

Diseño de un sistema automático para la corrección del factor de potencia mediante programación lógica de PLC y diseño de la interfaz HMI en instalación eléctrica de baja tensión en el edificio D del ITS Lerdo

L.A. González-Vargas¹, R. Cuellar-alcalá¹, F. Huerta-Valenzuela¹

Resumen— En este proyecto se diseña un sistema para el monitoreo de variables eléctricas para la automatización de un banco de capacitores que regule el factor de potencia bajo cargas inductivas variables mediante el uso de un controlador lógico programable (PLC) e interfaz táctil HMI en el sistema eléctrico de un edificio académico-administrativo del ITS Lerdo, permitiendo una mayor eficiencia en el uso de la energía.

Se inicia estableciendo comunicación a través de la interfaz RS485 utilizando el protocolo Modbus entre el medidor AcuRev serie 2000 y el controlador lógico programable. El medidor monitorea la calidad de la energía en tiempo real. El protocolo define una comunicación entre maestro-esclavo que permite la consulta de los datos requeridos como lo son factor de potencia por fase, corrientes de línea, frecuencia, etc. Estas lecturas son usadas en el programa del PLC el cual controla la conexión/desconexión por pasos de un banco de capacitores propuesto para mantener el factor de potencia mayor a 95% en el sistema.

El diseño de la interfaz táctil HMI permite la visualización de las variables y control en la conexión y desconexión de los capacitores de forma automática, o manual mediante horario de ocupación y reloj de tiempo real.

Palabras claves— monitoreo, variables eléctricas, protocolo Modbus RS485, PLC, interfaz táctil HMI, capacitores.

Abstract— In this project, a system for the monitoring of electrical variables is designed for the automation of a capacitor bank that regulates the power factor under variable inductive loads through the use of a programmable logic controller (PLC) and HMI touch interface in the electrical system of an academic-administrative building of the ITS Lerdo allowing greater efficiency in the use of energy.

It starts by establishing communication through the RS485 interface using the Modbus protocol between the AcuRev 2000 series meter and the programmable logic controller. The meter monitors power quality in real time. The protocol defines a communication between master-slave that allows querying the required data such as power factor per phase, line currents, frequency, etc. These readings are used in the PLC program which controls the step on / off of a proposed capacitor bank to keep the power factor greater than 95% in the system.

The design of the HMI touch interface allows the visualization of the variables and control in the connection and disconnection of the capacitors automatically, or manually by means of occupation hours and real time clock.

Keywords— Monitoring, electrical variables, Modbus RS485 protocol, PLC, HMI touch interface, capacitors

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de motores, y en general las cargas inductivas, etc., hacen que la carga de cualquier instalación eléctrica sea muy variable y afecte al factor de potencia de manera negativa y esto implicará una penalización impuesta por CFE, por tal razón se ve la necesidad de corregir el factor de potencia utilizando varios medios según sea el caso, no obstante, el empleo de bancos automáticos de capacitores es la opción más adecuada.

La disminución exagerada del factor de potencia provoca aumentos de corriente. Los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas, además producen alteraciones en la regulación de la diferencia de potencial, con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos [1]. Un alto consumo de energía reactiva está directamente relacionado con los equipos de aire acondicionado en el edificio.

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a 1.0 tienen consecuencias en la medida que éste disminuye y además afecta a la red eléctrica tanto en alto voltaje como en bajo voltaje; incremento de pérdidas por Efecto Joule; sobrecarga de los transformadores y líneas de alimentación; aumento de la caída de voltaje; incremento de la potencia aparente, incremento en la facturación eléctrica, etc. [1], [2].

La corrección del factor de potencia debe ser realizada de una forma cuidadosa con el objeto de mantenerlo lo más alto posible, pero sin llegar nunca a la unidad, ya que en este caso se produce el fenómeno de la resonancia que puede dar lugar a la aparición de voltajes o corrientes peligrosas para la red [3].

El alcance de este proyecto es diseñar e implementar la

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.
luis.gv@itslerdo.edu.mx

programación del PLC para el monitoreo de variables eléctricas para el control del banco de capacitores automático en las instalaciones eléctricas de baja tensión del edificio D, para corregir el factor de potencia y llevarlo a una eficiencia de 99.0 %, utilizando tecnologías de control y sistemas de comunicación TCP/IP (Ethernet) y RTU (RS-485), se incluye una interface HMI para el monitoreo visual y para el cambio de manual a automático de la conexión de los capacitores para lograr un ahorro de energía eléctrica y al mismo tiempo reducir los costos de facturación por parte de Comisión Federal de Electricidad.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La instrumentación es una herramienta aceptada hoy en día ya que permite la lectura, adecuación y manipulación de diferentes señales obtenidas en medios físicos para posteriormente interpretar dichas señales y tomar decisiones.

