

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

ENERGY DIAGNOSIS OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

Walter Paul Rueda Flores ^{1*}

¹ Graduado de la Maestría en Electricidad. Mención Sistemas Eléctricos de Potencia. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6441-3428>. Correo: walter.rueda5@utc.edu.ec

* Autor para correspondencia: walter.rueda5@utc.edu.ec

Resumen

En la actualidad el déficit de planificación en la distribución de cargas, sumado al crecimiento acelerado de la demanda eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), ha originado un desbalance de carga entre las fases, encontrándose fuera de los límites establecidos por la norma 004-01 CONELEC. El presente proyecto está orientado al diagnóstico energético del sistema eléctrico en el bloque A y B. Para dar solución a este problema, se realizaron mediciones con el analizador de red Fluke 435 serie II en los tableros principales, adquiriendo las variables eléctricas de todo el sistema, y con la ayuda de los planos eléctricos se realizó un levantamiento de toda la carga instalada necesaria para la simulación de los flujos de potencia. La simulación se efectuó con el uso del software ETAP 12.6.0 que permitió obtener los índices de caída de voltaje y corriente de cada fase. Se pudo demostrar que las nuevas cargas incorporadas al sistema se realizaron sin un estudio previo, dando como resultado un desbalance de fases lo que ocasiona una corriente por el neutro que deteriora al equipamiento y disminuye el tiempo de vida útil. El alcance del diagnóstico contempla, establecer estrategias de soluciones técnicas en las zonas críticas existentes.

Palabras clave: Desbalance de voltaje; calidad de energía; caída de voltaje

Abstract

Currently, the planning deficit in load distribution, added to the accelerated growth of electrical demand at the Technical University of Cotopaxi (UTC), has caused a load imbalance between the phases, being outside the limits established by the standard. 004-01 CONELEC. This project is aimed at the energy diagnosis of the electrical system in block A and B. To solve this problem, measurements were carried out with the Fluke 435 series II network analyzer on the main boards, acquiring the electrical variables of the entire system, and with the help of the electrical plans, a survey of all the installed load necessary for the simulation of power flows was carried out. The simulation was carried out with the use of ETAP 12.6.0 software, which

allowed obtaining the voltage and current drop rates of each phase. It was possible to demonstrate that the new loads incorporated into the system were carried out without a prior study, resulting in a phase imbalance, which causes a current through the neutral that deteriorates the equipment and reduces its useful life. The scope of the diagnosis includes establishing strategies for technical solutions in the existing critical areas.

Keywords: *voltage imbalance; energy quality; voltage drop*

Fecha de recibido: 02/08/2023

Fecha de aceptado: 01/10/2023

Fecha de publicado: 04/10/2023

Introducción

En la actualidad los recursos energéticos deben tener prioridad con el uso eficiente de la energía, esto hace que los sistemas eléctricos requieran diagnósticos y mantenimiento. Estos aspectos permitirán que el servicio sea continuo y confiable frente a posibles fallas en el sistema eléctrico. Los consumidores de energía eléctrica hoy en día son conscientes del uso eficiente de la energía, para mitigar aspectos técnicos y económicos, los mismos que buscan no incomodar o disminuir la calidad de vida de las personas, se logrará mediante el buen estado de la red de suministro eléctrico y el uso correcto de equipos, maquinarias, iluminación, entre otros. El crecimiento físico de la universidad y las necesidades de la misma están directamente relacionadas al incremento de la demanda energética, lo que conlleva un aumento de pérdidas técnicas y económicas que afectan al sistema eléctrico en general.

El presente diagnóstico conseguirá identificar los nodos críticos que se encuentren fuera de los límites técnicos permisibles, lo que permitió modelar una configuración del sistema de suministro eléctrico acorde a las exigencias de las normativas vigentes referentes a la calidad de la energía, lo que beneficiará directamente a la población universitaria, ya que contará con un suministro que brinde todos los parámetros para el correcto funcionamiento de sus equipos.

Los sistemas eléctricos trifásicos con neutro necesitan tener sus fases balanceadas para evitar corrientes de retorno por el neutro que produzca en los terminales de carga una variación de voltaje lo que significa una exposición a un daño o avería. Los factores que no cumplen con los niveles de calidad y aportan a que existan pérdidas en los sistemas eléctricos son: disminución de la vida útil de los equipos, desbalance de cargas, retorno de corriente por el neutro y caídas de voltaje. Por lo expresado anteriormente se demuestra que es factible y necesario el diagnóstico de las condiciones actuales del sistema eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para identificar los diferentes problemas eléctricos existentes, planteando soluciones adecuadas para corregirlos y así obtener una óptima calidad del servicio eléctrico.

Estas condiciones limitan a que el suministro eléctrico no presente los parámetros de calidad adecuados para el buen funcionamiento de los equipos de las diferentes áreas como: laboratorios, centros de cómputo, oficinas administrativas y aulas que cuentan con equipos como: computadoras y *smart board*, los cuales son sensibles

a los diferentes tipos de variaciones de voltaje que puedan suscitarse. La sección del conductor de neutro no es adecuada en función a los niveles de carga actual, por lo que no presentan condiciones de protección para los equipos y las personas.

Se puede definir que el problema es: desbalance de las fases, variaciones de voltaje, sección, por esta razón la investigación tuvo como objetivo: Diagnosticar el estado actual del sistema eléctrico de los bloques A y B de la Universidad Técnica de Cotopaxi a través de mediciones, para proponer soluciones técnicas que mitiguen los problemas detectados.

Materiales y métodos

Se desarrolló una investigación bibliográfica. La búsqueda bibliográfica, en libros, revistas científicas, páginas web, resoluciones, aportaron conocimiento valioso para presentar posibles soluciones a los problemas encontrados en el sistema eléctrico de la universidad.

La investigación descriptiva que detalla las alteraciones que se produce en el sistema eléctrico, mediante la recolección y evaluación de datos sobre las variables del escenario a diagnosticar.

La investigación exploratoria permitió conocer las partes del sistema eléctrico de la universidad, verificando de manera exploratoria si se encuentra funcionando de manera adecuada y la investigación de campo permitió tener un contacto directo con la red del sistema eléctrico de la universidad, verificando directamente el comportamiento de los escenarios que afectan al sistema adquiriendo un amplio análisis de su funcionamiento.

La investigación se apoyó en el Método Inductivo – Deductivo y Método Analítico y Sintético, los que permitieron realizar un estudio de las mediciones realizadas con el analizador de red Fluke 435 en los tableros principales y subtableros obteniendo los parámetros eléctricos en operación, los que permitieron obtener los valores correspondientes para ingresar en el software de simulación ETAP 12.6.0 y se trabajó con la simulación del sistema eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

La técnica de observación directa permitió tener el contacto con los tableros principales y sub tableros, identificando los lugares estratégicos para la ejecución del diagnóstico y la técnica de modelación y simulación se la desarrolla en el software ETAP 12.6.0 el mismo que permitió realizar flujos de potencia balanceados para obtener índices de voltaje (V), corriente (A), frecuencia (Hz), potencia activa (P), potencia reactiva (Q), potencia aparente (S) y factor de potencia (fp), y también flujos de potencia desbalanceados para identificar los índices mencionados en cada una de las fases. El software realizó reportes que determinaron el estado del sistema.

Resultados y discusión

El estudio de la literatura permitió definir conceptos esenciales, entre los cuales se encuentran:

Demanda eléctrica. Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento (variable en el tiempo). “La demanda de una instalación eléctrica en los terminales receptores, tomada como un valor medio en un intervalo determinado” (Castaño, 2004). La demanda viene expresada en KVA, KW, KVAR, A, se necesita indicar un intervalo de demanda en un periodo de tiempo, dicha variación crea una curva de carga.

Curva de carga o demanda. Es la variación de la demanda en función del tiempo, representada en un gráfico, los periodos de tiempo pueden ser diario, semanal, mensual, anual y la carga no será igual para cada periodo, como se observa en la figura 1.

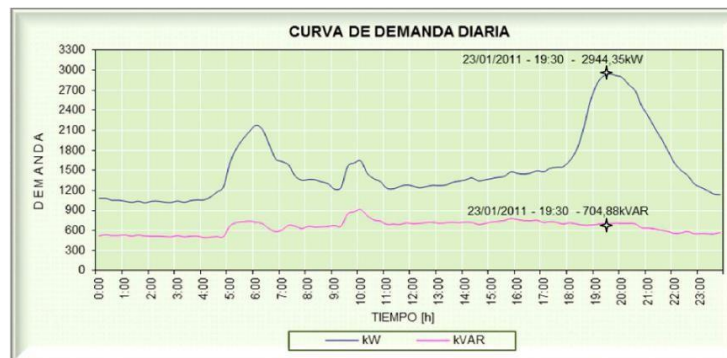


Figura 1. Curva de demanda diaria **Fuente** (Byron, 2012)

Demanda promedio. Se define como “La relación entre el consumo de energía del usuario durante un intervalo dado y el mismo intervalo” (Campoverde & Sánchez, 2012). Se calcula mediante:

$$D_p = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo (KWh)}}{\text{Tiempo (h)}} \quad (1)$$

La demanda es constante en el periodo establecido, establece la energía que requiere la curva de carga para el mismo periodo de tiempo.

