

Modelamiento y Monitoreo del Sistema Eléctrico de la Cámara de Transformación CT2 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L empleando el Software ETAP

J. Aguinosa†

C.Miranda‡

†Electromecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
E-mail: jfaguinsaca@espe.edu.ec

‡Electromecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
E-mail: clmiranda@espe.edu.ec

Abstract: This project was developed to leverage and empower the software's tools available in the institution, as is the electric Software ETAP, which was used for a study of electrical system behavior connected to 100 kVA transformer located in transformation chamber CT2, through monitoring and modeling. The modeling is done based on the existing single-line diagrams, made in previous thesis' works, technical equipment data, field data and other sources. To validate the model was performed a comparison between ETAP's data with data obtained with the registrar of electricity FLUKE 1735. Studies on the electrical system CT2 were: power flow and harmonic study

The monitoring is carried out by installation of power meter, after this, the data transmission was performed using the wireless communication, opting for the ZIGBEE protocol, which is low consumption and relatively cheaper in this type of technology.

ETAP electrical software offers multiple tools for analysis of power systems and one of them is the advanced monitoring in real time which allows remote display the values of the power meter in the transformation camera.

Index terms: Modeling, Monitoring, ETAP, Power Flow, Harmonics

Resumen: El presente proyecto se lo desarrolló para aprovechar y potencializar las herramientas informáticas con que cuenta la institución, como lo es, el Software eléctrico ETAP, el cual se empleó para realizar un estudio del comportamiento del sistema eléctrico conectado al transformador de 100 kVA ubicado en la cámara de transformación CT2, a través del monitoreo y modelamiento. El modelamiento se lo realizó tomando como base diagramas unifilares existentes, realizados en tesis anteriores, datos técnicos de los equipos, datos de campo y otras fuentes. Los estudios realizados en el sistema eléctrico de la CT2 fueron: flujo de potencia y estudio de armónicos.

El monitoreo se lo desarrolló mediante la implementación en campo de una central de medida, posterior a ello la transmisión de datos se la realizó

mediante comunicación inalámbrica, optando por el protocolo ZIGBEE, el cual es de bajo consumo y relativamente más barato en este tipo de tecnología.

El software eléctrico ETAP ofrece múltiples herramientas para el análisis de sistemas eléctricos de potencia y una de ellas es el monitoreo avanzado en tiempo real con el cual permite visualizar de manera remota los valores de la central de medida instalada en la cámara de transformación

Palabras clave: Modelamiento, Monitoreo, ETAP, ZIGBEE, Flujos de Potencia, Armónicos.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el estudio de la calidad de energía eléctrica ha cobrado mucha fuerza, la razón más importante de ello, es la obtención de mayor productividad, eficiencia y competitividad de las empresas e industrias. El monitoreo continuo de variables eléctricas tales como: voltaje, corriente, potencia, entre otras permite determinar la manera en la que la energía afecta a las distintas cargas que alimenta, debido a que existen perturbaciones perjudiciales que por su naturaleza y magnitud deben ser monitoreadas en tiempo real.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L al identificar esta tendencia en lo que respecta a calidad de energía eléctrica y gracias a proyectos de titulación anteriores se vio en la necesidad de monitorear y modelar el sistema eléctrico comprendido entre la cámara de transformación CT2 y el Data Center para determinar la calidad de energía.

2. MONITOREO EN TIEMPO REAL

2.1. Protocolo de comunicación MODBUS

El protocolo público de comunicaciones industriales "MODBUS" se caracteriza por su facilidad de implementación y flexibilidad convirtiéndolo en uno de los protocolos más populares es sistemas de automatización y control.

La estructura lógica del enlace es del tipo maestro-esclavo (cliente - servidor), siendo el maestro quien

controla las comunicaciones con los esclavos que pueden ser hasta 247.

2.2. Zigbee

Es una tecnología de alto nivel de comunicación inalámbrica con radiodifusión digital de bajo consumo y fácil integración creada por ZigBee Alliance y aprobada en 2005, basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal WPAN, que define el hardware y software de las capas physical (Phy) y media access control (MAC), como se puede apreciar en la Figura 1. [1]

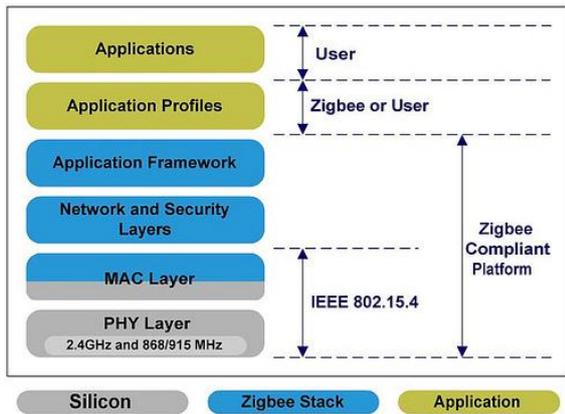


Figura 1: Capas del estándar Zigbee

2.2.1. Módulos XBEE

Los modelos PRO de la serie 1 de Digi tienen la misma disposición de los pines que la serie básica pero ofrece más potencia en la salida. Funciona con la pila 802.15.4 propia de ZigBee y con un simple protocolo TTL. Las características de este módulo se muestran en la Tabla 1. [2]