En la industria principalmente ha incrementado la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos de medición que juegan dentro del control de la calidad de la energía un papel muy importante.

El consumo de potencia reactiva perjudica a los equipos generadores, haciendo que los transformadores de abastecimiento trabajen en un régimen mayor del necesario. Además, las compañías eléctricas penalizan en las facturas el consumo de energía reactiva por parte de las empresas. Con lo que compensar el cos (φ) (factor de potencia) supone un ahorro económico.

En nuestro caso el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo cuenta con aires acondicionados en sus edificios causando pues un desfase entre estas dos potencias (activa y aparente) de tal forma que el factor de potencia disminuye lo cual se incurre en una posible penalización por parte de la compañía suministradora de energía eléctrica por bajo factor de potencia FP, aunado a esto los pagos económicos excedentes que se cubren por este mismo motivo.

El control del factor de potencia ya no será de manera fija si no de manera automática dando la oportunidad de autorregularse según las cargas inductivas en este caso los aires acondicionados instalados en el edificio, permitiendo ajustar el valor máximo del factor de potencia sin pasar de la unidad, de tal manera que al implementar este proyecto se persigue reducir las pérdidas ocasionadas por el bajo FP, al mismo tiempo se obtiene una recuperación de capacidad instalada para un crecimiento futuro.

A. Consecuencias de operar con un bajo cos (φ)

- Calentamiento de conductores.
- Limita la capacidad de transformadores.
- Disparos sin motivos de los componentes de protección.
- Sobre cargas de líneas de distribución
- Perdidas por efecto joule.

- Aumento de caída de tensión
- Calentamiento y reducción del rendimiento en motores eléctricos.
- Incremento del mantenimiento por deterioros en dispositivos eléctricos.
- Incrementos en las facturas.

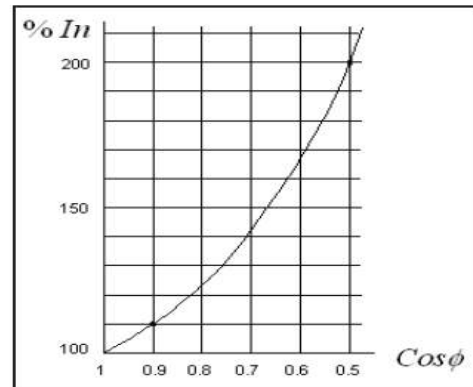


Figura 1. Diagrama de corriente nominal afectada por el factor de potencia [5].

TABLA I. PENALIZACIÓN Y BONIFICACIÓN DEL F.P. SEGÚN CFE

cos (φ)	Cargo/bonificación	Valores máximos
FP < 0.9	$Penalización (%) = \frac{3}{5} \times \left[\frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100$	Penalización 120 %
FP > 0.9	$Bonificación (%) = \frac{1}{4} \times \left[1 - \frac{0.9}{FP} \right] \times 100$	Bonificación 2.5%

B. Beneficios del factor de potencia adecuado

TABLA II. FACTOR DE POTENCIA NORMALIZADO, Y PRONÓSTICO DE AHORRO.

cos (φ) (FP)	Penalización por Bajo FP	FP corregido	Bonificación	Ahorro Total
60	30%	98	2.0%	32%
70	17%	98	2.0%	19%
75	12%	98	2.0%	14%
80	8%	98	2.0%	10%
85	4%	98	2.0%	6%
88	1%	98	2.0%	3%
95	0%	99	2.27%	2.27%

C. Cálculo del banco de capacitores y medición de potencias mediante el analizador de redes

Para determinar la cantidad de potencia reactiva necesaria para corregir el FP se pueden utilizar dos metodologías, la primera es usar los datos de placa del fabricante de los equipos y accesorios eléctricos conectados en el SEP del edificio y sumarlas y la segunda es tomar lecturas con un analizador de redes Fluke 435 II es la herramienta ideal para el registro avanzado de energía y la monitorización de la misma, identificando las áreas de mayor desaprovechamiento energético. Estas lecturas se comparan con un sistema de monitoreo de la calidad de la energía (AcuRev serie 2000) y que actualmente se encuentra en funcionamiento. Estas lecturas son las que se utilizan para interactuar con el programa del PLC CLICK Koyo de la serie CO-11DRE-D, el cual conecta o desconecta los pasos del banco de capacitores propuesto según se requiera para mantener el FP en 99% en el sistema eléctrico del edificio.