Demanda máxima. Es el máximo consumo registrado en un periodo de tiempo de potencia eléctrica, “Es esta demanda máxima la que ofrece mayor interés ya que aquí es donde se presenta la máxima caída de voltaje en el sistema y por lo tanto cuando se presenta las mayores pérdidas de energía y potencia” (Castaño, 2004).

Demanda diversificada. “Es la demanda simultánea de un grupo de equipos o suscriptores. La demanda máxima diversificada es normalmente menor que la suma de las demandas máximas individuales” (Pilamunga, 2009).

Factor de utilización. Se define como “La razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema (capacidad instalada) en un intervalo de tiempo” (Campoverde & Sánchez, 2012). Se calcula mediante:

$$F_u = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Capacidad instalada}} = \frac{D_M}{PI} \quad (2)$$

El factor de utilización nos proporciona la fracción de la capacidad del sistema utilizado en el periodo de tiempo especificado, indicando la máxima utilización de la instalación o el equipo.

Factor de diversidad. Se define como “La sumatoria de las demandas máximas individuales y la demanda máxima del conjunto o grupo de usuarios (llamada también demanda máxima coincidente)” (Campoverde & Sánchez, 2012)

$$F_{div} = \frac{\text{Suma de demandas máximas individuales}}{\text{Demanda máxima coincidente}} = \frac{1}{F_{coin}} \quad (3)$$

Este parámetro utilizado en el diseño técnico económico de los sistemas de distribución, permite economizar y no sobredimensionar las redes proyectadas, es utilizado en los distintos niveles del sistema.

Factor de demanda. “El factor de demanda es la razón entre la demanda máxima y la carga total instalada. El factor de demanda indica el grado al cual la carga instalada funciona simultáneamente” (Campoverde & Sánchez, 2012) Generalmente el factor de demanda es menor que 1, cuando todos los aparatos están consumiendo su potencia nominal se considera que el factor es 1.

$$F_D = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga instalada}} = \frac{D_M}{C_I} \leq 1 \quad (4)$$

Factor de simultaneidad. “Es una cantidad menor o igual a la unidad que se obtiene como el recíproco del factor de diversidad. Es el factor que indica la operación de los equipos al mismo instante” (Basantes & Lalaleo, 2015).

$$\text{Factor de simultaneidad} = \frac{1}{\text{Factor de diversidad}} \quad (5)$$

Factor de carga. “Se define como la razón entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo” (Campoverde & Sánchez, 2012) Considerando, el valor instantáneo, para el valor de demanda máxima.

$$FC = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}} = \frac{DP}{DM} \quad 0 < Fc \leq 1 \quad (6)$$

Transformadores. “El transformador es un dispositivo estático de tipo electromagnético que tiene dos o más devanados acoplados por un campo magnético mutuo (núcleo)” (Balbuena, 2013) El transformador transfiere la energía eléctrica de forma magnética de un circuito a otro, es decir lo hace por inducción, obteniendo fenómenos que producen pérdidas de energía.

Selección de la potencia de los transformadores. “Las normas para transformadores cuando hablan de potencia nominal, se refieren a una potencia que es el producto de la corriente por el voltaje en vacío. La potencia nominal es por lo tanto una potencia aparente” (Campos et al., 2007) Esta potencia es la misma para el devanado primario o el devanado secundario. La potencia aparente que puede soportar el transformador en funcionamiento continuo sin sobrepasar los límites de calentamiento es:

$$S_N = \sqrt{3} V_N * I_N \quad (7)$$

Como el transformador no siempre funciona bajo condiciones nominales, entonces se debe establecer el índice de carga C:

$$C = \frac{I_1}{I_{N1}} = \frac{I_2}{I_{N2}} \quad (8)$$

Este índice de carga se relaciona con las pérdidas en el transformador. Si $C < 1$ el transformador funciona descargado. Si $C > 1$ El transformador estará funcionando sobrecargado.

Cargabilidad del transformador. En los sistemas eléctricos los transformadores tienen un papel fundamental en el funcionamiento de los mismos, siendo importante gestionar de manera eficiente la cargabilidad del mismo. “El dimensionamiento de los transformadores de una red deberá buscar alcanzar el mayor compromiso técnico y económico, para ello será necesario analizar detenidamente las cargas que deberá asumir un transformador” (Yébenes, 2009). Las condiciones de funcionamiento del equipo deben estar prevista para condiciones nominales o sobrecargas sin deteriorarse, de darse un deterioro cuantificar el daño para una planificación adecuada para sus correctivos o mantenimiento anticipado.

$$\%Cargabilidad = \frac{S_{medida} (KVA)}{S_{transformador} (KVA)} \times 100 \quad (9)$$

Efectos de sobrecarga. “La aplicación de cargas que exceden el nivel de las especificaciones, implica cierto grado de riesgo. A continuación detallamos las áreas de riesgo para tomar en consideración cuando se carga transformadores de potencia por encima del nivel especificado de placa” (Cajamarca & Sigua, 2010): Al operar a una alta temperatura se originará una reducción en la resistencia mecánica tanto del aislamiento del conductor como de la estructura. Dichos efectos son más preocupantes durante los períodos de sobre corriente. La expansión térmica de conductores, materiales aislantes, o partes estructurales a altas temperaturas puede producir deformaciones permanentes que favorecen a la creación de fallas mecánicas o dieléctricas. La presión acumulada en los *bushings*, para corrientes sobre el nivel especificado pueden dar como consecuencia el filtrado/goteo de empaquetaduras, pérdida de aceite, y posteriormente una falla dieléctrica. El aumento de resistencia en los puntos de contacto de los *taps*, es consecuencia de la acumulación de productos resultado de la degradación del aceite. Cuando la temperatura en la parte superior del aceite excede los 105 °C (de acuerdo con IEEE Std. C57.12.00-1993), existe el riesgo de que la expansión del aceite sea mayor que la capacidad contenedora del tanque y puede tener como resultado una presión que ocasione que entre en operación el dispositivo de desahogo de presión expulsando al aceite. Los transformadores a pesar de ser máquinas muy eficientes presentan pérdidas en el cobre y en el hierro como se detallan a continuación.

Pérdidas en el cobre. La potencia activa es un dato que se encuentra en la placa del transformador y también es proporcionado por el fabricante al realizarse un ensayo de corto circuito. “En el ensayo de cortocircuito se conecta el transformador a tensión nominal, cortocircuitando el secundario. Se mide en este ensayo la potencia consumida en el transformador en estas condiciones”. Estas se calculan con la siguiente ecuación:

$$DRL - 1 = \left[\frac{D_{pi} * \cos \phi_{max} 2}{D_{pmax} * \cos \phi_i} \right] DRL_{MAX} \quad (10)$$

Pérdidas en el hierro. “Estas pérdidas dependen del flujo magnético, el flujo solo varía con la tensión y ésta suele ser constante. Quiere esto decir que las pérdidas en el hierro son constantes ya sea en vacío o en carga nominal.” (“1.3.5. Pérdidas en un transformador,” n.d.). Con el ensayo de vacío se obtiene la corriente en vacío, en el que se cuantifica la potencia absorbida y el voltaje aplicado, para el caso de Ecuador rige la norma NTE INEN 2115 (NORMALIZACIÓN, 2004), del año 2004 que nos proporciona un valor de 758W para transformadores de 300KVA.

Factor de carga de pérdidas. El cálculo del factor de carga de pérdida F_{cp} se efectúa a través de “una relación

empírica de uso generalizado en los estudios de planificación de redes de distribución, dada por la ecuación 11, la cual permite determinar el F_{cp} cuando el factor de carga F_c del alimentador bajo análisis es conocido” (Fata, Bonavita, Albanese, & Pascual, 2010).

$$F_{cp} = 0.7x(F_c)^2 + 0.3x(F_c) \quad (11)$$

Selección del calibre de un conductor eléctrico. Tener una transmisión eficiente y segura de energía eléctrica depende de una correcta selección del calibre del conductor. Los conductores deben cumplir con los siguientes requisitos: Capacidad de conducción de corriente. Límite de voltaje de aplicación. Máxima caída de voltaje permisible de acuerdo con el calibre del conductor y la corriente que conducirá.

