

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



EVALUACIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS DESBALANCEADAS EN SISTEMAS TRIFÁSICOS EN BAJA TENSIÓN

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

DARWIN CELIN PADILLA GUTIERREZ

**PROMOCIÓN
2005- II**

**LIMA – PERÚ
2010**

**EVALUACIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS
DESBALANCEADAS EN SISTEMAS TRIFÁSICOS EN
BAJA TENSIÓN**

Dedico este trabajo a mis padres por su apoyo y cariño; A mi adorada Jakeline; a mi hija Elena.

A mi asesor, al especialista y al director del programa de titulación, por sus consejos y por guiarme en este trabajo, y a todos aquellos amigos que me ayudaron y han contribuido a la realización de este informe.

SUMARIO

En el presente Informe de Suficiencia se muestra la evaluación de las tensiones y corrientes armónicas detectadas en la sub estación que alimenta a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el año 2008. Para estas mediciones se empleo un equipo analizador de redes UNPOWER el cual registró los diferentes parámetros eléctricos por un periodo de 07 días a intervalos de 05 minutos. Se presentan los resultados de las mediciones y con ellos se determinara cuales son las armónicas de mayor valor presente en la red de media tensión, finalmente se presentaran simulaciones (ETAP) para determinar el mejor valor del filtro pasivo a instalar para resolver el problema de contaminación armónica en la red.

ÍNDICE

PROLOGO.....	1
CAPITULO I	
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Evaluación del problema.....	2
1.3 Mediciones en la Universidad Nacional de Ingeniería	3
CAPITULO II	
MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	5
2.1 Distorsión de la forma de Onda – Armónicos.....	5
2.1.1 Armónicos	5
2.1.2 Inter-armónicos.....	6
2.1.3 Sub-armónicos	6
2.2 Modelado de sistemas eléctricos en presencia de armónicos.....	6
2.2.1 Modelado de elementos lineales.....	7
2.2.2 Modelo de los elementos no lineales.....	10
CAPITULO III	
EFFECTOS DE LOS ARMONICOS	11
3.1 Anomalías en las redes eléctricas	11
3.1.1 Sobre los instrumentos de medición.....	12
3.1.2 Interferencia telefónica.....	13
3.1.3 Calentamiento de condensadores.....	14
3.1.4 Perdidas adicionales en maquinas y transformadores por corrientes armónicas.....	14
3.1.5 Calentamiento de cables y equipos debido a corrientes armónicas.....	14
3.1.6 Efectos en Filtros Pasivos.....	15
3.1.7 Efectos en los equipos electrónicos sensibles.....	15
3.1.8 Efectos en el conductor de neutro.....	15
3.1.9 Efecto pelicular.....	16
CAPITULO IV	

EVALUACIÓN DE TENSIÓN Y CORRIENTES ARMONICAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	17
4.1 Registros de las mediciones de tensiones armónicas en la FIEE	17
4.2 Registros de las mediciones de corrientes armónicas en la FIEE	24
4.3 THD obtenido de las mediciones	31
4.4 Valores de THD del Sistema FIEE.....	32
4.5 Armónicas de tensión en el Sistema FIEE.....	32
4.6 Corrientes armónicas en el Sistema FIEE.....	33
CAPITULO V	
ALTERNATIVA DE SOLUCION.....	34
5.1 Hipótesis de la simulación.....	34
5.2 Componentes de la simulación	34
5.2.1 Generador equivalente, barra swing	34
5.2.2 Transformador equivalente al sistema FIEE	34
5.2.3 Carga estática.....	35
5.3 Simulaciones en el Software ETAP.....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
ANEXOS	42
ANEXO A: AST-MCO-001 PRUEBAS ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS M.T	43
ANEXO B: Especificaciones técnicas del software ETAP	48
Anexo C: Diagramas Unifilares.....	54
BIBLIOGRAFIA	57

PROLOGO

Los problemas que se presentan en la calidad de suministro eléctrico se originan por problemas de topología eléctrica, despacho, planeamiento eléctrico deficiente, contaminación armónica y otros factores más que forman parte de las redes eléctricas.

En este informe si bien se aborda el tema del desbalance de las corrientes armónicas se hará un paréntesis para mostrar la distorsión de la onda de tensión y mostrar el gráfico de THD encontrado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (FIEE).

La inclusión de filtros permitirá eliminar o reducir los armónicos en el Sistema FIEE y evitar que los equipos electrónicos y demás cargas conectadas al sistema dejen de operar debido a los efectos de las tensiones y corrientes armónicas, las pérdidas debido a fallas de los centros de computo provocan daños económicos muy graves así como demoras en los procesos debido a la pérdida total o parcial de información, también como consecuencia de la contaminación de la red los equipos se están deteriorando y reduciendo su vida útil.

CAPITULO I

EVALUACIÓN DE LAS CORRIENTES Y TENSIONES ARMÓNICAS

1.1 Antecedentes

La Universidad Nacional de Ingeniería (en adelante UNI) tiene tres suministros en media tensión los cuales se listan:

- 1.- Suministro N° 1696820, con una potencia contratada de 1000 kW en el nivel de tensión de 10kV; con punto de entrega en la SS-400.
- 2.- Suministro N° 377919, con una potencia contratada de 1000 kW en el nivel de tensión de 10kV, con punto de entrega en la SS-1522.
- 3.- Suministro N° 715030, con una potencia contratada de 200 kW en el nivel de tensión de 10kV.

La Universidad en el año 2008 contrato los servicios de una empresa especializada en análisis de calidad y eficiencia energética para que realice mediciones las cuales tenían el objetivo de determinar la calidad de energía de la UNI. La Universidad proporciono los planos, la información necesaria y las facilidades de acceso para disponer de la instalación de equipos analizadores de energía.

1.2 Evaluación del problema

El presente Informe de Suficiencia presenta la información recogida de las mediciones hechas a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (en adelante FIEE).

El equipo técnico estuvo conformado por dos técnicos electricistas calificados cuya función fue la de retiro e instalación de los equipos, copiar los datos del equipo a una laptop, etc. Y para el trabajo de gabinete se conto con un ingeniero electricista responsable del trabajo. Los equipos analizadores de energía instalados fueron los UNIPOWER (se anexa información sobre el equipo) y se dispuso de 03 equipos en total. Los resultados de las mediciones de corriente y tensión armónica se muestran en el Capítulo IV del presente informe.

Como comentario, la memoria de los equipos permitían que se dejaran instalados varios días en un punto de medición y luego trasladarlo a otro punto para continuar midiendo durante 07 días sin necesidad de cambiar el setting del equipo pero si era necesario reemplazar la memoria del equipo por otra sin información.

1.3 Mediciones en la Universidad Nacional de Ingeniería

En total se realizaron las mediciones de calidad de energía en las siguientes facultades y dependencias dentro de la Universidad:

1. Facultad de Ingeniería Civil.
2. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
3. Facultad de Ingeniería Económica.
4. Facultad de Ingeniería Mecánica.
5. Facultad de Ingeniería de Minas.
6. Facultad de Ingeniería Química.
7. Facultad de Ingeniería Sistemas.
8. Facultad de Arquitectura.
9. Gran Teatro del Norte.
10. Centro de Cómputo.
11. Pabellón Central.

En todos los casos se conto con el apoyo y la supervisión de los responsables técnicos o personal de mantenimiento de las instalaciones eléctricas de las diferentes facultades de la Universidad, dado que las mediciones hechas fueron todas con los circuitos con carga, es decir ningún transformador estaba fuera de servicio en ningún momento.

Las actividades de instalación de los equipos registradores se realizaron siempre con dos personas, ambas calificadas para la tarea de instalar y desinstalar los equipos según correspondiera. Cabe destacar que para realizar las labores de medición se emplearon los mismos estándares de trabajo y se cumplieron con las mismas AST (Análisis de Seguridad en la Tarea) que EDELNOR exige para las mediciones de sub estaciones en tensión. La AST empleada fue la AST-MCO-001 Pruebas Eléctricas de Circuitos M.T. la que se encuentra en los anexos del presente informe, así como otros estándares de seguridad y calidad propios de la empresa que brindo el servicio de análisis de calidad de energía.

En el presente documento solo se mostraran los resultados de las mediciones de la FIEE. Se cuenta con información de las mediciones por fase de tensión y corrientes armónicas desde la fundamentas hasta el 40^{avo} armónico.

Con la informacion se evalua la contaminacion armonica en la red, en tensión y en corriente y el desbalance de corrientes en la FIEE.

La medición que corresponde a la FIEE se realizó en el lado de baja tensión en los alimentadores que vienen de la Facultad de Ciencias (en adelante FIC) hacia la FIEE, de esta medición se evaluan cuales son los armónicos en la red de la FIEE, se evalua el desbalance de las corrientes armónicas en el sistema trifasico en baja tensión y mediante el software ETAP (cuya información esta en los anexos) evaluar el tipo de filtro pasivo que reduce o elimina la mayor cantidad de armónicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Distorsión de la forma de Onda – Armónicos

Se da cuando las formas de onda de tensión o corriente difieren de la puramente sinusoidal, esto es ocasionado por los armónicos.

2.1.1 Armónicos

En cualquier parte del sistema de potencia se pueden presentar flujos a frecuencias diferentes, así se define a la frecuencia 50 o 60 Hz como la fundamental y a las otras frecuencias múltiplos de la fundamental se presentan como armónicas. La frecuencia fundamental la única que produce potencia activa. Las armónicas deforman la señal sinusoidal.

Tipos de armónicos

Los armónicos se pueden clasificar según su secuencia, y si son armónicos característicos o no característicos.

Según su secuencia

Se pueden clasificar en secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia homopolar

a) Secuencia positiva.- Llamados de secuencias directas o fundamentales, definen el sentido de giro de los motores.

b) Secuencia negativa.- Llamados de secuencia inversa o segundas armónicas, son los que hacen de freno al girar a la inversa se oponen al campo de frecuencia fundamental, estos armónicos son los que producen el sobrecalentamiento de los motores aunque se aprovechan estas características para frenar motores inyectando corriente continua.

c) Secuencia homopolar.- Llamados de terceras armónicas, este tipo de armónicas circula solamente por el neutro donde se suman (Ver Figura 2.1).

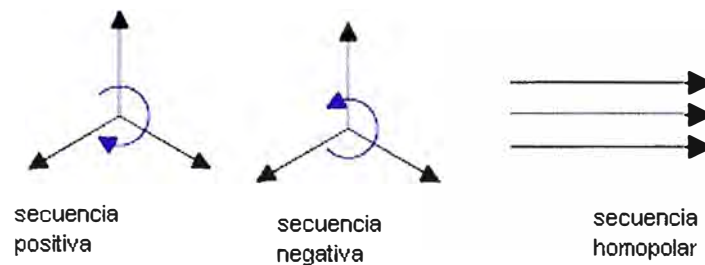


Figura 2.1 Esquema de secuencias

2.1.2 Inter-armónicos

Los interarmónicos son frecuencias que no son múltiplos de la frecuencia fundamental, pueden presentarse a frecuencias discretas. Las tensiones interarmónicas se miden en periodos de 10 min. Son generadas por ciertas cargas que demandan intensidades no sinusoidales: convertidores de frecuencia estático, cicloconvertidores, cascada de convertidores sub síncronos, motores de inducción, soldadura por arco, hornos de arco, ruido de fondo, etc. Los interarmónicos perturban esencialmente el funcionamiento de los sistemas de transmisión de señales para telemando (110Hz a 500Hz).

2.1.3 Sub-armónicos

Si la frecuencia de la señal eléctrica es inferior a la fundamental, recibe el nombre de subarmónico, ésta podría ocasionar parpadeos luminosos, perceptibles visualmente, denominados Flicker. Los Subarmónicos de muy baja frecuencia (aunque tengan una amplitud muy pequeña) pueden ocasionar grandes corrientes inductivas.

Para fines prácticos generalmente las componentes armónicas de orden elevadas (superiores a 25 o 50, dependiendo del sistema) son despreciables para el análisis del sistema de potencia, a pesar de que pueden causar interferencia en dispositivos electrónicos de baja potencia, estas usualmente no representan peligro a los sistemas de potencia. Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables.

2.2 Modelado de sistemas eléctricos en presencia de armónicos

Los sistemas eléctricos pueden modelarse a través de impedancias lineales o no lineales. Se modela con impedancias lineales a los transformadores, las líneas, las maquinas eléctricas y otras cargas, Se modela con impedancias no lineales los dispositivos de estado sólido y su técnica es conocida como modelado por inyección de corriente.

2.2.1 Modelado de elementos lineales

a) **Líneas.-** Las líneas de transmisión presentan tres modelos diferentes en función de su longitud, tensión y frecuencia, se clasifican en línea corta, media y larga (Figura 2.2), en el estudio de armónicos una línea es considerada larga cuando su longitud es mayor al 5% de la longitud de onda a la frecuencia de interés.

$$l = \frac{0.05\lambda}{n} [km] \quad (2.1)$$

Donde λ es la longitud de onda a la frecuencia fundamental, y n es el orden armónico y l es la longitud de la línea.

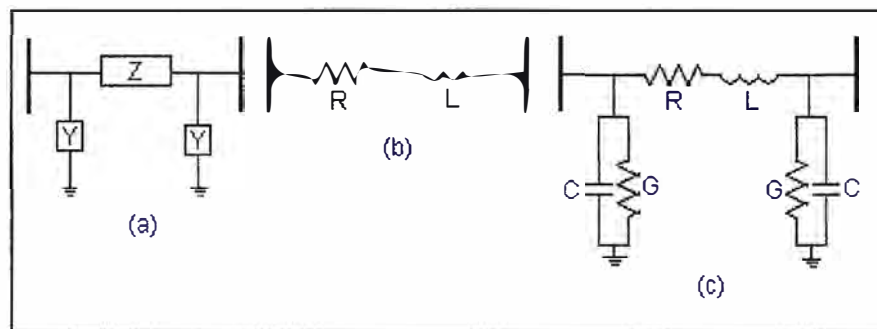


Figura 2.2 Modelos de líneas a) Línea larga b) Línea corta c) Línea media

b) **Transformador.-** Se emplean modelos que no incluyen las capacitancias entre devanados debido a que los fenómenos de resonancia se presentan a frecuencias muy altas. La Figura 2.3 a) Es la representación más simple de un transformador la Figura 2.3 b) Modelo propuesto por el grupo de investigación de la CIGRE, donde las resistencias R_p y R_s son independientes de la frecuencia y estimadas por las ecuaciones siguientes:

$$90 < \frac{V^2}{SxR_s} < 100 \quad (2.2)$$

$$13 < \frac{SxR_p}{V^2} < 30 \quad (2.3)$$

Donde V es la tensión nominal del transformador y S es la potencia nominal del transformador.

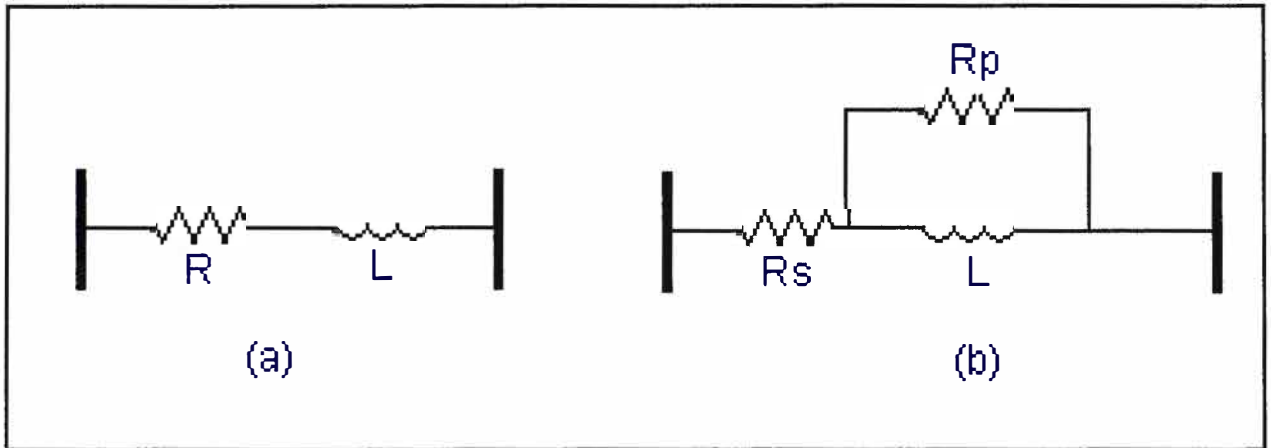


Figura 2.3 Modelamiento de transformador

c) Maquinas rotativas.- La Figura 2.4 muestra los modelos de la maquina síncrona en presencia de armónicos. Para el análisis armónico se aplican las siguientes relaciones:

$$L = \frac{X}{2 \cdot p \cdot f} \quad \text{y} \quad X = \frac{X''d + X''q}{2} \quad (2.4)$$

Donde $X''d$ es la reactancia subtransitoria del eje directo, $X''q$ es la reactancia subtransitoria del eje de cuadratura, p es el número de polos y f es la frecuencia fundamental.

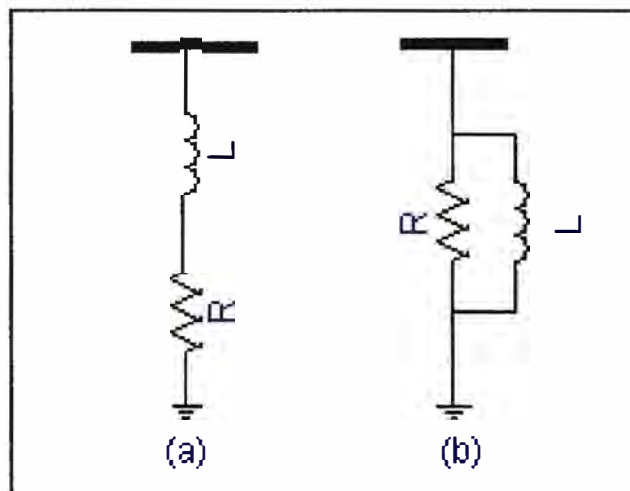


Figura 2.4 Modelos de la maquina síncrona.

d) Motores de inducción.- El modelado en presencia de armónicos se da básicamente para los modelos convencionales de frecuencia industrial. En la Figura 2.5 se muestra el modelo equivalente (teórico) donde un motor de inducción se representa como la combinación de resistencias serie y paralelo, inductancias serie y paralelo.

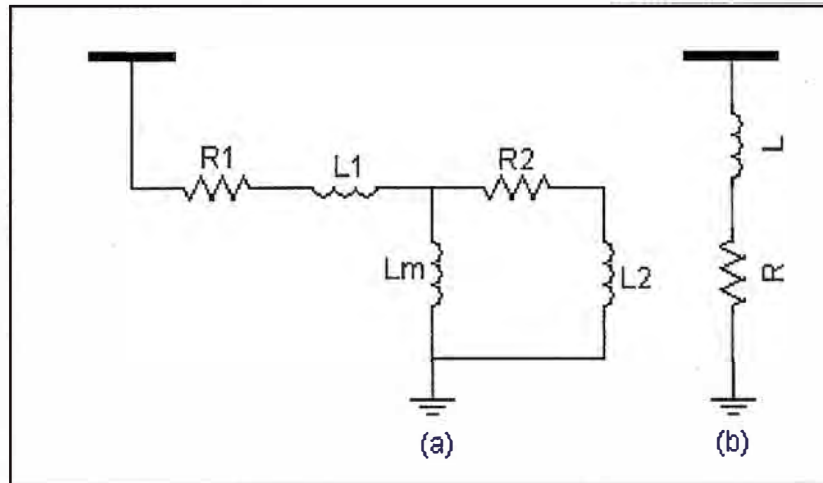


Figura 2.5 Modelos de los motores de inducción

e) **Cargas.-** Para el estudio armónico de las cargas se aplican tres tipos de configuraciones. En la Figura 2.6 se muestra el modelo teórico de las cargas más comunes en un sistema eléctrico el cual se forma con la combinación de inductancias y de resistencias. De acuerdo a lo que se desee modelar o simular podemos tener inductancias conectadas en serie y paralelo, lo cual nos da como resultado inductancias mutuas, así como las diferentes formas en que podemos incluir los valores de resistencias de las cargas.