Tabla 1: Características de los módulos XBee PRO S1

CARACTERÍSTICAS	
Alcance	90metros a 1500 metros aprox.
Corriente de Transmisión/Recepción	45/50 mA
Alimentación	3.3V
Velocidad de transferencia	250kbps Max
Potencia de salida	1mW o 60mW (+18dBm)
Topología	Punto a punto, Estrella y Mesh
Encriptación	128-bit
Configuración	local o de forma inalámbrica
Comandos	AT o API (Application Programming Interface)

Tipos de antenas XBEE

Los módulos XBee reciben y transmiten señales a través de diferentes tipos de antenas cuya selección la define la aplicación y ubicación que vayan a tener los dispositivos que forman parte de la red, los diferentes tipos de antenas existentes en el mercado se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2: Tipos de Antenas

TIPOS	CARACTERÍSTICAS
Módulo con conector a antena externa RPSMA	Es sólo un tipo de conector RPSMA. Es más grande y voluminoso, se puede usar con una antena externa, montada directamente sin cable de conexión
Módulo con antena integrada "wire"	Radiación omnidireccional si su hilo se encuentra recto y perpendicular al módulo
Módulo con conector a antena externa U.FL	Se utiliza para montar la antena fuera del gabinete que contiene al módulo
Módulo con antena integrada (chip cerámico)	Más pequeño y robusto, patrón de radiación cardiode, la señal se atenúa en muchas direcciones. Aplicable cuando la antena corre el riesgo de romperse o el espacio físico es reducido.

Configuración de los Módulos XBEE

Mediante el software X-CTU se puede configurar los módulos XBEE, en la pestaña PC Settings se configura los parámetros de comunicación como velocidad, control de flujo, bits de datos, paridad y bits de parada para que coincidan con los configurados en el medidor PM710. (Ver la Figura 2)

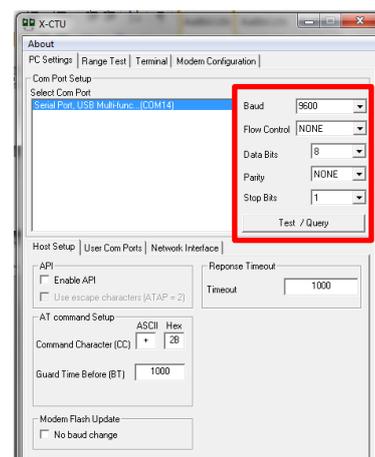


Figura 2; Configuración del puerto

En la pestaña Modem Configuration se da clic en el botón Read para desplegar la lista de parámetros de configuración del módulo. Los parámetros resaltados en verde se encuentran configurados por defecto, los parámetros en azul pueden modificarse por el usuario y

los parámetros en negro son solo de lectura a excepción de Encryption Key (KY) la cual es solo de escritura. Ver la Figura 3.

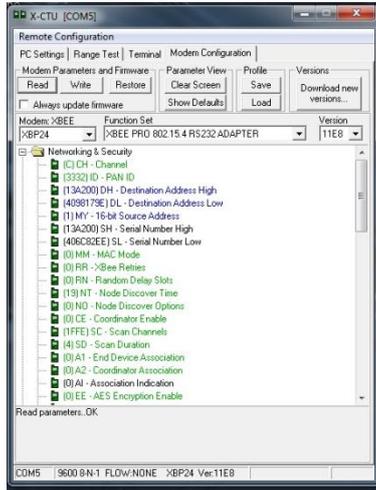


Figura 3: Parámetros de configuración del módulo

Se modifican los valores de dirección de destino DH y DL con los números que se encuentran en la parte posterior de los módulos XBee como se ve en la Figura 4.



Figura 4: Vista posterior de los módulos XBee empleados

La configuración de DH y DL se debe efectuar tanto para la tarjeta emisora como transmisora. En la Figura 5 se muestra las direcciones correspondientes a cada uno de ellos. Finalizado dicho proceso se presionar el botón Write para cargar los parámetros modificados en la tarjeta.

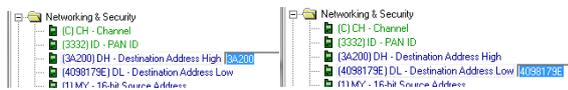


Figura 5: Configuración de valores de dirección de destino

2.3. Estructura de la red de comunicación

Al momento de diseñar la red se debe considerar algunos criterios como costos de la instalación, terminales, medios de transmisión, obra civil, gastos de mantenimiento, retornos, así mismo, como criterio de diseño se debe tener en cuenta la fiabilidad de la red, el número de usuarios y la disposición geográfica de los mismos.