Figura 2. Conexión del analizador de redes al gabinete principal

TABLA III.
LECTURAS TOMADAS A PLENA CARGA SIN BANCO DE CAPACITORES ACTUALMENTE INSTALADO.

	Fase A	Fase B	Fase C	Promedio
Vrms (220v)	224.26	226.44	225.9	225.53
A(rms)	211.0	194.5	177.1	194.2
Unbal (%)	0.6	0.1	12.2	
KV	25.14	25.73	20.08	70.95
KVA	28.48	26.67	23.26	78.74
KVAR	13.62	7.24	11.92	32
FP	0.88	0.96	0.86	0.9
COS φ	0.88	0.96	0.86	0.9
TDH	1.1	1.3	1.3	204.2

La potencia activa en un sistema eléctrico permanece constante aun cuando el factor de potencia cambie, considerando pues un factor de potencia leído por el analizador de 0.96 y una potencia activa de 69.61 KW se obtiene la potencia reactiva de 18.54 Kvar.

TABLA IV.
LECTURAS TOMADAS A PLENA CARGA CON BANCO DE CAPACITORES ACTUALMENTE INSTALADO.

	Fase A	Fase B	Fase C	Promedio
Vrms (220v)	224.26	226.44	225.9	225.53
A(rms)	228.5	202.6	190.6	207.23
Unbal (%)	0.6	0.1	10.08	
KV	25.26	24.11	20.24	69.61
KVA	26.49	24.27	21.5	72.26
KVAR	8.2	2.96	7.4	18.56
FP	0.95	0.99	0.94	0.96
COS φ	0.95	0.99	0.94	0.96
TDH	1.3	1.4	1.5	238.8

TABLA V.
DIFERENCIA ENTRE LECTURAS INICIAL Y FINAL (SIN Y CON BANCO DE CAPACITORES)

	Inicial	Final	Diferencia
Angulo	25°	15°	10°
F.P.	0.9	0.96	0.06
S	76.51Kva	72.02Kva	4.5
P	69.6Kw	69.6Kw	0
Q	31.78Kvar	18.54Kvar	13.24 Kvar

En la Tabla V, se obtiene la potencia reactiva que actualmente está inyectando el banco de capacitor actual.

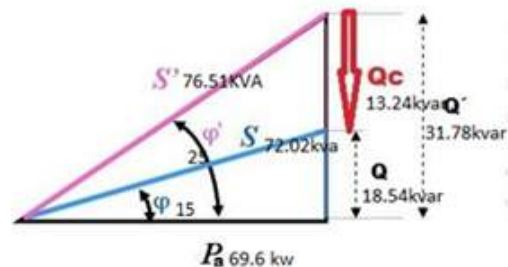


Figura 3. Valores de potencias actuales y deseadas, para calcular la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia al deseado.

TABLA VI.
FACTOR DE POTENCIA CALCULADO EN LOS 3 PASOS DEL BANCO DE 15 KVAR

	Actual (fijo)	1er paso	2do paso	3er paso
Potencia activa (KW) 3φ	69.61	69.61	69.61	69.61
Potencia aparente(KVA) 3φ	72.02	70.91	70.13	69.69
Potencia reactiva(KVAR) 3φ	18.56	13.56	8.56	3.56
Grados	15°	11°	7°	3°
FP	0.96	0.98	0.992	0.998

Actualmente se cuenta con un banco de capacitores ya instalado que corrige el F.P. a 0.96 como ya lo vimos en las lecturas obtenidas en el analizador de redes, por lo que todavía se puede mejorar el FP a 0.998 inyectando 15 Kvar

en 3 pasos y de manera automática como lo indica el objetivo de este proyecto.

Cálculos para la potencia activa, reactiva y aparente, así como para el factor de potencia esperado en cada uno de los tres pasos ver Tabla VI.

D. Programación del PLC y HMI

Se realizaron los cálculos matemáticos y lecturas para saber el factor de Potencia que se espera obtener en cada paso del banco automático de capacitores, enseguida se presenta la parte técnica de cómo lograr esa automatización por medio de un Controlador Lógico Programable PLC Click Koyo de la serie CO-11DRE-D, la visualización y operación del sistema a través de una pantalla táctil HMI-ADVANTECH WOP-2070T-N2AE aprovechando los datos del factor de potencia que arroja el sistema AcuRev serie 2000 actualmente instalado y en funcionamiento.

