

Diseño y construcción de un banco de pruebas de motores de inducción con interfaz de comunicación IO-Link.

Design and construction of an induction motor test bench with IO-Link communication interface.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos* (1).
Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Noé Teco Rodríguez (2). Estudiante del Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
L18270559@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (3). Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
ogarcia@tuxtla.tecnm.mx.

José Ángel Zepeda Hernández (4). Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
jzepeda@tuxtla.tecnm.mx.

Raúl Moreno Rincón (5). Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rmoreno@tuxtla.tecnm.mx.

Álvaro Hernández Sol (6). Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez, alvarohs@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 04, 2022; aceptado en diciembre 08, 2022.

Resumen.

Este artículo presenta el proceso de desarrollo, diseño y construcción de un banco de pruebas de motores de inducción utilizando sensores industriales de temperatura, velocidad y vibración, cuyos parámetros puedan ser transmitidos mediante una interfaz IO-Link a un Controlador Lógico Programable (PLC), lo que permita generar un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para trabajos futuros. El sistema desarrollado presenta las ventajas de una estructura mecánica eficiente y confiable para las pruebas básicas de un motor, con la finalidad de adquirir los datos para su posterior análisis para la generación de sistemas de control predictivos, instrumentación y la utilización de las variables críticas para pruebas de rendimiento.

Palabras claves: Medición de velocidad, modelo 3D, sensor industrial, temperatura, vibración.

Abstract.

This article presents the development, design and construction process of an induction motor test bench using industrial temperature, speed and vibration sensors, whose parameters can be transmitted through an IO-Link interface to a Programmable Logic Controller (PLC), that will allow to generate a SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system for future works. The developed system presents the advantages of an efficient and reliable

mechanical structure for the basic tests of a motor, with the purpose of acquiring the data for its subsequent analysis for the generation of predictive control systems, instrumentation and the use of critical variables for performance tests.

Keywords: 3D Model, industrial sensor, speed measurement, temperature, vibration.

1. Introducción.

Los motores eléctricos son máquinas con la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica aprovechable, cuyas funciones básicas de arranque, aceleración, posicionamiento, frenado y movimiento de cargas, ha permitido que su fabricación se haya diversificado con diferentes características dependiendo de la aplicación.

La detección y diagnóstico de fallas demanda la aplicación de sensores adecuados para recolectar datos de parámetros críticos de funcionamiento en motores eléctricos con el propósito de detectar y monitorear fallas de manera preventiva o correctiva. Entre los parámetros más comunes que se consideran en el monitoreo, destacan los siguientes: tensión y corriente en el estator, densidad de flujo magnético en el entrehierro, velocidad y posición del rotor, par entregado al eje, temperatura externa e interna, vibración, etc. Cuantos más sean los parámetros monitoreados, más información puede llegar a extraerse con respecto al funcionamiento del motor (Castelli, 2007).

De acuerdo con empresas inmersas en el rubro, debido al uso continuo de los motores y generadores, el desgaste de las piezas y otros factores son anomalías comunes que deben abordarse, por lo que predecir y prevenir fallas masivas de equipos es una necesidad vital para la industria actual (Artesis, 2021).

El IEEE ha fundamentado en diversas conferencias que la mayoría de las fallas en motores eléctricos pueden ser clasificadas en dos grupos: fallas de aislamiento y fallas mecánicas. Botha presentó de manera muy específica algunas causas que pueden llevar a la ocurrencia de fallas en motores eléctricos de inducción (Botha, 1997).

Castelli enunció que las fallas mecánicas, en su mayoría están asociadas a daños en el rotor o componentes relacionados al mismo, dentro de las cuales se pueden destacar las siguientes: daños en rodamientos, quiebre de barras y anillos del rotor, irregularidades en el entrehierro (excentricidades estáticas y dinámicas) y desbalances (Castelli, 2007). En (Bonnet, A. H. et al., 1992). se presentaron las principales causas de fallas en el rotor y estator del motor, las cuales siguen siendo vigentes hoy en día.

Algunos desarrollos han enfocado sus esfuerzos en el diagnóstico de parámetros de manera indirecta y utilizando modelos matemáticos aproximados, por ejemplo, mediante la medición de variaciones de voltaje y corriente en el motor, como presentó Kroics (Kroics, 2018).