En la Tabla 3 se detalla cada elemento y la función que cumple en la red de comunicación.

Tabla 3: Función de cada elemento en la red de comunicación

Elemento	Función
PM 710	Fuente
Xbee Pro S1 TX	Transmisor
Aire	Sistema de Transmisión
Xbee Pro S1 RX	Receptor
Computadora	Destino

En la Figura 6 se observa la disposición de cada uno de los elementos que conforman la red.



Figura 6: Estructura de la red

2.4. KEPServerEX

KEPSERVEREX es una aplicación OPC de comunicación elaborado por la empresa privada KEPCWARE, dicho software brinda los medios necesarios en cuanto a comunicaciones para procesos de automatización.

2.4.1. Configuración de KEPServerEX V5

Previo creación del canal y dispositivo se crea las Tags, la dirección de cada una de ellas serán asigna de acuerdo al registro MODBUS indicado en el manual de la central de medida PM710.

En la Figura 7 se observa las Tags creadas para cada uno de los registros que se requiera leer.

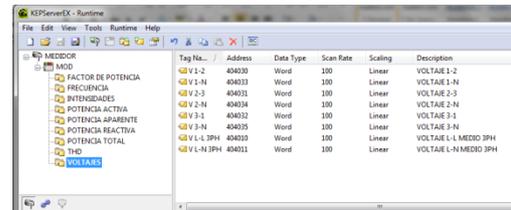


Figura 7: Grupos de tags creados en el KEPSERVER

Una vez creadas las tags, es importante que se verifique que no exista conflicto alguno con el idioma en el que éstas fueron creadas, para lo cual en la barra de menú en **File** se selecciona **Project Properties**, en la ventana que se visualiza se selecciona la pestaña **OPC DA Compliance**. Una vez ahí se verifica que el check box de Rechazar idioma no disponible no se encuentre seleccionado, como se ve en la Figura 8.

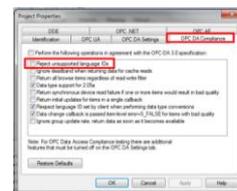


Figura 8: Pestaña de OPC DA Compliance

2.4.2. Configuración DCOM

DCOM es la abreviatura para Microsoft Distributed COM, en español Modelo de Objetos de Componentes Distribuidos, es una tecnología desarrollada por Microsoft para favorecer la integración de diferentes componentes dentro de un misma plataforma Windows

Los servicios de DCOM que permiten conexiones de OPC se deben configurar de forma que permitan el acceso remoto. Los pasos para configurar de manera segura el OPC Server son los que se detallan a continuación: crear algunas excepciones en el firewall para que el cliente OPC puede acceder al OpcEnum que da la lista de los servidores OPC que se ejecuta en la máquina, el establecimiento de las autorizaciones generales del protocolo DCOM para el acceso a la computadora (Mi PC) y por último, configurar los permisos de acceso DCOM para OpcEnum y el servidor OPC. [3]

2.4.3. Configuración ETconfig

Se puede acceder a través del **Menú de Windows >ETAP 12.5.0 >ETAP 12.5 RT Server Setting**, como se ve la Figura 9.

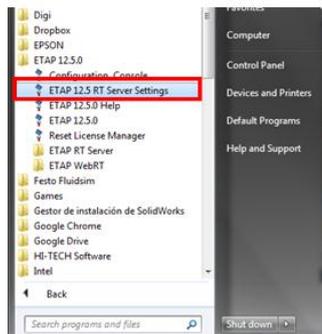


Figura 9: RT Server Settings

En la pestaña **Overview** se agrega un nuevo usuario, en función del cual se va a realizar la configuración. Ver la Figura 10.

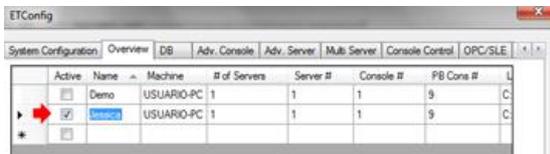


Figura 10: Overview

Como paso siguiente, en la pestaña **System Configuration**, se verifica que se trabaje en el usuario creado anteriormente. En **Tag File** y en **Txt File** se carga la dirección del archivo a ser llevado en línea, y en **SQL data**, **PB SQL**, **SQL Logs** y **PB SQL Logs** se carga la dirección del archivo SQL, tal como se observa en la Figura 11.

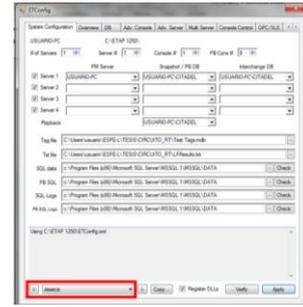


Figura 11: System Configuration

Después de direccionar los archivos como se indicó antes, se da un clic sobre el botón de la esquina inferior derecha **Apply**.

