

Implementación de un Sistema Remoto de Monitoreo y Registro de la Demanda y Consumo Eléctrico en Tiempo Real para un Sistema de Baja Tensión

V. E. Manqueros-Avilés¹, L.A González-Vargas², A.J. Cordero-Escamilla³
G.A. Torres Astorga⁴, J.G. Proo Pérez⁵

Resumen— Contar con un sistema supervisor de consumo eléctrico y de calidad de energía es fundamental para el buen funcionamiento de empresas, edificios, universidades, hospitales o cualquier institución que cuente con áreas críticas de funcionamiento. El sistema de monitoreo de energía nos entrega información del comportamiento actual de nuestra red eléctrica en un edificio del ITSL, lo cual nos ayuda a prever fallas que ocasionen el corte parcial o prolongado en áreas críticas, así mismo podemos mejorar nuestra red a partir de esta información; también nos ayuda a administrar mejor nuestras cargas y reducir costos de facturación. En este proyecto se realizó la instalación de transformadores de corriente en los alimentadores principales de los centros de carga los cuales están conectados a un analizador de redes AcuRev 2020 el cual procesa la información de los principales parámetros eléctricos y la envía mediante el protocolo Modbus a un sistema SCADA desarrollado en el software DAQFactory.

Las variables que se monitorean son Voltaje, Corriente, Factor de Potencia, Potencia Real, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, energía. El medidor de la energía maneja interfaz RS-485 y el protocolo de comunicación Modbus Ethernet TCP/IP. El sistema SCADA se encarga de mostrarnos la información en tiempo real y guardarla para futuras consultas en archivos Excel; toda esta información la podemos consultar desde cualquier PC que este dentro de la red LAN y observar el comportamiento de las variables.

Palabras claves—Ethernet TC/IP, DAQFactory, Factor de Potencia, Monitoreo, Modbus, potencia, sistema supervisorio.

Abstract— Having a supervisory system of electrical consumption and quality of energy is fundamental for the proper functioning of companies, buildings, universities, hospitals or any institution that has critical areas of operation. The energy monitoring system gives us information about the current behavior of our electricity network which helps us to anticipate faults that cause partial or prolonged cutting in critical areas, and we can improve our network based on this information; It also helps us to better manage our burdens and reduce billing costs.

In this project the installation of current transformers in the main feeders of the load centers was carried out, which are distributed by an AcuRev 2020 network analyzer, the process

of the information of the main services provided and the shipment by means of the Modbus protocol to a SCADA System. developed in the DAQFactory software.

The variables that are monitored are: Voltage, Current, Power Factor, Real Power, Reactive Power, Apparent Power, Energy. The energy meter manages the RS-485 interface and the Ethernet Modbus TCP / IP communication protocol. The SCADA system is responsible for displaying the information in real time and saving it for future queries in Excel files; all this information can be consulted from any PC that is within the LAN network and observe the behavior of the variables.

Keywords— Ethernet TCP / IP, DAQFactory, Power Factor, Monitoring, Modbus, power, supervisory system.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es la reducción de la potencia y energía eléctrica demandada en la red sin que afecte a las actividades normales realizadas en un edificio, industria o proceso de transformación. Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden desear ahorrar energía para reducir costos energéticos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medio ambiental de la generación de energía eléctrica [1].

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El uso eficiente de la energía, constituye uno de los factores que encaminan a las naciones hacia el crecimiento económico y el desarrollo sostenible [2].

no hay otro segmento individual de una industria tan importante como la potencia, ya que sin la potencia el sistema de producción completo deja de funcionar. A pesar de esto, el tema de la medición, control, análisis y administración de la calidad de la energía es visto por muchos como un trabajo de ingeniería difícil y complejo. En la actualidad muchas industrias y compañías, trabajan

^{1,2,3}Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.
emanqueros@itslerdo.edu.mx, lvargas@itslerdo.edu.mx
acordero@itslerdo.edu.mx

de manera proactiva con monitoreo continuo de la calidad de energía para detectar fuentes de perturbaciones y condiciones de fallo en la red, antes de que las consecuencias sean graves y muy costosas. Estos analizadores de calidad de energía poseen gran capacidad de análisis, por lo que dan grandes oportunidades de trabajar con estadísticas y tendencias de una manera preventiva y predictiva.