Por ello, la obtención directa de las variables críticas mediante sensores industriales se ha convertido en el objetivo principal de este banco de pruebas para motores de inducción, surge para monitorear en tiempo real variables críticas para la prevención de fallas en motores todo por medio de sensores y una interfaz IO-Link debido a su fácil implementación, comunicación y futura implementación de más sensores.

2. Métodos.

El proceso para lograr el diseño y construcción de este banco de pruebas se llevó a cabo mediante fases de desarrollo establecidas claramente para el cumplimiento de cada elemento fundamental del sistema, las cuales fueron:

Investigación bibliográfica. Fase de utilidad para establecer el diseño más adecuado para el banco de pruebas, así como para recabar información sobre los componentes que se implementarán, por ejemplo la elección de sensores, sus rangos de medición y metodología para comunicarlos a través de la interfaz IO-Link.

Diseño 3D utilizando SolidWorks. Se utiliza el software SolidWorks versión 2020, con el que se establecerán las dimensiones y el diseño del prototipo del banco de pruebas, así como la definición de la ubicación accesible de todas las piezas mecánicas, eléctricas, motor, sensores y elementos de control. La figura 1 presenta un boceto de lo que se implementará con el software:

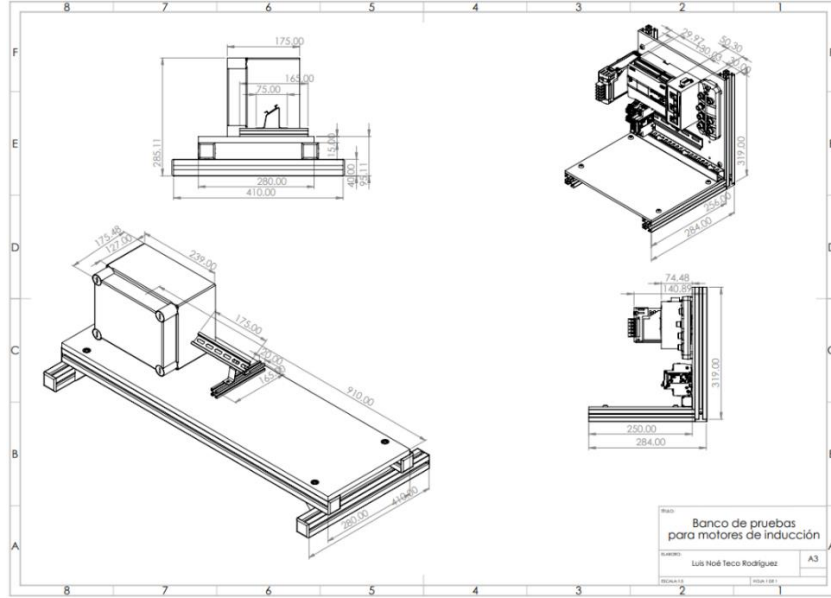


Figura 1. Dimensiones del banco de pruebas.

Instrumentación del motor de inducción trifásico. Tomando como referencia el diseño previo, se procede con la instrumentación del sistema, donde la disposición que los sensores tendrán es representada en un diagrama PI&D (Figura 2).