2.4.4. Configuración de TAGS

Previa elaboración del diagrama unifilar para que se logre llevar en línea el sistema, es necesario realizar algunas configuraciones.

En primera instancia se debe acceder a los **Servicios de Windows** y parar el servicio de **PSMS server** perteneciente a ETAP, el cual se ejecutará posteriormente.

Luego en el medidor insertado en el unificar realizado en ETAP, en la pestaña **ONLINE** se activa el Check Box de las diferentes tags de los registros del medidor que se requieran visualizar como se aprecia en la Figura 12.

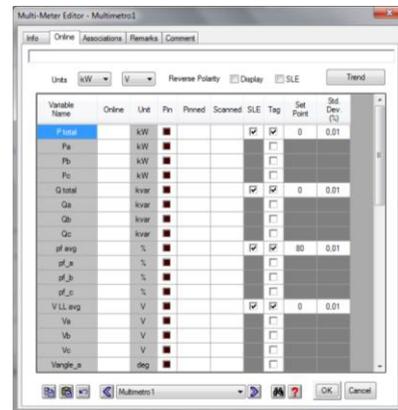


Figura 12: Online

En la pestaña **REAL TIME** en la opción **SERVER CONTROL** se selecciona el OPC server que se está empleando para leer las variables, en este caso el KEPServer. Ver la Figura 13.

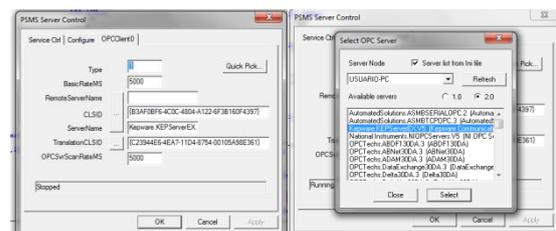


Figura 13: Selección del OPC en ETAP

Para obtener los registros del PM710 se debe crear un archivo de tags, esto se realiza seleccionando la opción de la barra de menú **REAL TIME> Tag File> Create New**. Se debe seleccionar la carpeta en la cual se ha elaborado el diagrama como fuente de creación del nuevo archivo. (Ver la Figura 14)



Figura 14: Selección del archivo fuente de las Tags

Luego de crear el archivo correspondiente a las Tags, se debe direccionar las mismas para que se muestren dichos valores en el medidor, para ello en la opción **REAL TIME, Tag File** se selecciona **Path**, en la ventana que aparece se selecciona el archivo creado previamente. (Ver Figura 15)

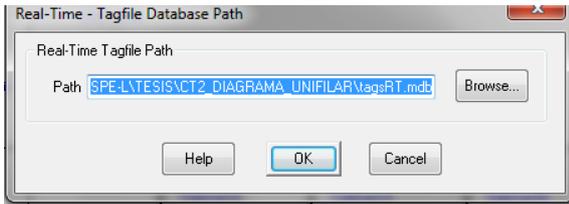


Figura 15: Direccionamiento de Tags

Para finalizar con la configuración de las Tags se procede a abrir el archivo de Tags, el mismo que por defecto será un documento en Microsoft Access tal como se ve en la Figura 16.

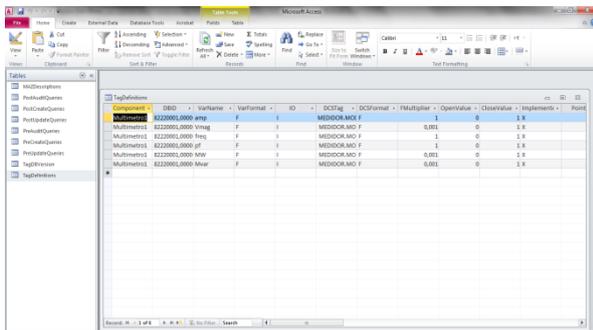


Figura 16: Archivo Access de Tags

En el documento que se muestra aparecen todas las tags seleccionadas en el **Multimeter** del diagrama de ETAP, se debe modificar la dirección de cada una en la columna **DSC tag**, como se ve en la Figura 17; la dirección se obtendrá del OPC kepsverver.

Component	DBID	Variable	VarFormat	ID	DCSTag	DCSTFormat	Multiplier	OpenValue	CloseValue	Implemente
Multimeter1	8220000.0000	amp	F	1	MEDIDOR.MD	F	1	0	1.0	F
Multimeter2	8220000.0000	Vrms	F	1	MEDIDOR.MD	F	0.001	0	1.0	F
Multimeter3	8220000.0000	Freq	F	1	MEDIDOR.MD	F	1	0	1.0	F
Multimeter4	8220000.0000	pf	F	1	MEDIDOR.MD	F	1	0	1.0	F
Multimeter5	8220000.0000	kw	F	1	MEDIDOR.MD	F	0.001	0	1.0	F
Multimeter6	8220000.0000	kvar	F	1	MEDIDOR.MD	F	0.001	0	1.0	F

Figura 17: DCSTag

Es necesario verificar que en la columna correspondiente al **Server** se encuentre el número 0.