Capacidad de conducción de corriente. “La capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos depende de muchos factores, entre los cuales podemos mencionar los siguientes: tipo de instalación, de la temperatura de operación de los conductores seleccionados, de la longitud del circuito, etc.” (Latincasa, 2005). La capacidad de conducción de corriente para conductores eléctricos se calcula de acuerdo con la norma de instalaciones eléctricas NOM-001-SEDE-2005. Para un sistema trifásico se aplica la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{fp}} \quad (12)$$

Caída de voltaje. “La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de voltaje o diferencia entre los voltajes en el origen y extremo de la canalización.” (TECNOLOGÍA, 2011). Para garantizar el buen funcionamiento de los receptores alimentados al conductor, la caída de voltaje debe ser menor a los límites establecidos. Para seleccionar un conductor, no basta únicamente con calcularlos por la corriente que circulará por él, también es necesario que la caída de voltaje no sea muy alta, las normas técnicas para instalaciones eléctricas recomiendan que la máxima caída de voltaje (desde la alimentación hasta la carga), no deben exceder al 5%, de los cuales 3 % se permite a los circuitos derivados (del tablero o interruptor a la salida para utilización) y el otro 2 % se permite al alimentador (de la alimentación al tablero principal). Para las instalaciones industriales y residenciales el máximo permitido de caída de voltaje, es el: 2%. “Una caída de voltaje excesiva conduce a resultados indeseables, debido a que el voltaje en la carga se reduce.” (Mindiola, 2012) Por ejemplo: en las lámparas incandescentes se reduce notablemente el nivel de iluminación, en las lámparas fluorescentes, se tienen problemas, como dificultad para arrancar, parpadeo, calentamiento de los balastos, etc.

$$\Delta v = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot L \cdot I}{V \cdot S} \quad (13)$$

Se calcula de la siguiente manera:

Pérdidas de energía. Las pérdidas físicas de energía en las redes de distribución se dan en los conductores de los circuitos primarios y secundarios y en los devanados y núcleos de los transformadores de distribución. La demanda pico del sistema condiciona el dimensionamiento de la capacidad de las instalaciones de generación, transformación y transmisión. “El valor económico de las pérdidas de potencia depende de la coincidencia entre el pico de la carga considerada y el pico de la demanda total del sistema” (Castaño, 2004). Se utiliza la carga que fluya a través de ellos a la hora pico del sistema. Usualmente, la proyección de la demanda es para las condiciones pico por lo que en función de la corriente máxima se debe efectuar los cálculos

de pérdidas. En el caso de conductores y devanados de transformadores, las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente.

Potencia pérdida en un conductor. Un conductor al tener circulación de corriente, produce una pérdida de potencia, que es igual al producto de su resistencia por el cuadrado de la intensidad de corriente que circula por él.

$$P_p = R * I^2 \quad (14)$$

Factor de potencia. Se define como “La relación entre la potencia activa (W, KW o MW) y la potencia aparente (VA, KVA, MVA), determina en el sistema o en uno de sus componentes” (Castaño, 2004)

$$\cos\phi = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}}$$

Ecuación 15

Para efectos de evaluación de calidad si en el 5% o más del periodo evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el consumidor incumple el índice de calidad, su valor mínimo es de 0,92.

Problemas por bajo factor de potencia

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas e incremento de las caídas de voltaje en los conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente y penalización por bajo factor de potencia.

Beneficios de un buen factor de potencia

- Disminución de las pérdidas en conductores.
- Reducción de caídas de voltaje.
- Disponibilidad de potencia en transformadores, líneas y generadores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones.
- Reducción de los costos de facturación eléctrica.

Calidad de energía. El incremento en la productividad a nivel industrial gracias a la automatización, en especial la electrónica de potencia ha generado equipos de alta capacidad, bajo rendimiento y bajo costo siendo cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, siendo perturbada. La calidad de energía se refiere a mantener la estabilidad de voltaje, frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico, ofreciendo un correcto producto eléctrico, con una confiabilidad aceptable del sistema eléctrico. El término “Calidad de Energía Eléctrica, nombrado CEE por sus siglas en español, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente” (Carrera & Ordoñez, 2011). Los aspectos de calidad del producto técnico que se controlarán son “El nivel de voltaje, perturbaciones, factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos.” (CONELEC, 2001)

Desbalance de voltaje. Los sistemas eléctricos trifásicos cuentan con voltajes generados que son sinusoidales

y en magnitudes iguales, se encuentran separados 120° entre cada fase. Sin embargo, los voltajes en el sistema eléctrico y en el punto de utilización pueden ser desbalanceados por varias razones, cuando se analizan índices de calidad de energía. La naturaleza del desbalance de voltaje presenta magnitudes desiguales de voltajes, desviación de los ángulos entre fases y un desigual nivel de distorsión armónica entre las fases. “La principal causa del desbalance de voltaje es la distribución desigual de cargas monofásicas, debido al cambio continuo a través de las tres fases del sistema eléctrico (JAMI, 2003). El desbalance de voltaje es definido por la Asociación Nacional Eléctrica de Fabricantes (NEMA) en el estándar MG 1-1993, “como la relación entre la desviación máxima del voltaje promedio y el voltaje promedio de los tres voltajes” (NEMA, 2000).

$$\%LUVR = \frac{\text{desviación máxima del voltaje de línea promedio}}{\text{voltaje de línea promedio}} * 100 \quad (16)$$

Donde: %LUVR: Porcentaje de desbalance de voltaje de línea, con sus siglas en inglés “Line voltage unbalance rate (LUVR)”. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) estándar Std. 1159, define al desbalance de voltaje instantáneo como:

$$\%PUVR = \frac{\text{máxima desviación del valor promedio del voltaje de fase}}{\text{voltaje de fase promedio}} * 100 \quad (17)$$

%PVUR: Porcentaje del desbalance de voltaje de fase, con sus siglas en inglés. (IEEE Transmission and Distribution Committee, 2009).

La definición del desbalance de voltaje en el estándar IEC-610002-2 Ed.2, publicado el 29 de septiembre del 2000, define al desbalance de voltaje como. “La relación entre la componente de secuencia negativa del voltaje y la componente de secuencia positiva del voltaje, el porcentaje del factor de desbalance de voltaje” (IEC-610002-2 Ed.2).

(%VUF), viene dada por:

$$\%VUF = \frac{V_2}{V_1} * 100 \quad (18)$$

Donde:

V_1 es la componente de secuencia positiva del voltaje.

V_2 es la componente de secuencia negativa del voltaje.

Índice de desbalance

La siguiente expresión, generalizada para todos los casos de carga, indica que el desbalance “es aproximadamente igual a la relación entre la potencia de carga, S_c y la potencia de falla trifásica en el punto de conexión (potencia de cortocircuito).” (Ecamec, 2009).

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{S_c}{S_F} \quad (19)$$

Límites admisibles para el desbalance en la red: Mencionaremos las normativas vigentes más reconocidas

- “IEC 61000-2-5 Dos clases se definen: Grado 1: $u_N \leq 2\%$ y Grado 2: $u_N \leq 3\%$ ” (COMMISSION, 2017)
- IEC 61000-2-12 $u_N \leq 2\%$ y bajo especiales condiciones: $u_N \leq 3\%$ “EN50160 $u_N \leq 2\%$ y bajo especiales

condiciones: $uN \leq 3\%$, correspondiente al valor percentil 95%, de un registro de 1 semana cada 10 minutos”.

Índice de calidad

$$\Delta V (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (20)$$

Donde:

ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

Medición. Para mantener los estándares de calidad las empresas distribuidoras según el art. 12 del Reglamento de Suministro de Servicio de Electricidad mantendrán registros en cada mes, en el 2% del número de consumidores servidos en AV y MV. Las mediciones serán en periodos de 10 minutos, por un tiempo mínimo de 7 días. En el caso del presente estudio las mediciones internas se las realizarán en el lado de bajo voltaje de los transformadores, el tablero de distribución y sus nodos más representativos durante periodos de 10 minutos, por un tiempo mínimo de 7 días. (“REGULACION CONELEC No.004-01”)

Límites. El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje. Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación en la tabla 2:

Tabla 2. Variaciones de voltaje admitidas respecto al voltaje nominal.

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	$\pm 7,0 \%$	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Rurales	$\pm 13,0 \%$	$\pm 10,0 \%$

Fuente. CONELEC 004-01

Causas de los desbalances. Las asimetrías presentan dos orígenes definidos: Como resultado de la diferencia de voltajes (en módulo o ángulo) en las fuentes generadoras trifásicas de los sistemas eléctricos (asimetría de voltajes) y como resultado de la diferencia de corrientes (en módulo o ángulo) en los elementos de transmisión y receptores de los sistemas eléctricos (asimetría de corrientes). “Lo más usual a nivel industrial es la presencia de una fuente de voltajes simétricos en la entrada, alimentando un sistema trifásico que se compone de receptores trifásicos y monofásicos, estos últimos no siempre uniformemente distribuidos en el sistema” (Gonzales, Borges, & León, 2012), por lo que se pueden presentar desbalances de corrientes como resultado del desbalance de cargas.