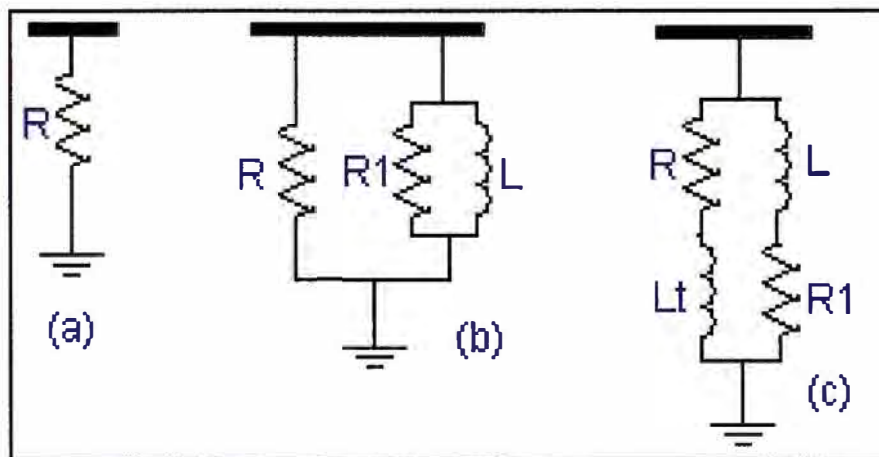


Figura 2.6 Modelos de cargas.

El modelo (a) es utilizado cuando las cargas son predominantemente resistivas. El modelo (b) representa a las cargas compuestas principalmente por motores y el modelo (c) Representa una carga compuesta por grandes motores de inducción o grupos de motores conectados directamente a tensión de subtransmisión como en el caso de cargas industriales.

2.2.2 Modelo de los elementos no lineales

Las cargas no lineales se modelan como fuentes de corriente constante para cada frecuencia armónica y son calculadas respecto a la corriente de la frecuencia fundamental. Estas inyecciones se calculan con base en las series de Fourier.

Tenemos algunos ejemplos de elementos no lineales:

Centro de cómputo, centrales telefónicas, impresoras, redes de internet, luminarias, entre otros. Todas estas cargas no se comportan como los elementos lineales en los cuales las salidas son directamente proporcionales a las entradas.

Como ocurre con las cargas resistivas que podemos hallar la relación entre la potencia consumida con la resistencia interna del equipo o con la relación que hay entre la entrada de tensión y la corriente consumida.

CAPÍTULO III

EFECTOS DE LOS ARMONICOS

3.1 Anomalías en las redes eléctricas

Muchas de las anomalías que ocasiona la circulación de corrientes de frecuencias que no son propiamente del sistema, a través de él y de los equipos conectados causando problemas de operación tanto a la empresa suministradora como al usuario se deben a las siguientes razones:

- Las frecuencias del flujo de potencia de tensiones y corrientes sobrepuestas a las ondas de flujo de 50 ó 60 ciclos originan altas tensiones, esfuerzos térmicos en los aislamientos e incrementan las pérdidas eléctricas.
- Los aparatos eléctricos son diseñados para aceptar y operar correctamente en frecuencias de 50 ó 60 ciclos pero no responden bien a diferentes frecuencias. Esto causa problemas mecánicos y en el peor de los casos falla del equipo.
- Los armónicos generados en un sistema eléctrico crean niveles altos de ruido eléctrico que interfieran con las líneas telefónicas cercanas. Frecuentemente la primera indicación de la presencia significativa de armónicos es cuando causan problemas de operación o fallas del equipo. De una forma general todos los equipos sometidos a tensiones o atravesados por corrientes armónicas sufren más pérdidas y deberán ser objeto de una disminución de clase. Por ejemplo una celda de alimentación de un condensador se dimensionara para una intensidad de 1.3 veces la corriente reactiva de compensación.
- Afectan a los equipos de control electrónicos, los tiristores conmutan según el desplazamiento del cruce por cero.
- Si la protección fuera contra sobrevoltaje y su sistema está diseñada para operar con voltajes sinusoidales estos pueden operar incorrectamente ante la aparición de ondas no sinusoidales. Si el dispositivo de protección está diseñado para responder ante valores rms de la forma de onda entonces estos cambios abruptos pudieran pasar sin ser detectados y conllevarían a la desprotección del equipo ante aquellos picos agudos dañinos, que no

conllevarían a la desprotección del equipo ante aquellos picos agudos dañinos, que no provoquen un aumento notable de la magnitud medio cuadrática censada. También ocurre el caso contrario el disparo ante valores no dañinos para el equipo protegido. En estos casos el ajuste de la protección deberá depender de las características de la forma de onda, voltajes pico y rms, tiempo de crecimiento de la onda, entre otros.

- En interruptores automáticos el aumento del valor pico de la corriente asociada con la presencia de armónicos puede dificultar la extinción del arco eléctrico.
- Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas asociadas con las corrientes armónicas causan vibraciones y ruido, especialmente en equipos electromagnéticos (transformadores, reactores, entre otros).
- Torques mecánicos pulsantes debido a campos de armónicos rotatorios que producen vibraciones en máquinas rotatorias.
- Los sistemas de comunicación experimentan interferencias debido a la existencia de armónicos.

3.1.1 Sobre los instrumentos de medición

La presencia de armónicas afecta directamente la lectura de los siguientes equipos de medición:

- Instrumento de aguja de tipo electrodinámico, son los más comunes en tableros industriales su principio de funcionamiento es tal que indican el verdadero valor efectivo (rms) de la onda. Dado que emplean inductancias y solo consideran hasta la 5th en forma fidedigna. Su mayor problema se relaciona con la calibración ya que al existir piezas metálicas giratorias el roce provoca un error de lectura.
- Instrumentos digitales con rectificador de entrada, la gran mayoría de los instrumentos digitales a la entrada poseen un rectificador de modo tal que lo que realmente miden es el valor medio de la onda rectificada. Si la onda es sinusoidal el instrumento es de buena precisión. Si la onda tiene armónicas, el instrumento mide un valor inferior al valor eficaz. En la medición de corrientes como las registradas en computadores, el instrumento mide un 30% menos que el valor efectivo de la corriente.
- Instrumentos de verdadero valor efectivo en general en estos instrumentos de tipo digital se emplea un sensor que registra la elevación de temperatura por una resistencia por la cual circula la corriente a medir. Por tanto el instrumento mide el verdadero valor efectivo de la corriente (o el voltaje) incluyendo todas las armónicas. Debido a que se mide un fenómeno térmico el instrumento no es apto para medir consumos de rápida variación; es usual que

registre una medición cada 1 ó 2 segundos. Otros equipos, de mayor calidad, miden empleando un conversor análogo-digital (llamado de doble rampa); el proceso de lectura en estos casos toma 400 milisegundos.

3.1.2 Interferencia telefónica

El ruido de teléfono es originado por voltajes y corrientes armónicas de los sistemas de potencia y se denomina generalmente Factor de Influencia Telefónica (en adelante TIF). El sistema reconoce que el ruido inducido por las corrientes o voltajes armónicas tiene un efecto subjetivo sobre el usuario del teléfono, esto se debe a que el oído humano es más susceptible a algunas frecuencias que a otras.

En la Figura 3.1 podemos ver el clásico ejemplo de una red de telefonía que está cercana o en la proximidad de una línea de energía en media tensión, por tener ambos un campo magnético y eléctrico mutuo, hay corrientes inducidas de una a la otra, siendo lo más riesgoso el campo que induce las corrientes a las redes telefónicas cercanas.

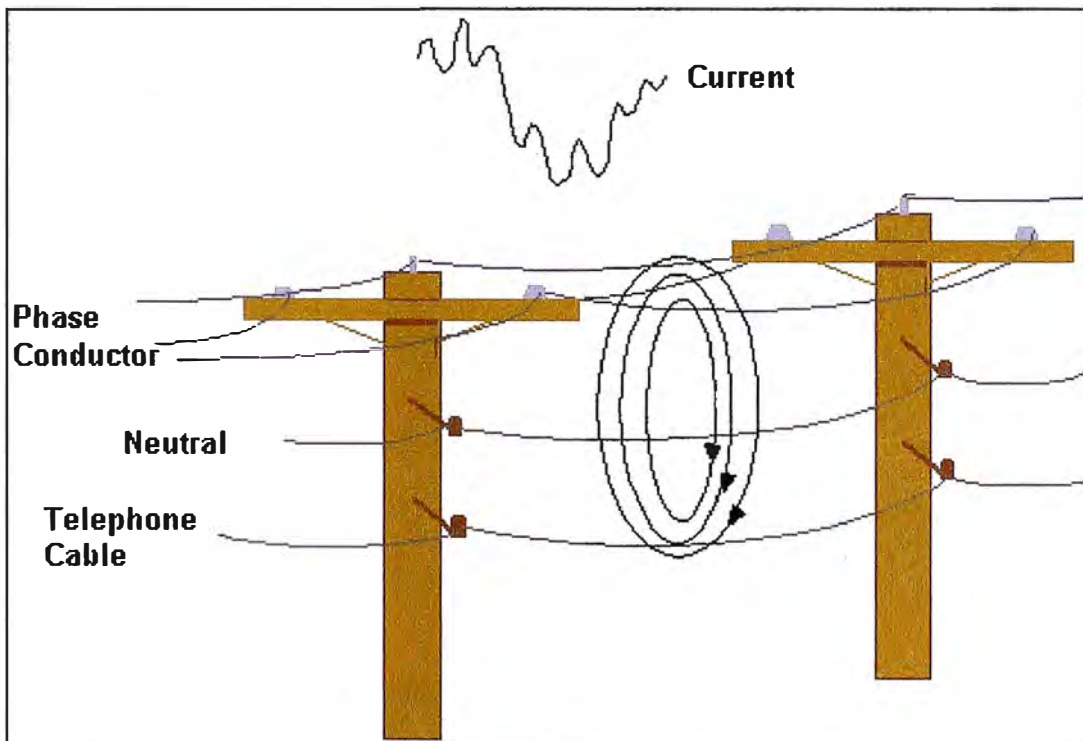


Figura 3.1 Interferencia telefónica originada por tensiones y corrientes armónicas

El factor TIF de 60 Hz está cercano a cero, indicando que los circuitos telefónicos y el oído son insensibles a esa frecuencia. Aún para los armónicos más comunes tales como el 5th o el 7th, el factor TIF es todavía despreciable. El TIF tiene su peso máximo sobre los 2600 Hz, con valores de 10,600 a esta frecuencia.

3.1.3 Calentamiento de condensadores

Las pérdidas causadas por los calentamientos se deben a dos fenómenos: conducción e histéresis en el dieléctrico. Como una primera aproximación ellas son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado para conducción y a la frecuencia para histéresis. Los capacitores son por consiguiente sensibles a sobrecargas, tanto debido a un excesivo voltaje a la frecuencia fundamental o a la presencia de tensiones armónicas. Estas pérdidas son definidas por el ángulo de pérdida δ (se representa en la Figura 3.2) del capacitor cuya tangente es la razón entre las pérdidas y la energía reactiva producida; se puede decir que la $\text{tg} \delta$ son del orden de 10^{-4} de la fundamental estos calentamientos llegan a producir perforación del dieléctrico.

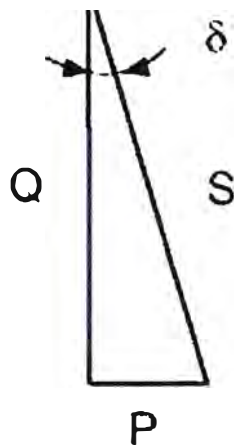


Figura 3.2 Triángulo de potencias de un condensador.

3.1.4 Pérdidas adicionales en maquinas y transformadores por corrientes armónicas

Las corrientes armónicas producen un incremento de las pérdidas particularmente en el interior del transformador. Se producen dos pérdidas relevantes:

- Las pérdidas proporcionales a la resistencia de los enrollados y a la suma de los cuadrados de las corrientes fundamentales y armónicas.
- Las pérdidas por corrientes parásitas (Corrientes de Eddy) que son proporcionales al cuadrado de la corriente armónica y al cuadrado del orden de la armónica.

3.1.5 Calentamiento de cables y equipos debido a corrientes armónicas

Las pérdidas son incrementadas en cables que conducen corrientes armónicas lo que incrementa la temperatura en los mismos. Las causas de las pérdidas adicionales incluyen:

- Un incremento en la resistencia aparente del conductor con la frecuencia debido al efecto pelicular.

- Un aumento del valor eficaz de la corriente para una misma potencia activa consumida.
- Un incremento de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento con la frecuencia si el cable es sometido a distorsiones de tensión no despreciables.

3.1.6 Efectos en Filtros Pasivos

En los filtros pasivos aparecen problemas de sobre esfuerzo del aislamiento por sobretensión o sobrecorriente en sus componentes. Como estos filtros son los más empleados en la descontaminación armónica de los sistemas eléctricos debido a su bajo costo económico y facilidad de operación; también se hace necesario tener en cuenta en el diseño de los mismos la presencia de armónicos.

3.1.7 Efectos en los equipos electrónicos sensibles

Son muchos los equipos modernos que son sensibles a las armónicas, los equipos de comunicación, computadoras, estaciones de telecomunicaciones, las tarjetas electrónicas son muy sensibles a las variaciones en el nivel de tensión que presenten en la red, es por esta razón que los sistemas de protección como la puesta a tierra debe tener una resistencia menor que 5Ω y algunos inclusive menor o igual a 1Ω .

3.1.8 Efectos en el conductor de neutro

Cuando el circuito esta balanceado, y están sujetas a las cargas monofásicas no lineales el neutro común a los tres circuitos monofásicos es portador de armónicos de secuencia cero los cuales se suman.

Bajo condiciones de desbalance, el neutro común lleva corrientes comprendidas por las corrientes de secuencia positiva procedentes el desbalance del sistema, las corrientes de secuencia negativa procedentes del desbalance del sistema y las corrientes aditivas de secuencia cero procedentes de los armónicos triples. Un conductor neutro común para tres circuitos ramales monofásicos puede fácilmente sobrecargarse cuando alimenta cargas no lineales balanceadas o desbalanceadas. En la práctica los conductores neutros de circuitos individuales portan corrientes armónicas de secuencia positiva y negativa procedentes de los desbalances de fase junto a las armónicas triples de generados por la carga.

Se muestra el siguiente ejemplo: con un 75% de 3th, la corriente que circula por el neutro es 2.25 veces la fundamental. En cambio la corriente de fase seria 1.25 veces la fundamental.

A continuación se muestra un esquema típico donde tenemos las corrientes que circulan por el circuito cuyas resistencias se consideran despreciables y tenemos fuentes de tensión

alterna a frecuencia industrial y tensión nominal de salida. Se colocan resistencias pequeñas para censar la señal de tensión y corriente con la mayor precisión posible.

En la Figura 3.3 se aprecia un clásico circuito en el que se graficaran las corrientes armónicas en las fases y al neutro.

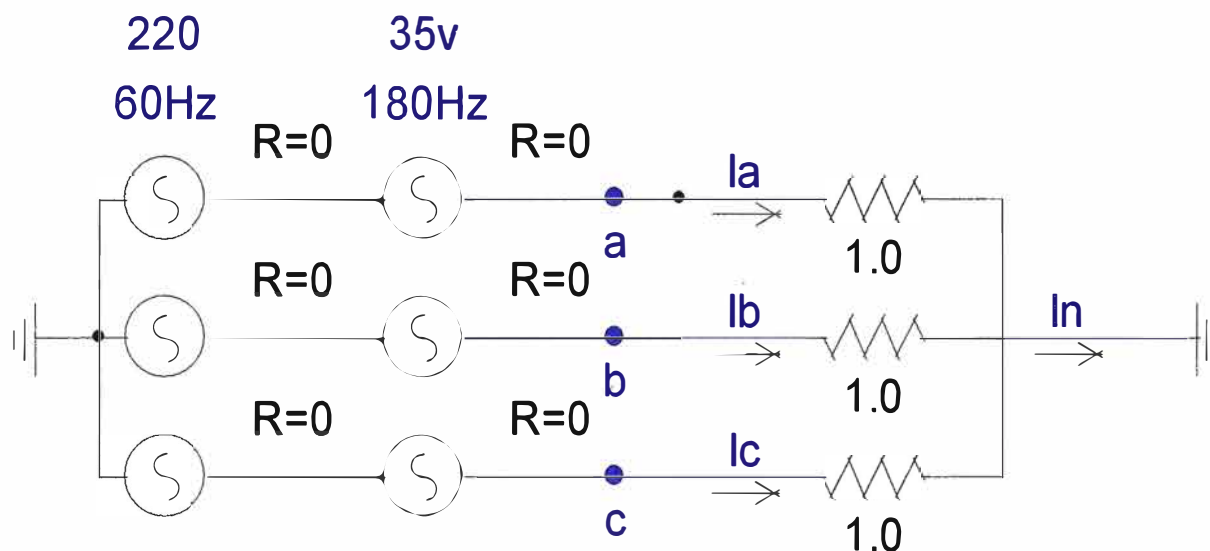


Figura 3.3 Armónicas en el neutro

3.1.9 Efecto pelicular

El efecto pelicular es el fenómeno donde las corrientes alternas de alta frecuencia fluyen cerca de la superficie más externa de un conductor en vez de fluir cerca de su centro. Esto se debe al hecho de que las concatenaciones de flujo no son de densidad constante a través del conductor, sino que tienden a decrecer cerca de la superficie más exterior disminuyendo la inductancia e incrementando el flujo de corriente. El resultado neto del efecto pelicular es que el área transversal efectiva del conductor es reducida a medida que la frecuencia es incrementada. Mientras mayor es la frecuencia menor es el área transversal y mayor es la resistencia AC. Cuando una corriente de carga armónica está fluyendo en un conductor la resistencia ante corriente alterna equivalente R_{ac} para el conductor es elevada aumentando las pérdidas de cobre $I^2 R_{ac}$. Este es el efecto que provoca que numerosos equipos a diferentes niveles en los sistemas de distribución de potencia se vean sometidos a sobrecalentamientos excesivos. A ello contribuye también el incremento de las corrientes debido a la circulación de los armónicos de las diferentes secuencias. Este sobrecalentamiento es el que causa fallas por la pérdida del nivel de aislamiento en motores, transformadores, inductores y alimentadores en general.

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE TENSIÓN Y CORRIENTES ARMONICAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

4.1 Registros de las mediciones de tensiones armónicas en la FIEE

Se muestran las tablas y gráficos de las mediciones de tensiones armónicas de la FIEE.