Después de haber realizado todas las configuraciones detalladas, el sistema está listo para ser llevado en línea. (Ver Figura 18)

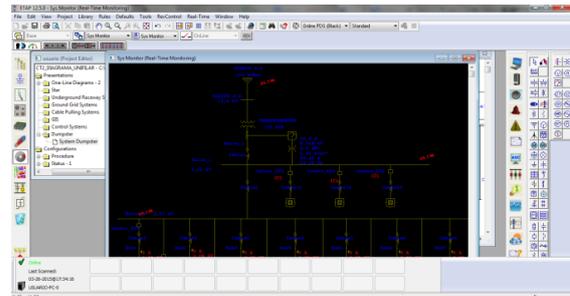


Figura 18: Sistema en Línea

3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El modelamiento de la carga conectada al transformador T2, se creó en ETAP en base a planos realizados en proyectos de tesis anteriores, datos de campo de potencia, factor de potencia obtenidos a través de la colocación de un registrador trifásico FLUKE 1735 en cada una de las cargas (Ver la Tabla 4) y a la información proporcionada por el personal del área eléctrica de la Universidad.

En la Figura 19 se observa las diversas etapas que se requiere para realizar el modelamiento.

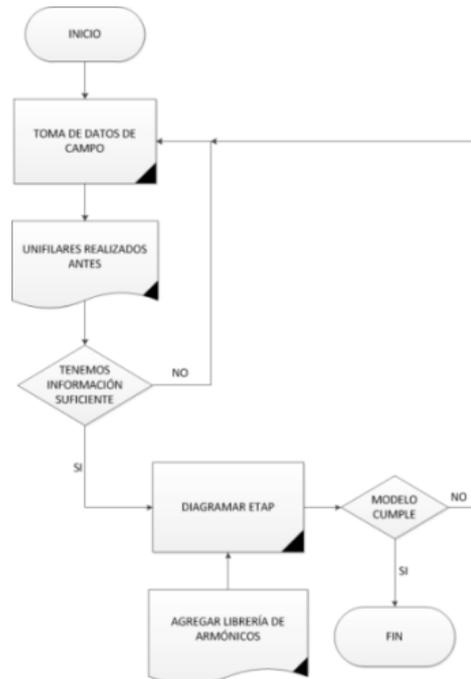


Figura 19: Diagrama de flujo del modelamiento

Tabla 4: FP de las Cargas Conectadas al Transformador T2

FP Total Min	FP Total Med	FP Total Max
Bloque B (Aula B-131)		
0,991	0,991	0,991
Gimnasio		
0,758	0,758	0,758
Autotrónica		
0,9	0,9	0,9
Pasillo de Electrónica		
0,647	0,647	0,647
Laboratorio de Redes Industriales		
0,763	0,763	0,763
Laboratorio de Telecomunicaciones		
0,771	0,771	0,771
Laboratorio de Resistencia de Materiales 1		
0,674	0,674	0,674
Laboratorio de Resistencia de Materiales 2		
0,899	0,899	0,899
Laboratorio de Audio de Ingles		
0,589	0,589	0,589
Laboratorio de Robótica		
0,909	0,909	0,909
Laboratorio de Soldadura Tablero 1		
0,533	0,533	0,533
Laboratorio de Soldadura Tablero 2		
0,7145	0,7145	0,7145
Laboratorio de Hidráulica		
0,994	0,994	0,994
Laboratorio de Grupos Electrógenos		
0,986	0,986	0,986
Laboratorio de Motores		
0,842	0,842	0,842
Laboratorio de Alto Voltaje		
0,989	0,989	0,989
Laboratorio de Refrigeración		
0,92	0,92	0,92
Laboratorio de Química		
0,991	0,991	0,991
Laboratorio de Máquinas Elécticas		
0,583	0,583	0,583
Laboratorio de Neutrónica e Hidrónica		
0,747	0,747	0,747
Laboratorio de Control Eléctrico		
0,523	0,523	0,523
Laboratorio de Accionamientos Eléctricos		
0,523	0,523	0,523
Laboratorio de Electrónica		
0,709	0,709	0,709
Laboratorio de Circuitos Eléctricos		
0,712	0,712	0,712
Laboratorio de Sistemas Digitales		
0,803	0,803	0,803
Laboratorio de Mecatrónica		
0,9285	0,9285	0,9285
Laboratorio de Servos		
0,857	0,857	0,857
Laboratorio de Máquinas Eléctricas		
0,623	0,623	0,623
Laboratorio de Computación III		
0,521	0,521	0,521
Laboratorio de Inteligencia Artificial		
0,521	0,521	0,521
Laboratorio de Sistemas Operativos		
0,522	0,522	0,522
Laboratorio de Herramientas Administrativas		
0,522	0,522	0,522
Laboratorio de Instalaciones Eléctricas		
0,765	0,765	0,765
Laboratorio Multiplataforma		
0,523	0,523	0,523
Laboratorio de Ingles		
0,648	0,648	0,648
Bloque C (Planta Baja)		