Efectos de los desbalances. “Las asimetrías en los sistemas eléctricos industriales son perjudiciales y en forma general pueden ocasionar” (León, 2001): Aumento de las pérdidas de potencia y energía eléctrica

activa; Incremento del calentamiento de todos los elementos de la red eléctrica; Aumento de las caídas de voltaje; Limitación de la capacidad de los elementos del sistema eléctrico hasta llegar a los receptores; Sobredimensionamiento de los elementos del sistema eléctrico e Incremento de la posibilidad de averías y encarecimiento de los costos de inversión y explotación del sistema. Adicionalmente, se pueden presentar en los receptores efectos indeseables que afectan el funcionamiento y su vida útil.

Desequilibrio de corriente. El desequilibrio se produce “Cuando por las tres fases de un sistema trifásico no circulan las mismas intensidades, este tipo de desequilibrio provoca: sobrecalentamiento en los receptores, en cables de alimentación, protecciones, circulación de corriente por el neutro” (Pérez Miguel, Bravo de Medina, & Llorente Antón, 2004)

El desequilibrio no debe pasar del 10% según la norma UNE-EN 50160 Se calcula de la siguiente manera:

$$D(\%) = \frac{I_{m-led.}}{I_{ed}} * 100 \quad (21)$$

Donde: D: Desequilibrio; Im: Corriente máxima de las tres fases A,B,C; Ied: Intensidad media de las tres fases.

Analizador de redes FLUKE 435

El analizador es “un instrumento capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de voltajes, corrientes, potencias, armónicos, en forma de histogramas, gráficas fasoriales, formas de onda, espectros de armónicos, estos como parámetros principales” (Holguín & Gomez, 2010).



Figura 2. Analizador de calidad de potencia Fluke 435 Series II

Conexiones de entrada

Compruebe que la configuración del analizador cumple las características del sistema en prueba y los accesorios que se utilizan. Esto aplica a: Configuración del cableado; Frecuencia nominal; Voltaje nominal; Límites utilizados para la supervisión de la calidad de la energía eléctrica y la detección de eventos; Propiedades de los cables de voltaje y las pinzas amperimétricas. “Siempre que sea posible, desactive los sistemas de alimentación antes de realizar las conexiones. Utilice siempre el equipo de

protección personal apropiado. Evite trabajar solo” (Corporation, 2012). En un sistema trifásico, realice las conexiones como se muestra en la figura 3.

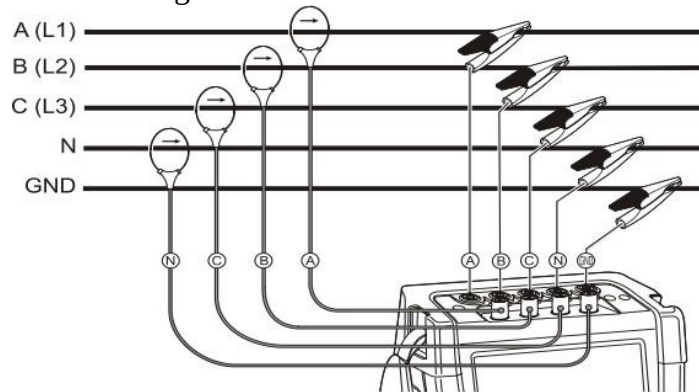


Figura 3. Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico. **Fuente.** FLuke 435

Software. El crecimiento y la innovación de la tecnología han provocado el incremento de la demanda y por ende hace que el análisis se vuelva sumamente complejo. “Por lo cual se busca realizar varios diseños y estudios detallando los efectos sobre el sistema de cada alternativa con variassuposiciones: condiciones normales y anormales de operación, cargas puntuales, años presentes y futuros de operación” (Basantes & Lalaleo, 2015). En la actualidad para solucionar los problemas ya mencionados contamos con software como se india en la figura 4, el cual permite simular el comportamiento del sistema eléctrico, logrando corregir posibles fallas que presente en el sistema.

Descripción del software ETAP 12.6.0

ETAP es la herramienta de análisis más completo para el diseño y prueba de los sistemas de energía disponibles. “Con sus módulos de simulación fuera de línea estándar, puede utilizar losdatos operativos en tiempo real para el control avanzado, simulación en tiempo real, laoptimización de los sistemas de gestión de energía y la deslastre de carga inteligente.”(Usuario& Operation Technology, 2014)



Figura 4. Etap 12.6.0. **Fuente.** ETAP

ETAP es un software de alto impacto en el rubro industrial y tiene una característica muy especial que lo distingue del resto, porque es el único que cuenta con certificación nuclear, lo cual implica que, frente a un estudio teórico, las mediciones de sus resultados son muy cercanosa la realidad, el cual permite realizar las siguientes simulaciones: Flujo de carga (estudio de demandas); Cortocircuito; Coordinación de protecciones; Armónicos; Estabilidad transitoria; Dimensionamiento de cables y transformadores y Malla puesta a tierra. El software nos permitió modelar y conocer las fallas que presenta el sistema de suministroeléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Interfaz del software

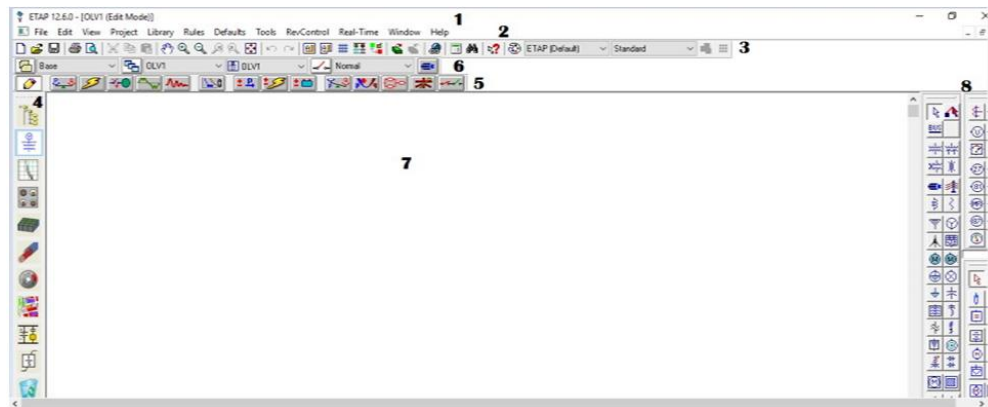


Figura 5. Interfaz con el usuario. **Fuente.** ETAP

La figura 5 muestra la interfaz software-usuario que se compone de las siguientes funciones: Barra de título. Barra de opciones de menú. Barra de herramientas. Barra de herramientas del sistema. Barra de herramientas de modo de uso. Barra de presentación. Área de trabajo. Barra de símbolos. En el proyecto se cumple con las mediciones necesarias para un diagnóstico energético de calidad de producto, de acuerdo a lo establecido en la Regulación CONELEC 004-01. Las mediciones se realizaron con el analizador de redes Fluke 435 series II y se dividieron en 2 etapas, la primera etapa comprendió las mediciones del bloque B desde el 7/11/2016 hasta el 14/11/2016 y la segunda etapa comprendió las mediciones del bloque A desde el 14/11/2016 hasta el 21/11/2016 como se indica en el anexo 1 y anexo 2 respectivamente. EL diagnóstico toma en cuenta: Desbalance de voltaje; Desbalance de corriente; Caída de voltaje; Pérdidas de potencia y de energía.

El sistema eléctrico de la UTC, es alimentado por la ELEPCO. S.A a un nivel de 13.8KV con una acometida de conductor unipolar de Cu. XLPE 3 No. 2 AWG aislado para 15KV + 1 No.2Cu desnudo, con una distancia de 80m con cable subterráneo entre el poste el cual llega a una cámara de transformación ubicada en la planta baja del edificio de educación continua.

Características del transformador. En la cámara se dispone de un transformador marca INATRA, número 7046 de 300 kVA de potencia, el cual proporciona una relación de transformación de 13.800 Vff en el primario a 220Vff en el secundario, el Tap se encuentra en la 2da posición o nominal, y opera actualmente en conexión Dy5.

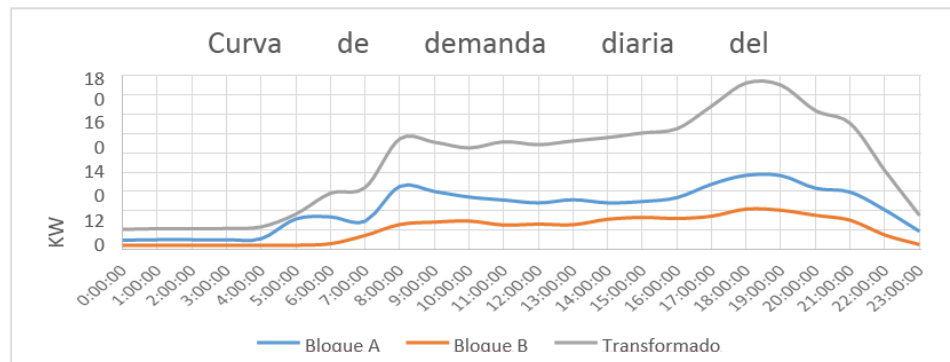


Figura 6. Curva de demanda diaria del transformador.