El presente proyecto busca solucionar los inconvenientes presentados en la demanda de energía, brindando un prototipo de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos de forma remota, el cual ayudará en la detección de transitorios de corriente, así como en los consumos de potencias de las cargas instaladas que se encuentren en el edificio D del ITSL

Este prototipo está conformado por:

- Hardware: medidor de calidad de la energía y Transformadores de corriente
- Software SCADA

Este sistema de monitoreo emite un reporte histórico diario con los valores instantáneos minútales de las diferentes variables medidas. Estos valores se presentan en forma de gráfica, para una interpretación rápida y sencilla. Asimismo, el sistema genera una lista de eventos para identificar con exactitud la fecha y hora exacta en que se presentó algún problema en la red eléctrica.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El sistema de monitoreo de la calidad de la energía permite vigilar, de manera continua, el comportamiento de la red eléctrica. Con ello se pueden detectar y prevenir, de manera oportuna, diferentes problemas asociados con la operación del sistema eléctrico, específicamente en el SEP del edificio D del ITSL.

El procesamiento digital de las señales y los algoritmos para el cálculo de los parámetros eléctricos forman parte integral del analizador de redes AcuRev 2020, por lo que estas funciones avanzadas nos ahorran la programación de las ecuaciones que rigen la calidad de la energía, se trabajó en el direccionamiento de las variables requeridas mediante programación estableciendo la dirección Modbus de cada una de ellas.

Las variables monitoreadas son las siguientes:

- Voltaje en Fases A, B y C (Volts).
- Corriente en Fases A, B y C (Amperes).
- Potencia en Fases A, B y C (kW).
- Potencia Reactiva en Fases A, B y C (kVAR)
- Factor de Potencia en Fases A, B y C.
- Distorsión armónica de corriente en Fases A, B y C.
- Distorsión armónica de voltaje en Fases A, B y C.
- Consumo (kWh).
- Frecuencia (Hz).

A. Equipo de Medición de Energía Eléctrica AcuRev Serie 2000

Este analizador de energía puede medir energía multi-circuito, monitorear potencia, energía, demanda y tarifa horaria en aplicaciones de alta concentración (Hasta 18 circuitos monofásicos o 6 circuitos trifásicos). Es un equipo robusto, posee comunicación mediante Modbus vía RS485, Modbus vía Ethernet TCP/IP.



Figura 1. Medidor AcuRev 2020 con dos módulos de expansión

B. Características del analizador de energía

- Cumple estándares de medición IEC y ANSI
- Cumple con el estándar de medición IEC 62053-22.
- Admite hasta 18 canales de medición individuales para medición de energía.
- Posee funciones avanzadas de análisis de calidad de energía para cada circuito.
- Su Capacidad de registrar datos permite el análisis de tendencias históricas.
- Disponibilidad de múltiples puertos de comunicación y protocolos para monitoreo local y remoto.
- Fuente de alimentación desde 100 a 415 Vac.

TABLA I
ESPECIFICACIONES DE LAS MEDICIONES

Parámetro	Precisión ± (%)	Rango
KWh	0.5%	0~999999.9kwh
V	0.5%	10 ~ 400V
I	0.5%	5mA ~ 10000A
P	0.5%	4000.0 kW
Q	0.5%	4000.0 kvar
S	0.5%	4000.0 kVA
FP	0.5%	-1.000 ~ 1.000

Frecuencia	0.2%	45 ~ 65 Hz
Potencia Activa Demandada	0.5%	4000.0 kW
Corriente Demandada	0.5%	5mA ~ 10000A
Harmónicos	1%	0 ~ 100%

C. Diagrama Eléctrico con Montaje de Transformadores Bipartidos Flexibles.

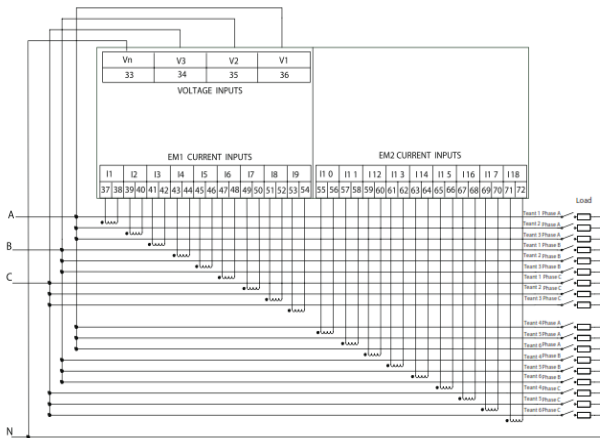


Figura 2. Diagrama de Conexión con dos Módulos EM

Es importante para la representación del modelo eléctrico hacer un diagrama unifilar para la distribución de cargas del edificio en el acurev 2020 , para esto se tomó como referencia la distribución de los transformadores flexibles bipartidos en las líneas de alimentación del edificio D de acuerdo al manual del fabricante, como se muestra en la figura 2 .