4.1.1 Tablas de las mediciones de tensiones armónicas de la FIEE

Se muestran las tablas de las mediciones de tensiones armónicas por fase para los armónicos 3ra, 5ta y 7ma.

Tabla 4.1 Mediciones de tensión Fase R

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 15:40	0,408362	4,112790	0,777832
04/07/2008 15:55	0,417152	4,113310	0,795499
04/07/2008 16:10	0,407016	4,099230	0,775269
04/07/2008 16:25	0,378384	4,123410	0,785874
04/07/2008 16:40	0,398406	4,139540	0,767661
04/07/2008 16:55	0,426936	4,162620	0,747138
04/07/2008 17:10	0,377505	4,288070	0,677572
04/07/2008 17:25	0,377249	4,275490	0,686787
04/07/2008 17:40	0,386959	4,285580	0,696527
04/07/2008 17:55	0,368039	4,300240	0,668281
04/07/2008 18:10	0,386959	4,275900	0,677179
04/07/2008 18:25	0,357592	4,233110	0,686189
04/07/2008 18:40	0,347759	4,279370	0,685858
04/07/2008 18:55	0,385654	4,232550	0,703818
04/07/2008 19:10	0,346921	4,269060	0,664932
04/07/2008 19:25	0,375759	4,277870	0,664804
04/07/2008 19:40	0,376375	4,236630	0,694847
04/07/2008 19:55	0,347658	4,239500	0,676002
04/07/2008 20:10	0,329043	4,258200	0,677441
04/07/2008 20:25	0,329043	4,258200	0,667763
04/07/2008 20:40	0,358458	4,214300	0,687851
04/07/2008 20:55	0,397518	4,217570	0,698080
04/07/2008 21:10	0,435709	4,144070	0,716499

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 21:25	0,427102	4,193360	0,660066
04/07/2008 21:40	0,408998	4,167880	0,662187
04/07/2008 21:55	0,428975	4,094760	0,701960
04/07/2008 22:10	0,382315	4,009410	0,696010
04/07/2008 22:25	0,392966	3,900190	0,707339
04/07/2008 22:40	0,353913	3,745580	0,697994
04/07/2008 22:55	0,324197	3,585810	0,638570
04/07/2008 23:10	0,304280	3,376520	0,638005
04/07/2008 23:25	0,285124	3,283850	0,609576
04/07/2008 23:40	0,313203	3,269060	0,577469
04/07/2008 23:55	0,293456	3,257360	0,567348
05/07/2008 0:10	0,302823	3,233370	0,556804
05/07/2008 0:25	0,302528	3,210700	0,536742
05/07/2008 0:40	0,302469	3,249100	0,517124
05/07/2008 0:55	0,322108	3,221080	0,527086
05/07/2008 1:10	0,322266	3,232420	0,517578
05/07/2008 1:25	0,361293	3,251640	0,517528
05/07/2008 1:40	0,361152	3,240610	0,527086
05/07/2008 1:55	0,370370	3,235870	0,526316
05/07/2008 2:10	0,369686	3,239610	0,515614
05/07/2008 2:25	0,359537	3,245550	0,524730
05/07/2008 2:40	0,349447	3,251800	0,524170
05/07/2008 2:55	0,359084	3,251160	0,524068
05/07/2008 3:10	0,349006	3,238000	0,523509
05/07/2008 3:25	0,367967	3,263290	0,522901
05/07/2008 3:40	0,357695	3,267590	0,522042
05/07/2008 3:55	0,376702	3,303390	0,531247
05/07/2008 4:10	0,366795	3,301160	0,530888
05/07/2008 4:25	0,385505	3,315340	0,530069
05/07/2008 4:40	0,365174	3,286570	0,528541
05/07/2008 4:55	0,363845	3,265030	0,526618
05/07/2008 5:10	0,333747	3,308860	0,543530
05/07/2008 5:25	0,342596	3,321280	0,542444
05/07/2008 5:40	0,398974	3,315280	0,560464
05/07/2008 5:55	0,379183	3,355770	0,540336
05/07/2008 6:10	0,409134	3,349190	0,542341
05/07/2008 6:25	0,428082	3,415140	0,542237
05/07/2008 6:40	0,418171	3,421400	0,532218
05/07/2008 6:55	0,417418	3,415240	0,550232
05/07/2008 7:10	0,407467	3,458730	0,549607
05/07/2008 7:25	0,427594	3,525280	0,551121
05/07/2008 7:40	0,495050	3,541510	0,580731
05/07/2008 7:55	0,494015	3,515110	0,579517
05/07/2008 8:10	0,496515	3,542440	0,582450
05/07/2008 8:25	0,524959	3,579270	0,572683
05/07/2008 8:40	0,504714	3,561570	0,571374
05/07/2008 8:55	0,512821	3,561250	0,579297
05/07/2008 9:10	0,492284	3,578530	0,558553
05/07/2008 9:25	0,493218	3,604290	0,559613
05/07/2008 9:40	0,484009	3,663280	0,569422

Tabla 4.2 Mediciones de tensión Fase S

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 15:40	0,059607	3,765150	0,665607
04/07/2008 15:55	0,087285	3,782370	0,640093
04/07/2008 16:10	0,097021	3,774130	0,640342
04/07/2008 16:25	0,116437	3,774500	0,650107
04/07/2008 16:40	0,077632	3,784570	0,621058
04/07/2008 16:55	0,116290	3,808510	0,591143
04/07/2008 17:10	0,106424	3,957040	0,532121
04/07/2008 17:25	0,077392	3,937310	0,551417
04/07/2008 17:40	0,077414	3,948130	0,551577
04/07/2008 17:55	0,077497	3,981400	0,532791
04/07/2008 18:10	0,096787	3,948900	0,542005
04/07/2008 18:25	0,096712	3,926500	0,551257
04/07/2008 18:40	0,086982	3,962500	0,541220
04/07/2008 18:55	0,106157	3,918160	0,540436
04/07/2008 19:10	0,086864	3,966800	0,521185
04/07/2008 19:25	0,106106	3,954860	0,501592
04/07/2008 19:40	0,125555	3,940510	0,531196
04/07/2008 19:55	0,212766	3,955510	0,512573
04/07/2008 20:10	0,203429	3,952340	0,542478
04/07/2008 20:25	0,164793	3,993800	0,523459
04/07/2008 20:40	0,232829	3,938690	0,543267
04/07/2008 20:55	0,213530	3,940600	0,553237
04/07/2008 21:10	0,232716	3,868900	0,562397
04/07/2008 21:25	0,223561	3,917190	0,495723
04/07/2008 21:40	0,224193	3,889270	0,506872
04/07/2008 21:55	0,185348	3,833770	0,526778
04/07/2008 22:10	0,176505	3,736030	0,558933
04/07/2008 22:25	0,206246	3,624040	0,569633
04/07/2008 22:40	0,186879	3,540870	0,570473
04/07/2008 22:55	0,196637	3,480480	0,550585
04/07/2008 23:10	0,088331	3,307490	0,569241
04/07/2008 23:25	0,108087	3,232780	0,540434
04/07/2008 23:40	0,117348	3,207510	0,508508
04/07/2008 23:55	0,078240	3,188260	0,518337
05/07/2008 0:10	0,078148	3,174760	0,517730
05/07/2008 0:25	0,078117	3,153990	0,507763
05/07/2008 0:40	0,068299	3,141770	0,497610
05/07/2008 0:55	0,078049	3,121950	0,497561
05/07/2008 1:10	0,058554	3,152140	0,478189
05/07/2008 1:25	0,078072	3,142380	0,478189
05/07/2008 1:40	0,068259	3,159430	0,477816
05/07/2008 1:55	0,068166	3,145390	0,477164
05/07/2008 2:10	0,077791	3,150530	0,466744
05/07/2008 2:25	0,058281	3,147160	0,466246
05/07/2008 2:40	0,038839	3,145940	0,466065
05/07/2008 2:55	0,029121	3,154730	0,456222
05/07/2008 3:10	0,058179	3,151360	0,465432
05/07/2008 3:25	0,067797	3,176760	0,455206
05/07/2008 3:40	0,048342	3,180900	0,454414

Tabla 4.3 Mediciones de tensión Fase T

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 15:40	0,366010	3,808490	0,613315
04/07/2008 15:55	0,347759	3,825350	0,618238
04/07/2008 16:10	0,328407	3,805660	0,608519
04/07/2008 16:25	0,309149	3,825720	0,627959
04/07/2008 16:40	0,338295	3,837230	0,618597
04/07/2008 16:55	0,328376	3,872900	0,589144
04/07/2008 17:10	0,289296	4,040500	0,540019
04/07/2008 17:25	0,298766	4,009250	0,549345
04/07/2008 17:40	0,317950	4,008090	0,568456
04/07/2008 17:55	0,289324	4,021600	0,549715
04/07/2008 18:10	0,298997	4,002700	0,540123
04/07/2008 18:25	0,269906	3,971470	0,549451
04/07/2008 18:40	0,279410	3,959920	0,558821
04/07/2008 18:55	0,288656	3,935340	0,567690
04/07/2008 19:10	0,269438	3,993460	0,529253
04/07/2008 19:25	0,269490	4,013470	0,529355
04/07/2008 19:40	0,240964	3,980720	0,549398
04/07/2008 19:55	0,202605	4,032800	0,549928
04/07/2008 20:10	0,183664	3,992270	0,570324
04/07/2008 20:25	0,212766	4,032880	0,560928
04/07/2008 20:40	0,203429	4,010460	0,571539
04/07/2008 20:55	0,222911	3,993020	0,571816
04/07/2008 21:10	0,241967	3,900500	0,571041
04/07/2008 21:25	0,252207	3,977110	0,504414
04/07/2008 21:40	0,243191	3,959140	0,515564
04/07/2008 21:55	0,292056	3,884350	0,535436
04/07/2008 22:10	0,254727	3,830700	0,548643
04/07/2008 22:25	0,245507	3,741530	0,559756
04/07/2008 22:40	0,226200	3,599530	0,560582
04/07/2008 22:55	0,245507	3,515660	0,549936
04/07/2008 23:10	0,274617	3,315030	0,529619
04/07/2008 23:25	0,245580	3,241650	0,500982
04/07/2008 23:40	0,293370	3,217290	0,479171
04/07/2008 23:55	0,264085	3,198360	0,489045
05/07/2008 0:10	0,254030	3,204690	0,468979
05/07/2008 0:25	0,253832	3,202190	0,449087
05/07/2008 0:40	0,263312	3,218260	0,438853
05/07/2008 0:55	0,273064	3,169490	0,429101
05/07/2008 1:10	0,282679	3,197190	0,419144
05/07/2008 1:25	0,292483	3,227060	0,409476
05/07/2008 1:40	0,311921	3,245930	0,399649
05/07/2008 1:55	0,321293	3,232400	0,399182
05/07/2008 2:10	0,320731	3,236470	0,408203
05/07/2008 2:25	0,310770	3,233950	0,417597
05/07/2008 2:40	0,310529	3,241150	0,426977
05/07/2008 2:55	0,329713	3,238940	0,416990
05/07/2008 3:10	0,348770	3,206740	0,416586
05/07/2008 3:25	0,338819	3,242980	0,416263
05/07/2008 3:40	0,347759	3,236090	0,415379

4.1.2 Gráficos de las tensiones armónicas de la FIEE

A continuación se muestran los gráficos de las mediciones de tensiones armónicas por fase para los armónicos 3^{ra}, 5^{ta} y 7^{ma}.