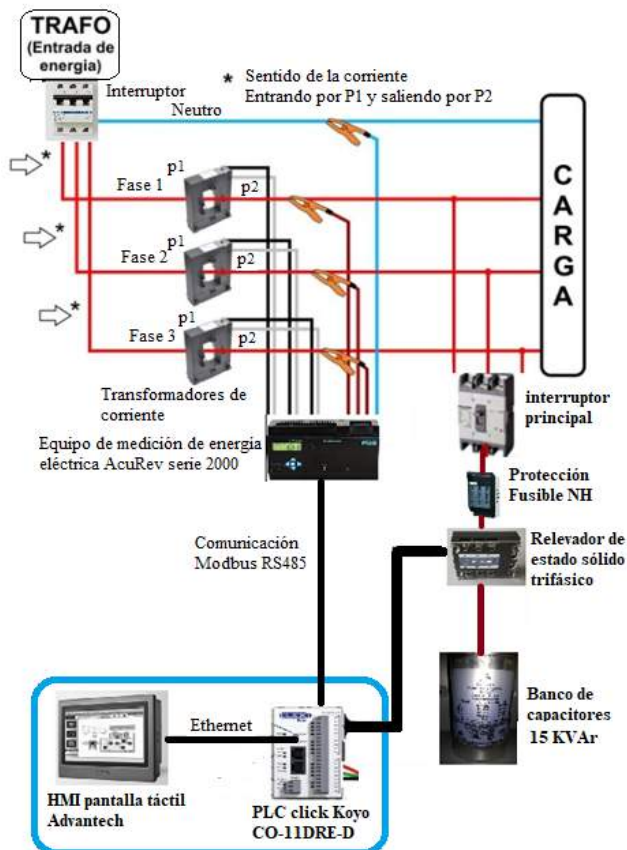


Figura 4. Diagrama de interconexión de fuerza y control de los elementos del sistema.

El PLC lee las variables de potencia activa y reactiva y calcula el $\cos \phi$ trifásico inicial del analizador de redes AcuRev 2000 conectado a este mediante el protocolo de comunicación Modbus RS485 y da las órdenes a los contactores de estado sólido para conectarse y aproximar lo más posible al $\cos \phi$ objetivo (0,998) conectando los

distintos escalones (pasos) de potencia reactiva del banco, evitando de este modo una sobrecompensación o una subcompensación, ver Figura 4. De acuerdo al diseño se utiliza un banco de 15 kVAr mediante tres capacitores de 5 kVAr cada uno.

Figura 5. Direcciones IP utilizadas para PLC, HMI, CPU y AcuRev



Para poder establecer comunicación con el PLC se empareja la dirección IP 10.90.1.20, de esta manera los dispositivos que intervienen, PLC, HMI, CPU y AcuRev quedarían emparejados en sus direcciones IP como se muestra en la figura 5.

E. Diseño de la programación del PLC Clik CO-11DRE-D con las variables adquiridas en tiempo real del AcuRev.

En la programación del PLC se consideran como condiciones de operación un permiso de encendido, un permiso o condición horaria la cual se estableció de lunes a viernes de 7:00 am a 10:00 pm y el sábado de 7:00 am a 2:00 pm y por último la condición por bajo factor de potencia que se corregirá en tres pasos.

EL banco de capacitores consume energía desde el momento que se conecta a la red, por lo tanto, se conecta solo dentro el horario de clases que es desde las 7:00 am a las 10:00 pm, la programación para esta condición de funcionamiento se utilizan las instrucciones de comparación "COMPARE" que se muestra en la figura 6:

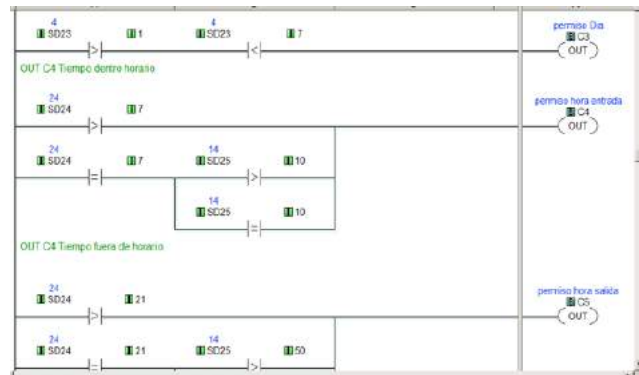


Figura 6. Programación del plc para la condición horaria, Día y Hora Las condiciones del día se programaron para trabajar entre lunes y viernes de la semana en donde el "1" significa el domingo, el "2" significa el lunes, y así sucesivamente

hasta el “7” que está asignado al día sábado, de esta manera se quiere que el banco de capacitores trabaje entre el lunes y el viernes, por lo cual la salida “C3” es el permiso.