0,985	0,985	0,985
Bloque C (Planta Baja)		
0,996	0,996	0,996
Bloque C (Primer Piso)		
0,985	0,985	0,985
Bloque C (Segundo Piso)		
0,985	0,985	0,985
Bloque C (Tercer Piso)		
0,985	0,985	0,985

3.1. Diagrama Unifilar

La simulación en computadora de los sistemas eléctricos de potencia, empleando ETAP, permite modelar varios componentes y dispositivos del SEP (ver Figura 20), su dependencia de la frecuencia, no linealidad y otras características bajo la presencia de perturbaciones, ya sea para grandes o pequeñas redes. [4]

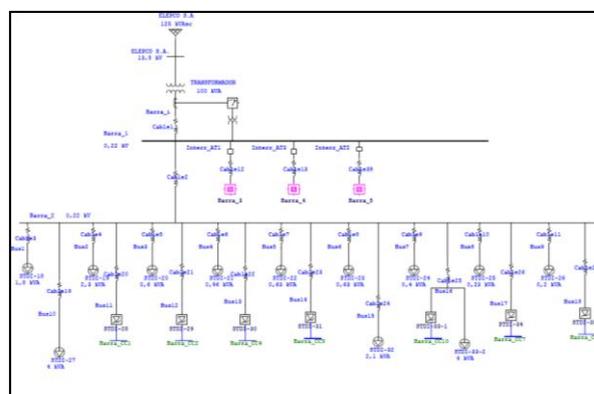


Figura 20: Diagrama Unifilar T2

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez efectuada la implementación de los equipos y la monitorización gráfica de los datos adquiridos en tiempo real, se procede a efectuar los estudios de validación off line del modelo realizado en ETAP.

4.1. Flujos de Potencia

Al realizar el análisis de flujo de potencia en ETAP se obtuvieron los valores indicados en la Tabla 5, dichos valores pertenecen al transformador.

Tabla 5: Datos del transformador registrados en ETAP

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
V (V)	2180,9	S(KVA)	55,0
I (A)	148,2	PF (%)	88,7

En la Tabla 6 se indican los valores promedio obtenidos por el registrador de energía eléctrica FLUKE 1735, el registro de datos se lo realizó durante 3 días.

Tabla 6: Datos del T2 obtenidos con registrador de energía FLUKE

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
V (V)	217,86	S (KVA)	58,0
I (A)	168,40	PF (%)	89,6

Luego de efectuado la comparación de los datos obtenidos en el ETAP como en el registrador, se procede a determinar la divergencia existente entre los valores medidos y simulados en ETAP, para lo cual se determinará el error absoluto y relativo porcentual.

$$E\% = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 10 \quad (1)$$

$$\Delta X = |X_1 - X_2| \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (3)$$

$$\Delta X = |55 - 58| = 3$$

$$\bar{X} = \frac{55 + 58}{2} = 56,5$$

$$E\% = \frac{3,1}{38,45} \times 100 = 5,61\%$$

En la Tabla 7 se indican los errores porcentuales para cada uno de los parámetros analizados, empleando el método previamente descrito de error porcentual y relativo.

PARÁMETRO	E%
V	0,46
I	12,76
S	5,61
PF	1,01

4.2. Monitoreo en Tiempo Real

ETAP permite visualizar online datos trifásicos, los que se indican en la Tabla 8 correspondientes a la central de medida PM710 que permite visualizar de manera remota los datos del transformador.

Tabla 8: Datos online de la central de medida en ETAP

PARÁMETROS	VALOR
V (V)	219,00
I (A)	22,20
P (kW)	7,90
Q (kVAR)	4,50
PF (%)	93,51
F (Hz)	59,99

La central de medida colocada en el transformador T2, marca los valores indicados en la Tabla 9 con los que se podrá validar los datos obtenidos online en ETAP y determinar la fiabilidad de los datos monitoreados.

Tabla 9: Parámetros del T2 registrados con el PM710

PARÁMETROS	VALOR
V (V)	218,00
I (A)	22,90
P (kW)	8,30
Q (kVAR)	4,90
PF (%)	94,10
F (Hz)	59,96

Con los datos registrados tanto en campo como de manera remota se visualiza el error porcentual existente de los parámetros en la Tabla 10.

Tabla 10: Error porcentual de valores monitoreados

PARÁMETRO	E %
V	0,45
I	3,12
P	4,94
Q	8,50
PF	0,63
F	0,05

4.3. Estudio de armónicos

Debido a la amplia y creciente aplicación de dispositivos electrónicos de potencia en un sistema eléctrico como controladores de velocidad, UPS, convertidores estáticos de potencia, inversores y la adición de cargas de tipo no lineal como transformadores, soldadoras de arco, luces fluorescentes, fuentes de energía de las computadoras, la calidad de la energía tanto de voltaje como de corriente del sistema se ha visto gravemente afectada, esto se evidencia principalmente en la distorsión de la forma de onda; ETAP por medio de su módulo de estudio de armónicos permite generar los componentes multiplicadores enteros de la frecuencia fundamental, armónicos, tanto de corriente y voltaje con una gran aproximación, salvo por los armónicos de orden 3 y sus múltiplos que no pueden propiamente, ser simulados debido al desbalance de carga.