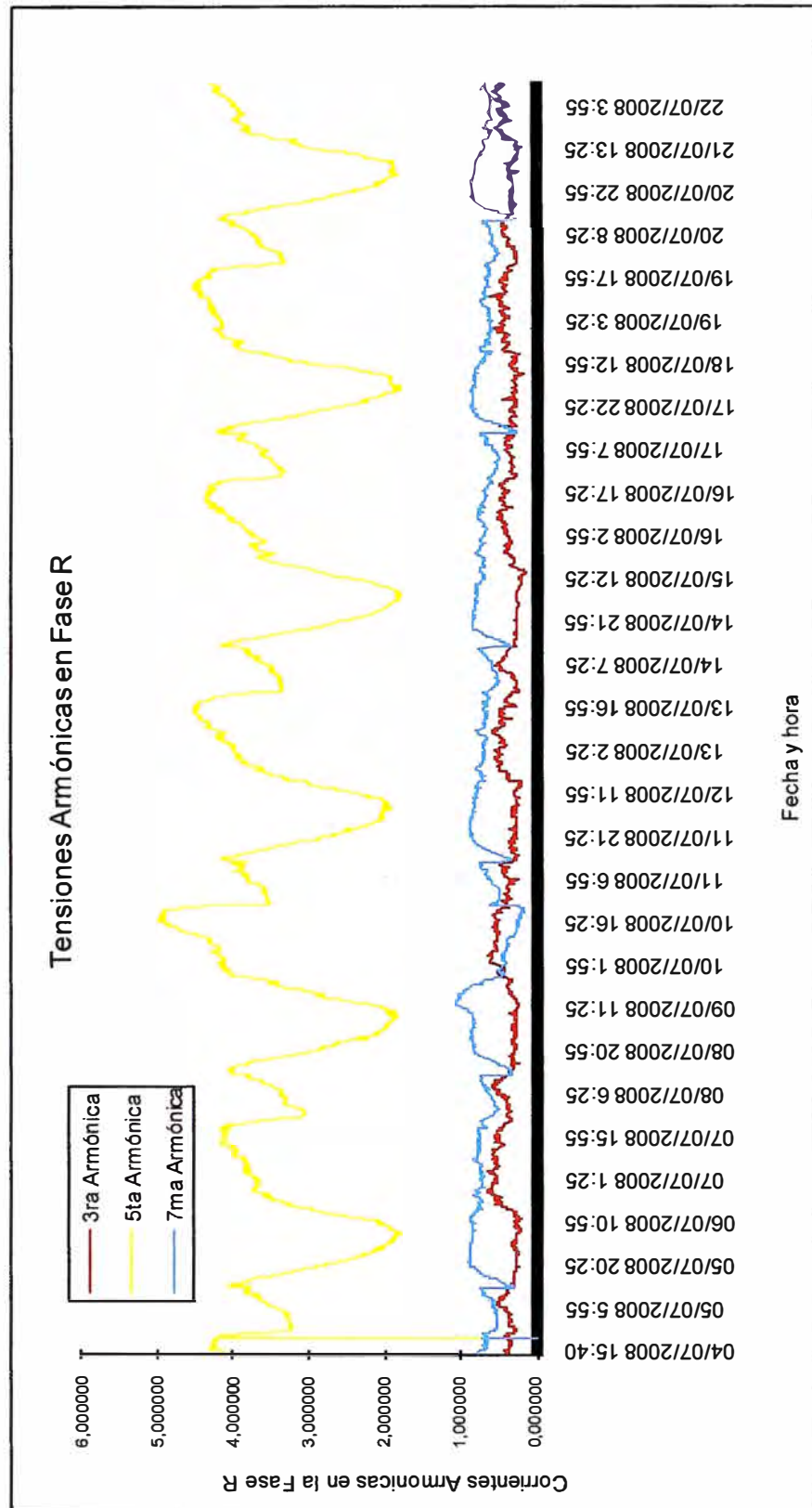


Figura 4.1 Gráfico de las tensiones armónicas en la fase R

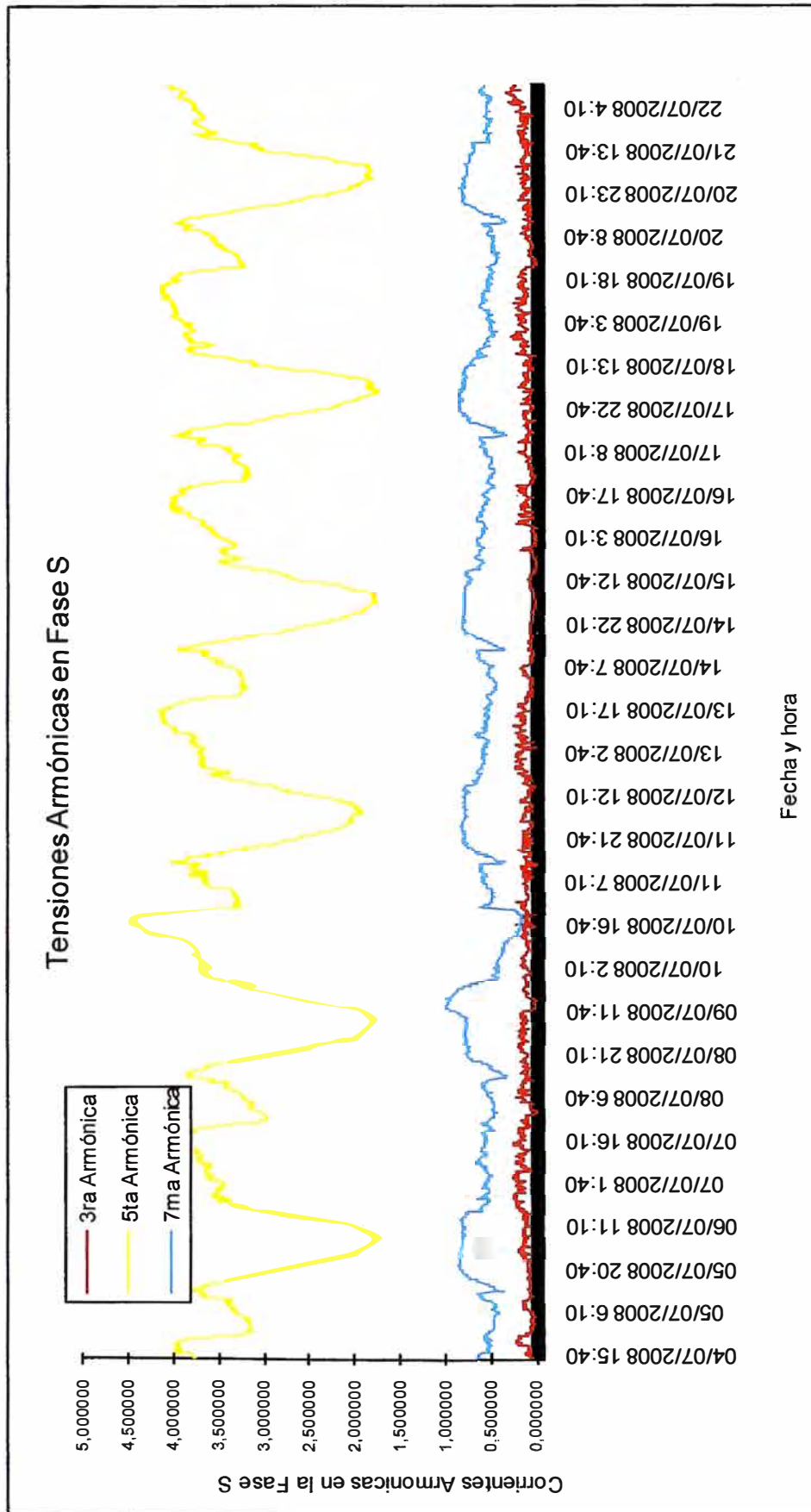


Figura 4.2 Grafico de las tensiones armónicas en la fase S

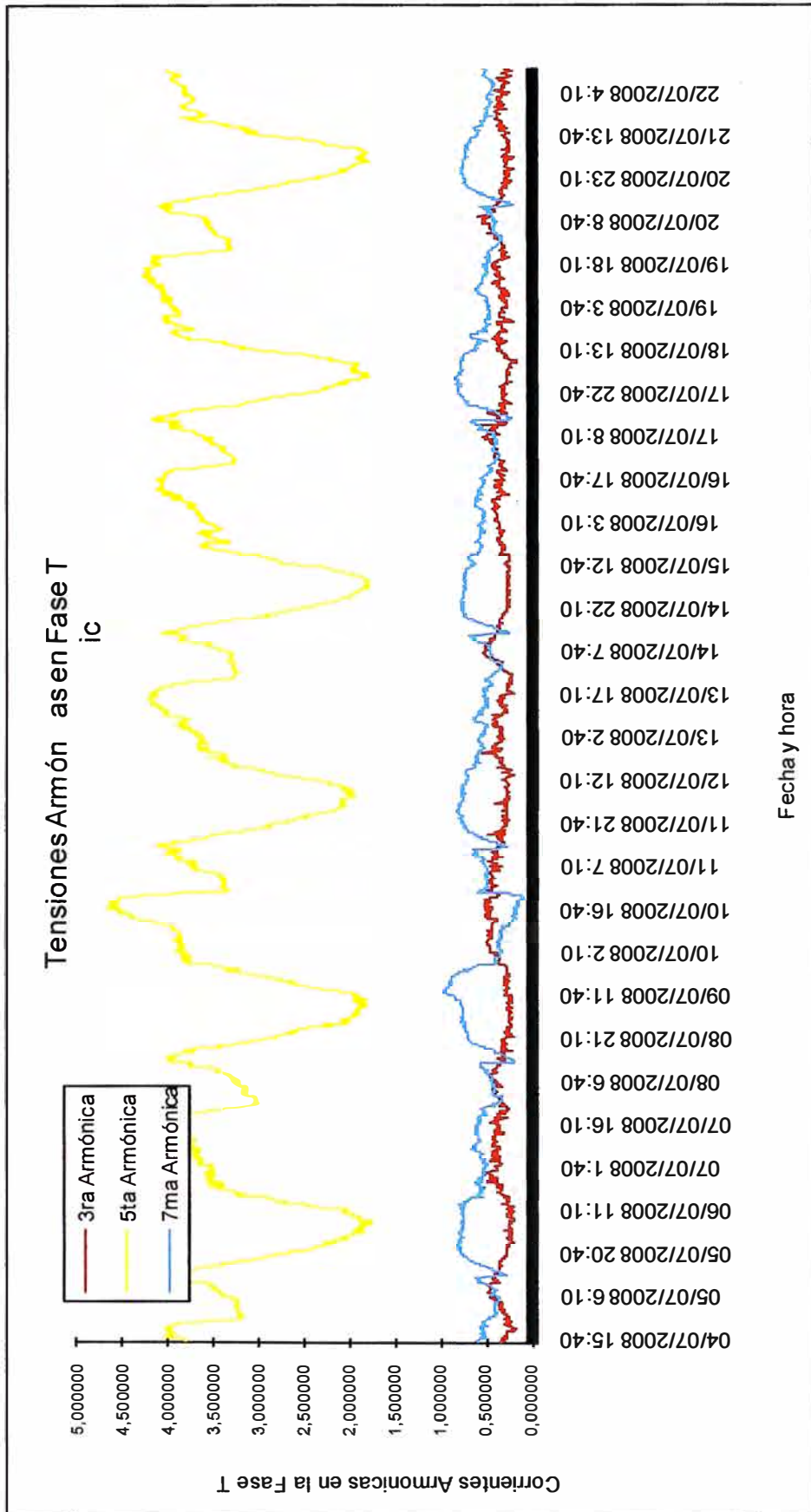


Figura 4.3 Grafico de las tensiones armónicas en la fase T

4.2 Registros de las mediciones de corrientes armónicas en la FIEE

Se muestran las tablas y gráficos de las mediciones de corrientes armónicas de la FIEE.

4.2.1 Tablas de las mediciones de corrientes armónicas de la FIEE

Se muestran las tablas de los registros de corrientes armónicas por fase para los armónicos 3^{ra}, 5^{ta} y 7^{ma}.

Tabla 4.4 Mediciones de corrientes armónicas Fase R

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 15:40	0,944882	5,236220	2,007870
04/07/2008 15:45	1,038460	5,230770	1,961540
04/07/2008 15:50	0,883257	5,376340	2,035330
04/07/2008 15:55	1,050260	5,326330	2,025510
04/07/2008 16:00	1,003720	5,130110	1,895910
04/07/2008 16:05	0,791937	4,823610	1,691860
04/07/2008 16:10	0,633147	4,618250	1,564250
04/07/2008 16:15	0,760167	4,789050	1,596350
04/07/2008 16:20	0,759590	4,899350	1,595140
04/07/2008 16:25	0,833965	4,890070	1,592120
04/07/2008 16:30	1,134060	5,184290	1,741600
04/07/2008 16:35	1,214570	5,141700	1,740890
04/07/2008 16:40	1,213100	5,014150	1,657910
04/07/2008 16:45	1,128120	4,955680	1,611600
04/07/2008 16:50	1,694200	5,124950	1,736550
04/07/2008 16:55	1,618930	5,022830	1,660440
04/07/2008 17:00	1,726170	4,903880	1,608470
04/07/2008 17:05	1,878320	5,144960	1,755820
04/07/2008 17:10	1,976940	5,065900	1,729820
04/07/2008 17:15	1,882060	5,102470	1,714760
04/07/2008 17:20	1,881270	5,351170	1,839460
04/07/2008 17:25	1,949400	5,226050	1,824970
04/07/2008 17:30	1,801800	5,159710	1,883700
04/07/2008 17:35	1,805500	5,129260	1,805500
04/07/2008 17:40	1,779800	5,049670	1,738410
04/07/2008 17:45	1,745640	4,987530	1,745640
04/07/2008 17:50	1,848430	3,992610	1,515710
04/07/2008 17:55	1,886110	3,917300	1,595940
04/07/2008 18:00	1,874310	4,116130	1,800810
04/07/2008 18:05	1,829720	3,846150	1,755040
04/07/2008 18:10	1,786380	4,131000	2,084110
04/07/2008 18:15	1,941050	4,025880	2,156720
04/07/2008 18:20	1,755620	3,862360	2,001400
04/07/2008 18:25	2,294850	3,650900	1,947150
04/07/2008 18:30	2,390020	3,706270	1,974370
04/07/2008 18:35	2,319140	3,772930	2,042230
04/07/2008 18:40	2,485330	3,624440	1,933030
04/07/2008 18:45	2,210130	3,638220	2,006120
04/07/2008 18:50	1,675210	3,623930	2,085470
04/07/2008 18:55	1,616790	3,577570	2,029580
04/07/2008 19:00	1,748970	3,635120	2,091910
04/07/2008 19:05	1,748970	3,566530	2,057610

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 20:00	2,250410	3,559740	2,168580
04/07/2008 20:05	2,432890	3,691280	2,223150
04/07/2008 20:10	2,668420	3,587050	2,187230
04/07/2008 20:15	2,813070	3,811250	2,313970
04/07/2008 20:20	2,196260	4,112150	2,336450
04/07/2008 20:25	3,523490	4,809840	2,516780
04/07/2008 20:30	3,794510	4,962050	2,451840
04/07/2008 20:35	3,915840	4,909410	2,337810
04/07/2008 20:40	4,098360	5,233290	2,648170
04/07/2008 20:45	3,919170	4,776480	2,388240
04/07/2008 20:50	3,184320	4,409060	2,204530
04/07/2008 20:55	2,022180	3,196350	1,696020
04/07/2008 21:00	1,250000	2,750000	1,062500
04/07/2008 21:05	1,418920	2,770270	1,081080
04/07/2008 21:10	2,156130	2,899630	1,189590
04/07/2008 21:15	2,008930	2,827380	1,116070
04/07/2008 21:20	1,797390	2,696080	0,980392
04/07/2008 21:25	1,989150	2,983730	1,356240
04/07/2008 21:30	1,713710	3,225810	1,814520
04/07/2008 21:35	2,056810	3,428010	1,762980
04/07/2008 21:40	2,074690	3,526970	1,970950
04/07/2008 21:45	1,688180	3,078450	1,688180
04/07/2008 21:50	1,661470	3,322950	1,765320
04/07/2008 21:55	1,419210	3,493450	1,855900
04/07/2008 22:00	1,465200	3,174600	1,831500
04/07/2008 22:05	1,573850	3,147700	1,815980
04/07/2008 22:10	1,653940	3,053440	1,781170
04/07/2008 22:15	1,785710	2,976190	1,636900
04/07/2008 22:20	3,296700	2,930400	1,831500
04/07/2008 22:25	3,663790	3,448280	2,370690
04/07/2008 22:30	4,389310	3,435110	2,099240
04/07/2008 22:35	2,300610	3,374230	1,380370
04/07/2008 22:40	2,121210	3,181820	1,515150
04/07/2008 22:45	1,679390	3,053440	0,458015
04/07/2008 22:50	1,380370	2,914110	1,073620
04/07/2008 22:55	2,905980	2,905980	1,367520
04/07/2008 23:00	3,298610	3,125000	1,562500
04/07/2008 23:05	3,169010	2,640850	2,112680
04/07/2008 23:10	3,063060	1,081080	0,360360
04/07/2008 23:15	2,802100	1,225920	0,000000
04/07/2008 23:20	4,059040	2,214020	0,000000
04/07/2008 23:25	4,330710	1,377950	0,000000
04/07/2008 23:30	4,417670	0,602410	0,000000
04/07/2008 23:35	4,391220	0,000000	0,000000
04/07/2008 23:40	4,133860	0,196850	0,000000
04/07/2008 23:45	4,356440	0,000000	0,000000
04/07/2008 23:50	4,133860	0,000000	0,000000
04/07/2008 23:55	4,109590	0,000000	0,000000
05/07/2008 0:00	4,214560	0,000000	0,000000
05/07/2008 0:05	4,255320	0,000000	0,000000
05/07/2008 0:10	4,238920	0,000000	0,000000
05/07/2008 0:15	4,046240	0,000000	0,000000
05/07/2008 0:20	4,030710	0,000000	0,000000
05/07/2008 0:25	4,030710	0,000000	0,000000

Tabla 4.5 Mediciones de corrientes armónicas Fase S

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 15:40	1,087300	3,773580	1,535020
04/07/2008 15:45	1,187500	3,656250	1,468750
04/07/2008 15:50	1,283660	3,600500	1,471510
04/07/2008 15:55	1,257070	3,739790	1,477060
04/07/2008 16:00	1,336300	3,786190	1,463570
04/07/2008 16:05	1,274880	3,606970	1,368160
04/07/2008 16:10	1,496340	3,533910	1,273480
04/07/2008 16:15	1,557040	3,686050	1,302830
04/07/2008 16:20	1,560010	3,693090	1,305320
04/07/2008 16:25	1,669880	3,725110	1,316630
04/07/2008 16:30	2,125510	3,913630	1,383270
04/07/2008 16:35	1,944350	3,855180	1,407980
04/07/2008 16:40	1,996670	3,760400	1,430950
04/07/2008 16:45	2,025660	3,882510	1,417960
04/07/2008 16:50	2,590130	4,025200	1,505080
04/07/2008 16:55	2,484250	4,058780	1,434570
04/07/2008 17:00	2,062940	4,055940	1,433570
04/07/2008 17:05	2,160820	3,967410	1,452360
04/07/2008 17:10	2,328810	3,753910	1,425100
04/07/2008 17:15	2,497400	3,780780	1,248700
04/07/2008 17:20	2,524540	3,927070	1,332400
04/07/2008 17:25	2,317420	3,757020	1,334270
04/07/2008 17:30	2,011100	3,675450	1,352290
04/07/2008 17:35	2,085510	3,475840	1,286060
04/07/2008 17:40	2,149790	3,432730	1,213590
04/07/2008 17:45	2,092940	3,511880	1,206100
04/07/2008 17:50	2,232440	3,118840	1,214710
04/07/2008 17:55	2,358800	3,156150	1,295680
04/07/2008 18:00	2,317880	3,112580	1,456950
04/07/2008 18:05	2,231990	3,415620	1,555630
04/07/2008 18:10	2,002070	3,555400	1,829480
04/07/2008 18:15	1,908010	3,441230	1,908010
04/07/2008 18:20	1,909780	3,259800	1,843920
04/07/2008 18:25	2,196720	3,344260	1,934430
04/07/2008 18:30	2,331610	3,303110	1,943010
04/07/2008 18:35	2,151940	3,227910	2,021520
04/07/2008 18:40	2,099050	3,279760	1,935060
04/07/2008 18:45	1,822320	3,221610	1,919950
04/07/2008 18:50	1,693260	3,191140	1,921200
04/07/2008 18:55	1,612900	3,161290	1,774190
04/07/2008 19:00	1,616030	3,005820	1,745310
04/07/2008 19:05	1,781670	2,915450	1,749270
04/07/2008 19:10	1,801220	2,830490	1,736890
04/07/2008 19:15	1,640930	2,960100	1,705280
04/07/2008 19:20	1,781740	2,958960	1,654470
04/07/2008 19:25	1,674570	2,938390	1,579780
04/07/2008 19:30	1,967630	3,014920	1,650270
04/07/2008 19:35	1,940790	3,125000	1,710530
04/07/2008 19:40	1,929590	3,148270	1,726470

Tabla 4.6 Mediciones de corrientes armónicas Fase T

FECHA	3*fund	5*fund	7*fund
04/07/2008 15:40	1,027170	4,671970	1,921800
04/07/2008 15:45	1,096770	4,580650	1,903230
04/07/2008 15:50	1,163540	4,492570	1,874600
04/07/2008 15:55	1,301240	4,619390	1,854260
04/07/2008 16:00	1,112930	4,648120	1,931260
04/07/2008 16:05	0,976562	4,524740	1,822920
04/07/2008 16:10	0,952694	4,336400	1,544020
04/07/2008 16:15	1,108940	4,305280	1,467710
04/07/2008 16:20	1,333770	4,294080	1,528950
04/07/2008 16:25	1,416800	4,349260	1,548600
04/07/2008 16:30	1,427150	4,414210	1,460340
04/07/2008 16:35	1,142300	4,406010	1,436030
04/07/2008 16:40	1,009110	4,459640	1,464840
04/07/2008 16:45	1,111110	4,346410	1,470590
04/07/2008 16:50	1,117690	4,339250	1,446420
04/07/2008 16:55	1,137100	4,158540	1,461990
04/07/2008 17:00	0,664767	4,115230	1,392850
04/07/2008 17:05	0,762873	4,132230	1,398600
04/07/2008 17:10	0,889454	4,129610	1,429480
04/07/2008 17:15	1,204440	3,866880	1,331220
04/07/2008 17:20	1,275100	3,952820	1,306980
04/07/2008 17:25	1,202910	3,956950	1,329530
04/07/2008 17:30	0,943100	4,023890	1,383210
04/07/2008 17:35	1,105150	3,883800	1,326180
04/07/2008 17:40	1,370300	3,855960	1,338430
04/07/2008 17:45	1,206390	3,847410	1,402020
04/07/2008 17:50	0,855710	3,216290	1,209800
04/07/2008 17:55	0,885478	3,158210	1,269190
04/07/2008 18:00	0,587027	3,169940	1,379510
04/07/2008 18:05	0,513285	3,291060	1,449280
04/07/2008 18:10	0,646552	3,417490	1,662560
04/07/2008 18:15	0,544959	3,360580	1,695430
04/07/2008 18:20	0,353774	3,301890	1,650940
04/07/2008 18:25	0,601030	3,205500	1,545510
04/07/2008 18:30	0,714286	3,171430	1,485710
04/07/2008 18:35	0,743069	3,058020	1,514720
04/07/2008 18:40	0,777874	3,111500	1,469320
04/07/2008 18:45	0,696662	3,222060	1,480410
04/07/2008 18:50	0,815956	3,173160	1,571470
04/07/2008 18:55	0,833830	3,097080	1,518760
04/07/2008 19:00	0,972591	3,035660	1,532570
04/07/2008 19:05	0,855710	2,891710	1,534380
04/07/2008 19:10	0,527241	2,958410	1,523140
04/07/2008 19:15	0,764439	2,859570	1,415630
04/07/2008 19:20	0,871521	2,839470	1,405680
04/07/2008 19:25	0,970043	2,853070	1,455060
04/07/2008 19:30	0,743494	2,973980	1,458390
04/07/2008 19:35	0,558331	3,026740	1,498680
04/07/2008 19:40	0,916310	3,054370	1,557730

4.2.2 Gráficos de las corrientes armónicas de la FIEE

Se muestran los gráficos de las corrientes armónicas por fase para los armónicos 3^{ra}, 5^{ta} y 7^{ma}.