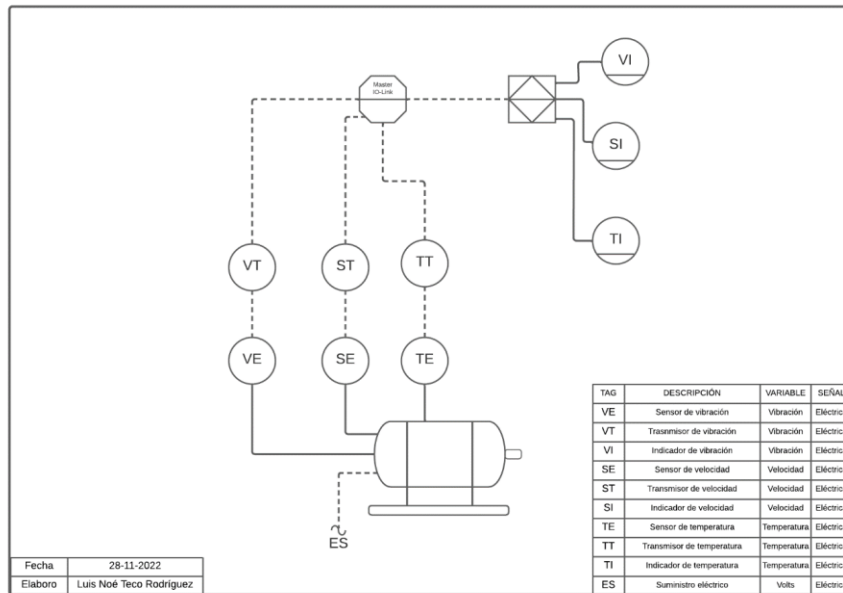


Figura 2. P&ID de la instrumentación del motor de inducción.

La ubicación e instalación de los sensores industriales permitirá que la información recabada sea enviada al sistema de monitoreo y control mediante una interfaz de comunicación IO-Link.

3. Desarrollo.

A partir de la generación del estado del arte, se eligieron las variables críticas (temperatura, velocidad y vibración), se establecieron las dimensiones más adecuadas para el diseño del sistema y a su vez los elementos estructurales y componentes eléctricos necesarios para la correcta implementación del banco de pruebas.



Figura 3. Sensores seleccionados para la medición de los parámetros del motor (temperatura, velocidad, vibración).

Los 3 sensores seleccionados para la obtención de los parámetros más importantes a monitorear fueron: sensor de temperatura (TS2229), velocidad (DI5028) y vibración (VVB001), de la marca alemana ifm efector, con características de salida tipo IO-Link que permite una conexión segura y obtención de datos con el sistema de monitoreo y control.

Diseño mecánico.

El proceso de diseño mecánico 3D se realizó con la versión 2020 del software SolidWorks, cuyas etapas de desarrollo se presentan a continuación, iniciando con los elementos estructurales de la base del motor usando perfiles de aluminio de 40x40 mm.



Figura 4. Diseño de la estructura de la base del banco de pruebas.

A la estructura diseñada se implementó una placa de aluminio como elemento de soporte con dimensiones de 28x91 cm., la cual fue acoplada por tornillos.



Figura 5. Diseño de la base del banco de pruebas.

El variador de frecuencia (FV) será montado sobre un riel DIN sujetado a un perfil de aluminio de 20x20mm y un soporte a 45°.

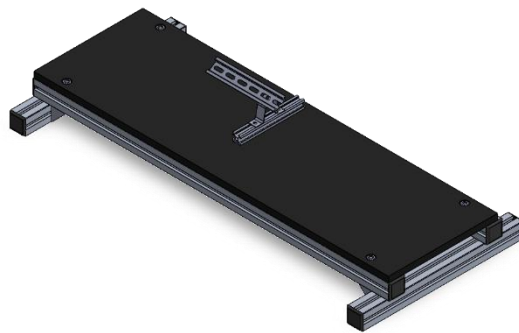


Figura 6. Diseño del riel de montaje para el variador de frecuencia (FV).

Una vez diseñada la base estructural, se agregaron los componentes eléctricos para el funcionamiento del motor de inducción: panel de control manual, protecciones eléctricas y variador de frecuencia (FV).

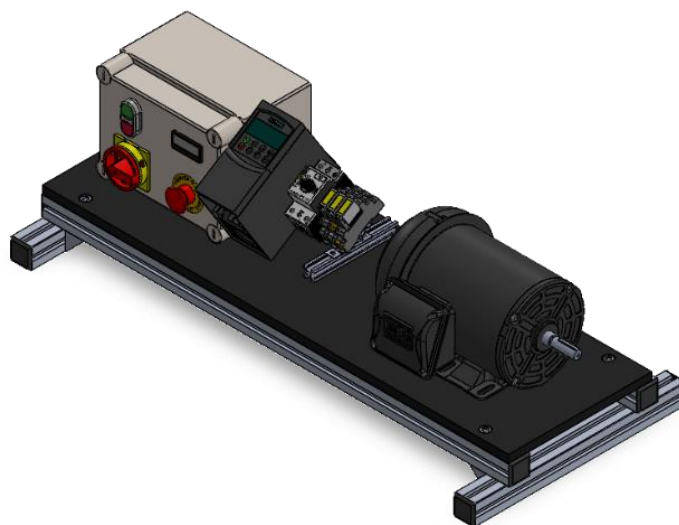


Figura 7. Ensamble de elementos eléctricos y de control del banco de pruebas.