El registrador FLUKE 1735 se empleó para medir los armónicos presentes en el transformador T2, obteniendo los resultados que se detallan en el diagrama de barras. La importante presencia del tercer armónico promovió el interés en verificar la corriente que circula por el neutro, obteniendo los datos detallados en la Figura 21.

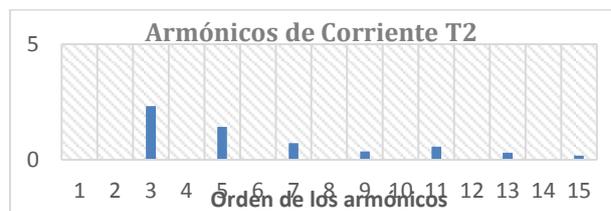


Figura 21: Armónicos del Voltaje registrados

En la Figura 22 se aprecian los datos generados en el estudio de armónicos para el transformador.

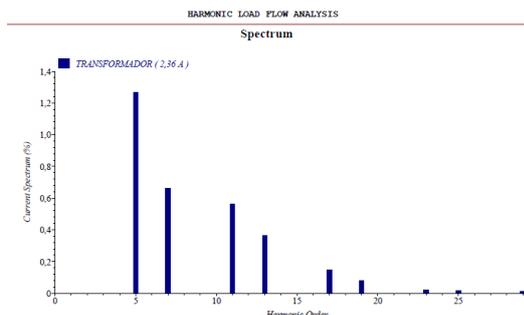


Figura 22: Armónicos del Voltaje obtenidos en la simulación

La Tabla 11 muestra la mediana de los datos registrados por el registrador FLUKE 1735 desde el 4/03/15 a las 14:01:37 hasta 06/03/15 a las 2:00:37.

Tabla 11: Medianas de Corriente N

Corriente N Min	Corriente N Med	Corriente N Max
16,882	17,536	18,818
$\bar{X} = 17,75$		

El error promedio que existe entre los datos registrados y los obtenidos en el estudio no supera el 4% (ver Tabla 12), lo que indica que el modelo se encuentra próximo a la realidad a pesar de que no se visualicen los armónicos 3 y sus múltiplos.

Tabla 12: Porcentaje de Error en armónicos de Voltaje del T2

Orden del armónico	Valores Registrados	Valores Obtenidos	Error Porcentual
2	0,03	0,00	2,0
3	2,32	0,00	2,0
4	0,02	0,00	2,0
5	1,42	1,28	10,3
6	0,01	0,00	2,0
7	0,72	0,70	2,8
8	0,01	0,00	2,0
9	0,36	0,00	2,0
10	0,01	0,00	2,0
11	0,56	0,56	5,3
12	0,00	0,00	0,0
13	0,30	0,34	12,5
$\bar{X} \text{ Error}$			3,74

En la Tabla 13 se comparan los valores analizados con respecto a la tolerancia porcentual en voltaje del punto medido según la norma IEC 61000-4-7, teniendo como resultado que el transformador no sobrepasa los valores límite establecidos.

Tabla 13: Comparación con la norma IEC 61000-4-7

Orden del armónico	Valores Registrados	Valores Obtenidos	Tolerancia % V
2	0,03	0,00	2,0
3	2,32	0,00	5,0
4	0,02	0,00	1,0
5	1,42	1,28	6,0
6	0,01	0,00	0,5
7	0,72	0,70	5,0
8	0,01	0,00	0,5
9	0,36	0,00	1,5
10	0,01	0,00	0,5
11	0,56	0,56	3,5
12	0,00	0,00	0,2
13	0,30	0,34	3,0