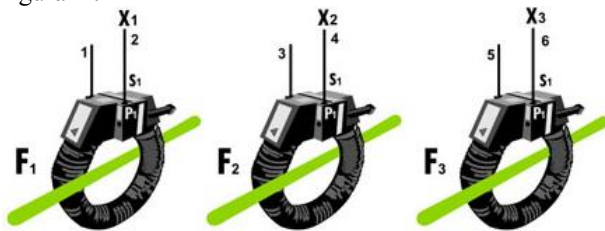


Figura 3 Transformadores bipartidos flexibles

En conexiones trifásicas los Transformadores bipartidos flexibles deben instalarse manteniendo el orden, ejemplo; si orientó P₁ hacia la carga en un transformador, los otros dos deben tener la misma orientación, es decir estar del mismo lado. En conexiones monofásicas no hay reglas.

Características:

- Aislamiento para 0.6Kv uso interior
- Operación en 50-60 Hz.
- Precisión 1%
- Salida única a 0-333 mVCA

Los transformadores flexibles instalados en esta fase del proyecto para monitorear las variables eléctricas con el AcuRev 2020 en las cargas del edificio fueron los siguientes con las capacidades correspondientes. Cabe mencionar que previamente ya se habían instalado algunos puntos de medición con un AcuRev 2010, la descripción detallada se muestra en la tabla 2 (por motivos de espacio solo se muestra el mapeo de los puntos de medición del AcuRev 2020).

- 24 Transformadores Bipartidos MAPREIME RICHTIG de 40 Amperes.
- 3 Transformadores Bipartidos MAPREIME RICHTIG de 600 Amperes.



Figura 4. Transformadores flexibles de 40 Amps instalados



Figura 5. Transformadores flexibles de 600 Amps instalados

TABLA 2
MAPEO DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

Punto:	Medidor:	Punto a Medir:	Transformador
1	2020	LA-Alimentación Principal.	600 Amp.
2	2020	LB-Alimentación Principal.	600 Amp.
3	2020	LC-Alimentación Principal.	600 Amp.
4	2020	LA-Aires Planta Alta.	600 Amp.
5	2020	LB-Aires Planta Alta.	600 Amp.
6	2020	LC-Aires Planta Alta.	600 Amp.

7	2020	LA-Aires Cubos 1 Planta Alta.	40 Amp.
8	2020	LB-Aires Cubos 1 Planta Alta.	40 Amp.
9	2020	LC-Aires Cubos 1 Planta Alta.	40 Amp.
10	2020	LA-Aires Cubos 2 Planta Alta.	40 Amp.
11	2020	LB-Aires Cubos 2 Planta Alta.	40 Amp.
12	2020	LC-Aires Cubos 2 Planta Alta.	40 Amp.
13	2020	LA-Aire Audiovisual 1 Planta Baja.	40 Amp.
14	2020	LB-Aire Audiovisual 1 Planta Baja.	40 Amp.
15	2020	LC-Aire Audiovisual 1 Planta Baja.	40 Amp.
16	2020	LA-Aire Audiovisual 2 Planta Baja.	40 Amp.
17	2020	LB-Aire Audiovisual 2 Planta Baja.	40 Amp.
18	2020	LC-Aire Audiovisual 2 Planta Baja.	40 Amp.

específicamente por medio de los medidores energéticos AcuRev 2020, figura 4. Aquí se ve el diagrama y las distribuciones de cada fase con su respectivo canal y transformador donde van los interruptores termomagnéticos. Es decir, la fase a esta conformada por los niveles 1,4,7 y en el módulo de expansión son los niveles 10, 13 y 16 los cuales alimentan a la medición principal y los aparatos de aire acondicionado de los cubiculos.