El diseño y modelado de la base del sistema de monitoreo y control se realizó con procedimientos similares, pero adaptando las medidas correspondientes para los elementos estructurales y electrónicos.

Para la estructura de la base se optó por perfil de aluminio de 30x30mm y la base sólida estará compuesta de un panel espumado (SINTRA) debido a sus características rígidas y versatilidad para la fijación de componentes.

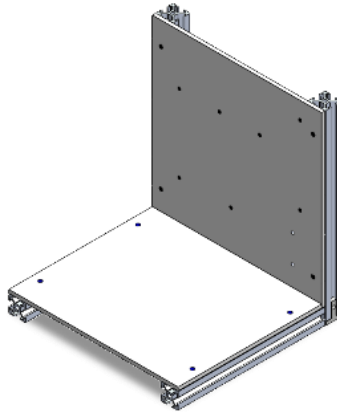


Figura 8. Diseño del panel de control y adquisición de datos.

Se incorporaron los rieles tipo DIN (TS 35) para la colocación de elementos como la fuente de alimentación 24VCD y controlador lógico (PLC).

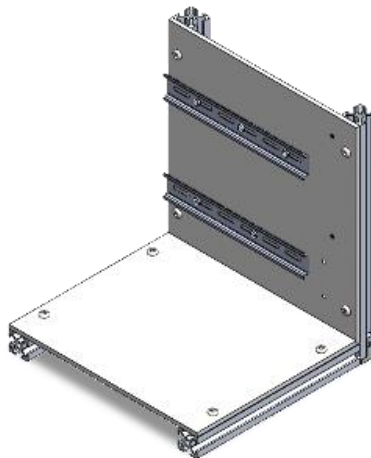


Figura 9. Implementación de rieles de conexión tipo DIN en el panel de control.

En la figura 10 se presenta la colocación de todos los elementos para la comunicación, control y adquisición de datos: PLC, Fuente 24VCD, Switch ethernet, Master IO-Link y elementos eléctricos de protección.

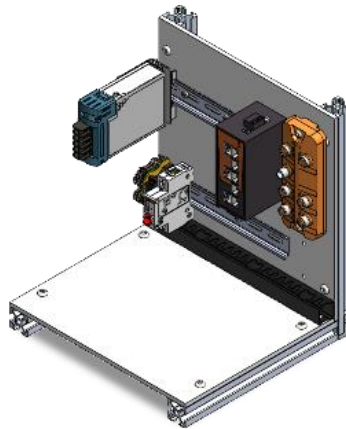


Figura 10. Diseño y ensamble de componentes de comunicación, control y adquisición.

El proceso de cableado también se incluyó en el diseño 3D, para una mejor referencia para la construcción física y a su vez para que los conectores cumplan las características específicas para el correcto funcionamiento del banco de pruebas.

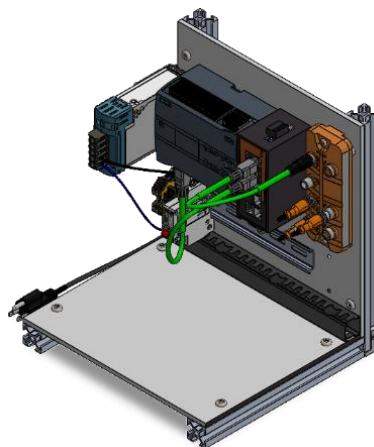


Figura 11. Diseño del cableado de componentes de comunicación, control y adquisición.

Al finalizar el diseño del panel eléctrico y de control del sistema, se implementó el ensamble del sistema completo y el montaje de los sensores industriales. La renderización del sistema se presenta en la figura 12.