En la figura 6 se muestra que la curva de demanda diaria del transformador llega a su punto máximo a las 18:00h con un valor de 172,35 kW, de los cuales 119,11 kW corresponde al Bloque A y B, representando así entre estos edificios el 69% de la demanda máxima

Diagrama unifilar del bloque A y del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Con la ayuda de los planos eléctricos, se realizó un levantamiento de toda la carga instalada necesaria para realizar el diagrama unifilar de los bloques A y B

Distribución en los tableros generales de bajo voltaje del bloque A y B. Desde bornes del transformador ya descrito salen hacia 2 sistemas de bajo voltaje a 220Vff, denominados: Tablero general del bloque académico A con conductor 4/0 XLPE con una longitud de 40m tipo subterráneo; Tablero general del bloque académico B con conductor 4/0 XLPE con una longitud de 50m tipo subterráneo.

Datos del tablero principal del bloque B. En la figura 7, se aprecia el tablero principal del bloque B compuesto por:

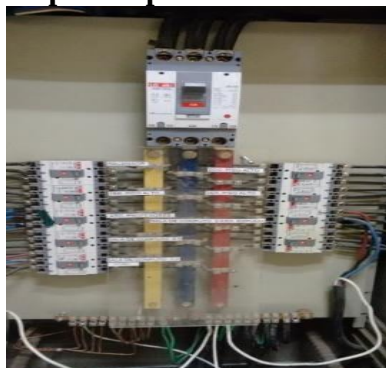


Figura 7. Tablero principal del bloque B.

Tabla 3. Componentes del tablero principal del bloque B.

Elemento	Detalle
Breaker principal	350 A.
2 conductores para cada fase	Nº 4/0 AWG TTU.
1 conductor de neutro	Nº 4/0 AWG desnudo.
1 conductor de tierra	Nº 2/0 AWG.

Datos del tablero principal del bloque A. En la figura 8, se aprecia el tablero principal del bloque A compuesto por:



Figura 8. Tablero principal del bloque A

Tabla 4. Componentes del tablero principal del bloque A.

Elemento	Detalle
Breaker principal	350 A.
2 conductores para cada fase	Nº 4/0 AWG TTU.
1 conductor de neutro	Nº 4/0 AWG desnudo.
1 conductor de tierra	Nº 2/0 AWG.

Análisis del sistema eléctrico actual del bloque A. A continuación, se realiza un análisis del estado actual del sistema eléctrico del bloque A, basado en las mediciones realizadas, con el fin de identificar si los parámetros eléctricos se encuentran dentro de los límites establecidos por la regulación CONELEC 004-01.

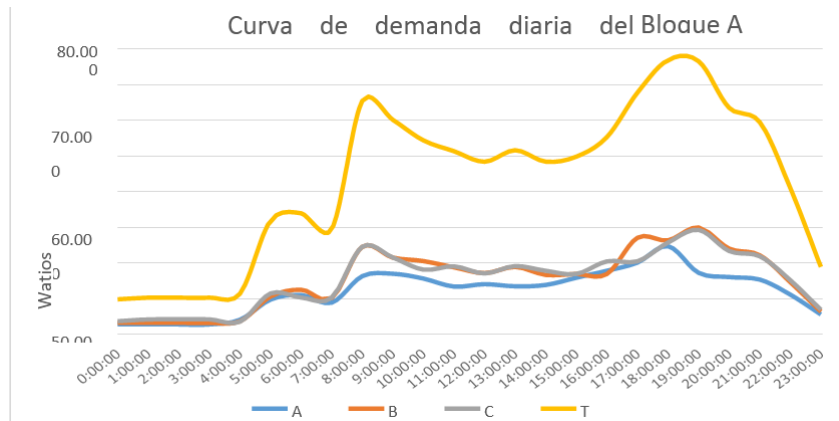


Figura 9. Curva de demanda diaria de un día típico del bloque A

En la figura 9, se puede apreciar la curva de demanda diaria del bloque A, esta muestra el comportamiento de las cargas conectadas a este edificio durante un día típico, de la cual se puede concluir lo siguiente: La demanda mínima corresponde a la iluminación del edificio que permanece en funcionamiento tras concluir las actividades de la institución, presenta un valor de 9.887 W con un periodo de duración de 24:00 a 04:00 horas; Existe un incremento de 23.000 W de 04:00 h a 06:00 h, debido a las rondas que realiza el personal de guardia por este edificio; La demanda máxima se presenta a las 18:00 h con un valor de 76.990 W; y la demanda promedio del sistema en el día es de 43.202 W.

Factor de carga. De acuerdo a los datos obtenidos de la curva de demanda diaria y aplicando la ecuación 6, se obtuvo que el factor de carga del edificio presenta un valor de $F_c = 0,56$. Lo que muestra que a lo largo del día la demanda no presenta grandes fluctuaciones.

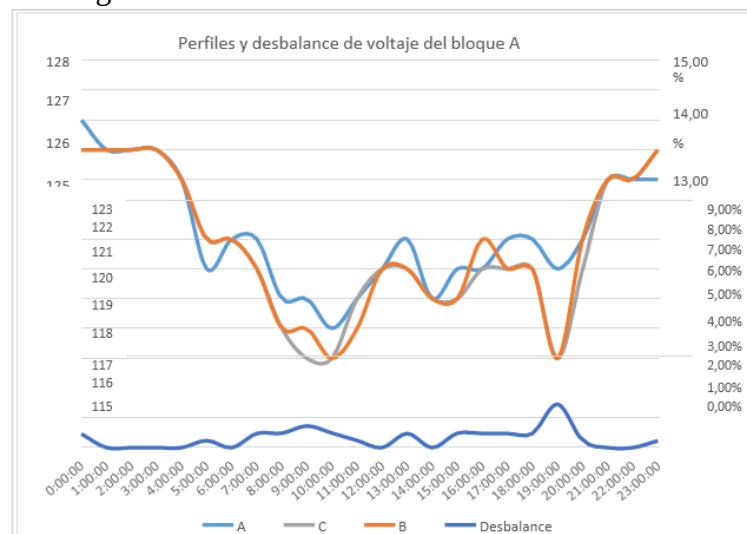


Figura 10. Perfiles y desbalance de voltaje del bloque A en un día típico.

En la **figura 10**, se puede apreciar los valores de voltaje de la fase A, B y C, en las barras del tablero principal del bloque A durante un día típico. También presenta el desbalance de voltaje en porcentaje,

donde se aprecia que el valor máximo es de 1.68%, el cual se presenta en demanda máxima, por lo tanto este parámetro se encuentra dentro de los límites admisibles según la regulación CONELEC 004/01.

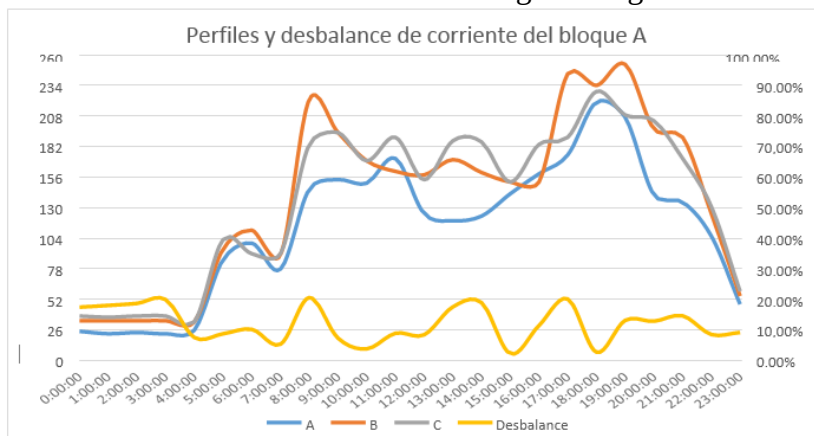


Figura 11. Perfiles y desbalance de corriente del bloque A en un día típico.

En la figura 11, se aprecia los perfiles de corriente de un día tipo del bloque A, donde la corriente en cada fase empieza a incrementar a partir de las 04:00 y disminuye a partir de las 23:00 horas, debido a que la demanda está directamente relacionada con las actividades del cuerpo docente, administrativo y estudiantil del edificio. También se observa el desbalance de corriente en porcentaje que se produce a lo largo del día, presentando valores máximos de 20.65% a las 08:00 h y 20,20% a las 17:00 h, este último valor es más importante, ya que en esa hora la demanda se aproxima a su valor máximo y los efectos por desbalance afectarán a más equipos.