La fase B está constituida por los canales 2, 5, 8 y en el módulo de expansión los canales 11, 14 y 17 los cuales alimentan los aparatos de aire acondicionado en la planta baja del edificio y aires acondicionados del audiovisual_1 respectivamente.

La fase C está constituida por los canales 3,6,9 y en el módulo de expansión 12,15 y 18 los cuales alimentan el alumbrado de los cubiculos en la planta alta del edificio y los aires acondicionados del audiovisual_2.

TABLA 3
DIRECCIONES MODBUS DEL ACUREV 2020

Parámetro	Dirección Modbus	Tipo de Medición
Frecuencia	8192	Lectura
Voltaje Fase A	8194	Lectura
Voltaje Fase B	8196	Lectura
Voltaje Fase C	8198	Lectura
Voltaje Promedio	8200	Lectura
Corriente Fase A	8448	Lectura
Corriente Fase B	8484	Lectura
Corriente Fase C	8520	Lectura
Factor de Potencia Fase A	8456	Lectura
Factor de Potencia Fase B	8492	Lectura
Factor de Potencia Fase C	8528	Lectura
Potencia Instantánea Fase A	8450	Lectura
Potencia Instantánea Fase B	8486	Lectura
Potencia Instantánea Fase C	8522	Lectura
Potencia Reactiva Fase A	8452	Lectura
Potencia Reactiva Fase B	8488	Lectura
Potencia Reactiva Fase C	8524	Lectura
Potencia Aparente Fase A	8454	Lectura
Potencia Aparente Fase B	8490	Lectura
Potencia Aparente Fase C	8526	Lectura

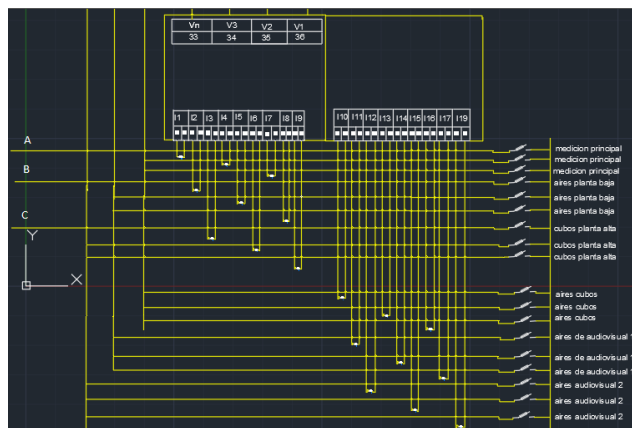


Figura 4 Diagrama unifilar de distribución de cargas y los transformadores bipartidos flexibles para el AcuRev 2020

el principal objetivo es analizar los parámetros energéticos para esto fue necesario hacer un diagrama de la red,

Energía Consumida Fase A	9480	Lectura/Escritura
Energía Consumida Fase B	9486	Lectura/Escritura
Energía Consumida Fase C	9492	Lectura/Escritura
Energía Reactiva Consumida Fase A	11016	Lectura/Escritura
Energía Reactiva Consumida Fase B	11022	Lectura/Escritura
Energía Reactiva Consumida Fase C	11026	Lectura/Escritura

En la tabla 3 se muestran algunas direcciones Modbus para lectura de los parámetros eléctricos y de calidad de la energía que se mostraran en una interfaz SCADA desarrollada con el software DAQFactory.



Figura 5. Vista del Medidor Terminado de Cablear.

Una vez se finalizó con el cableado, se hizo una conexión para probar que no existieran problemas con la energización del medidor y la obtención de lecturas.



Figura 6. Medidor AcuRev2020 en pruebas



Figura 7. Medidor AcuRev2020 Instalado



Figura 8. Vista de Transformador Bipartido Montado en Línea Principal



Figura 9. Centro de carga principal con transformadores de corriente bipartidos instalados

III. RESULTADOS

D.- Interfaz de Usuario en DAQFactory

Se desarrolló una interfaz humana máquina (HMI) para la visualización de los parámetros eléctricos, gráficas, alarmas e históricos. Éstos serán de gran utilidad para la prevención y corrección de errores.



Figura 10. Menú de inicio HMI



Figura 11. Menú de gráficas

Para una mejor interpretación de los datos dio lugar a dividir la interfaz en dos una que nos proporcione información sobre la línea principal y la otra que nos permita visualizar los equipos que están siendo utilizados y poder analizar su comportamiento.