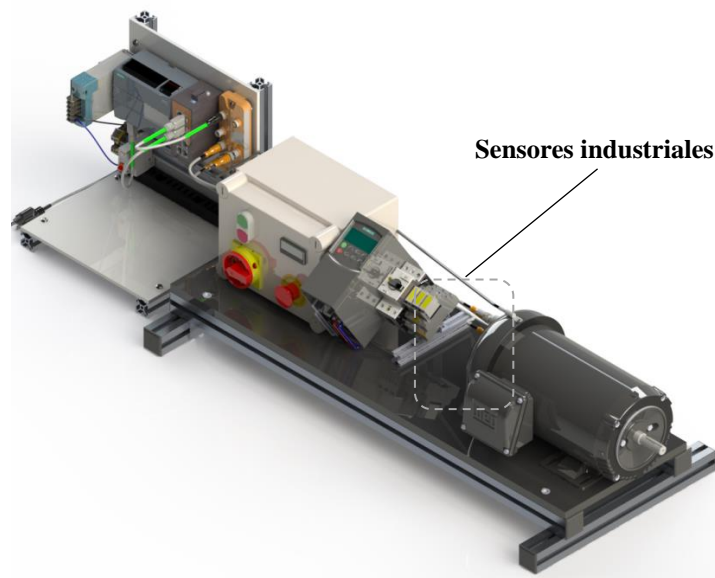


Figura 12. Diseño renderizado y ensamble de sensores (temperatura, velocidad, vibración).

Construcción.

Una vez establecido el diseño mecánico, se procedió a la construcción del sistema, con herramientas de corte para la adaptación de tamaños de los perfiles de aluminio y su posterior fijación para conformar las estructuras donde se colocarán las bases de elementos eléctricos y de monitoreo/control.

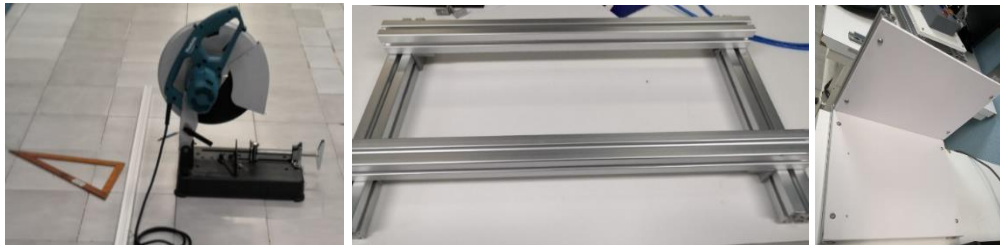


Figura 13. Proceso de corte y armado de estructuras y bases.

Posteriormente, se realizó el montaje de los componentes en las bases, como el panel de control manual, variador de frecuencia, fuente de alimentación, protecciones, switch ethernet y el master IO-Link.

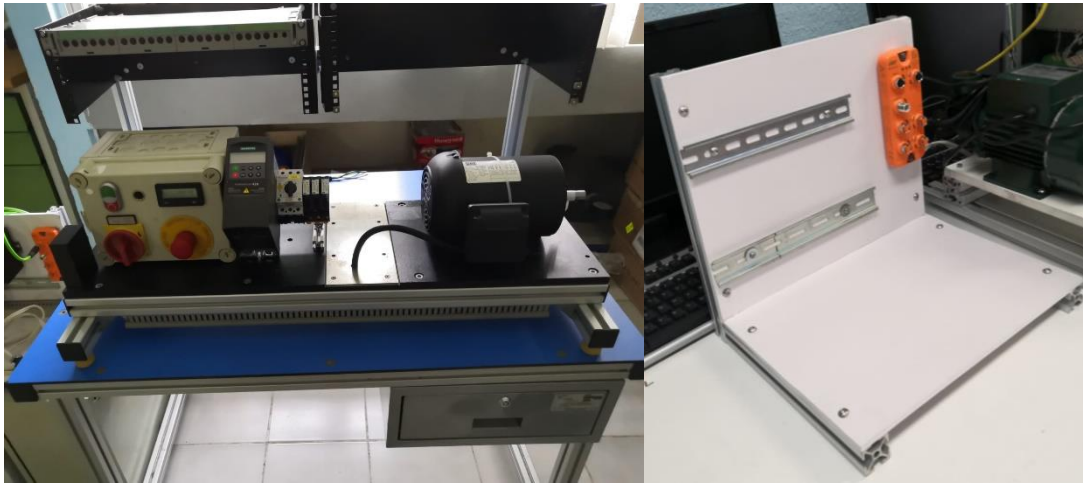


Figura 14. Montaje de componentes eléctricos y rieles.