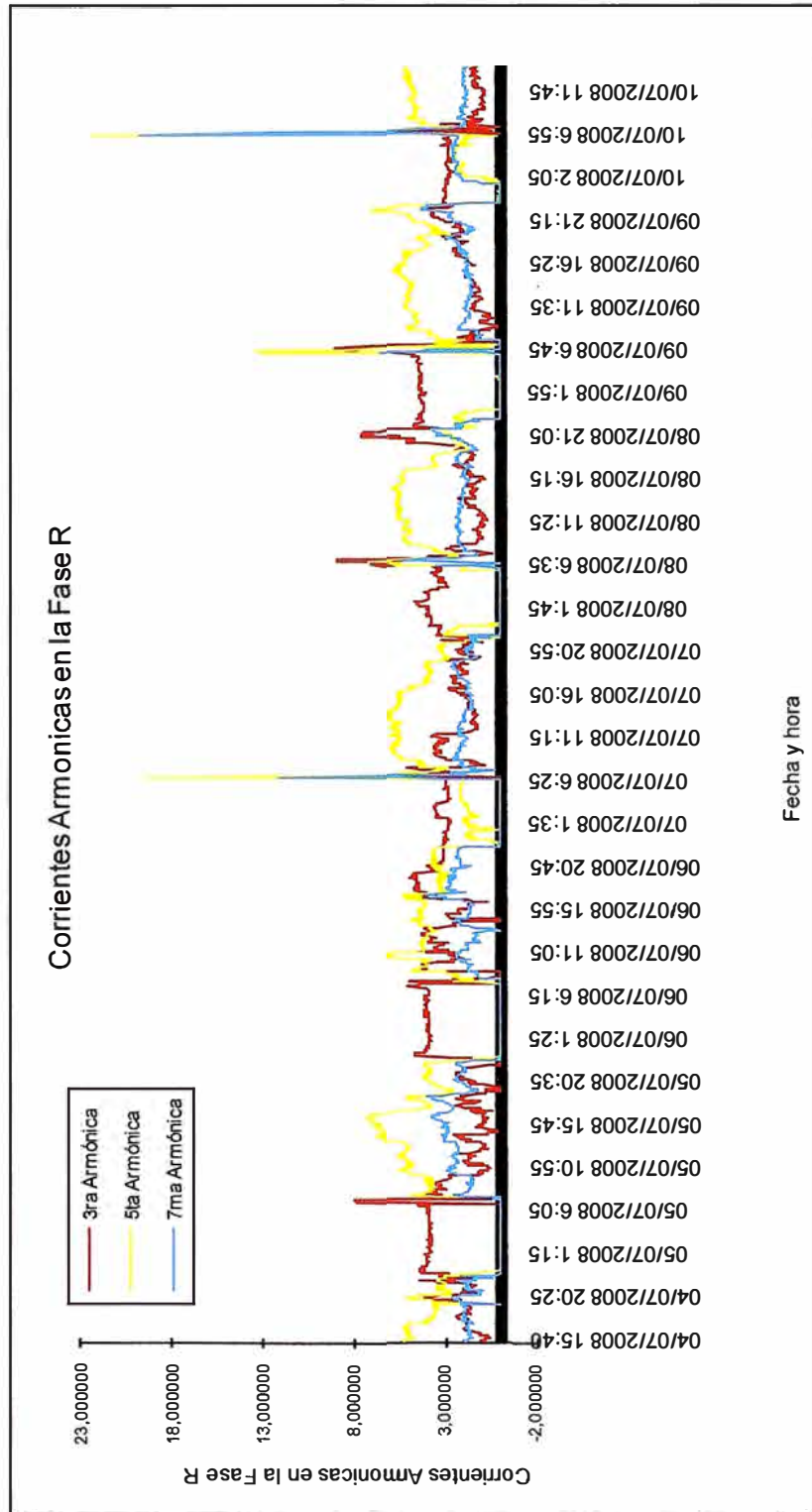


Figura 4.4 Gráfico de las corrientes armónicas en la fase R

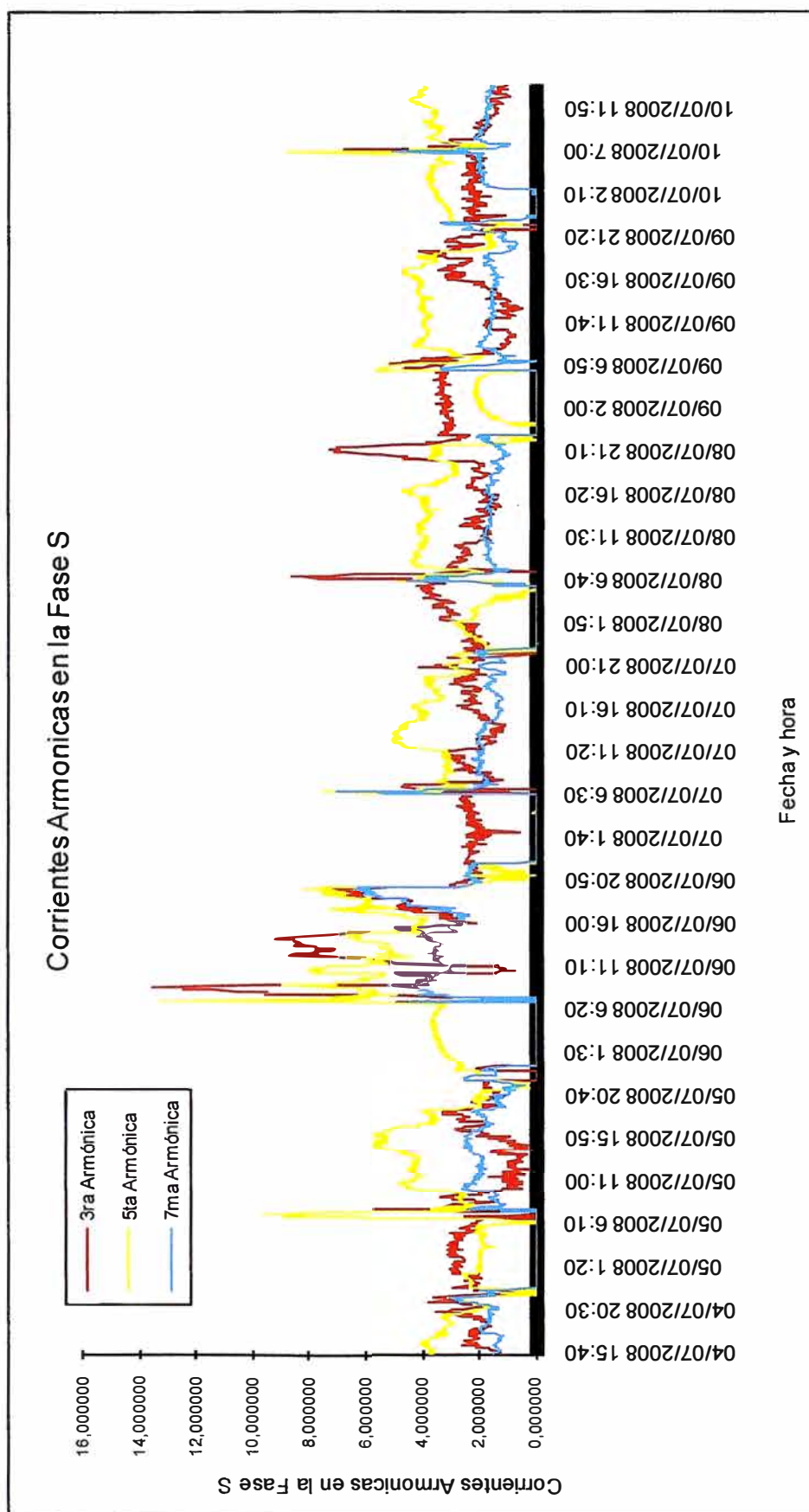


Figura 4.5 Grafico de las corrientes armónicas en la fase S

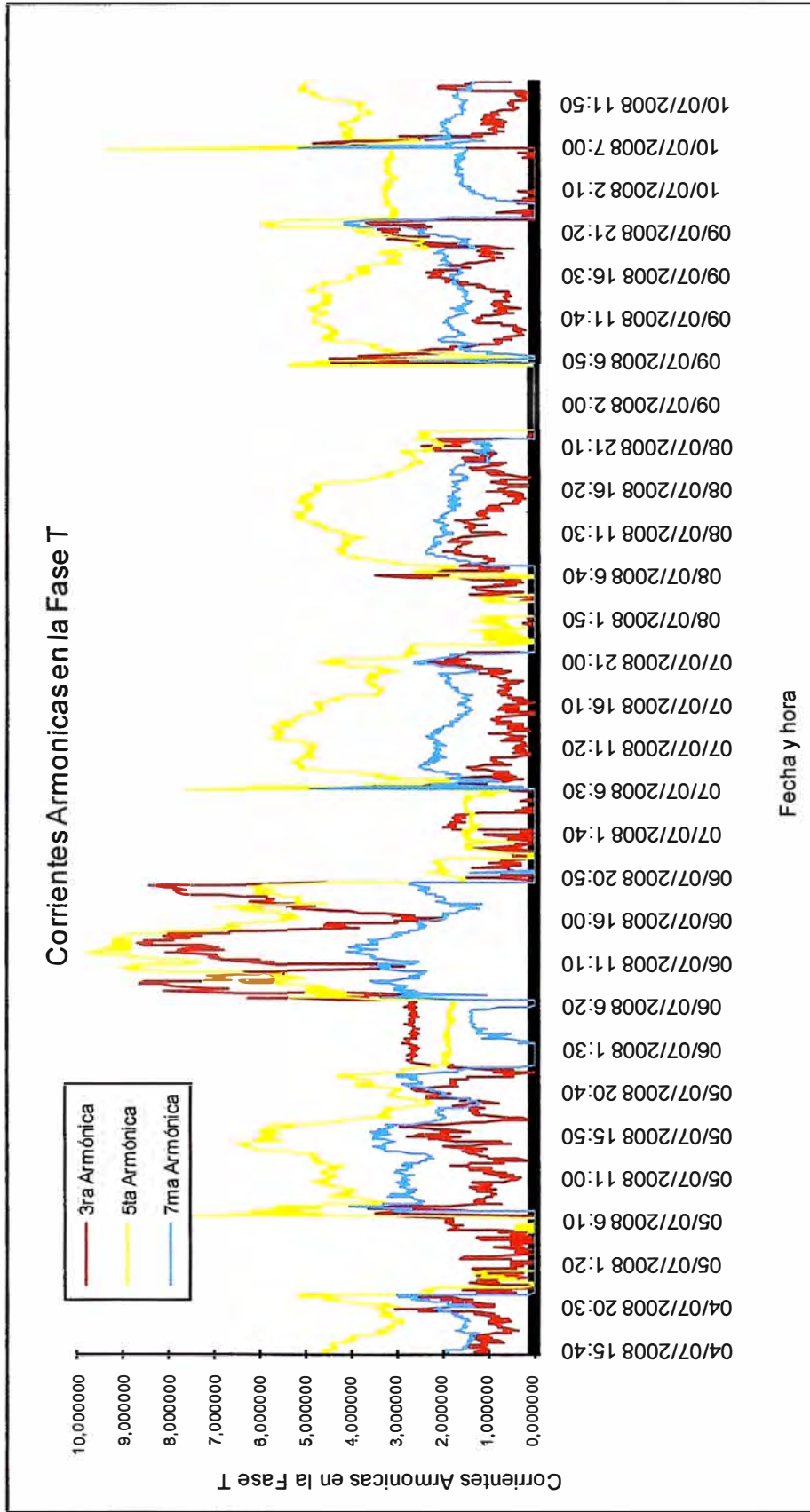


Figura 4.6 Grafico de las corrientes armónicas en la fase T

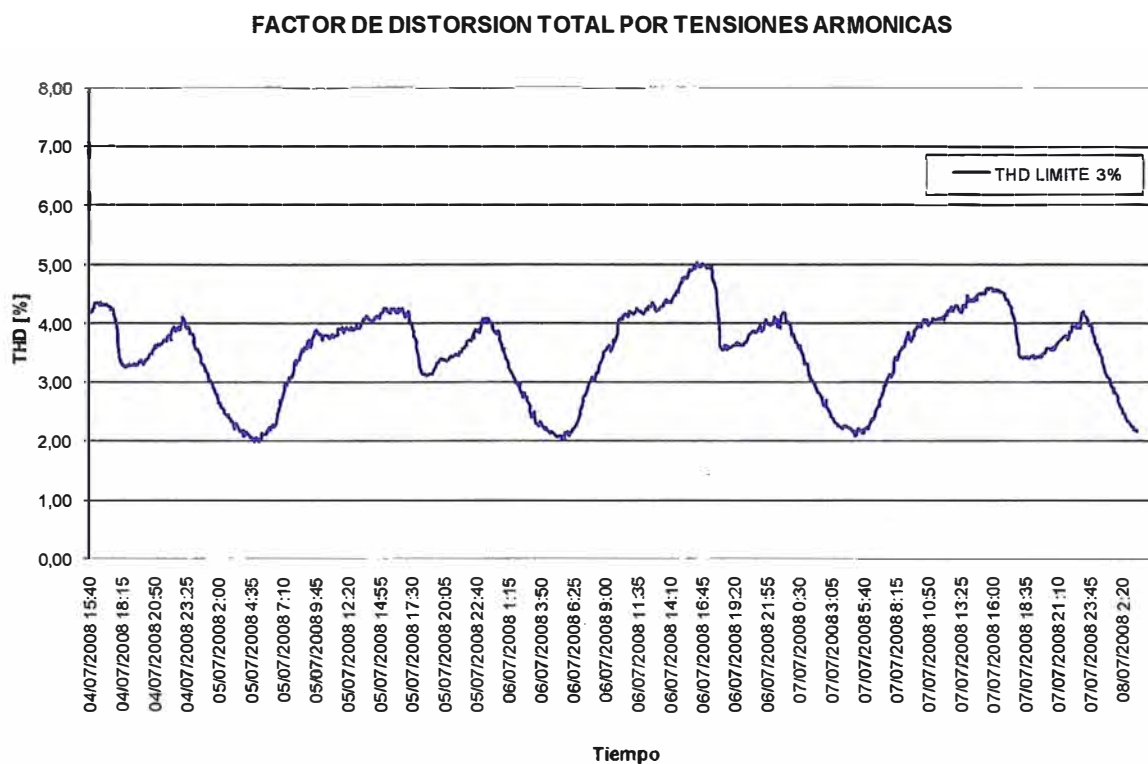
4.3 THD obtenido de las mediciones

Se muestra el gráfico de THD vs Tiempo de la FIEE.

Tabla 4.2 Reporte de Intervalos en falta

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0,00%	Ok
3	0	0,00%	Ok
4	0	0,00%	Ok
5	0	0,00%	Ok
6	1008	100,00%	En falta
7	0	0,00%	Ok
8	871	86,41%	En falta
9	0	0,00%	Ok
10	0	0,00%	Ok
11	0	0,00%	Ok
12	215	21,33%	En falta
13	0	0,00%	Ok
14	30	2,98%	Ok
15	0	0,00%	Ok
16	0	0,00%	Ok
17	0	0,00%	Ok
18	0	0,00%	Ok
19	0	0,00%	Ok
20	0	0,00%	Ok
21	0	0,00%	Ok
22	0	0,00%	Ok
23	0	0,00%	Ok
24	0	0,00%	Ok
25	0	0,00%	Ok
26	0	0,00%	Ok
27	0	0,00%	Ok
28	0	0,00%	Ok
29	0	0,00%	Ok
30	0	0,00%	Ok
31	0	0,00%	Ok
32	0	0,00%	Ok
33	0	0,00%	Ok
34	0	0,00%	Ok
35	0	0,00%	Ok
36	0	0,00%	Ok
37	0	0,00%	Ok
38	0	0,00%	Ok
39	0	0,00%	Ok
40	0	0,00%	Ok
THD	0	0,00%	Ok

Y la grafica del THD de tensión armónica se muestra a continuación.



4.4 Valores de THD del Sistema FIEE

En cuanto al THD del Sistema de la FIEE, de la pagina 33 tenemos que los intervalos están por encima del valor de 3%, para la sexta armónica de tensión el 100% de los valores obtenidos en la medición está por encima del 3% mientras que para la octava armónica de tensión tenemos el 84.41% de intervalos fuera de norma.

4.5 Armónicas de tensión en el Sistema FIEE

En la medición hecha en el alimentador (cables de comunicación en baja tensión) de la Sub estación de la Facultad de Ciencias que alimenta a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica se encontró que la armónica de tensión con el valor más alto entre las tres fases y durante el periodo de medición de 07 días es la sexta en la fase R, teniendo un valor máximo de 4.990049 el día 6 de julio del 2008 a las 16:20. En ese mismo momento en las otras fases valores de 4.48243 en la fase S y 4.68794 en la fase T.

En el mismo alimentador encontramos que la siguiente componente de tensión armónica presente es la octava, llegando a su máximo valor de 1.06223 el día 6 de julio del 2008 a las 07:00 horas para la fase R. En ese mismo momento teníamos en las otras fases valores de 1.00422 en la fase S y 0.975427 en la fase T.

4.6 Corrientes armónicas en el Sistema FIEE

Con respecto a las corrientes armónicas obtenidas de las mediciones al Sistema FIEE tenemos que el máximo valor alcanzado durante el periodo de medición de 07 días fue logrado por la sexta armónica de corriente en la fase R el día 10 de julio del 2008 a las 7:10 horas alcanzando un valor de 22.3684% mientras que en ese momento la cuarta armónica en la fase R tenía el valor de 0% y la octava de 19.7368%.

CAPÍTULO V

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

5.1 Hipótesis de la simulación

Para la simulación se considera un sistema de barras, una barra de entrega equivalente al sistema aguas arriba (swing), el transformador equivalente al del sistema FIC – FIEE y las cargas que representan a las cargas existentes en la FIEE. Finalmente tenemos un filtro pasivo serie cuyos parámetros se fueron ajustando hasta obtener el valor que elimina o reduce los armónicos en la red del sistema FIEE.

5.2 Componentes de la simulación

A continuación se listan los componentes empleados en la simulación con el software ETAP del sistema FIEE.

5.2.1 Generador equivalente, barra swing

El sistema está compuesto por un generador (Swing) de 160 kW, conectado a una barra de 10kV (lado primario), con 1500 revoluciones por minuto, factor de potencia de 0.95, y ángulo de referencia 0°. El sistema de barras está compuesto por el lado de MT en 10 kV y el lado de BT en 230 Volts.

5.2.2 Transformador equivalente al sistema FIEE

El transformador simulado es equivalente al que se encuentra alimentando las cargas de la facultad, el cual está en la facultad de Ciencias.

Las características del mismo se detallan:

- Impedancia de 4%; $X/R = 2.47$; 5 taps para regulación de tensión.
- Una potencia máxima para simulación de 150 KVA, aterramiento mediante impedancia a tierra de 1.32 ohmios y corriente de falla en 150 amperios.

Tipo ONAN y una temperatura de operación de 65 °C.

5.2.3 Carga estática

Una carga estática (con presencia de corriente continua) con una potencia de 16.64 kW, 11.09kVar, 0.133kV. El factor de potencia es de 83.21, y una corriente de diseño de máximo 150 amperios.

5.3 Simulaciones en el Software ETAP

Se muestra la hoja de trabajo del software ETAP con los elementos de la simulación.

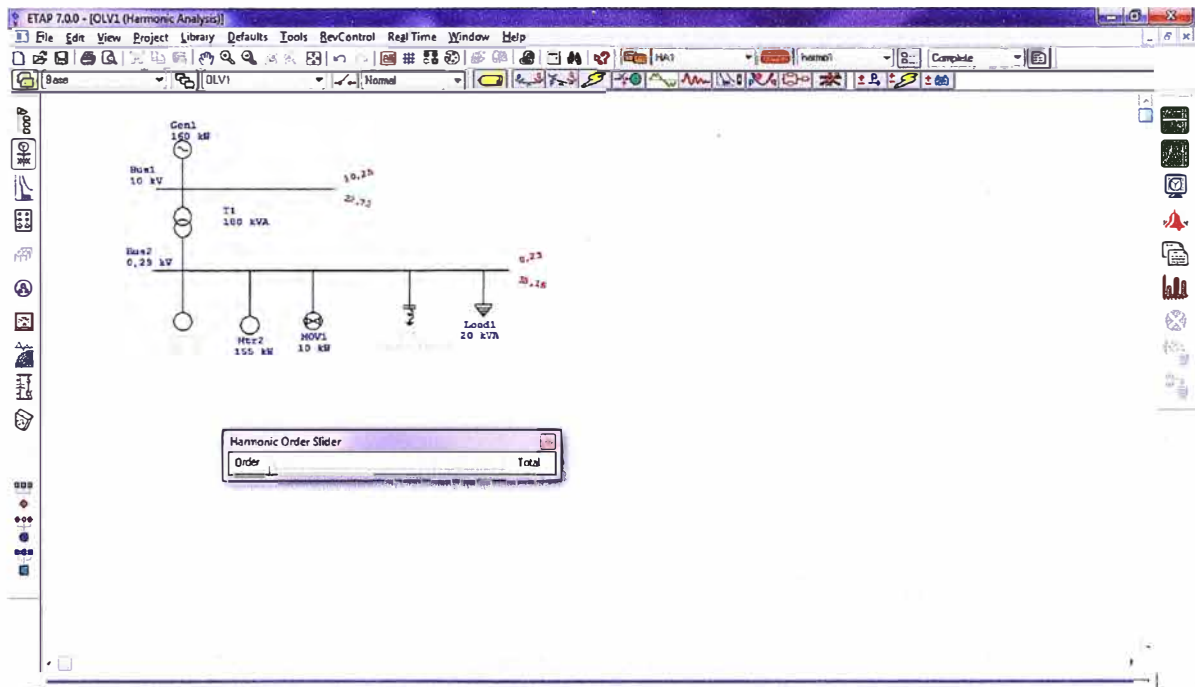


Figura 5.1 Red de MT con contaminación armónica.