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para el modelamiento del sistema eléctrico del transformador T2 realizado en ETAP se consideró a las cargas con mayor generación de armónicos como cargas estáticas a las cuales se les agregó una librería de armónicos de autoría propia que emula el espectro de armónicos de corriente producido por soldadoras de arco y computadoras de escritorio, las restantes fueron consideradas cargas dinámicas puesto era el modelo más similar de cargas concentradas de luminarias y tomas. Por tanto el modelo estimado del circuito es válido logrando obtener valores que no sobrepasan un error del 0.46% en voltaje, el 1.01% en el factor de potencia, sin embargo al comparar los valores de corriente y potencia aparente se obtiene un incremento en el error del 12,76% y del 5.61% respectivamente, que se debe a que en la simulación se consideró como si todas las computadoras del cuarto piso Bloque B y C estuvieran conectas al mismo tiempo así como todas las máquinas del laboratorio de soldadura.
- Para el desarrollo del presente proyecto se ha optado por las comunicaciones inalámbricas ZIGBEE debido a su bajo consumo, fácil integración y a la fiabilidad que ofrece, debido a que la red se organiza y repara de manera automática además es la solución ideal a un cableado de más de 150m por ductos y canaletas saturados.
- Las variables eléctricas monitoreadas en tiempo real en el software eléctrico ETAP tienen un error que no sobrepasa el 3,5% en comparación con los registrados por la central de medida PM710, este porcentaje de error se debe a que para la transmisión de datos se empleó tarjetas XBEE PRO S1, dichos dispositivos son de baja velocidad y teóricamente tiene un alcance de 1.6 km en línea de vista, el alcance y velocidad de transmisión se reducen por la presencia de equipos de transmisión inalámbrica como wifi, bluetooth, etc., que trabajan a en la misma banda de 2.4 GHz. Por lo que, los datos llegan a la PC con un retraso de alrededor de 900ms.
- La calidad de energía en cuanto a niveles de voltaje se refiere es óptima ya que no existe una caída de voltaje superior al 5%, sin embargo el valor del factor de potencia está en un rango de 0.5-0.35 por debajo de lo permitido como consecuencia de las fluctuaciones de cargas durante el transcurso del día así como la naturaleza de las mismas, siendo el intervalo entre las 20:50:00 y las 7:20:00 el rango de tiempo en el que más se reduce el FP.
- El contenido de armónicos obtenido en el estudio realizado en el programa eléctrico presenta un porcentaje elevado del contenido armónico de 5° y 7° orden mientras que en los datos de campo

registrados hay una presencia importante del 3°. 5° y 7° armónico, porque el programa analizador no permite simular el tercer armónico ni sus múltiplos en el transformador.

6. Los rangos de voltaje obtenidos en el estudio de flujos de potencia realizado evidencian que a cada carga llega un nivel de voltaje óptimo, dentro del rango de variación de +/-5% con respecto al nominal.
7. El monitoreo de los sistemas eléctricos es esencial y una herramienta computacional que brinda estas facilidades es el software eléctrico ETAP, con el empleo de esta herramienta se puede visualizar datos de campo de manera remota y así conocer el comportamiento del sistema de acuerdo con los datos obtenidos con la central de medida PM710, además que se puede colocar alarmas locales para visualizar cuando haya alguna variación de los valores de voltaje, corriente, frecuencia y factor de potencia por un tiempo determinado.

5.2. Recomendaciones

1. Se considera que es primordial para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L centralizar el monitoreo de la energía consumida por la institución, con lo cual se obtendrá beneficios tanto técnicos como económicos.
2. Impulsar trabajos futuros de tesis empleando el software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) para poder implementar un sistema SCADA y lograr una interfaz más amigable con el usuario.
3. Acordar normas y horarios de uso del laboratorio multiplataforma, donde se encuentran las computadoras con el programa ETAP instalado, menos restrictivos y burocráticos para los estudiantes y docentes quienes se encuentren interesados en aprovechar los recursos y beneficios brindados en la licencia académica adquirida.
4. Llegar a un acuerdo de prórroga o en su defecto de adquisición del módulo de Real Time de ETAP para que la universidad pueda seguir beneficiándose del avance académico y científico que conlleva el uso de un software de este tipo.
5. Es necesario un aumento en el calibre de los conductores principales del sistema eléctrico si se incrementa la carga al transformador de 100kVA T2, ya que los conductores actuales se saturarían, lo que provocará fallas importantes en el SEP y una disminución en la calidad de energía.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JMN, «JMN,» 14 12 2014. [En línea]. Available: <http://webdelcir.com>.
- [2] Corporación Unversitaria Autonoma del Cauca, EJEMPLARIZACIÓN DE COMUNICACIÓN ENTRE DOS MÓDULOS XBEE SERIE 2.
- [3] B. Farhgam y M. Pimente, 12 Julio 2012. [En línea]. Available: <http://ftp.nist.gov>. [Último acceso: 24 Febrero 2015].
- [4] Modelosoft, [En línea]. Available: <http://www.modelsoft.com>. [Último acceso: 17 Octubre 2014].



Jessica Fernanda Aguiñaca.- Nació en Loja, Ecuador en 1991. Sus estudios primarios los realiza en la Escuela Fiscal “18 de Noviembre”, los secundarios en el Colegio Experimental “Bernardo Valdivieso” en la especialidad de Físico matemático y obtiene el título de Ingeniera en Electromecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L en el 2015.



Carmen Liseth Miranda Jiménez.- Nació en Latacunga, Ecuador en 1992. Sus estudios primarios los realiza en la Escuela Fiscal “Once de Noviembre”, los secundarios en el Colegio Experimental “Victoria Vásquez Cuví” en la especialidad de Físico matemático y obtiene el título de Ingeniera en Electromecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L en el 2015.