La implementación de los elementos para la adquisición de datos (Master IO-Link), switch ethernet, fuente, PLC y protecciones eléctricas se realizó en el panel del sistema de monitoreo y control, tal como se había diseñado en la etapa anterior.

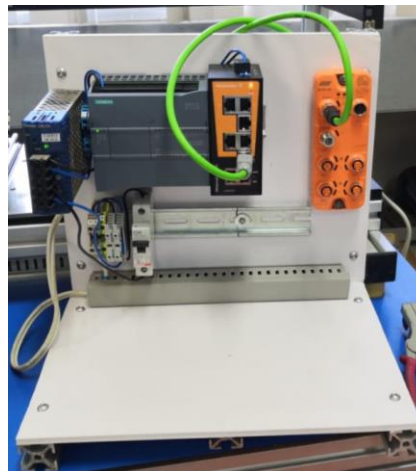


Figura 15. Montaje de elementos de control, comunicación y adquisición de datos.

4. Resultados.

El dibujo técnico final de todo el banco de pruebas de motores de inducción se obtuvo mediante la herramienta Drawings de SolidWorks, y se tomaron a consideración las modificaciones y correcciones finales en la colocación de elementos, con un margen de error de $\pm 1\%$ en las dimensiones.

Todas las medidas fueron establecidas con el estándar MMGS (milímetro, gramo, segundo), obteniendo una dimensión final del montaje de 910 mm x 370.71 mm para la sección de elementos eléctricos y de 281 mm x 412.13 mm en el panel del sistema de monitoreo y control, datos que se incluyen de manera general en la figura 16.

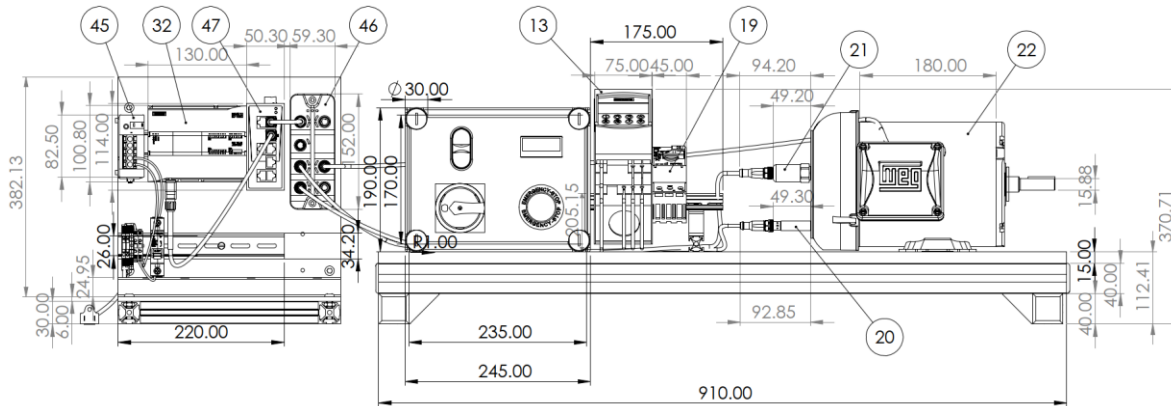


Figura 16. Vistas de dibujo técnico (dimensiones) del banco de pruebas.

El diseño final renderizado en 3D del banco de pruebas con todos los elementos eléctricos, protecciones, elementos de comunicación, adquisición de datos y control, así como los elementos primarios de características industriales, se presenta a continuación:

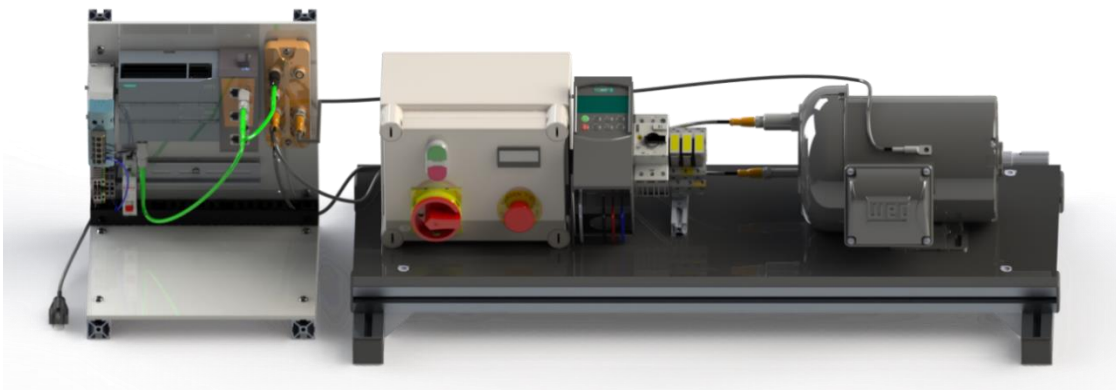


Figura 17. Diseño 3D renderizado del banco de pruebas de motores de inducción.

La implementación del sistema quedó conformada por los componentes y accesorios que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes del banco de pruebas.

No. elemento	Descripción	Cantidad	No. elemento	Descripción	Cantidad
1	PERFIL BOSCH ALUMINIO (410mm con corte 0.5mm) 40X40 (mm)	2	46	Master IO-Link AL1100	1
2	PERFIL BOSCH ALUMINIO (910mm con corte 0.5mm) 40X40 (mm)	2	47	Switch ethernet Weidmuller	1
3	Escuadra 45	4	48	Clema con fusible	2
4	Mariposa	4	49	Clema	2
5	Tuerca	4	50	Clema PE	1
6	TAPA DE PERFIL BOSCH	8	51	EVC010_1	3
7	Plancha base	1	52	EVC010_2	3

8	Tornillo	4	53	TP3231	1
9	CAJA	1	54	EVC706	1
10	Perfil20x20	1	55	E12090_2	3
11	Soporte 45°	1	56	E12090_1	1
12	Riel din	1	57	Pieza2	4
13	Micromaster 420 sin tapa	1	58	Pieza3	1
14	Tapa inferior	1	59	Pieza5	2
15	Emergency button	1	60	Cable_1	1
16	LCD	1	61	Cable_2	1
17	Selector rojo	1	62	Cable_1	1
18	Double push button	1	63	Cable_2	1
19	Motor Protection	1	64	Cable_3	1
20	DI5028	1	65	Cable_4	1
21	VVB001	1	66	Cable_5	1
22	Motor WEG	1	67	Cable_6	1
23	Conector	2	68	Cable_7	1
24	Perfil_30	1	69	Cable_8	1
25	Perfil_30-V	2	70	Cable_9	1
26	Perfil_30-H	2	71	Cable_10	1
27	SINTRA_N	1	72	Cable_11	1
28	SINTRA	1	73	Cable_12	1
29	RIEL_DIN	1	74	Cable_13	1
30	Tornillo_conector	8	75	Cable_14	1
31	A5E31089385A_001.stp	1	76	Pieza6	1
32	A5E31089386A_001.stp	1	77	Cable_1	1
33	A5E31089392A_001.stp	1	78	Cable_2	1
34	A5E30157758A_001.stp	1	79	Cable_3	1
35	A5E32311422A_001.stp	1	80	Cable_4	1
36	A5E31089419A_001.stp	1	81	Cable_5	1
37	Tuerca1-4	8	82	Cable_6	1
38	Tornillo1-4	8	83	Cable_7	1
39	RIEL_DIN_C	1	84	Cable_8	1
40	Tornillo_Riel	5	85	Cable_9	1
41	Tuerca_Riel	7	86	Cable_10	1
42	Tornillo_para_M_IO	2	87	Cable_11	1
43	Canaleta_25x25	1	88	Cable_12	1
44	SD C25 1P - STECK	1	89	Cable_13	1
45	Fuente Omron	1	90	Enchufe Tripolo	1
			91	TS2229_Sensor	1

El montaje final del banco de pruebas para motores de inducción se presenta en la figura 18, con la implementación de todos los elementos necesarios para la siguiente etapa del sistema. Se efectuaron mediciones eléctricas bajo condiciones de prueba al vacío, sin encontrar ninguna incidencia.



Figura 18. Banco de pruebas de motores de inducción, montaje final.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 14389.22-P (“Sistema didáctico de monitoreo de variables críticas de un motor de inducción trifásico”), de la convocatoria de apoyo a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación 2022 y las facilidades del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Conclusiones.

