poder lograr un resultado exitoso con este proyecto, así como por permitirme ser su alumno y enseñarme una perspectiva diferente a la hora de trabajar.

A mi familia Oscar Villa, Rosario Rojas y Oscar Orozco, por su amor, confianza y apoyo incondicional, a quienes va dedicado este logro.

A mis compañeros de la FES Aragón quienes me motivaron a seguir adelante a pesar de las circunstancias.

## 7 Referencias

- [1] B Aula21. (2023, mayo 15). *Qué es un HMI y para qué sirve la interfaz humano-máquina*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>
- [2] Cetinkaya, E., & Altin, M. (2020). Human-machine interfaces in industrial control systems: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 393–408. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.00>
- [3] COPA-DATA. (s. f.). *¿Qué significa HMI? Interfaz humano-máquina*. <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>
- [4] Ditel - Diseños y Tecnología S.A. (2024, abril 29). *Modbus RTU: El protocolo industrial de comunicación por excelencia*. <https://www.ditel.es/modbus-rtu-el-protocolo-industrial-de-comunicacion-por-excelencia/>
- [5] DPS Telecom. (s. f.). *Modbus RS-232 and RS-485 for serial interface monitoring*. <https://www.dpstele.com/modbus/rs485-rs232-protocol-data-flow.php>
- [6] IndMALL Automation. (2024, agosto 30). *Is RS-485 and Modbus the same? Key differences explained*. <https://www.indmall.in/faq/is-rs-485-and-modbus-same/>
- [7] *Información WUT: Interfaz RS232*. (s. f.). <https://www.wut.de/e-8www-16-apes-000.php#:~:text=En%20la%20interfaz%20RS232%20se,tensi%C3%B3n%20positivo%20de%20%2B3>
- [8] Lewis, R. W. (1995). *Programming industrial control systems using IEC 1131-3*. IEE.
- [9] Micallef, J., & Cotton, S. L. (2019). Design of an HMI-based control system for teaching industrial automation. *IEEE Transactions on Education*, 62(4), 310318. <https://doi.org/10.1109/TE.2019.2905942>
- [10] Potencia Electromecánica. (s. f.). *Selección de variadores V1000* [PDF]. [https://www.potenciaelectromecanica.com/wp-content/uploads/pdfcaratulas/SELECCION\\_VARIADORES\\_V1000.pdf](https://www.potenciaelectromecanica.com/wp-content/uploads/pdfcaratulas/SELECCION_VARIADORES_V1000.pdf)
- [11] S.G. Torres Cedillo, P. Bonello, Unbalance Identification and Balancing of Nonlinear Rotodynamic Systems, Vol. 7A *Struct. Dyn.* (2014).
- [12] Shenzhen Samkoon Technology Corporation Ltd. (2022). *SK SERIES HMI INSTRUCTION*. Manual Técnico. Recuperado de <https://www.samkoon.store/samkoon-hmi/> (Sitio web oficial de Samkoon Technology).
- [13] Wang, L., & Bi, Z. (2018). Development of a rotodynamic fault diagnosis platform for educational purposes. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 104, 8496. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.11.009>
- [14] Yaskawa Electric Corporation. (2008). *Inversor de CA YASKAWA - V1000. Inversor Compacto de Control Vectorial*. Manual Técnico. Recuperado de <https://www.yaskawa.com/delegate/getAttachment?documentId=TOSPC71060622&cmd=documents&documentName=TOSPC71060622.pdf>