En las siguientes figura, 5.2 y 5.3 se puede apreciar la distorción de la onda sinusoidal en las barras de media tensión y en la de baja tensión; para nuestra hipótesis hemos considerado las barras en 10000 y 230 volts.

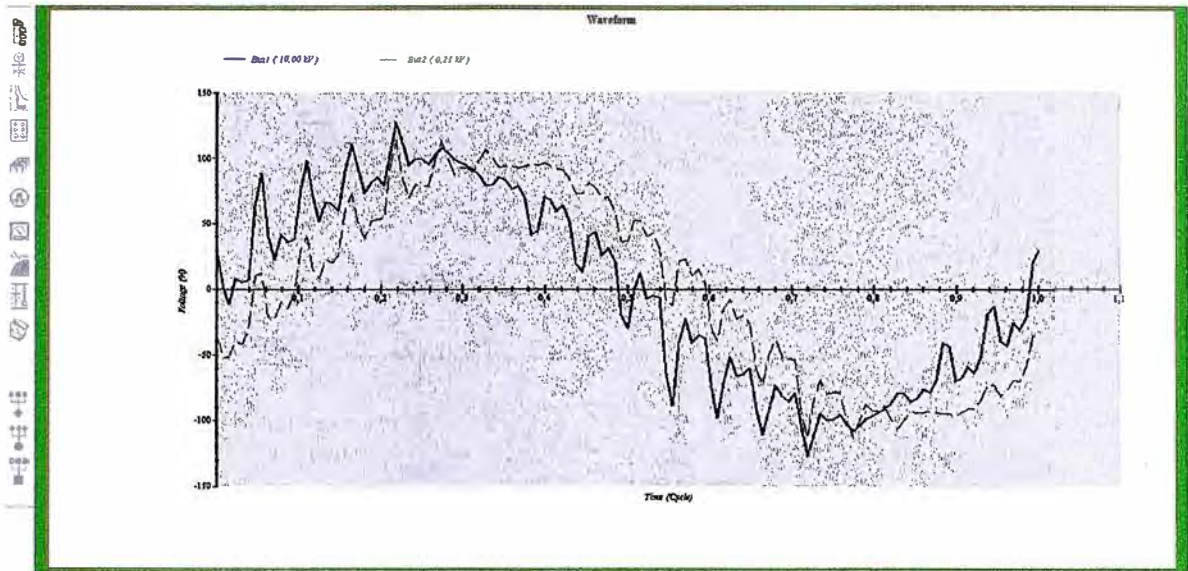


Figura 5.2 Resultado de flujo armónico, forma de onda en las barras.

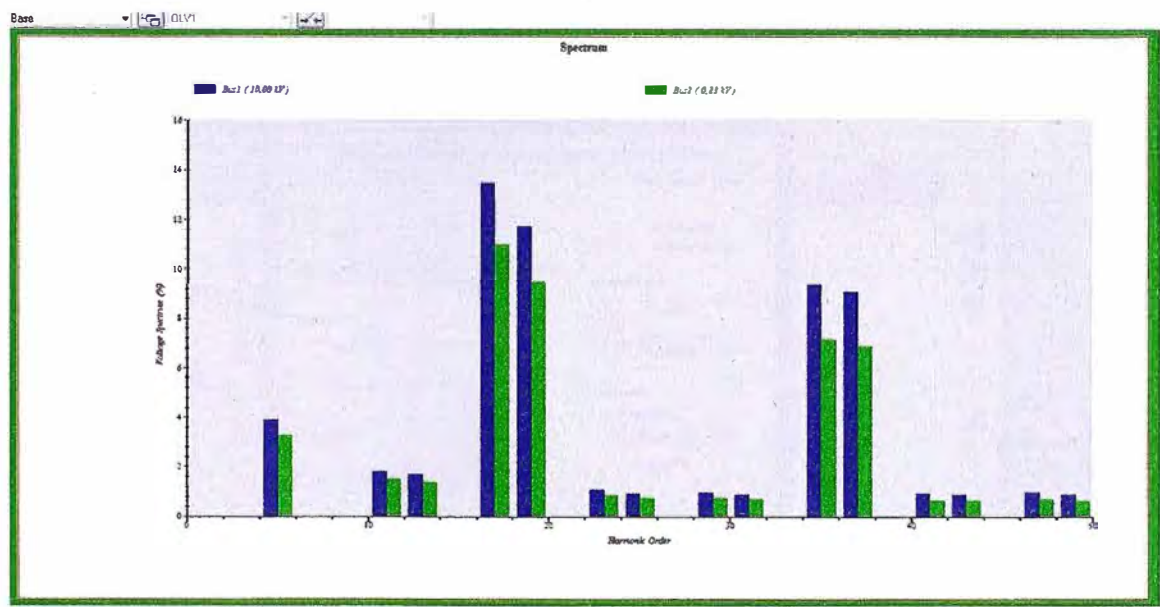


Figura 5.3 Resultado de flujo armónico, Espectro de armónicos en las barras.

La Figura 5.7 muestra el circuito con el filtro “activado”, en el ETAP uno puede tener la red con todos los elementos dibujados y unidos mediante las líneas de pertenencia a las barras pero pueden estar bajo la condición de “In service” o “Out of service” como se puede apreciar en la Figura 5.4

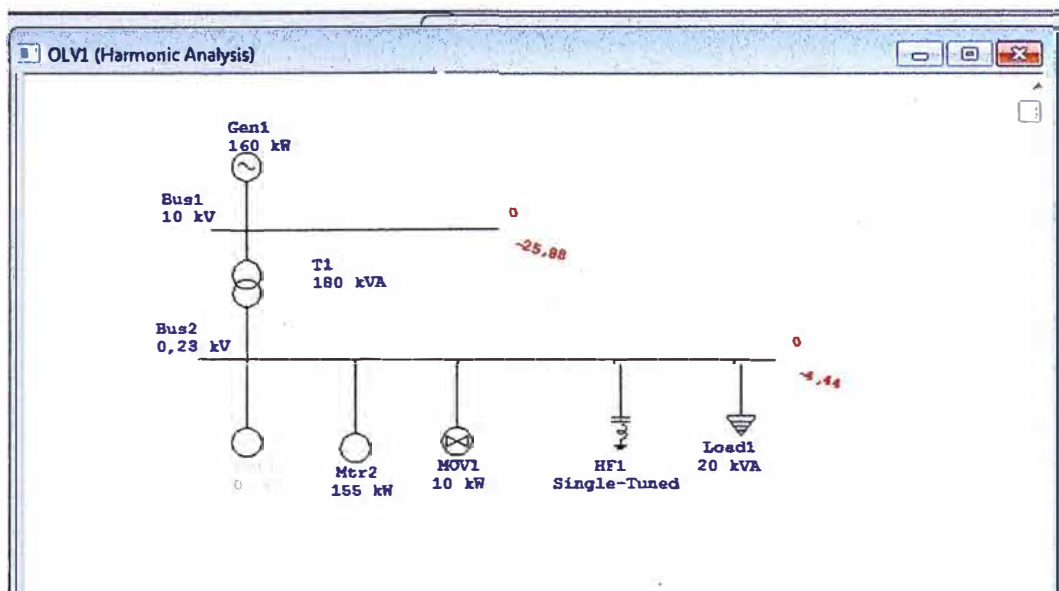


Figura 5.4 Red de MT con filtros armónicos pasivos.

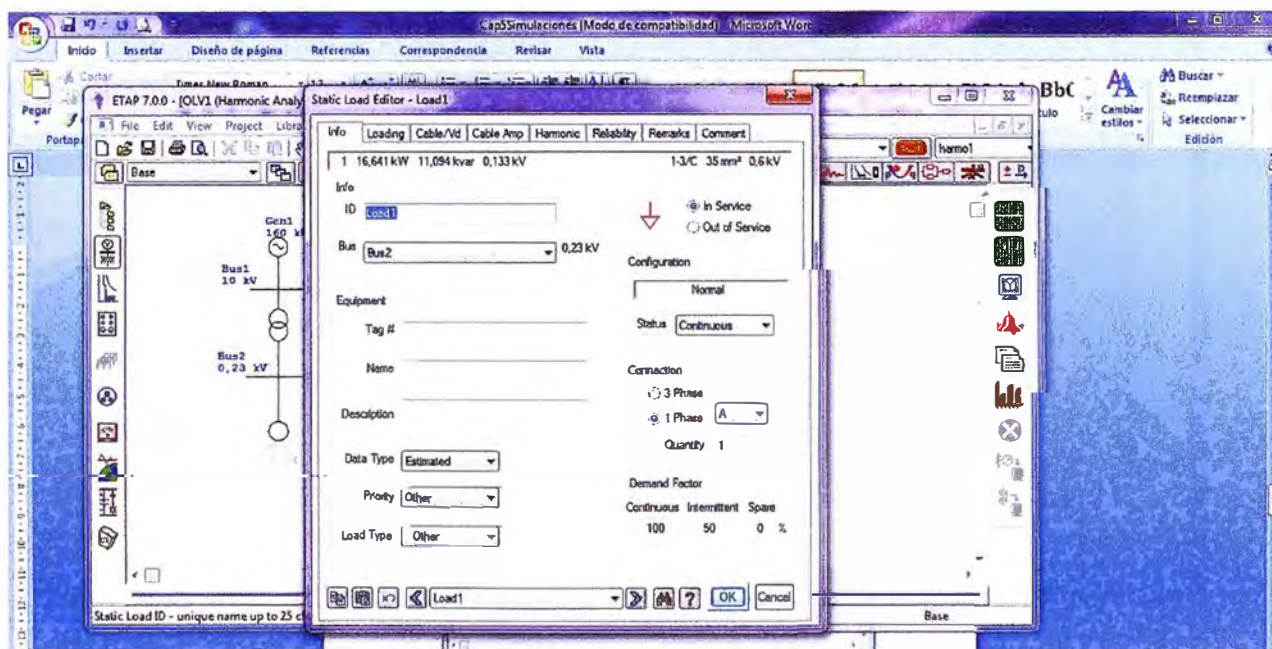


Figura 5.5 Elementos en servicio o fuera de servicio.

Inicialmente el valor de potencia del filtro comenzó en un valor de 75 kVar, pero la atenuación armónica no era muy evidente por lo que se fue aumentando el valor hasta llegar a 150 kVar.

A partir de 100 kVar hasta 150 kVar no había diferencias marcadas en los resultados por lo que se dejó el valor de 100 kVar por ser el menor valor de potencia del filtro que lograba mitigar el efecto de la contaminación armónica.

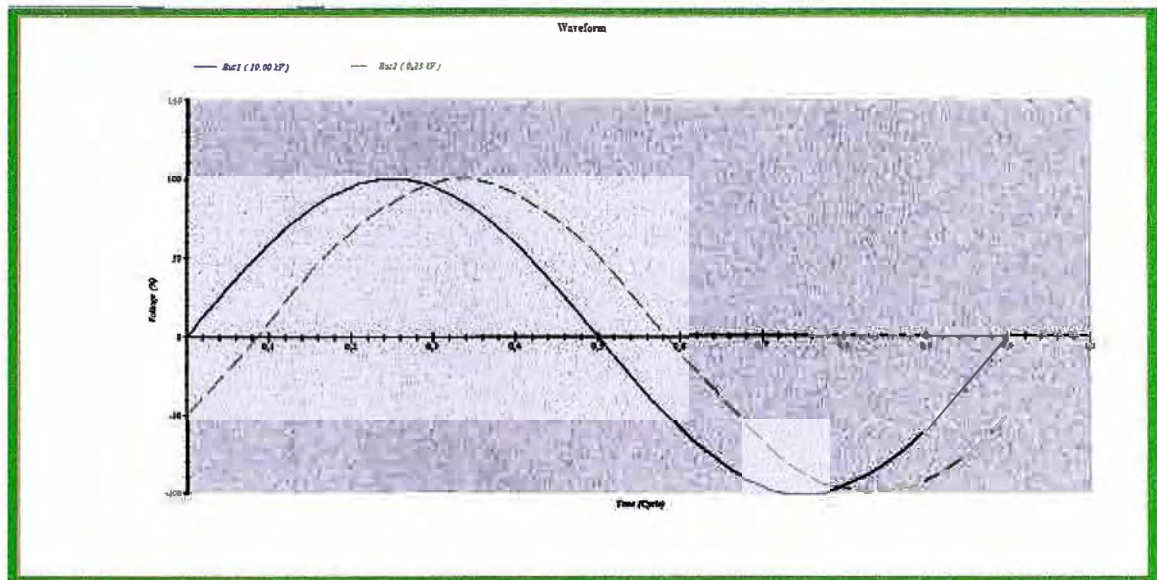


Figura 5.6 Resultado de flujo armónico, forma de onda en las barras.

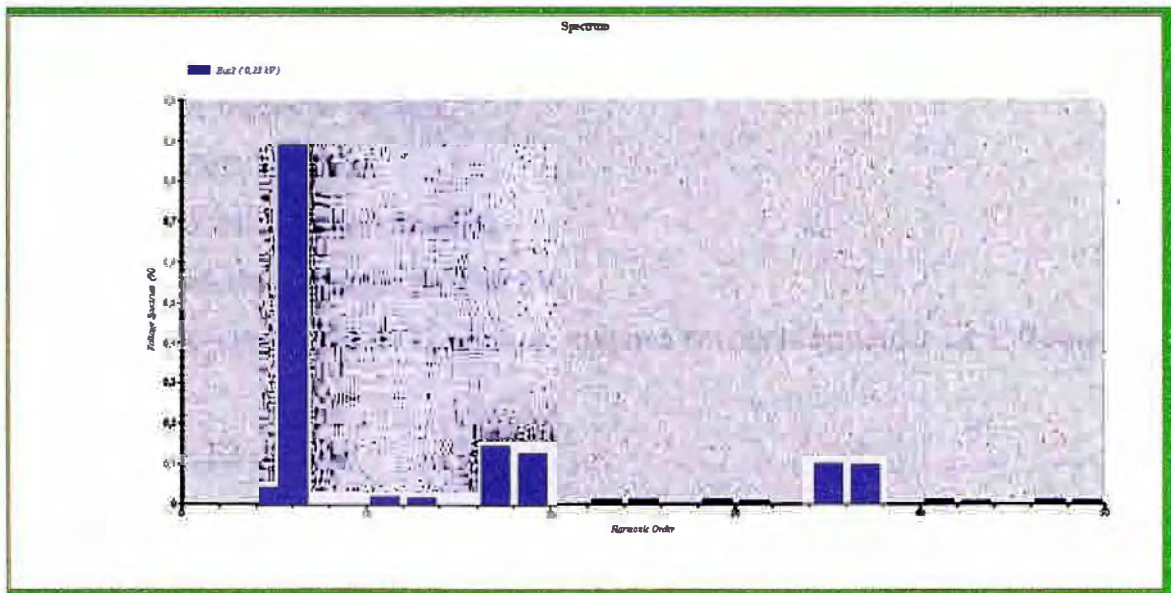


Figura 5.7 Resultado de flujo armónico, Espectro de armónicos en las barras MT.

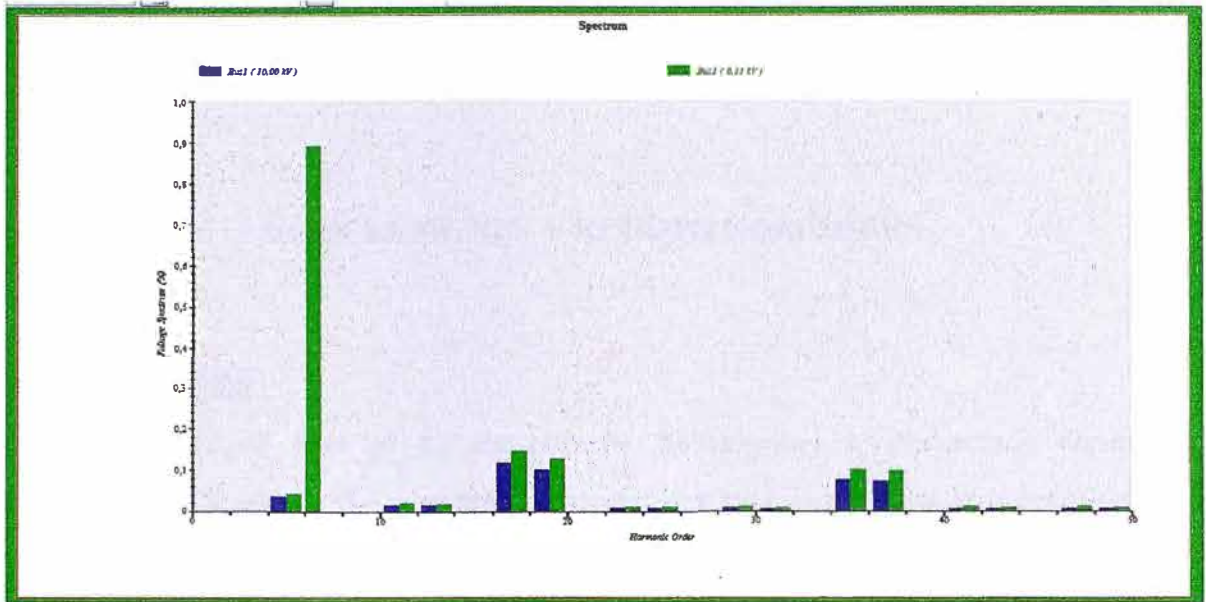


Figura 5.8 Resultado de flujo armónico, Espectro de armónicos en ambas barras.

Como resultado final el filtro de armónicos pasivo en paralelo con las cargas se dimensiono de la siguiente manera:

- Potencia del filtro: 100kVar.
- Capacitancia de 60.17 micro faradios.
- Tensión máxima de operación de 0.26 kV.
- Impedancia serie inductiva de 12 ohmios; máxima corriente armónica de 150 amperios en falla.
- Resistencia de 2.2 ohmios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Las corrientes de fase en su componente fundamental se encuentran claramente desbalanceadas (Capítulo IV) y podemos apreciar que las componentes armónicas también lo están en las diferentes fases.
- Es inevitable que aumenten las cargas no lineales en un sistema como el de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica debido al crecimiento en la infraestructura de la Facultad y en general de la Universidad, siendo los equipos más comunes de compra para los locales de la Universidad los equipos de iluminación, centros de cómputo, oficinas, laboratorios, etc. Por lo que los valores de contaminación armónica también aumentarán con este crecimiento.
- De las simulaciones en el Capítulo V se determina que el valor de potencia reactiva del filtro pasivo serie es de 100kVar. Instalado en el lado de la carga, en baja tensión.

RECOMENDACIONES

- Es necesario minimizar la contaminación que se genera al sistema pues esto trae como consecuencia que se tenga que pagar penalizaciones por la calidad de tensión; ya que hoy en día la tensión ya es considerada en el mercado eléctrico como un producto y como tal debe de cumplir con los estándares de calidad que el ente fiscalizador exige de acuerdo al marco legal establecido.
- Se recomienda que los conductores actuales de comunicación de la sub estación eléctrica que alimenta a la FIEE se cambien por otros de mayor sección o que se cambien por conductores de mejor tecnología.
- Corregir el desbalance de carga a fin de reducir las pérdidas por calentamiento en los conductores o cables de comunicación del lado de baja tensión de los transformadores hacia la carga.
- Instalación de filtro pasivo es del tipo R-L-C serie en el lado de baja tensión para mitigar o eliminar la contaminación armónica. Cuando las cargas son altamente contaminantes es

preferible colocarlo en el lado de baja tensión usando el transformador como barrera tanto de las corrientes armónicas provenientes de otras cargas como las corrientes armónicas generadas por la carga.