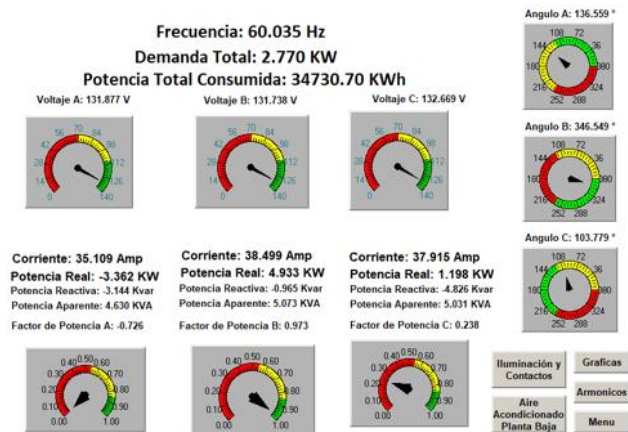


Figura 12. Consumo general en el centro de carga principal

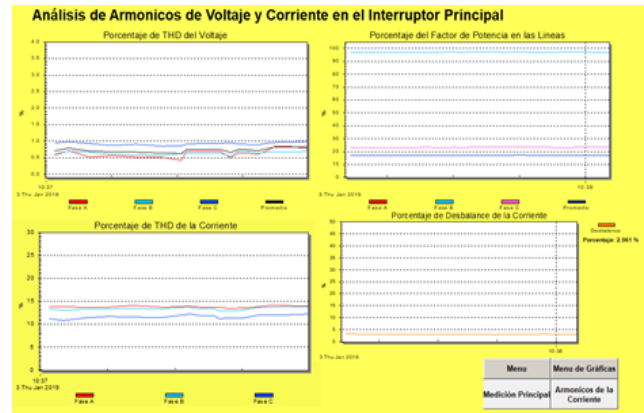


Figura 13. Vista de parámetros de calidad de la energía (THD, FP, Desbalance de corriente)

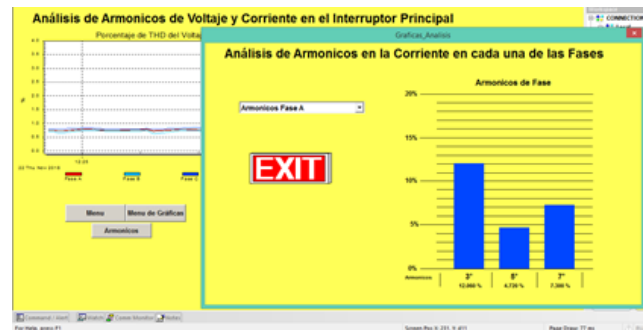


Figura 12. Grafica de armónicos en pestaña emergente

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La versatilidad y funcionalidad del sistema de monitoreo que se implementó en este proyecto, se comprobó mediante una comparación con un analizador de redes portátil, es decir, entrega los mismos datos que el sistema desarrollado, pero sin la ventaja de poder monitorear remotamente desde cualquier sitio y momento.

Se diseñó un sistema de monitoreo remoto de parámetros eléctricos que permite supervisar y llevar un control del comportamiento de la energía que es suministrada a un edificio del ITSL.

Con el prototipo desarrollado se pretende implementar un sistema de mantenimiento proactivo, el cual permitirá observar cómo llega la alimentación eléctrica a cada equipo y de esta manera monitorear los inconvenientes que puedan presentarse en las líneas de alimentación, con el fin de corregirlo para alargar la vida útil de los dispositivos y llevar un mejor control de la demanda.

El sistema desarrollado permite monitorear remotamente los parámetros eléctricos desde una computadora, para el cual se desarrolló una interfaz de usuario con el software DAQFactory. La comunicación de los equipos se realizó mediante el protocolo normalizado MODBUS TCP-IP

V. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Consejo de Ciencia y Tecnología en el Estado de Durango COCyTED, ya que gracias a su apoyo fue posible la realización de este trabajo. También, agradecemos a la Subdirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por las facilidades brindadas.