Análisis de las protecciones en el bloque A.

Las protecciones termo-magnéticas que se encuentran en el tablero principal y tableros secundarios de este bloque, están bien dimensionadas, por lo que no se deberán tomar acciones con respecto a este parámetro.

Caída de voltaje en el tablero principal del bloque A. Para el análisis de caída de voltaje se realizó un cuadro estadístico con los índices de voltaje de acuerdo a los siguientes escenarios que se presentan en el día: Demanda mínima; Incremento de demanda; Demanda media; Demanda máxima; Decremento de demanda.

Tabla 5. Resumen de las mediciones de voltaje del tablero principal del bloque A.

Escenario	HORAS		FASE	VOLTAJE (V)		
	Inicio	Fin		Máximo	Promedio	Mínimo
Demanda mínima	0:00:00	6:00:00	A	126,0	125,0	122,0
			B	126,0	124,8	121,0
			C	126,0	124,8	121,0
Incremento de demanda	6:00:00	9:00:00	A	123,0	120,7	117,0
			B	123,0	120,2	116,0
			C	123,0	120,0	116,0
Demanda media	9:00:00	14:00:00	A	124,0	120,8	118,0
			B	123,0	120,3	117,0

			C	123,0	120,5	118,0
Demanda máxima	14:00:00	20:00:00	A	123,0	121,5	119,0
			B	123,0	120,7	117,0
			C	123,0	120,3	119,0
Decremento de demanda	20:00:00	0:00:00	A	127,0	124,0	122,0
			B	126,0	124,3	122,0
			C	126,0	124,3	122,0

En la tabla 5, se puede evidenciar que el valor medido en las barras del tablero Principal del Bloque A es de 120 V, que corresponde aproximadamente a un 95% del voltaje nominal, este valor perdura durante 16 horas, por otro lado, durante las 8 horas restantes, que corresponde al decremento de carga y carga mínima, se puede evidenciar un voltaje en barras que llega aproximadamente a 124,46 que corresponde a un 98% del valor nominal. La caída de voltaje durante las horas laborables es aproximadamente del 5%, por lo cual se encuentra fuera del límite establecido por la regulación CONELEC 004/01 y considerando que este valor se presenta en el tablero principal, los tableros secundarios se verán más afectados.

Análisis del sistema eléctrico actual del bloque B

A continuación, se realiza un análisis del estado actual del sistema eléctrico del bloque B, basado en las mediciones realizadas, con el fin de identificar si los parámetros eléctricos se encuentran dentro de los límites establecidos por la regulación CONELEC 004-01.

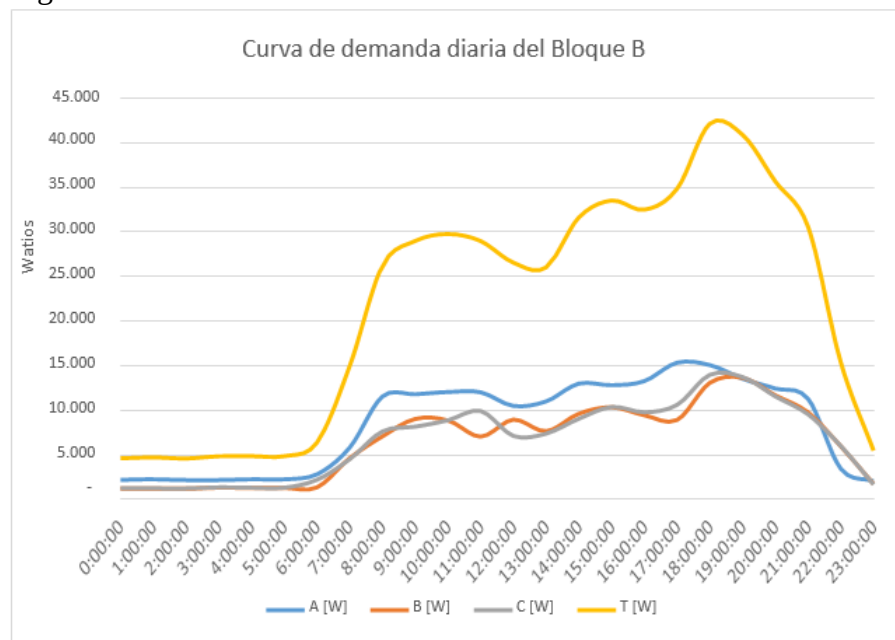


Figura 12. Curva de demanda diaria de un día típico del bloque B

En la figura 12, se puede apreciar la curva de demanda diaria del bloque B, esta muestra el comportamiento de las cargas conectadas a este edificio durante un día típico, de la cual se puede concluir lo siguiente: La demanda mínima corresponde a la iluminación del edificio que permanece en funcionamiento tras concluir las actividades de la institución, presenta un valor de 4.600 W con un periodo

de duración de 24:00 y 06:00 horas. El incremento de carga empieza a las 06:00 h, hora en la cual los auxiliares de servicio empiezan su trabajo en el edificio. La demanda máxima se presenta a las 18:00 h con un valor de 42.118 W. La demanda promedio del sistema en el día es de 21.472 W.

Factor de carga. De acuerdo a los datos obtenidos de la curva de demanda diaria y aplicando la ecuación 6, se obtuvo que el factor de carga del edificio presenta un valor de $F_c = 0,51$. Lo que muestra que a lo largo del día la demanda no presenta grandes fluctuaciones.

En la **figura 13**, se puede apreciar los valores de voltaje de la fase A, B y C, en las barras del tablero principal del bloque B durante un día típico. También presenta el desbalance de voltaje en porcentaje, donde se aprecia que el valor máximo es de 1.1%, el cual se presenta en demanda media, por lo tanto, este parámetro se encuentra dentro de los límites admisibles según la regulación CONELEC 004/01.

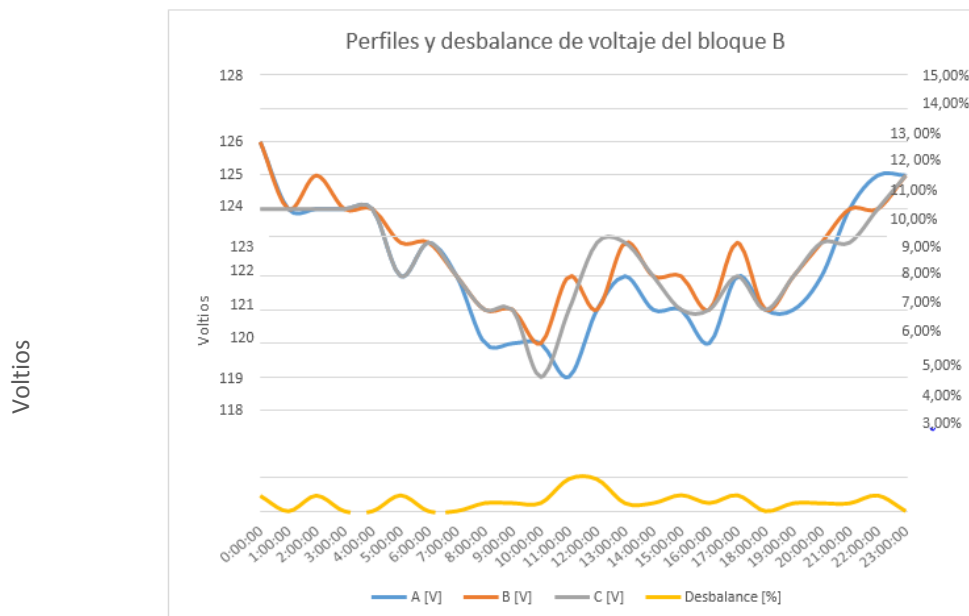


Figura 13. Perfiles y desbalance de voltaje del bloque B en un día típico.

En la **figura 14**, se aprecia los perfiles de corriente de un día tipo del bloque B, donde la corriente en cada fase empieza a incrementar a partir de las 06:00 y disminuye a partir de las 23:00 horas, debido a que la demanda está directamente relacionada con las actividades del cuerpo docente, administrativo y estudiantil del edificio. También se observa el desbalance de corriente en porcentaje que se produce a lo largo del día, presenta valores máximos de 42,86% a las 02:00 h y 37,33% a las 11:00 h, en esos periodos de tiempo se presenta una demanda mínima y media respectivamente, sin embargo, el momento más próximo a demanda máxima es a las 17:00 h, en la cual se produce un desbalance de 8,88%.