- Dado que la contaminación armónica provoca calentamientos excesivos en los conductores y en transformadores se recomienda realizar inspecciones en los niveles de temperaturas de los equipos mediante inspecciones termográficas o mediante mediciones puntuales con equipos termopunto en las diferentes instalaciones de media tensión de la Universidad. Puesto que este mantenimiento no requiere que el operador este en contacto directo con los equipos es muy seguro.

- El mantenimiento de los Sistemas de Puesta a Tierra o los aterramientos si tienen relación con los problemas de armónicas. Una revisión y corrección en estos temas puede reducir los problemas de armónicas.

Durante la instalación de los equipos analizadores se observó la falta limpieza en las barras, aisladores, seccionamientos, etc. Esto provoca daños en los equipos por descarga debido a las líneas de fuga.

ANEXOS

ANEXO A

AST-MCO-001: PRUEBAS ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS M.T

AST MCO-001 PRUEBAS ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS M.T.

RIESGO EN EL TRABAJO			PROCEDIMIENTO STANDARD DEL TRABAJO	
ETAPAS DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES	ELEMENTOS DE PROTECCION	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO (Actos y Condiciones Seguras)	CONTROLES Y RECOMENDACIONES

Preparación	<ul style="list-style-type: none"> - Accidente fatal - Traumatismo - Accidente de tránsito: Choque del vehículo, daños a terceros, Daños a las herramientas y equipos 	<ul style="list-style-type: none"> - Ropa de trabajo - Calzado con planta aislante - Casco dieléctrico con barbiquejo y careta - Guantes de cuero - El vehículo debe contar con cinturón de seguridad y cajones portaherramientas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. En el vehículo, colocar ordenadamente la totalidad de los materiales, herramientas y equipos a utilizar. 2. Verificar en la base operativa que el personal cuente con todos los elementos de seguridad necesarios e indicado 3. Contar con diagramas unifilares y planos modulares: M.T. actualizados. 4. Todos los trabajadores serán transportados sentados en asientos acomodados para tal fin, teniendo puesto su casco de seguridad, estando prohibido viajar parado o sentado en la tolva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Probar todos los equipos antes de ser utilizados para asegurar su eficacia. - Cumplir con lo establecido en el Reglamento de Tránsito de Vehículos. - Verificar que el pedido de maniobra esté de acuerdo a lo solicitado. - Con la hoja de inspección de seguridad verificar los equipos y herramientas a usar.
Identificación y Coordinación	<ul style="list-style-type: none"> - Traumatismo - Electrocuación - Quezaduras eléctricas - Daños a las herramientas y equipos 	<ul style="list-style-type: none"> - Ropa de trabajo - Calzado con planta aislante - Casco dieléctrico con barbiquejo y careta - Guantes de cuero - Guantes dieléctricos de M.T. - Revelador de tensión de corriente continua 	<ol style="list-style-type: none"> 5. En caso de interrupciones programadas <ul style="list-style-type: none"> - Coordinar con el responsable del trabajo para la ejecución de las pruebas eléctricas a los circuitos M.T. - Identificar en el campo el circuito M.T. en el cual se efectuarán las pruebas eléctricas. 6. En caso de interrupciones imprevistas <ul style="list-style-type: none"> - Una vez identificado el circuito donde aperturó el elemento de corte, se informará al Centro de Operación el inicio de las pruebas necesarias. - Verificar con el revelador de tensión que el circuito a probar se encuentre desenergizado. 7. En caso de que las pruebas requieran maniobras de liberación y/o normalización de circuitos, se procederá de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Operación, Procedimientos de trabajos y AST elaboradas para este tipo de labor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Al abrir las puertas de la SE utilizar guantes dieléctricos M.T. - Abrir la puerta de la SE subterránea de tal forma que la fuerza se aplique sobre las piernas y no en la columna. - Al ingresar a una SE convencional, llevar siempre linterna. - Con todo el personal tener una charla de seguridad de 5 minutos antes de iniciar la labor.

AST MCO-001 PRUEBAS ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS M.T.

RIESGO EN EL TRABAJO		PROCEDIMIENTO STANDARD DEL TRABAJO		
ETAP. AS DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES	ELEMENTOS DE PROTECCION	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO (Actos y Condiciones Seguras)	CONTROLES Y RECOMENDACIONES
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> - Accidente fatal - Electrocuación - Quemaduras - Traumatismo 	<ul style="list-style-type: none"> - Ropa de trabajo - Calzado con planta aislante - Casco dieléctrico con barbiquejo - Careta de protección facial - Guantes de cuero badana - Guantes dieléctricos de M.T. - Manta aislante - Revelador de tensión de corriente continua - Revelador de tensión por inducción - Cinta de señalización sobre soporte - Tranquera de seguridad - Cinturón de seguridad con estrobo - Líneas puesta a tierra temporarias (para SE convencionales, compactas y redes aéreas) - Escaleras embonales - Carteles de seguridad. 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Colocar los carteles de seguridad en los puntos donde exista la posibilidad de tensión de retorno (extremos del circuito y derivaciones). 9. En caso de interrupciones programadas <ul style="list-style-type: none"> - El responsable del trabajo recabará las tarjetas de seguridad de todo el personal que intervino en el circuito, de esta manera se asegura que haya ningún personal en el circuito. - El responsable del trabajo entregará tarjetas de seguridad al personal que efectuará las pruebas del circuito M.T. - Verificando la ausencia de tensión con el revelador, retirará todas las líneas a tierra del circuito, teniendo puesta la careta de protección facial y el guante dieléctrico. - En caso de interrupciones imprevistas <ul style="list-style-type: none"> - Se revelará el extremo del circuito donde se conectará el equipo de pruebas y verificando la ausencia de tensión se procederá a descargar la carga capacitiva del circuito. 10. Definir el espacio que requiere la zona de trabajo para señalizarla y dentro deben estar todos los materiales, herramientas y equipos a utilizar. 11. Instalar el equipo de pruebas en un extremo del circuito y dejar libre el otro, en el cual deberá estar presente 02 personas calificadas para la coordinación de las pruebas. 12. Efectuar las diferentes pruebas que sean necesarias. 13. Una vez terminadas las pruebas, apagar el equipo. 14. Retirar la alimentación del equipo y luego recoger sus cables de energía, tener cuidado al momento de desconectar la B.T. 15. Se dejará el circuito en las mismas condiciones como fue entregado por el operador de la 	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplir con lo establecido en las Normas de Señalización de EDELNOR. - Verificar con el voltímetro que la línea a tierra instalada no esté electrizada. - Verificar el estado del conecionado del sistema de protección a tierra. - Al término de cada prueba descargar la carga capacitiva del circuito. - Durante todo el proceso de las pruebas se debe tener puesto el guante dieléctrico M.T. - El personal de apoyo deberá ser capacitado y permanecerá en el otro extremo del circuito hasta que culmine la prueba.

AST MCO-001 PRUEBAS ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS M.T.

RIESGO EN EL TRABAJO			PROCEDIMIENTO STANDARD DEL TRABAJO	
ETAPAS DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES	ELEMENTOS DE PROTECCION	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO (Actos y Condiciones Seguras)	CONTROLES Y RECOMENDACIONES

			<p>manobra de liberación.</p> <p>16. En caso las pruebas requieran la ejecución de maniobras de liberación y/o normalización de circuitos, se procederá de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Operación, Procedimientos de Trabajo y AST elaborados para este tipo de labor.</p>	
Culminación	<ul style="list-style-type: none"> - Traumatismo - Electrocutión - Quemaduras eléctricas - Daños a las herramientas y equipos 	<ul style="list-style-type: none"> - Ropa de trabajo - Calzado con planta aislante - Casco dieléctrico con barbiquejo - Guantes de cuero 	<p>17. En caso de interrupciones programadas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comunicar el resultado de las pruebas al responsable del trabajo. - Entregar las tarjetas de seguridad firmadas al responsable del trabajo. <p>En caso de interrupciones imprevistas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comunicar el resultado de las pruebas al Centro de Operación. - Comunicar al responsable de la normalización del circuito, en caso que este no se encontrara físicamente en el terreno, colocar en la puerta de la celda y/o en un lugar visible una tarjeta de circuito probado por el técnico que realizó las pruebas avisando al Centro de Operación. 	<ul style="list-style-type: none"> - La entrega de la tarjeta de liberación debidamente firmada al operador para la normalización del circuito, significa la culminación exitosa de los trabajos.

AST MCO-001 PRUEBAS ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS M.T.

RIESGO EN EL TRABAJO			PROCEDIMIENTO STANDARD DEL TRABAJO	
ETAPAS DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES	ELEMENTOS DE PROTECCION	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO (Actos y Condiciones Seguras)	CONTROLES Y RECOMENDACIONES

Retiro	<ul style="list-style-type: none"> - Traumatismo - Daños a las herramientas y equipos. - Hurto en las instalaciones por terceros 	<ul style="list-style-type: none"> - Ropa de trabajo - Calzado con planta aislante - Casco dieléctrico con barbiquejo - Guantes de cuero 	<ul style="list-style-type: none"> 18. Retirar las señalizaciones que no sean necesarias; mantener en la zona de trabajo. 19. Recoger los equipos y herramientas empleadas en el trabajo, verificando su operatividad para una próxima utilización. 20. Ordenar la zona de trabajo, dejándola libre de restos de materiales y/o elementos extraños. 21. Asegurar el cerrado de los dispositivos de seguridad contra accesos (candados, puertas, etc.) donde corresponda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reportar los equipos y/o herramientas que hayan sufrido desperfectos, para su inmediata reparación.
---------------	---	--	--	---

OBSERVACIONES:

1. No se debe alterar el orden de los pasos estipulados y ante cualquier duda que se presente durante el trabajo, se deberá consultar a la supervisión.
2. ¡SUSPENDER TODA MANIOBRA SI SE PRESENTARA CUALQUIER CASO DE DUDA O ANOMALIA, HASTA QUE SEA RESUELTA!

PROMOTOR: MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y OPERACIÓN

**REVISADO POR: DPTO. SEGURIDAD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE
Santos Amado Farias**

APROBADO POR:

**SUBGERENCIA DE MANTENIMIENTO
Arnaldo Salazar Quea**

**GERENCIA TECNICA
Walter Sciutto Brattoli**

Firma

Firma

Nota: Esta AST deberá ser firmada por el Gerente del Sector, Sub Gerente, Jefes de Sección y el personal que realiza esta actividad en la empresa

ANEXO B
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SOFTWARE ETAP

CARACTERISTICAS DEL SOFTWARE ETAP

El ETAP emplea para sus cálculos de armónicos dos algoritmos, emplea el Método de Gauss Siedel y el Método de Newton Rapson, no tiene límite en el número de barras para su cálculo.

Tiene una interfaz gráfica muy versátil, requiere sistemas operativos compatibles con el Windows XP o superior, un espacio de un 1GB libre en el disco duro y 1 MB de memoria.

El ETAP permite realizar las siguientes operaciones:

- Flujo de cargas armónicas.
- Visualizar la forma de onda armónicas en función de la frecuencia.
- Diseño de filtros.
- Modelamiento de filtros para inter armónicos.
- Evaluación Automática del límite armónico.
- Calcula las siguientes variables:
 - El rendimiento del filtro armónico.
 - La impedancia en magnitud y ángulo de las barras.
 - Factor de interferencia telefónica - TIF.
 - Distorsión total de onda.
 - Valor medio cuadrático - RMS.
 - Índices IEEE 519.

Sobre los reportes generados:

- Flujo de cargas.
- Reporte de distorsiones en tensión y corriente armónicas.
- Reporte de RMS, TIF.
- Exportación de diagramas unifilares en CAD.
- Exportación de datos en Word.

El software está certificado según las siguientes normas:

- United States Code (U.S.C.) Title 10 CFR 50, Appendix B Quality assurance criteria for nuclear power plants and fuel reprocessing plants.
- United States Code (U.S.C.) Title 10 CFR 21 Reporting of defects and non-compliance.
- ANSI/ASME N45.2-1977 Quality assurance requirements for nuclear facilities.
- ASME NQA-1 (Includes Subpart 2.7) Quality assurance requirements for nuclear facility applications.
- ISO 9001:2000 Standards Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing. ISO 9001:2000 Registered Certification Number A3147 UL.
- ANSI/IEEE Std 730.1-1989 IEEE standard for software quality assurance plans.
- CAN/CSA-Q 396.1.2 – 1989 Quality assurance program for previously developed software used in critical applications.
- ANSI N45.2.2-1972 Packaging, shipping, receiving, storage and handling of items for nuclear power plants.

ANEXO C
DIAGRAMAS UNIFILARES

S.E. 2.3kV A RETIRAR

S.E.	DESCRIPCION	TIPO	PT.(kVA)	D.M.	OBSERVACIONES
A	PAB. CENTRAL	SUBTERRANEA	150+75	137+34 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN PATIO PAB. CENT.
B	FAC. MECANICA	CASETA	250+55	114+54 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN LAB. MOTORES
C	FAC. QUIMICA	CASETA	200	137 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN LAB. QUIMICA
D	FAC. ARQUITECTURA	CASETA	100	90 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN SOTANO ARQUITECTURA
E	LAB. HIDRAULICA	CASETA	175	40 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN LAB. HIDRAULICA
F	EX INGEMET	CASETA	100	35 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN CASETA
G	CHANCADORA	CASETA	125	45 kVA EN 2.3kV	A RETIRAR UBICADO EN CASETA

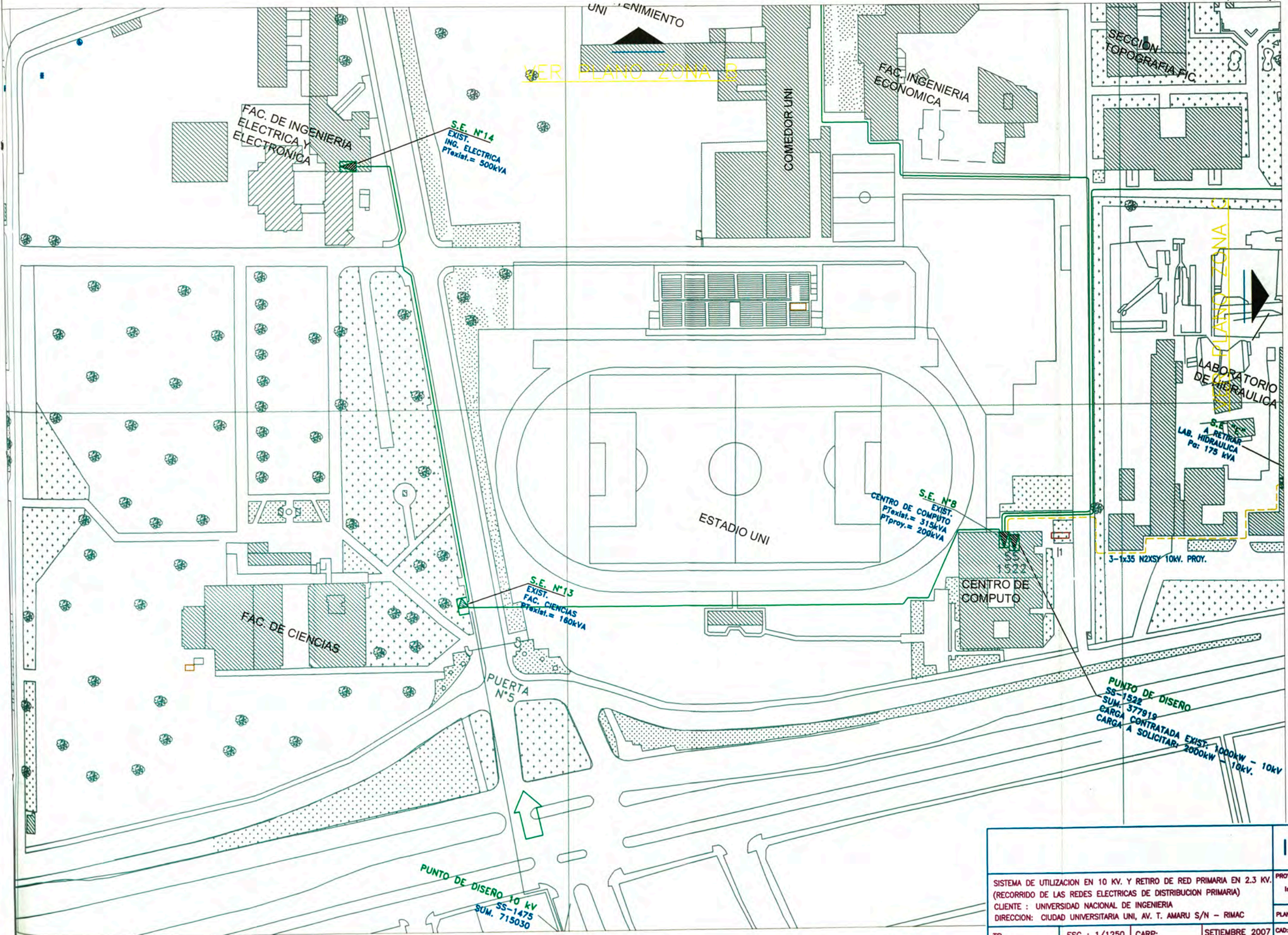
S.E. 10 kV PROYECTADO

N°	ESTADO	UBICACION	TIPO S.E.	P.T. (kVA)	D.M.	OBSERVACIONES
1	PROY.	FAC. MECANICA	S.E. CONV.	400kVA+250kVA		400kVA+250kVA
2	PROY.	FAC. QUIMICA	S.E. CONV.	250 kVA	137kVA	
3	EXIST.	TEATRO	S.E. SUBT.	400 kVA	145kVA	EN 10 KV, EXIST.
4	PROY.	CEPS	S.E. CONV.	630 kVA	400kVA	
5	PROY.	PAB. CENTRAL	S.E. CONV.	400 kVA	(137+64)kVA	EN 2.3 KV, SE ADECUARA AMBIENTE PARA 10KV.
6	PROY.	GEOLOGIA	S.C.P.	250 kVA		
7	PROY.	CHANCADORA	S.A.B.	250 kVA	45kVA	
8	EXIST.	COMPUTO	S.E. CONV.	200 kVA	50kVA	SE CAMBIARA TRAF0 315 kVA POR UNA DE 200 kVA.
9	PROY.	LAB. HIDRAULICA	S.E. CONV.	400 kVA	40kVA	
10	EXIST.	FAC. CIVIL	S.E. CONV.	315 kVA	232kVA	
11	PROY.	ARQUITECTURA	S.E. CONV.	400 kVA	94kVA	