La construcción de este sistema tomó como fundamento las implementaciones que se han diseñado en empresas inmersas en el ramo industrial y proyectos de investigación desarrollados por instituciones a nivel internacional. Donde se ha demostrado que la obtención de los parámetros críticos en las máquinas eléctricas involucra varios aspectos técnicos que van desde el diseño industrial, elección de sensores y la correcta implementación de sistemas de comunicación y control.

Durante este documento se presentó el proceso de desarrollo, diseño y construcción de un banco de pruebas de motores de inducción utilizando sensores industriales de temperatura, velocidad y vibración de la marca ifm. El sistema desarrollado presenta las ventajas de una estructura mecánica eficiente y confiable para las pruebas básicas de un motor, cuyos parámetros pueden ser transmitidos mediante una interfaz IO-Link a un Controlador Lógico Programable (PLC), con la intención de generar un sistema SCADA adquirir los datos y realizar análisis para la generación de sistemas de control predictivos, instrumentación y la utilización de las variables críticas para pruebas de rendimiento.

A su vez, este sistema formará parte del equipamiento del recién inaugurado Laboratorio Industry 4.0 ifm/TecNM, que contribuirá a la formación de estudiantes con conocimientos en todos los rubros previamente comentados.

Referencias bibliográficas.

Artesis (2021). *Control del estado de motores y generadores.* Artesis. <https://www.artesis.com/es/control-del-estado-de-motores-y-generadores/>

Bonnet, A. H. et al. (1992). *Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-cage Induction Motors.* IEEE Trans. On Ind. Applic. Volumen 28, pp. 921-937, Julio-Agosto 1992.

Botha, M. (1997). *Electrical Machines Failure, Causes and Cures, Electrical Machines and Drives.* 8va conferencia anual de IEEE, N° 444, pp. 114-117, 1-3 de Septiembre de 1997

Castelli, M. (2007). *Metodología de monitoreo, detección y diagnóstico de fallos en motores asíncronos de inducción.* Core.ac.uk. Recuperado el 29 de noviembre de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/335340812.pdf>

Kroics, K. (2018). *Development of induction motor based test bench for supercapacitor braking energy recovery system testing, 2018.* IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/331591642_Development_of_Induction_Motor_Based_Test_Bench_for_Supercapacitor_Braking_Energy_Recovery_System_Testing

Información de los autores.



Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Cuenta con la certificación CSWA, CSWP, CSWP Avanzado de SolidWorks; así como un Diplomado en el motor de desarrollo de videojuegos UNREAL, Diplomado en Microsoft Teams y Diplomado en competencias para la enseñanza de las ciencias. Acreedor al premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 y Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación (PEI Conacyt) para empresas privadas, desarrollo de patentes con desarrollos tecnológicos en el Estado de Chiapas y fue parte del cuerpo de investigación de la Universidad del Valle de México Campus Tuxtla hasta el 2022. Actualmente es parte del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes” del I.T.T.G. con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y el TecNM. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.



Luis Noé Teco Rodríguez, estudiante del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, pasante de la carrera ingeniería eléctrica con especialidad sistemas eléctricos de potencia y calidad de la energía eléctrica, con campos de interés: modelado en 3D e iluminación.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Académico de Tiempo Completo en UVM desde 2005. Tiene 12 años de experiencia docente. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo

Estados Unidos y Festo México. Responsable técnico del proyecto de investigación “Consolidar un centro de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos funcionales y confortables e impulsados por energía limpia” junto con la empresa Invemex S.A de C.V., 2015. Ha desarrollado proyectos de investigación como ‘Sistema de medición de hélices de barco para la secretaria de marina financiado por Conacyt y Semar’, ‘Diseño y caracterización de Biomateriales a partir de macromicetos como alternativa al uso del unicel’ en el año 2014 (financiados por Conacyt). Tiene participaciones en congresos internacionales como congreso Tecno láser Habana Cuba 2013 con artículo y ponencia ‘Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas’.



José Ángel Zepeda Hernández, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes”.



Raúl Moreno Rincón, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Certificado en SolidWorks Associate. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación “Robótica” de Ingeniería electrónica y es parte del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes”. Ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, sistema de control de animatronic, entre otros.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundo y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica” y es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.