VI. REFERENCIAS

- [1] Simple indicators for an effective Power Quality monitoring and analysis, Ignatova, V. Schneider Electr., Grenoble, France Villard, D.; Hypolite, J.-M. June 2015, ISBN: 978-14799-7992-9
- [2] Gómez, G. A., Carreño, J. C., & Zambrano Caviedes, J. (2011). Herramienta de software para el pronóstico de demanda horaria de potencia eléctrica en el sistema eléctrico de codensa S.A. ESP. Revista Tecnura, 15(28).
- [3] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, (2003) "Electrical Power Systems Quality", (2a ed.), Editorial McGraw-Hill.
- [4] A.E. Emanuel, (1993), "Apparent and reactive power in three phases systems in search of physical meaning and a better resolution" ETEP-Eur. Trans. Elect. Power Eng., Vol. 3, No 1, pp: 7-14.
- [5] AcuRev 2000 Smart Metering System. User's Manual
- [6] Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159 ISBN 1-55 937-549-3, 1995.
- [7] Aquilino, R.P (2007). "Sistemas SCADA", Notas de diseño, Normativa, Seguridad y comunicaciones industriales 2nd ed. Barcelona España: Marcombo, Ediciones Técnicas

VII. BIOGRAFÍA



M.C. Víctor Edi Manqueros-Avilés: nacido en la ciudad de Durango, Durango el 23 de diciembre de 1976. Radica actualmente en Cd. Lerdo, Durango. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001, Obtuvo el grado como Maestro en Ciencias En Ingeniería Electrónica en Control, en el 2006 en el Instituto Tecnológico de Durango. Actualmente trabaja como docente e investigador en el Instituto Tecnológico

Superior de Lerdo, dentro de la división de posgrado, en donde imparte asignaturas en la especialización en ingeniería mecatrónica, participa también desde el 2009 en la subdirección de investigación y desarrollo del tecnológico, en donde ha desarrollado en alrededor de 9 proyectos vinculados con empresas y centros de investigación. Áreas de interés: Control, Automatización, Mecatrónica, Robótica, Instrumentación, entre otras.



Luis Amado. González-Vargas: nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Recibió el título de Ingeniero en Electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo, Dgo. 2007. Recibió el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en 2010. Él ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de

la calidad de la energía en distintas empresas, sus áreas de interés incluyen

sistemas de potencia en régimen no senoidal y sistemas de control distribuido. Actualmente es profesor investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.



M.I. Armando José Cordero-Escamilla. Nació el 14 de Julio de 1975 en San Luis Potosí, Mex Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico en el Instituto Tecnológico de Durango en 1998. Posteriormente logró la Maestría en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad, en 2008. Ha cursado diplomados en Gestión de Tecnología, Habilidades

Gerenciales y Sistemas Fotovoltaicos. Actualmente se desempeña como Profesor de Carrera de Enseñanza Superior Titular A, impartiendo clases en las carreras de Ingeniería Electromecánica, Electrónica y Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en el estado de Durango. También colabora en el área de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la misma Institución, al participar en proyectos vinculados con empresas de la región y Centros de investigación nacionales. Las áreas de interés son: térmica, hidráulica, energías renovables y procesos industriales, entre otras. El M.I. Cordero ha recibido el Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación Durango en dos ocasiones, 2012 y 2017, en el área de Desarrollo Industrial, por parte del Gobierno del Estado.



Torres Astorga Gerardo Alfonso. Nació el 23 de enero de 1996 en Durango, Mex. Obtuvo su título de Técnico en Combustión Interna en el Bachillerato Técnico Industrial de la Laguna el 2014. Posteriormente logró la titulación de Ingeniero Electromecánico en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo el 2018.

Actualmente, se desempeña como Técnico Mecánico, enfocado al área de mantenimiento de unidades en Autobuses Periféricos, en el estado de Durango. Las áreas de interés son: eléctrica, diseño asistido por computadora, hidráulica, sistemas mecánicos con motores diésel, entre otros.



Proo Pérez José Gerardo. Nació el 1 de marzo de 1996 en Torreón, Coahuila, México. Concluyó con sus estudios de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en 2018.

Actualmente trabajando en el desarrollo de su tesis para obtener el título de Ingeniero Electromecánico en la misma institución en la cual llevo a cabo su proyecto de residencia profesional en Ahorro de Energía Eléctrica y Térmica, colaborando en el área de Investigación y Desarrollo de la institución. Las áreas de interés son: eléctrica, energías renovables, ahorro de energía, Instrumentación, mecánica, hidráulica y cuestiones del ámbito social y humanitario, entre otras.