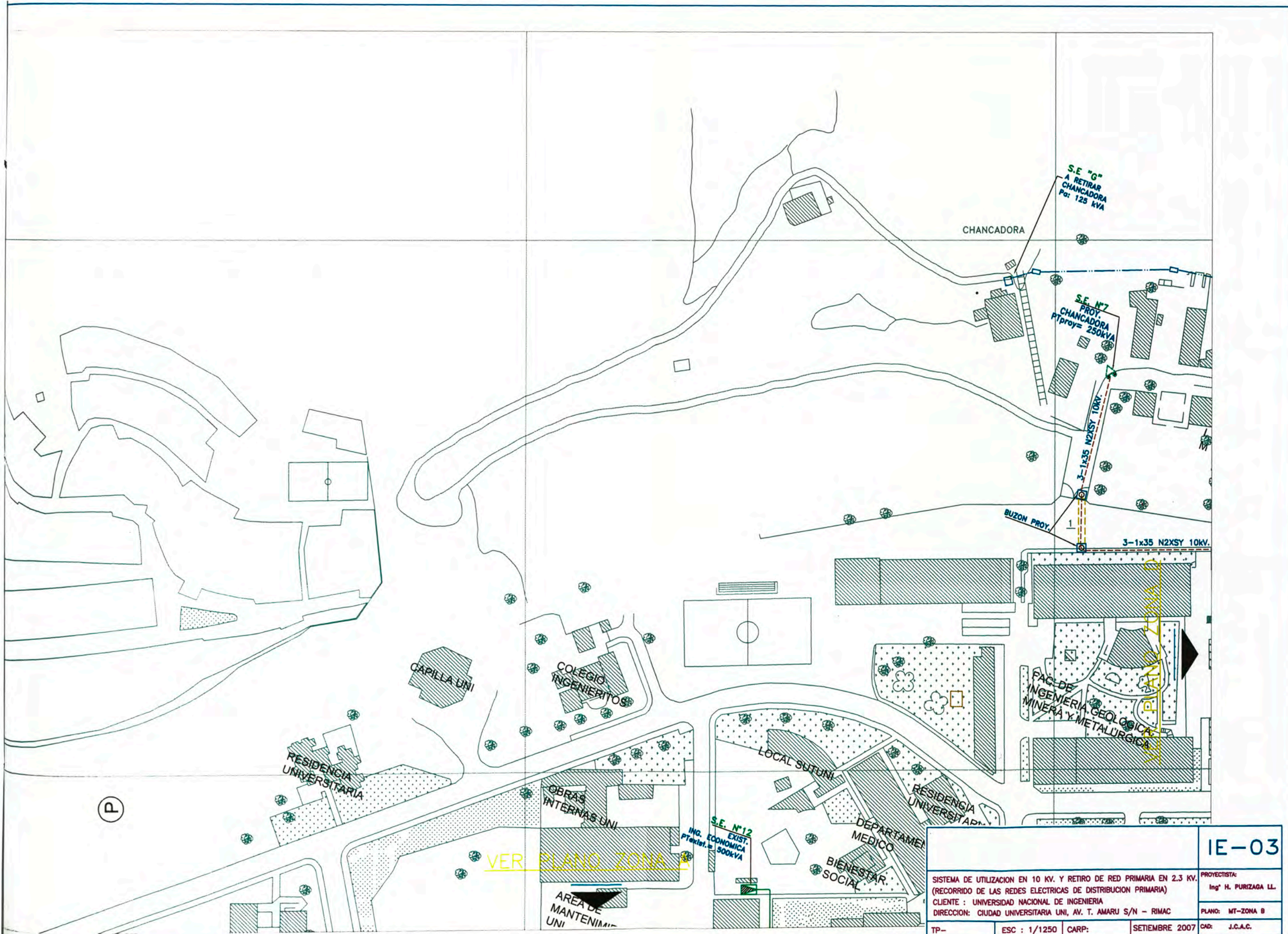
LEYENDA

Proy.	Exist.	Retiro	DESCRIPCION
			BUZON 1.5x1.5x1.5
			POSTE DE MADERA MT.
			RETENIDA TIPO VIOLIN
			POSTE DE CONCRETO
			DUCTO DE CONCRETO
			CABLE AEREO
			CABLE SUBTERRANEO 10 KV.
			SUBESTACION AEREA BIPOSTE
			SUBESTACION SUBTERRANEA
			SUBESTACION COMPACTA PEDESTAL
			SUBESTACION CONVENCIONAL

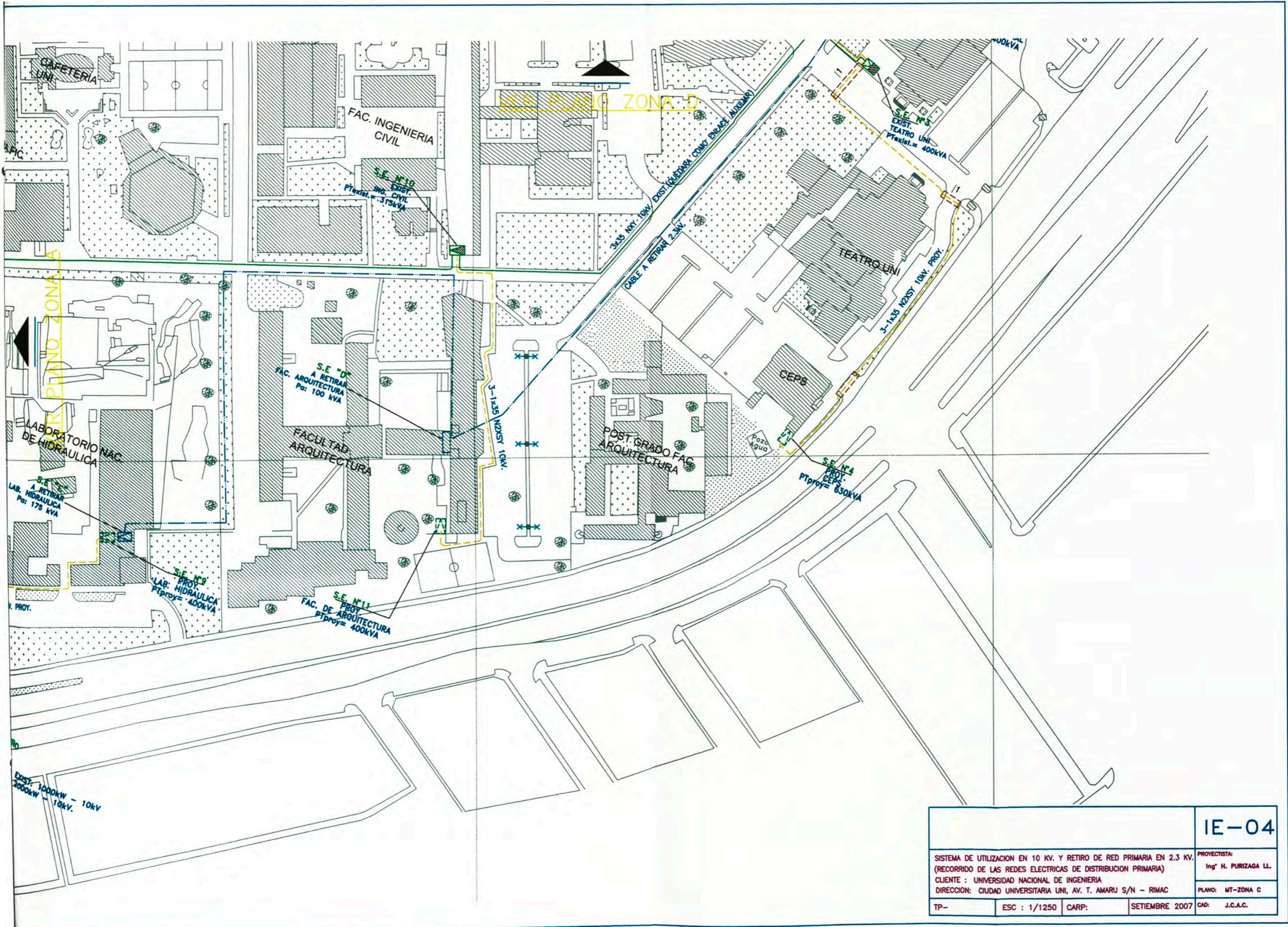
			IE-01
SISTEMA DE UTILIZACION EN 10 KV. Y RETIRO DE RED PRIMARIA EN 2.3 KV. (RECORRIDO DE LAS REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION PRIMARIA) CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DIRECCION: CIUDAD UNIVERSITARIA UNI, AV. T. AMARU S/N - RIMAC			PROYECTISTA: Ing° H. PURIZAGA LL.
TP-	ESC : 1/1250	CARP:	SETIEMBRE 2007
			CAD: J.C.A.C.



				IE-02
SISTEMA DE UTILIZACION EN 10 KV. Y RETIRO DE RED PRIMARIA EN 2.3 KV. (RECORRIDO DE LAS REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION PRIMARIA) CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DIRECCION : CIUDAD UNIVERSITARIA UNI, AV. T. AMARU S/N - RIMAC				PROYECTISTA: Ing° H. PURIZAGA LL.
TP-				PLANO: MT-ZONA A
ESC : 1/1250	CARP:	SETIEMBRE 2007	CAD: J.C.A.C.	



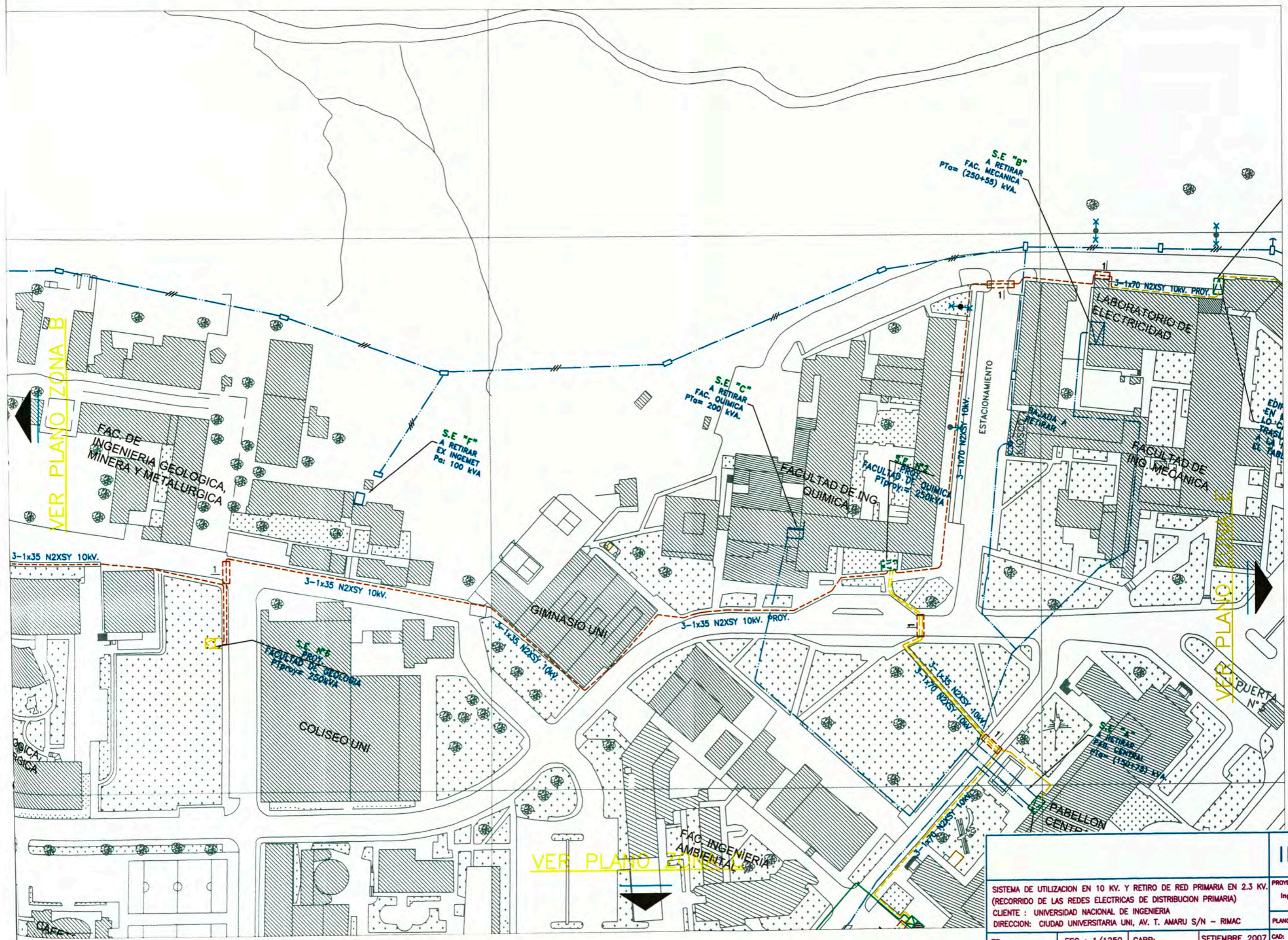
			IE-03	
SISTEMA DE UTILIZACION EN 10 KV. Y RETIRO DE RED PRIMARIA EN 2.3 KV. (RECORRIDO DE LAS REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION PRIMARIA)			PROYECTISTA: Ing° H. PURIZAGA LL.	
CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DIRECCION: CIUDAD UNIVERSITARIA UNI, AV. T. AMARU S/N - RIMAC			PLANO: MT-ZONA B	
TP-	ESC : 1/1250	CARP:	SEPTIEMBRE 2007	CAD: J.C.A.C.



VER PLANO ZONA D

PIANO ZONA A

			IE-04	
SISTEMA DE UTILIZACION EN 10 KV. Y RETIRO DE RED PRIMARIA EN 2.3 KV. (RECORRIDO DE LAS REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION PRIMARIA)			PROYECTISTA: Ing° H. PURIZAGA LL.	
CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			PLANO: MT-ZONA C	
DIRECCION : CIUDAD UNIVERSITARIA UNI, AV. T. AMARU S/N - RIMAC			CAD: J.C.A.C.	
TP-	ESC : 1/1250	CARP:	SEPTIEMBRE 2007	

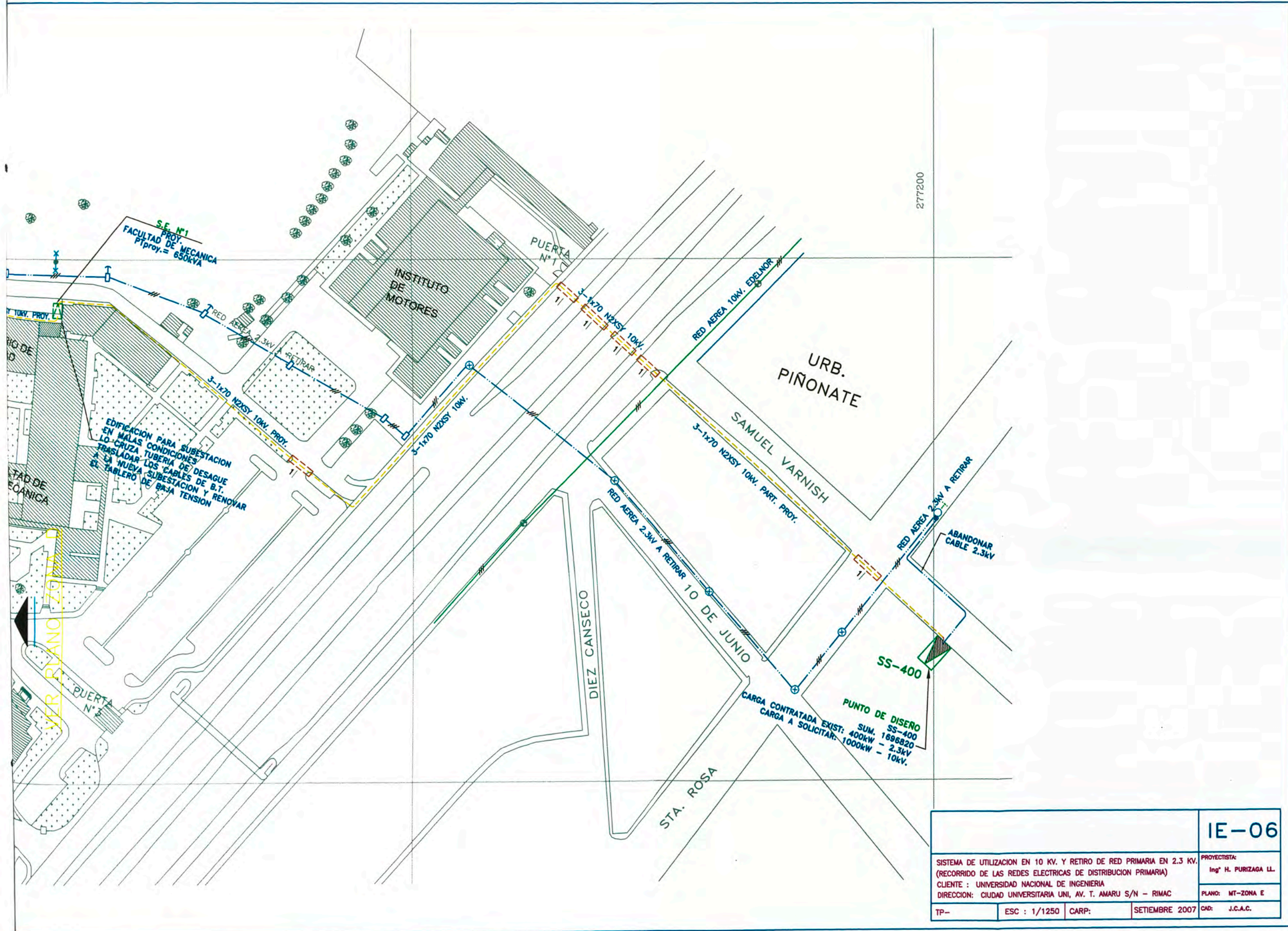


VER PLANO ZONA B

VER PLANO ZONA E

VER PLANO ZONA D

IE-05	
SISTEMA DE UTILIZACION EN 10 KV. Y RETIRO DE RED PRIMARIA EN 2.3 KV. (RECORRIDO DE LAS REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION PRIMARIA)	
PROYECTISTA: Ing° H. PURIZAGA LL.	
CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
DIRECCION: CIUDAD UNIVERSITARIA UNI, AV. T. AMARU S/N - RIMAC	
PLANO: MT-ZONA D	
TP-	ESC : 1/1250 CARP: SETIEMBRE 2007 CAD: J.C.A.C.



				IE-06
SISTEMA DE UTILIZACION EN 10 KV. Y RETIRO DE RED PRIMARIA EN 2.3 KV. (RECORRIDO DE LAS REDES ELECTRICAS DE DISTRIBUCION PRIMARIA) CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DIRECCION: CIUDAD UNIVERSITARIA UNI, AV. T. AMARU S/N - RIMAC				PROYECTISTA: Ing° H. PURIZAGA LL.
				PLANO: MT-ZONA E
TP-	ESC : 1/1250	CARP:	SEPTIEMBRE 2007	CAD: J.C.A.C.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Norma IEEE 519.
- [2] Normas Técnicas de la Calidad del Servicio Eléctrico.
- [3] Calidad del Servicio de Energía Eléctrica.
- [4] George J. Wakileh “Power Systems harmonics”, Fundamentals, Analysis and Filter Design 2001.
- [5] Power Electronic Converter Harmonics Multipulse Methods for Clean Power
- [6] Manuel João Sepúlveda Mesquita de Freitas “Implementação de um Filtro Activo de Potência para Optimização da Interface entre a Rede e outros Sistemas Eléctricos” para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Electrónica Industrial Universidade do Minho. 2004.
- [7] Ing. Carlos Galván, “Filtro activo Shunt y la estrategia de control de la fuente constante de potencia instantánea para compensación de armónicos”, Scientia et técnica.Nº25,2001