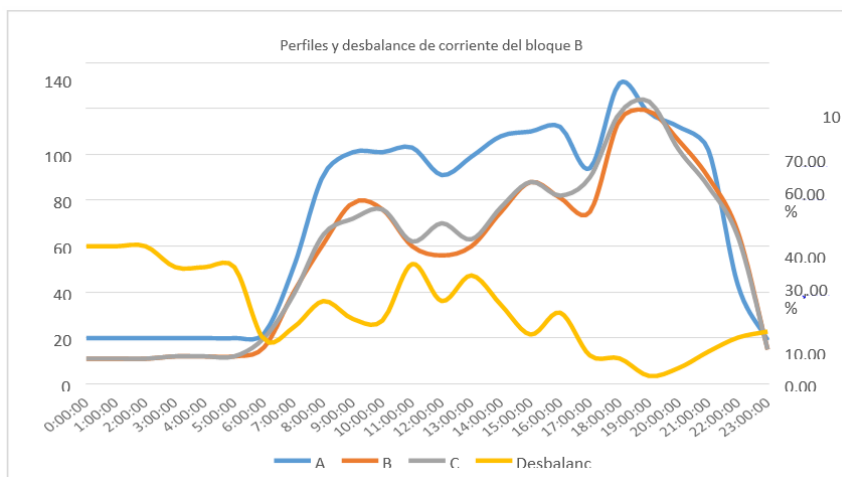


Figura 14. Perfiles y desbalance de corriente del bloque B en un día típico.

Análisis de las protecciones en el bloque B.

Las protecciones termo-magnéticas que se encuentran en el tablero principal y tableros secundarios de este bloque, están bien dimensionadas, por lo que no se deberán tomar acciones con respecto a este parámetro.

Caída de voltaje en el tablero principal del bloque B. Para el análisis de caída de voltaje se realizó un cuadro estadístico con los índices de voltaje de acuerdo a los siguientes escenarios que se presentan en el día: Demanda mínima; Incremento de demanda; Demanda media; Demanda máxima; Decremento de demanda.

Tabla 6. Resumen de las mediciones de voltaje del tablero principal del bloque B.

Escenario	HORAS		FASE	VOLTAJE (V)		
	INICIO	FIN		Máximo	Promedio	Mínimo
Demanda mínima	0:00:00	6:00:00	A	127,00	123,86	120,00
			B	126,00	124,14	120,00
			C	126,00	123,57	120,00
Incremento de demanda	6:00:00	9:00:00	A	123,00	120,67	118,00
			B	124,00	121,33	118,00
			C	124,00	121,33	118,00
Demanda media	9:00:00	14:00:00	A	123,00	120,60	118,00
			B	124,00	121,60	117,00
			C	124,00	121,60	117,00
Demanda máxima	14:00:00	20:00:00	A	124,00	121,17	119,00
			B	124,00	122,00	119,00
			C	125,00	121,67	119,00
Decremento de demanda	20:00:00	0:00:00	A	126,00	124,67	123,00
			B	126,00	124,33	123,00
			C	126,00	124,00	122,00

En la tabla 6, se puede evidenciar que el valor medido en las barras del tablero Principal del Bloque B es de 121,3 V que corresponde aproximadamente a un 95,5% del voltaje nominal, este valor perdura durante 14 horas, por otro lado, durante las 10 horas restantes, que corresponde al decremento de carga y carga mínima, se puede evidenciar un voltaje en barras que llega aproximadamente a 124,1 V que corresponde al 97,7% del valor nominal. La caída de voltaje durante las horas laborables es aproximadamente del 4,5%, por lo cual se encuentra fuera del límite establecido por la regulación CONELEC 004/01 y considerando que este valor se presenta en el tablero principal, los tableros secundarios se verán más afectados.

Pérdidas en el transformador. Para los cálculos de pérdidas de potencia se comparó los resultados obtenidos de las ecuaciones que proporciona la norma NTE INEN 2115, para transformadores mayores de 150 kVA hasta 800 kVA, con los datos proporcionados por el fabricante.

Tabla 7. Pérdidas en el transformador de 300KVA

Ecuación	Potencia de Pérdidas calculada [W]	Potencia de Pérdidas del fabricante [W]
$P_o = 13,27 \times P_n^{0,7093}$	758,39	758
$P_c = 10,465 \times P_n + 537$	3676,5	3677

Se consideró los datos del fabricante por ser los reales y empleando la ecuación 10, se calculó en intervalos de 10 minutos las pérdidas en el cobre y en el hierro. A continuación, se presenta en la tabla 8 un resumen de los resultados mencionados en intervalos de 1 hora:

Tabla 8. Resumen del cálculo de pérdidas del transformador en un día típico

Tiempo	kW	FP	KVA	kWh en intervalo	kWh acumulado	Pérdidas sFe [kW]	Pérdidas sCu [kW]	Pérdidas totales [kW]	Pérdidas totales acumulado [kWh]
0:00:00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,758	0,0000	0,7580	0,7580
1:00:00	24,44	0,893	27,39	4,07	24,16	0,758	0,0307	0,7887	4,7285
2:00:00	24,15	0,891	27,11	4,03	52,57	0,758	0,0300	0,7880	4,7302
3:00:00	23,56	0,885	26,63	3,93	80,31	0,758	0,0290	0,7870	4,7224
4:00:00	23,73	0,889	25,00	3,96	107,94	0,758	0,0255	0,7835	4,7190
5:00:00	30,41	0,889	34,19	5,07	136,62	0,758	0,0478	0,8058	4,7400
6:00:00	52,00	0,912	57,00	8,67	187,74	0,758	0,1327	0,8907	5,1834
7:00:00	43,43	0,898	48,37	7,24	246,68	0,758	0,0956	0,8536	5,3105
8:00:00	82,74	0,938	88,20	13,79	319,98	0,758	0,3178	1,0758	5,8361
9:00:00	123,86	0,936	132,37	20,64	449,44	0,758	0,7159	1,4739	8,3130
10:00:00	133,27	0,948	140,54	22,21	602,93	0,758	0,8070	1,5650	9,4039
11:00:00	134,15	0,942	142,41	22,36	759,37	0,758	0,8286	1,5866	9,5130
12:00:00	121,51	0,924	131,56	20,25	906,11	0,758	0,7071	1,4651	8,9390
13:00:00	106,18	0,925	114,73	17,70	1038,57	0,758	0,5378	1,2958	8,1385

14:00:00	103,66	0,922	112,43	17,28	1158,02	0,758	0,5164	1,2744	7,5606
15:00:00	118,23	0,937	126,21	19,71	1286,51	0,758	0,6508	1,4088	8,0573
16:00:00	134,15	0,940	142,78	22,36	1431,48	0,758	0,8329	1,5909	8,9146
17:00:00	124,70	0,938	132,98	20,78	1578,26	0,758	0,7225	1,4805	8,8295
18:00:00	163,76	0,943	173,72	27,29	1749,12	0,758	1,2330	1,9910	10,8214
19:00:00	164,89	0,942	175,10	27,48	1943,95	0,758	1,2526	2,0106	12,2921
20:00:00	160,10	0,945	169,35	26,68	2133,61	0,758	1,1717	1,9297	11,7907
21:00:00	134,40	0,942	142,74	22,40	2300,91	0,758	0,8324	1,5904	10,0188
22:00:00	108,65	0,927	117,16	18,11	2444,49	0,758	0,5608	1,3188	8,6773
23:00:00	56,07	0,873	64,21	9,35	2537,01	0,758	0,1684	0,9264	6,2563
0:00:00	25,91	0,898	28,86	4,32	2580,19	0,758	0,0340	0,7920	4,9057
TOTAL									183,1598

En la tabla 8 se muestra que la energía total perdida en el día es de 183,16 kWh, lo que representa un 7,1% de la energía total aprovechada en ese día.

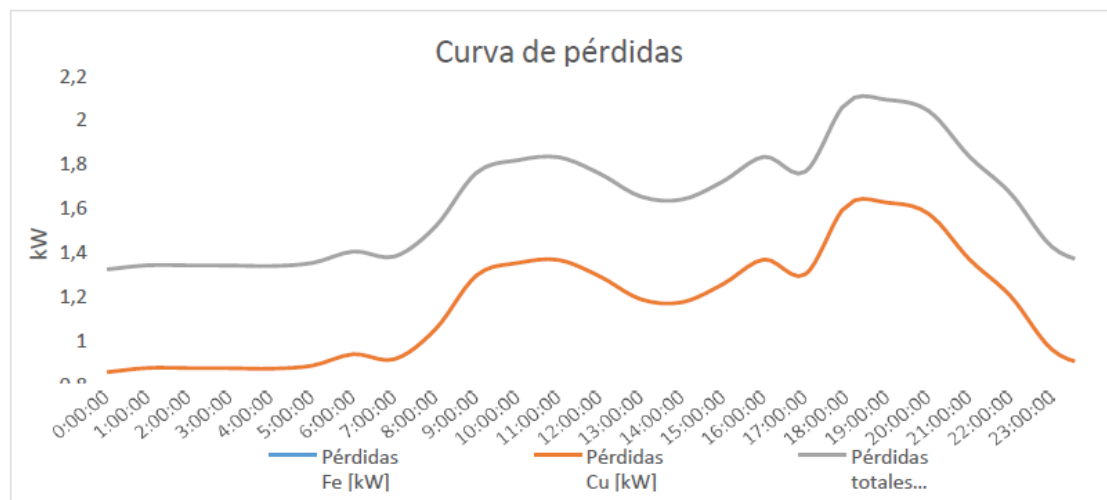


Figura 15. Pérdidas de acuerdo a la curva de demanda diaria del transformador.