La configuración de las instrucciones “RECEIVE” leen las variables eléctricas del sistema de medición AcuRev necesarias para obtener el factor de potencia trifásico, se utiliza una instrucción “RECEIVE” para cada variable, para este efecto se consideran principalmente las variables de la potencia reactiva “Q”, potencia real o activa “P” y la potencia aparente “S” para las fases A, B y C.

Las potencias de las fases A, B y C con las direcciones Modbus en hexadecimal del AcuRev (direcciones esclavo) y almacenadas en el plc en localidades de memoria Doble Flotante DF (direcciones maestro), mostradas en la tabla VII.

TABLA VII.
DIRECCIONES MODBUS DEL ACUREV (DIRECCIÓN DF ASIGNADA EN EL PLC) PARA LAS POTENCIAS ACTIVA, REACTIVA Y APARENTE DE LAS FASES A, B Y C.

Fase	P: potencia activa	Q: potencia reactiva	S: potencia aparente
A	2103h (DF8)	2105h (DF5)	2107h (DF11)
B	2127h (DF9)	2129h (DF6)	212Bh (DF12)
C	2148h (DF10)	214Dh (DF7)	214Fh (DF13)

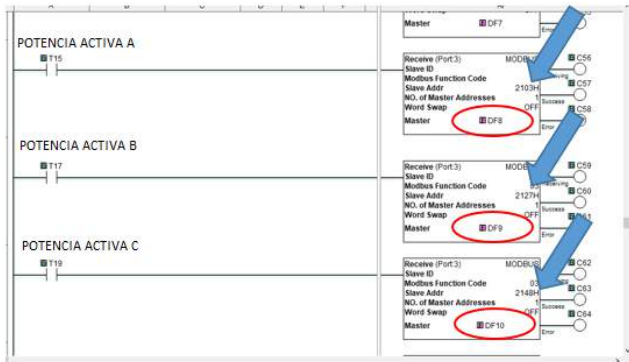
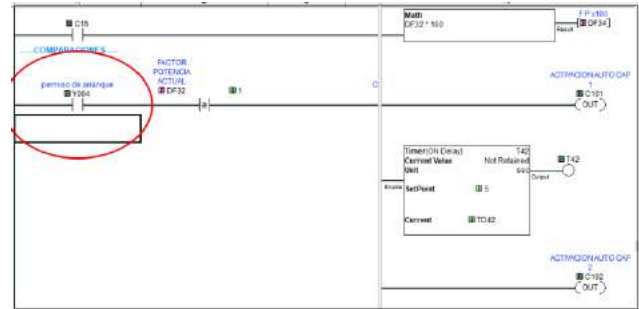


Figura 7. Localidad de memoria asignada DF para la potencia activa de las fases A, B y C.

Ya que se tienen asignadas las variables de las diferentes potencias en sus distintas fases se efectúan las operaciones matemáticas de suma quedando las formulas en la programación del PLC y asignando una nueva dirección DF para las potencias totales, el F.P. es igual al coseno del ángulo, se calcula primero el ángulo con la función arco tangente que es la potencia reactiva entre la potencia activa y posteriormente se calcula el coseno del ángulo. y el resultado de las operaciones matemáticas como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Programación para la obtención del factor de potencia actual del sistema, y almacenada en localidad de memoria DF32 del PLC.



F. Condiciones para accionar los capacitores #1, #2 y #3

Para accionar las salidas Y001, Y002 y Y003 es necesario cumplir con cinco permisos o condiciones. Figura 9. Primer permiso con lógica de programación para energizar los relevadores de estado, permiso de arranque.

La segunda condición es el modo Manual-Automático, condición dirección de memoria interna C121. La tercera condición, el factor de potencia actual obtenido, almacenado en la localidad de memoria DF32 se compara con la unidad. el FP actual no debe ser mayor o igual a la unidad, ver Figura 10.

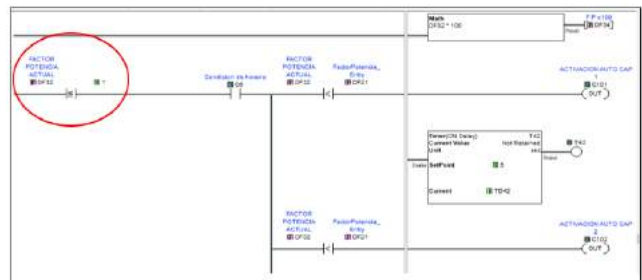


Figura 10. Tercera condición $FP \leq 1$ con lógica de programación para energizar los relevadores de estado sólido.

La cuarta condición es el horario dentro de la jornada de trabajo, es decir el banco de capacitores se programa para que trabaje de lunes a viernes y de 7:00 am a las 10:00 pm. Esta condición se ejecuta con el contacto interno C6.

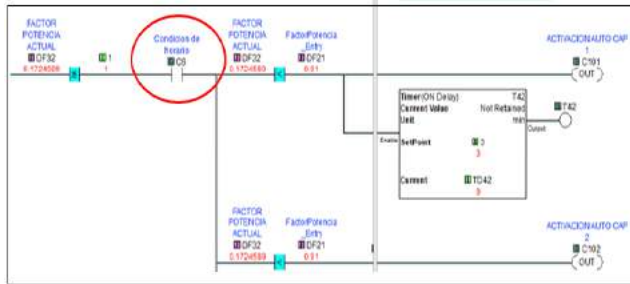


Figura 11. Condición con lógica de programación para energizar los relevadores de estado, dentro de horario.

Quinta condición Y001, Y002 y Y003 solo pueden accionarse pasados 3 minutos después haber desenergizado los capacitores.

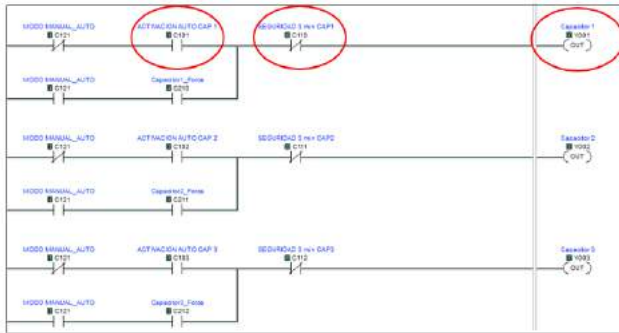


Figura 12. Condición de tiempo con lógica de programación para energizar los relevadores Y001, Y002 y Y003 pasados 3 minutos después de desenergizarse.

El “BIT” C110 el cual se pone en “ALTO” cuando el “flanco descendente” Y001, pone en “alto” el set C110 en ese momento el Timer T39 empieza a contar 3 minutos, cuando se cumple el tiempo pre-establecido un contacto auxiliar T39 en serie con un Reset C110 se pone en alto y el Timer T39 se vuelve a cero, quedando habilitado para cuando se vuelva a apagar el capacitor, esta lógica se repite cada vez que se apaga el capacitor #1, para los capacitores #2 y #3, se tiene la misma lógica de programación con los Timer T40 y T41, Figura 13.

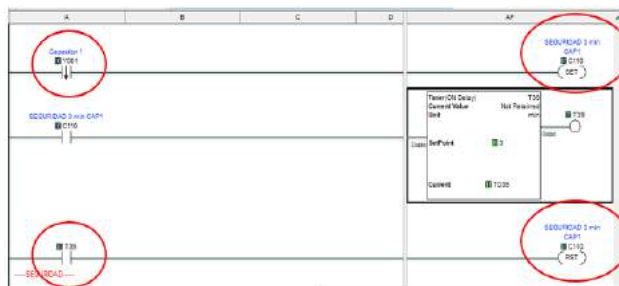


Figura 13. Lógica de programación PLC para condición de tiempo, 3 minutos para volver a encender capacitor #1.

G. Diseño interfaz de usuario HMI-PLC

La función principal de la HMI es mostrar la información de las variables eléctricas procesadas en el PLC en tiempo real, esas variables son: potencias reactiva, real, aparente, y así como proporcionar las mediciones del factor de potencia actual del sistema, teniendo de manera visual el comportamiento de entrada y salida de los capacitores #1, #2 y #3 de forma animada del banco. Se visualizan los voltajes y corrientes, también cuenta con una pantalla de ajustes que permite cambiar el modo de funcionamiento de automático a manual e introducir por medio de un “data entry” (dato de entrada) el factor de potencia deseado. En la programación de la HMI se contemplan 5 pantallas:

- a) Menú principal (seleccionar las demás pantallas)
- b) Factor de potencia (visualizar el FP total y capacitor en Activo).
- c) Potencias (visualizar FP y potencias por fase).
- d) Voltajes y corrientes (ver los voltajes y corrientes por fase).
- e) Ajustes (permite cambiar de modo manual a automático y seleccionar el FP deseado).

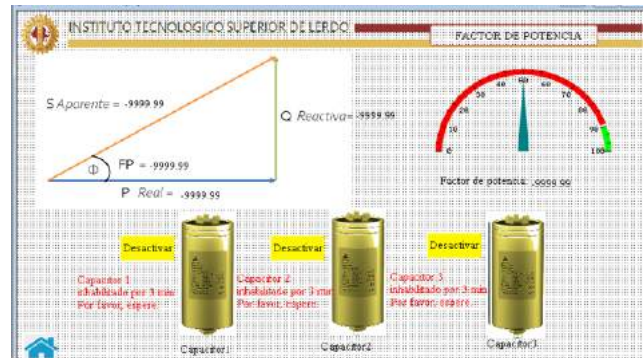


Figura 14 Permite visualizar el FP total y capacitor en Activo

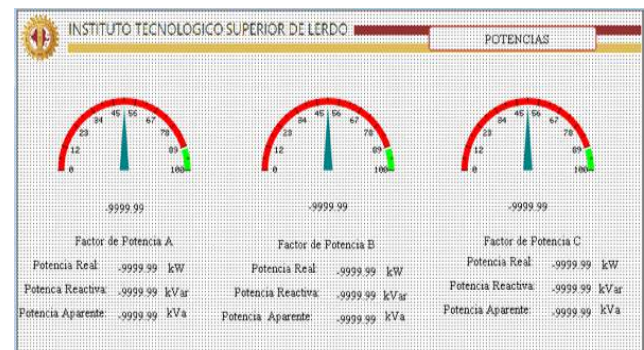


Figura 15 Permite visualizar FP y potencias por fase

III. RESULTADOS

Primeramente, se consideran los datos obtenidos en el estudio previo al sistema eléctrico del edificio académico-administrativo del ITS Lerdo, realizado con el analizador de redes Fluke 435 II, y mostrados en las Tablas III, IV, V y VI; las cuales dan un resumen de los datos que permiten determinar las condiciones iniciales del sistema eléctrico y definir las metas que se requieren alcanzar. Se realizó un análisis del hardware necesario para conectar el equipo de monitoreo de variables eléctricas, así como su interconexión con el sistema eléctrico y los componentes necesarios para el control del factor de potencia, esto se muestra detalladamente en la Figura 4 donde se visualiza en una forma esquemática el diagrama de interconexión de fuerza y control de los elementos del sistema. Otra meta alcanzada es la forma en que la información es mostrada en la interfaz hombre-máquina (HMI), el diseño gráfico y distribución de los datos de cada pantalla se llevó a cabo de tal forma que el usuario tenga una experiencia de navegación intuitiva entre pantallas y una interpretación de los datos rápida y eficiente, esto se puede apreciar en las Figuras 14 y 15. Por otra parte, se optó por una topología en estrella para la intercomunicación de los dispositivos PLC, HMI, CPU y AcuRev; por medio de los protocolos Ethernet y Modbus RS485, permitiendo agregar o modificar equipos de monitorización y control con un coste de tiempo mínimo. Finalmente, se llevaron a cabo las pruebas de comprobación de la apuesta en marcha del sistema para garantizar el correcto funcionamiento del algoritmo implementado para alcanzar la corrección del factor de potencia al valor deseado.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

DISCUSIÓN

La primera de las dos metodologías propuestas para determinar la cantidad de potencia reactiva necesaria para corregir el FP, la cual consiste en usar los datos de placa del fabricante, implica conocer a priori las cargas conectadas en el SEP, esto no siempre es ideal debido a los diferentes factores que intervienen en el intento de llevar a cabo el registro preciso de las cargas conectadas en el SEP. Uno de los factores que pueden influir adversamente es que no siempre es posible tener una base de datos actualizada con los cambios en los equipos (e. g. añadir o quitar equipos); esto aunado al error humano que se debe de considerar en el llenado manual de las bases de datos. Otro factor es el mantenimiento inadecuado a los equipos, ya que si existiera un funcionamiento no óptimo, éste se reflejará en la desviación de las variables de interés de los datos de placa del fabricante. En contraste con lo anterior, se tiene la segunda metodología utilizada en el presente trabajo, la cual consiste en la toma de lecturas con el analizador de

redes Fluke 435 II, dando como resultado el registro avanzado de energía y la monitorización de la misma en tiempo real, superando las desventajas presentadas por el primer método. En caso de que se hayan realizado cambios importantes en los equipos, se puede volver a realizar el estudio con el analizador de redes y nuevamente determinar el estado actual del sistema.

CONCLUSIÓN

El proyecto presentado se aplicó a un edificio académico-administrativo, donde el mayor porcentaje de las cargas conectadas son por equipos de aire acondicionado, con la metodología utilizada aunado al algoritmo de programación realizado y la configuración óptima de los equipos de monitorización y control se logró alcanzar los objetivos del proyecto. Por otra parte, también es posible aplicar esta solución automatizada para la corrección del factor de potencia en el sector industrial, donde existen distintas áreas donde el control del factor de potencia es determinante para el control tanto del uso de la energía como de los recursos económicos, esto último al evitar posibles multas por parte de CFE por presentarse un bajo factor de potencia. Es necesario realizar un estudio previo en el área donde se desea instalar el presente proyecto para determinar las metas a alcanzar y dimensionar los componentes de hardware necesarios para el proyecto.

RECOMENDACIONES

En la medida de lo posible, es recomendable realizar a la par las metodologías I y II para efectos de obtener una comparativa en los resultados para efectos de comprobar el desempeño puntual de cada equipo, así como el desempeño general de la suma de todas las cargas conectadas, para tener el aporte de cada uno de los equipos conectados a la SEP. También es necesario contar con un manual técnico actualizado donde se incluyan los cálculos matemáticos y numéricos de las diferentes etapas de diseño del sistema.

Es importante considerar en la planeación del proyecto la inclusión de los transformadores de corriente (TC) en el tablero principal de control, para lograr que este tipo de mejoras sean menos invasivas y así evitar principalmente cortes de energía, ya que para incluir estos dispositivos es necesario realizar algunas modificaciones al tablero de control que implican desconexiones eléctricas y modificaciones a los dispositivos del tablero.

Hasta el momento se definen previamente, en base al calendario de la institución, los días laborales y el horario en que el equipo debe de operar; sin embargo, es posible conectar el sistema, vía comunicación Ethernet, a una base de datos que contenga la información con la agenda de utilización de las instalaciones, esto para tener acceso al horario en tiempo real de acuerdo a las necesidades que se vayan presentando en la institución, lo que llevaría al incremento del aprovechamiento de la energía eléctrica. Por el momento se debe considerar que el sistema cuenta con

una condición de operación de modo manual y automático para cubrir cualquier imprevisto que no haya sido considerado en el calendario general programado por día y por horario en el sistema.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por proporcionar todos los recursos necesarios para la realización del presente trabajo, por medio del Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico del mismo instituto.

VI. REFERENCIAS

- [1] <https://new.abb.com/low-voltage/es>. “Cuaderno de aplicaciones técnicas n° 8 Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas”
- [2] Schneider Electric, “Guía de diseño de instalaciones eléctricas”.
- [3] AcuEnergy/ AcuRev 2000 Smart Metering System, User Manual [Document #2010E2210 Revision Date: Jan., 2014].
- [4] Automation Direct /Manual Number: C0-USER-M PLC Click Koyo C0-11DRE-D.
- [5] Jones, Advantech & Automation /Web Operation Panel AP User Manual HMI Advantech WebOP-2070T-N2AE Part No./ Edition 1
- [6] A.E Emanuel, “Apparent Power Definitions for ThreePhase Systems,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp. 767–772, July 1999.
- [7] A.E. Emanuel, “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, Jan. /Feb. 1993.
- [8] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, “Electrical Power Systems Quality”, Editorial McGraw-Hill, Segunda Edición, 2003.

VII. BIOGRAFÍA



González Vargas Luis Amado.

Nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Egresado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en automatización en el año 2007 Cd. Lerdo. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año 2010. Ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de la calidad de la energía y automatización 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, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Industrial respectivamente.



Cuellar Alcalá Roberto. Nació en México D.F. el 07 junio de 1963. M.I. Ingeniería en Mecatrónica Egresado Del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, diciembre del 2020, Especialidad en Ingeniería en Mecatrónica Egresado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en septiembre del 2015, Ingeniería Industrial en Eléctrica, Egresado del Instituto Tecnológico Regional de la Laguna en diciembre del 2015.

El M.I. Actualmente labora como docente en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la academia de Ingeniería electromecánica y en el Instituto Centro Mexicano Francés en la academia de matemáticas, ubicado en Gómez Palacio Durango.

El M.I. es miembro de la Asociación de ingenieros mexicanos a nivel Nacional.



Huerta Valenzuela Francisco. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 5 de agosto de 1979. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en comunicaciones en el año 2002. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah.

México, en el año de 2004, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electromecánica respectivamente. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial. Su actual línea de investigación Diseño e implementación de dispositivos y sistemas programables para la automatización y control de sistemas o procesos industriales.