En la figura 15, se puede observar que la potencia perdida en demanda máxima es de 0,68 kWh, en demanda media varía entre 0,33 y 0,37 kWh y para demanda mínima bordea los 0,1 y 0,05 kWh. También se puede apreciar que las pérdidas en el hierro tienen un valor de 0,758 kW y son constantes durante el día, ya que estas pérdidas se deben a la corriente de magnetización que necesita el transformador y son independientes de la demanda a la que esté trabajando. Las pérdidas totales que se producen en el día, resultado de la suma entre las pérdidas en cobre en el hierro, estas pérdidas presentan un valor de 1,991 kWh en demanda máxima.

Conclusiones

En el proceso de mediciones se observó que no existe una nomenclatura definida en los tableros, por lo que es difícil identificar cada circuito, a esto se le suma la incorporación de carga sin previa planificación a

breakers trifásicos que fueron diseñados previamente para una potencia menor.

La demanda máxima en el bloque A de la UTC, en un día típico se produce a las 18:00 horas y registra un valor de 81,688 KVA, lo que representa el 27,23% de la potencia disponible del sistema, encontrando que la fase B cubre una mayordemanda con respecto a las otras fases.

La demanda máxima en el bloque B de la UTC, en un día típico se produce a las 18:00 horas y registro un valor de 43,764 KVA, lo que representa el 14,59% de la potencia disponible del sistema, encontrando que la fase A cubre una mayordemanda con respecto a las otras fases.

En el bloque A identificamos que el nodo crítico está ubicado en el tablero SLPB que corresponde a la zona de la biblioteca, donde se encuentra el mayor porcentaje de caídas de voltaje teniendo valores de 116,76V, se encuentra fuera del límite con un 8,1%, esto se debe a que hay una gran cantidad de usuarios en este circuito a lo largo del día.

En el bloque B identificamos que el nodo crítico está ubicado en el tablero BPA3 que corresponde al tercer piso alto del bloque B, donde se encuentra el mayor porcentaje de caídas de voltaje teniendo valores de 118,058V, se encuentra fuera del límite con un 7%, en este circuito se encuentra la mayor carga instalada de 28,9KW que corresponde a las salas de docentes.

El problema de caída de voltaje dentro de las instalaciones del bloque A y B es general esto se debe a que el voltaje que llega a las barras de los tableros principales presenta valores entre el 94% y 95% del nominal más la caída de voltaje de cada carga produce que los índices se encuentren fuera de los límites permitidos.

Una solución para mitigar el desbalance en el bloque A es, balancear cargas de acuerdo a la distribución propuesta por cada sub tablero como se indica en el anexo 15 de los resultados obtenidos con el flujo de carga desbalanceada del software, dando como resultado una cargabilidad en la fase A del 33,33% en la fase B del 33,14% y en la fase C del 33,53%, con una reducción del 3% de la sobre carga presentada en la fase B.

Una solución para mitigar el desbalance que existe en el bloque B es, balancear cargas de acuerdo a la distribución propuesta por cada sub tablero como se indica en el anexo 16 de los resultados obtenidos con el flujo de carga desbalanceada del software, dando como resultado una cargabilidad en la fase A del 32,98% en la fase B del 34,91% y en la fase C del 32,12%, con una reducción así el 8% de la sobre carga presentada en la fase A.

Se propone cambiar la posición del tap, de la actual a la cuarta posición lo que producirá el suficiente incremento en el lado de bajo voltaje, para reducir las caídas de voltaje existentes, tomando en cuenta que al realizar esta acción los sobre voltajes que se producirán en los bloques analizados no sobrepasará el 8%.

Estas acciones de mitigación se las puede realizar con el equipo de mantenimiento de la universidad, las mismas que se planifican para un tiempo de ejecución de 11 días laborables, que representa un costo de \$ 477,12.

Referencias

- Pérdidas en un transformador. (n.d.). Obtenido Febrero 17, 2017, de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3015/html/135_prdidas_en_un_transformador.html
- Balbuena, R. (2013). Evaluación del comportamiento de los flujos de potencia del nodo principal con la entrada del nuevo turbogenerador de 25 MW en la Empresa Ernesto Che Guevara.

- Basantes, J., & Lalaleo, D. (2015). “Análisis de la demanda eléctrica para realizar un diagnóstico de la calidad de energía en el hospital del instituto ecuatoriano de seguridad social (iess) de la ciudad de ambato en el año 2015.” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
- Byron, F. (2012). Análisis técnico de la operación del alimentador nº 2 de la s/e otavalo, dela empresa eléctrica emelnorte S.A. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD.
- Cajamarca, A., & Sigua, X. (2010). Cargabilidad en transformadores de potencia, incidencia en la vida útil, pérdidas de energía y condiciones operativas. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.
- Campos, J., Lora, E., Meriño, L., Tovar, I., Navarro, A., Ciro, E., ... Castrillón, R. (2007). Eficiencia energética en transformadores eléctricos. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/transformadores.pdf>
- Campoverde, D., & Sánchez, J. (2012). Determinación De La Demanda En Transformadores, Para Los Servicios De La Comercialización En Base a Los Usos De Energía, En La Empresa Electrica Regional Centro Sur Para La Ciudad De Cuenca. UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/685/1/te317.pdf>
- Carrera, E., & Ordoñez, F. (2011). Análisis de calidad de energía en TAGSA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL.
- Castaño, S. R. (2004). Redes de distribución de energía (Tercera). Manizales. Obtenido de https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-2-5%7Bed3.0.RLV%7Den.pdf
- CONELEC. REGULACION No. CONELEC – 004/01 (2001).
- Corporation, F. (2012). Fluke 434-II/435-II/437-II.
- De Armas, M., Gómez, J., & Pérez, C. (2007). Análisis de un sistema de potencia desbalanceado mediante herramientas estadísticas. empleo de coeficientes complejos y modelación por redes neuronales artificiales. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 31–38.
- Ecomec, tecnologia. (2009). Desbalance de Tensiones en sistemas trifásicos. Obtenido de <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/bajarnotaa0909.pdf>
- Fata, O., Bonavita, E., Albanese, A. a, & Pascual, H. O. (2010). Determinación del factor decarga de pérdidas de energía en redes eléctricas de media tensión mediante el uso de redes neuronales. CIDEL Argentina, 1–6.
- Gonzales, A., Borges, D., & León, V. (2012). Estimación de la demanda en sistemas eléctricos de baja tensión en condiciones de desbalance.
- Holguín, M., & Gomez, D. (2010). Análisis de calidad de energía eléctrica en el "Nuevocampus" de la Universidad Politécnica Salesiana. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE – GUAYAQUIL.
- IEEE Transmission and Distribution Committee. (2009). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995). <http://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5154067>
- JAMI, F. (2003). DESBALANCE DE VOLTAJE. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Latincasa. (2005). Selección de Calibre de un conductor eléctrico-NOM-001-SEDE-2005.

- Retrieved from <http://www.latincasa.com.mx/ES/informaciontecnica/Info tecnica/Selección de calibre en cables para construcción.pdf>
- Mindiola, J. (2012). Diseño eléctrico del área de emergencia y servicios anexos de un hospital de última generación proyecto. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5188/1/CD-4567.pdf>
- GENERADORES (2000).
- NORMALIZACIÓN, I. E. DE. Transformadores de distribución nuevos trifásicos. valores decorriente sin carga, pérdidas y voltaje de cortocircuito. Primera, 2115INEN (2004). Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2115.2004.pdf>
- Pérez Miguel, A. A., Bravo de Medina, N., & Llorente Antón, M. (2004). La amenaza de losarmónicos y sus soluciones. Thomson-Paraninfo.
- Pilamunga, J. (2009). Análisis del factor de carga y del factor de diversidad para el diseñoeléctrico de centros comerciales populares del municipio de quito. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- TECNOLOGÍA, M. D. C. Y. (2011). Cálculo de caídas de tensión. MINISTERIO DECIENCIA Y TECNOLOGÍA, 1–14.
- Usuario, E. 12. . ® G. del, & Operation Technology, I. (2014). ETAP 12.6 Guía del Usuario. Obtenido de <http://ingenieriaelectromecanica-rfzm.blogspot.com/2016/07/guia-de- usuario-etap-126.html>
- Yébenes, C. (2009). Gestión de la cargabilidad de transformadores de potencia. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR.