



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**ESTUDIO DE CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LA  
EMPRESA DE LACTEOS “SAN FRANCISCO”**

**PRESENTA:**

**DAVID CLEMENTE PASCACIO**

**13270908**

**ASESOR INTERNO:**

**ING. LISANDRO JIMÉNEZ LÓPEZ**

**ASESOR EXTERNO:**

**ING. HERNÁN AGUILAR PÉREZ**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, DICIEMBRE 2017.**

## Contenido

1. Introducción.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Estado del arte.....	5
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos.....	6
1.5 Metodología.....	6
2.-FUNDAMENTO TEORICO.....	7
2.1 Calidad de la energía.....	7
2.1.1 Fluctuaciones de voltaje.....	7
2.1.2 Sobretensiones transitorias.....	8
2.1.2.1 Tipos de sobretensiones transitorias.....	9
2.1.3 Interrupciones de energía.....	10
2.1.4 Ruido eléctrico.....	11
2.1.5 Distorsión armónica.....	12
2.1.6 Fuentes de Armónicas.....	13
2.1.7 Efecto de las armónicas.....	14
2.2 Factor de potencia.....	15
2.2.1.    Potencia aparente (s):.....	17
2.2.2.    Potencia activa (p):.....	17
2.2.3.    Potencia reactiva (q):.....	18
2.2.4.    COS $\varphi$ .....	18
2.2.5 Alto y bajo factor de potencia.....	19
2.2.6 Desventajas de un bajo factor de potencia.....	19
2.2.7    Ventajas de un alto factor de potencia.....	20
2.2.8    Mal factor de potencia.....	21
2.2.9 Mejora del factor de potencia.....	21
2.3 Analizadores de la energía y de la calidad eléctrica.....	22



2.4 Normatividad .....	24
3. DESARROLLO.....	30
3.1 Descripción de la instalación eléctrica de la empresa de lácteos San Francisco .....	30
3.2 Análisis de las mediciones de la red eléctrica de la empresa de lácteos.....	31
3.2.1 Configuración del equipo.....	32
3.3 Diagrama de conexiones principales .....	32
3.4 Conexión del analizador con la computadora.....	34
4. Resultados y conclusiones .....	35
4.1 Resultados .....	35
4.2 Recomendaciones .....	43
4.3 Conclusión .....	44
Referencias Bibliográficas .....	46
Anexo.....	47

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes.

En la actualidad la energía eléctrica es la materia prima fundamental para la industria y el sector de servicios. Es una materia prima inusual porque es requerida como un flujo continuo, no puede ser almacenada convenientemente en grandes cantidades y no puede sujetarse a pruebas de aseguramiento de la calidad antes de ser utilizada.

La electricidad es muy diferente a cualquier otro producto, es generada lejos de los puntos de utilización, se mezcla en la red de transporte y distribución con más energía procedente de otros centros de generación y llega al usuario final después de varias transformaciones y muchos kilómetros de líneas aéreas y en muchas ocasiones de líneas subterráneas.

Asegurar la calidad de la energía entregada en los puntos de utilización no es una tarea sencilla, y no hay manera de que la electricidad que se encuentra fuera de los estándares de calidad pueda ser retirada del vínculo de alimentación o rechazada por el usuario.

Tanto las empresas suministradoras de energía eléctrica como los usuarios finales del servicio han estado insistiendo cada vez más en el concepto de calidad de la energía. Si bien desde hace 50 años el sector de la industria condujo a la necesidad de que los productos se volvieran económicamente más competitivos, los problemas de la calidad de la energía se han agravado debido a la combinación de las siguientes tendencias en los últimos años:

- Una mayor utilización de equipo para procesamiento de datos y comunicaciones.
- Los equipos eléctricos modernos se han vuelto más sensibles a los voltajes, los diseños y componentes están en sus límites; se acabaron los diseños sobrados.
- El número de disturbios eléctricos se ha incrementado, ya que la demanda en algunas partes del país ha crecido más que la generación.

Históricamente, la calidad de la energía no había sido un problema mayor hasta la década de los 80's, en forma genérica se consideraba que excepto por la continuidad, el suministro para la mayoría de los usuarios de la energía eléctrica era completamente satisfactorio. Sin embargo, existen tres cambios fundamentales en la naturaleza de la carga del usuario y del sistema de potencia que conciernen a la calidad de la energía:

1. La microelectrónica ha producido una creciente categoría de cargas a nivel residencial, comercial e industrial. Los microprocesadores modernos han resultado en dispositivos más rápidos, complejos y con mayor capacidad de memoria para una misma superficie. La lógica de estos circuitos requiere de niveles de tensión y de energía menores, reduciendo el consumo de potencia y que son muy sensibles a las variaciones de la calidad de la energía.
2. La electrónica de potencia ha producido una nueva generación de dispositivos lo que ha extendido su utilización. Sin embargo, cualquier dispositivo que incorpora electrónica de potencia es sensible a las variaciones rápidas del voltaje. En segundo lugar, este tipo de equipos genera distorsión armónica y bajo ciertas condiciones puede deteriorar la magnitud

y forma de onda del voltaje suministrado. Estos dispositivos apoyados en la electrónica de potencia producen perturbaciones en la calidad de la energía los cuales para la microelectrónica resultan muy sensibles.

3. Mientras que estos cambios drásticos se están dando en las cargas, las empresas eléctricas y los clientes industriales continúan aplicando capacitores para corregir el factor de potencia, para controlar el voltaje y reducir el flujo de reactivos. Estos capacitores influyen en los muchos tipos de problemas de calidad de la energía, ya que son la puerta para corrientes de alta frecuencia y pueden mejorar o agravar la situación significativamente al incrementar los niveles de armónicas, dependiendo de los parámetros del sistema.

## **1.2. Estado del arte.**

2006, SECOVI, Realizo el estudio de calidad de la energía a la planta ARNECOM Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Se realizaron las mediciones durante 3 días. Se uso de un equipo trifásico marca POWER MEASUREMENT MODELO 7700 con sensores de corriente de una capacidad de 3,000 amperes. El equipo fue conectado en las terminales de entrada del interruptor principal del transformador, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición.

Se propuso equipos de protección para el sistema eléctrico: Para alimentar el tablero principal y los de distribución, Supresor de transitorios de 208/120 Volts, configuración estrella, 7 modos de protección, sistema sine wave tracking para rastreo de transitorios, contador de eventos suprimidos, alarma audible, prueba de integridad por módulo, filtrado de ruido.

2009, Eléctrica Moreno Trujillo. Realizo la valoración energética y elección de tipo de contrato para vivienda unifamiliar, Benalmádena, Málaga. Con el analizador de redes HT, modelo. SKYLAB 9032. Se concluyó seguir con la tarifa actual, pedir a la compañía que cambie contador y conseguir una rebaja en la factura de 20e aproximados al mes por defecto de lectura. Para poder reducir el consumo eléctrico de la vivienda aún más es necesario dentro de lo posible hacer funcionar los aparatos dentro del horario de llave y aplicar la medida de ahorro energético.

2016, On-Site services. Realizo un estudio de la calidad de la energía en el Hotel City Junior “SLP Centro”, utilizando el equipo multimedidor de calidad de energía, marca “Electroindustries Guageteach” modelo “nexus 1250”, colocando por 7 días el equipo de multimedición.

Lo que aquí se propone como proyecto es realizar un estudio de calidad de energía eléctrica a la empresa de lácteos “San francisco” ubicado en Carretera costera Km. 174 Rancho San Francisco, Pijijiapan. Chiapas, para conocer el comportamiento del sistema eléctrico de la empresa.

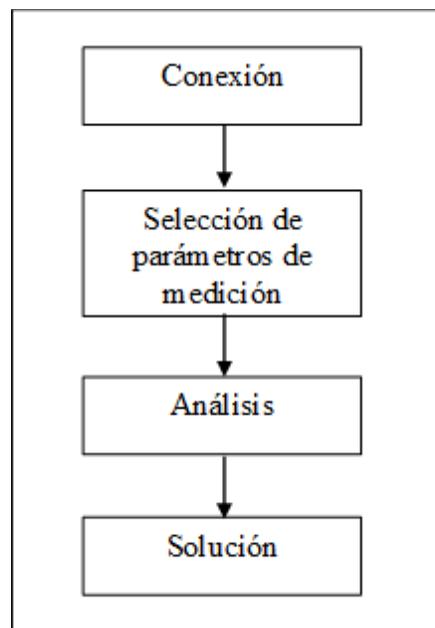
### 1.3. Justificación.

En los últimos meses el consumo de la carga contratada se ha superado inconscientemente por los dueños de la empresa de lácteos “San Francisco” ubicado en Carretera costera Km. 174 Rancho San Francisco, Colonia Miguel Alemán. Municipio de Pijijiapan. Chiapas. Por lo que se realizara un estudio de calidad de la energía eléctrica, para poder detectar y registrar todos los detalles de las perturbaciones eléctricas, realizar análisis de tendencias y verificar la calidad del suministro eléctrico. Se utilizará el analizador de la energía y de la calidad eléctrica “435 serie II FLUKE”.

### 1.4. Objetivos

Se realizará el presente estudio de calidad de energía con la finalidad de conocer el comportamiento actual del sistema eléctrico y recomendar soluciones a los problemas de calidad de energía conforme a los datos obtenidos del analizador de la energía y de la calidad eléctrica “435 serie II FLUKE”.

### 1.5 Metodología



**Fig. 1.1** Diagrama a bloques hardware.

**-Conexión:** en este proceso se conectarán las sondas de corriente y pinzas caiman de voltaje de forma secuencial, en el lado secundario del transformador.

**-Selección de parámetros de medición:** en este proceso se filtran los parámetros a medir y se seleccionan en el analizador de redes Fluke 435 para ejecutar la medición.

**-Análisis:** una vez terminada la medición programada, se procede a realizar el análisis e interpretación de los datos obtenidos mediante el programa Power log 5.2.

**-Solución:** se procede a dar la solución técnica a los problemas detectados a partir del análisis realizado para corregir los problemas de calidad de la energía presentes en la instalación eléctrica.

## 2.-FUNDAMENTO TEORICO

### 2.1 Calidad de la energía

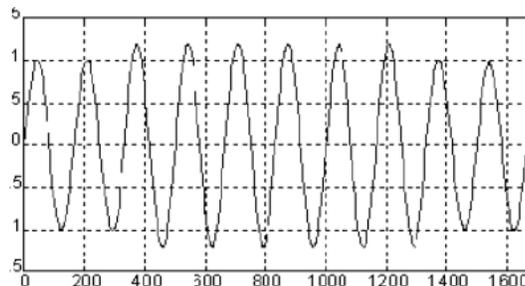
La definición de la calidad de la energía es algo indeterminado; pero se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicos en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico.

La calidad de la energía es el resultado de una atención continua, en años recientes esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales, por si solas resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica.

El objetivo de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de las compañías suministradoras de energía eléctrica.

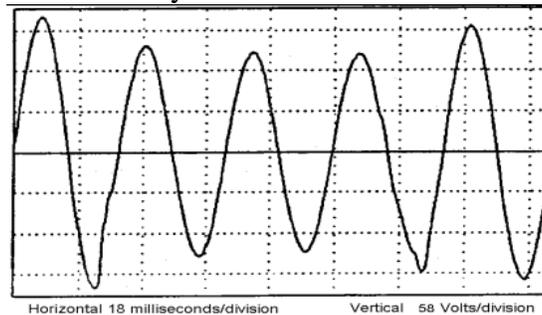
#### 2.1.1 Fluctuaciones de voltaje

Es la disminución momentánea en la magnitud de voltaje RMS, con una duración que va desde 10 ms (0.6 ciclos) hasta 2.5 segundos (150 ciclos) causado por una falla remota en algún lugar de la potencia. También existe las elevaciones de tensión “swells” (figura 2.1), que no son tan comunes. Las condiciones de alto o bajo voltaje pueden representarse en circuitos durante la desconexión de cargas de gran tamaño o durante periodos de sobrecargas. Las variaciones de voltaje pueden ocurrir en varias fases o en solo una de ellas.



**Fig. 2.1 Swells**

Una depresión severa se define como aquella menor que el 85% de la tensión nominal “sags”, (figura 2.2). Si estas condiciones se presentan con frecuencia o durante periodos prolongados, pueden dar lugar e envejecimientos de componentes electrónicos en sistemas digitales y errores durante el almacenamiento o lectura de la información. Su presencia puede, algunas veces detectarse visualmente al presentarse “parpadeo” o disminución del nivel de iluminación en lámparas o reducción “encogimiento” del área de despliegue en monitoreo de televisión o computadoras, a la vez puede causar interrupciones de equipos sensibles tales como PLCs, variadores de velocidad y relés.



**Fig. 2.2 Sags**

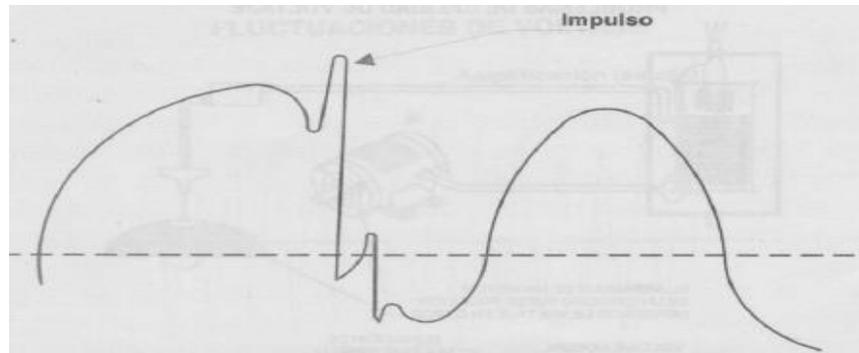
### **2.1.2 Sobretensiones transitorias**

El termino transitorio se aplica a los fenómenos que varían entre dos estados estacionarios consecutivos durante un intervalo de tiempo que es corto comparado a la escala del tiempo interés.

Un transitorio puede ser un impulso unidireccional de cualquier polaridad o una onda oscilatoria amortiguada con el primer pico ocurriendo en cualquier polaridad

En el estándar europeo EN 50160, las sobretensiones transitorias (figura 2.3), se presentan en forma de impulsos de voltaje de corta duración, superpuestos en la señal de alimentación y frecuentemente intermitentes con una duración menor a dos milisegundos. Los impulsos pueden tener origen en las descargas atmosféricas, en maniobra de interruptores y al conectar o desconectar capacitores para la corrección del factor de potencia. Estos constituyen los llamados picos de voltaje.

A diferencia de las sobretensiones temporales y exceptuando el caso critico de rayos muy cerca de las instalaciones que producen chispas en los contactos, estas sobretensiones no presentan una indicación clara de su existencia, que pueda detectarse visualmente en circuitos de alumbrado o en alguna otra forma. Sin embargo, dado que su nivel puede llegar a alcanzar valores de cinco veces o más el voltaje nominal, su efecto consiste en aplicar esfuerzos excesivos al aislamiento de diversos equipos o disturbios a componentes electrónicos sensibles y como resultado de esta sobretensión puede afectar con interrupciones de programas en procesos de computadoras y pérdida de información.



**Fig. 2.3** Sobretensión transitoria

### 2.1.2.1 Tipos de sobretensiones transitorias

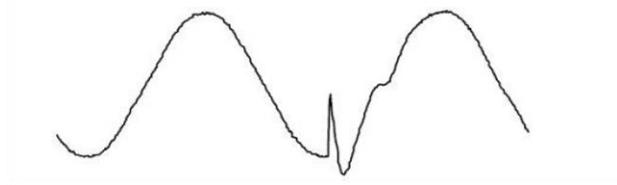
#### **Transitorios al azar.**

Con frecuencia, los problemas con los transitorios surgen de la propia fuente de energía que alimenta un circuito, siendo en general más difícil definir su amplitud, duración, y contenido energético. Estos transitorios son generalmente ocasionados por conexiones y desconexiones de cargas en paralelo ubicadas en las mismas ramas de un sistema de distribución, aunque también son causados por rayos que se introducen en las líneas. Los sistemas de comunicación, tales como las líneas telefónicas y de telecomunicaciones en general, también son afectados por los rayos y fallas en el sistema de potencia.

Tomando en cuenta la forma de onda de los voltajes o de las corrientes transitorias, existen básicamente dos tipos de transitorios: impulsivos y oscilatorios.

Un transitorio impulsivo (figura 2.4) es un cambio repentino a frecuencia diferente de la de potencia (diferente a 60 Hz) en la condición de estado estacionario de un voltaje, una corriente o en ambos, que es unidireccional en polaridad (principalmente positiva o negativa).

La causa más común de transitorios impulsivos son las descargas atmosféricas.



**Fig. 2.4** Transitorio impulsivo

Los transitorios impulsivos pueden ser descritos por su contenido espectral. La tabla 2.1 define el contenido espectral y la duración de los transitorios impulsivos (IEEE, 1999, Pág. 29).

Transitorios impulsivos	Contenido espectral	Duración
<i>Nanosegundos</i>	<i>5 ns de elevación</i>	<i>&lt; 50 ns</i>
<i>Microsegundos</i>	<i>1 <math>\mu</math>s de elevación</i>	<i>50 ns – 1 ms</i>
<i>Milisegundos</i>	<i>0.1 ms de elevación</i>	<i>&gt; 1 ms</i>

**Tabla 2.1** Descripciones de los transitorios impulsivos

Un transitorio oscilatorio es un cambio repentino a frecuencia diferente de la de potencia (diferente a 60 Hz) en la condición de estado estacionario del voltaje, la corriente o de ambos, que incluye valores de polaridad positiva y negativa. Un transitorio oscilatorio consiste de un voltaje o de una corriente cuyo valor instantáneo cambia de polaridad rápidamente y es descrito por su contenido espectral (frecuencia predominante), duración y magnitud.

Las subclases de contenido espectral definidas en la tabla 2.2 son alta, media y baja frecuencia.

Los rangos de frecuencia para estas clasificaciones (IEEE, 1999, Pág. 30) son seleccionados para que coincidan con los tipos comunes de fenómenos transitorios oscilatorios en sistemas de potencia.

Transitorio oscilatorio	Contenido espectral	Duración	Magnitud de voltaje
<i>Baja frecuencia</i>	<i><math>f \leq 5 \text{ kHz}</math></i>	<i>0.3 – 50 ms</i>	<i>0 – 4 pu</i>
<i>Frecuencia media</i>	<i><math>5 \text{ kHz} \leq f \leq 500 \text{ kHz}</math></i>	<i>20 <math>\mu</math>s</i>	<i>0 – 8 pu</i>
<i>Alta frecuencia</i>	<i><math>500 \text{ kHz} \leq f \leq 5 \text{ MHz}</math></i>	<i>5 <math>\mu</math>s</i>	<i>0 – 4 pu</i>

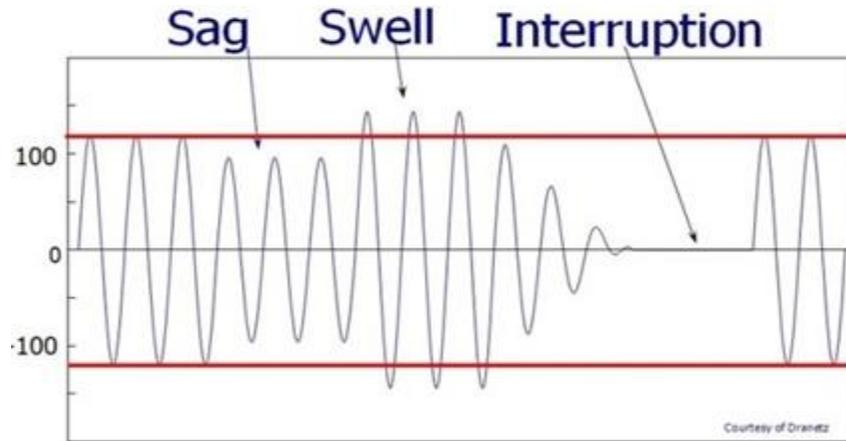
**Tabla 2.2** Descripción de transitorios oscilatorios

### 2.1.3 Interrupciones de energía

Una interrupción es un evento durante el cual el voltaje en el punto de conexión del cliente, cae a cero y no retorna a sus valores normales automáticamente. De acuerdo con la IEC 61000-4-30, el tiempo mínimo de una larga interrupción es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 minutos se denomina corta interrupción (fig. 2.5).

De acuerdo a su origen, las interrupciones se pueden clasificar en dos grandes grupos: Interrupciones programadas e Interrupciones imprevistas.

**Interrupciones programadas:** Son aquellas que se avisan con la suficiente anticipación a los clientes. Están claramente definidas en los marcos regulatorios de la mayoría de los mercados abiertos.



**Fig. 2.5** Interrupción de corta duración

Las interrupciones instantáneas de energía provocadas por una condición de falla del aislamiento después de una operación exitosa del equipo de restablecimiento pueden tener una duración de hasta varios ciclos.

Deben tomarse las medidas necesarias para reducir al mínimo las salidas instantáneas, generalmente producidas durante tormentas eléctricas.

Esto es posible con el uso de nuevas tecnologías, por ejemplo, utilizando aisladores con entrehierro y limitadores de corriente.

Las interrupciones temporales de energía, generalmente ocurren por algún disturbio en el sistema eléctrico (fallas en el sistema de potencia, accidentes que involucran a la red de distribución, fallas de transformadores o generadores) o por sobrecargas en la red de baja tensión. Su duración puede ser desde algunos milisegundos hasta varias horas.

#### **2.1.4 Ruido eléctrico**

Son todas aquellas señales de interferencias de origen eléctrico no deseadas y que están unidas a la señal principal, de manera que la pueden alterar produciendo efectos que puedan ser perjudiciales (figura 2.7).

Cuando la señal principal es analógica, el ruido será perjudicial en la medida que lo sea su amplitud respecto a la señal principal.

Cuando las señales son digitales, si el ruido no es capaz de producir un cambio de estado, dicho ruido será irrelevante, sin descartar que el ruido nunca se puede eliminar en su totalidad.

La principal fuente de ruido es la red que suministra la energía eléctrica, y lo es porque alrededor de los conductores se produce un campo magnético a la frecuencia de 50 ó 60 Hz. Además, por estos conductores se propagan los parásitos o el ruido producido por otros dispositivos eléctricos o electrónicos.

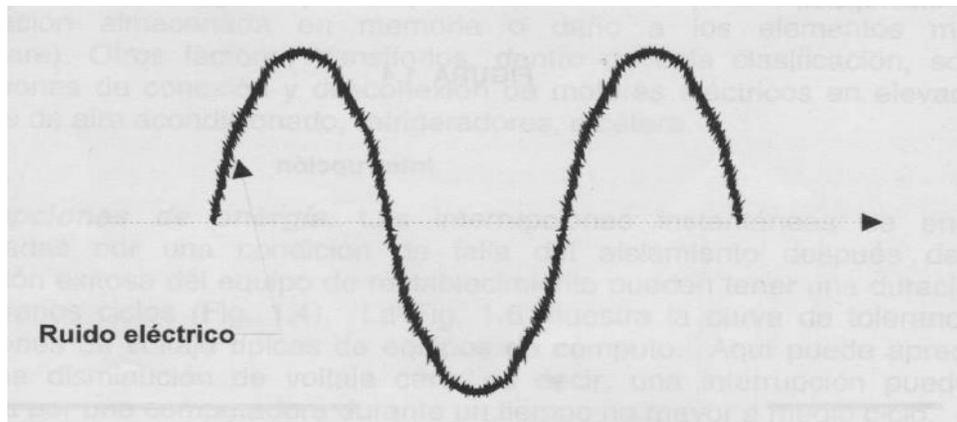
Existen algunas perturbaciones como el rayo, que son capaces de actuar desde una gran distancia del lugar que se produce, por ejemplo al caer sobre una línea de alta tensión.

Las perturbaciones más perjudiciales son las que se producen interiormente o muy cerca de la instalación. Normalmente son picos y oscilaciones de tensión causados por bruscas variaciones de intensidad en el proceso de conexión y desconexión de los dispositivos de mayor consumo.

El ruido eléctrico es el resultado de una cantidad mayor o menor de señales eléctricas aleatorias que se acoplan en circuitos en los que no deberían estar, por ejemplo, donde pudieran interrumpir señales de transferencia de información.

El ruido se produce tanto en circuitos de señales como de alimentación, pero, generalmente, se convierte en un problema cuando se producen en circuitos de señales. Los circuitos de señales y datos son particularmente vulnerables al ruido, dado que funcionan a altas velocidades y con niveles de baja tensión.

Puede ser causado por dispositivos de electrónica de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes conmutadas.



**Fig. 2.7** Ruido eléctrico

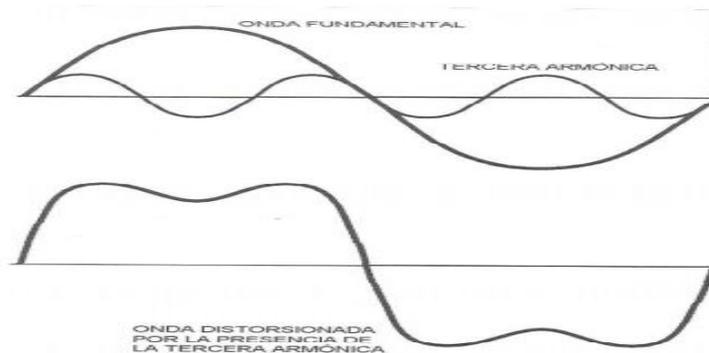
### 2.1.5 Distorsión armónica

Las armónicas son corrientes y voltajes presentes en un sistema eléctrico con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. Así, en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz).

Si se tiene una señal periódica no senoidal, entonces ésta puede descomponerse en una sumatoria de funciones senoidales y cosenoidales armónicamente relacionadas por la frecuencia. Cuando las frecuencias de estas tensiones y corrientes armónicas no son múltiplos enteros de la onda fundamental se denominan interarmónicas.

También existen las subarmónicas que son frecuencias que están por debajo de la frecuencia fundamental con una razón de  $1/x$ .

Esta situación puede llegar a causar un funcionamiento incorrecto de muchos equipos (especialmente los menos robustos) que han sido diseñados para operar bajo condiciones normales (poca distorsión armónica). Además, se presenta un incremento en los costos de operación como resultado de algunos factores ligados a la generación de armónicas.



**Fig. 2.8** Onda distorsionada

### 2.1.6 Fuentes de Armónicas

En general, cualquier tipo de carga no lineal conectada al sistema eléctrico causará distorsión armónica:

- a. Saturación de transformadores.
- b. Corrientes de energización de transformadores.
- c. Conexiones al neutro de transformadores.
- d. Fuerzas magnetomotrices en máquinas rotatorias de corriente alterna.
- e. Hornos de arco eléctrico.
- f. Lámparas fluorescentes.
- g. Fuentes reguladas por conmutación.
- h. Cargadores de baterías.
- i. Compensadores estáticos de VAr's.
- j. Variadores de frecuencia para motores, inversores.

Las armónicas son una situación de estado estable, por lo que no se deben confundir con fenómenos transitorios. Aun y cuando las corrientes de energización en los transformadores son transitorios en sistemas eléctricos, también se pueden citar dentro de fuentes que producen armónicas, si operan en sistemas que presentan una resonancia aguda en alguna de las frecuencias de esta corriente (en su mayoría la 2da, 3ra, 4ta y 5ta armónicas).

Esto causaría una distorsión en voltaje que a su vez afectará a la corriente de energización del transformador, por ende, excitando aún más la frecuencia de resonancia del sistema e incrementando la distorsión en voltaje hasta niveles que pueden degradar o dañar equipo en forma instantánea o eventual.

### 2.1.7 Efecto de las armónicas.

Efecto en cables y conductores: al circular corriente directa a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule,  $I^2R$ , donde  $R$  es la resistencia a corriente directa del cable y la corriente está dada por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable (manteniendo su valor rms igual al valor de corriente directa.) disminuye el área efectiva por donde ésta circula puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor.

Por lo tanto, la resistencia a corriente alterna de un conductor es mayor que su valor a corriente directa y aumenta con la frecuencia, por ende, también aumentan las pérdidas por calentamiento. A frecuencia de 60 Hz, este efecto se puede despreciar, no por que no exista, sino porque este factor se considera en la manufactura de los conductores. Sin embargo, con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto Joule son mayores por la frecuencia de las componentes armónicas de la corriente.

**Efecto en transformadores:** la mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil.

Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas,  $I^2R$ , pérdidas por corrientes de eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro.

**Pérdidas sin carga o de núcleo:** producidas por el voltaje de excitación en el núcleo. La forma de onda de voltaje en el primario es considerada senoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumentan para corrientes de carga no senoidales. Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.

**Pérdidas,  $I^2R$ :** si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.

**Pérdidas adicionales:** estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador contribuirán o no en la temperatura más caliente del devanado. Se considera que varían con el cuadrado de la corriente y la frecuencia, como se muestra en la ecuación. (figura 2.14)

Aunado a estas pérdidas, algunas cargas no lineales presentan una componente de corriente directa en la corriente de carga. Si este es el caso, esta componente aumentará las pérdidas

de núcleo ligeramente, pero incrementarán substancialmente la corriente de magnetización y el nivel de sonido audible, por lo que este tipo de cargas se debe evitar.

**Efecto en interruptores:** los fusibles e interruptores termomagnéticos operan por el calentamiento producido por el valor rms de la corriente, por lo que protegen de manera efectiva a los conductores de fase y al equipo contra sobrecargas por corrientes armónicas. Por otro lado, la capacidad interruptiva no se ve afectada por las componentes armónicas en los sistemas eléctricos puesto que, durante condiciones de falla, las fuentes que contribuyen a la misma son de frecuencia fundamental.

**Efecto en las barras de neutros:** dado que este es el primer punto de unión de los neutros de las cargas monofásicas, en el caso balanceado, las corrientes (fundamentales y armónicas) de secuencia positiva y negativa se cancelan aquí. Estas barras pueden llegar a sobrecargarse por el efecto de cancelación de las componentes armónicas de secuencia positiva y negativa entre los conductores neutros que sirven diferentes cargas.

En el caso de corrientes armónicas de secuencia cero (armónicas “triplen”), estas no se cancelarán en el neutro aun con condiciones balanceadas, por lo que estas barras se pueden sobrecargar por el flujo de estas corrientes. En la realidad, las barras de neutros transportan corrientes de secuencia positiva y negativa producidas por el desbalance de cargas más las armónicas “triplen” de secuencia cero generadas por éstas.

Por esta razón las barras que están dimensionadas para soportar la misma corriente de fase pueden sobrecargarse fácilmente en presencia de cargas no lineales.

**Efecto en los motores de inducción:** fundamentalmente, las armónicas producen un aumento en sus pérdidas y la disminución en el torque generado.

**Pérdidas en los motores de inducción:** si el voltaje que se alimenta a un motor de inducción contiene componentes armónicas, entonces se incrementarán sus pérdidas  $I^2R$  en el rotor y estator, pérdidas de núcleo (eddy e histéresis) y pérdidas adicionales, en tanto que las pérdidas de fricción y ventilación no son afectadas por las armónicas.

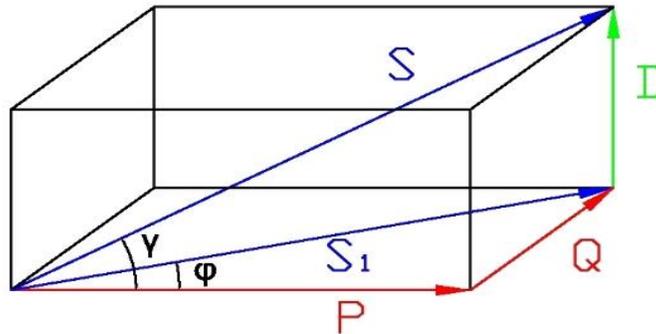
**Efectos en otros equipos:** equipos electrónicos sensitivos son susceptible a operación incorrecta a causa de las armónicas. En algunos casos estos equipos dependen de la determinación precisa del cruce por cero del voltaje u otros aspectos de la forma de onda del mismo, por lo que condiciones de distorsión pueden afectar su operación adecuada. En lo que respecta a equipo de medición e instrumentación estos son afectados por las componentes armónicas, principalmente si se tienen condiciones de resonancia que causen altos voltajes armónicos en los circuitos.

## 2.2 Factor de potencia

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), si la onda de corriente alterna es perfectamente senoidal, FP y  $\cos \phi$  coinciden.

Si la onda no fuese perfecta  $S$  no estaría únicamente compuesta por  $P$  y  $Q$ , sino que aparecería una tercera componente suma de todas las potencias que genera la distorsión. A esta componente de distorsión le llamaremos  $D$ .

Supongamos que en la instalación hay una Tasa de Distorsión Armónica (THD) alta y debido a que hay corrientes armónicas. Estas corrientes armónicas, junto con la tensión a la que está sometido el conductor por el fluyen da como resultado una potencia, que, si fuese ésta la única distorsión en la instalación, su valor se correspondería con el total de las distorsiones  $D$ . Gráficamente se vería así: (figura 2.9)



**Fig. 2.9** Triángulo de potencias

De acuerdo a la cara inferior del prisma se observa el triángulo rectángulo anterior, pero la hipotenusa no es ahora  $S$ , sino  $S_1$ , ya que  $S$  ha de tener en cuenta a  $D$  en su composición y en este caso la estamos obviando.

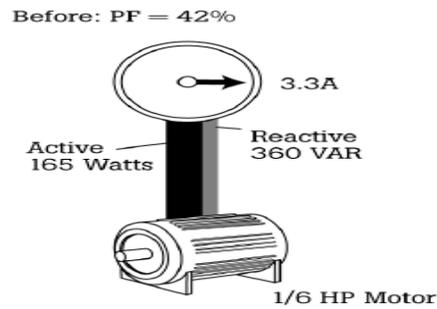
Atendiendo a la definición de Factor de Potencia, como la relación entre  $P$  y  $S$  obtenemos la siguiente expresión:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

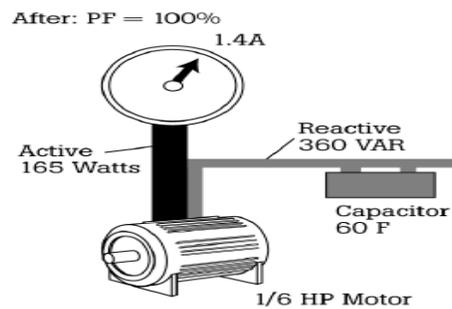
Todos los equipos electromecánicos que están constituidos por devanados o bobinas, tales como motores y transformadores necesitan la denominada corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación.

La corriente reactiva produce un desfase entre la onda de tensión y la onda de corriente, si no existiera la corriente reactiva la tensión y la corriente estarían en fase y el factor de potencia sería la unidad. El desfase entre las ondas de tensión y corriente, producido por la corriente reactiva se anula con el uso de condensadores de potencia, lo que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz y, por lo tanto, requiera menos corriente lo que técnicamente se denomina compensación.

La figura 2.10 corresponde a un motor de inducción sin ninguna compensación y la figura 2.11 muestra el mismo motor con el factor de potencia corregido, es decir, con una mejor relación entre las potencias.



**Fig. 2.10** Motor sin compensación



**Fig. 2.11** Motor con un f.p corregido

### 2.2.1. Potencia aparente (s):

La potencia aparente es sencillamente definida como el producto del voltaje aplicado a un circuito y la corriente que circula por él. Esta es medida en Voltios-Amperios e incluye cualquier potencia reactiva que puede ser requerida por la carga.

También está definido como la potencia que determina la prestación en corriente de un transformador y resulta de considerar la tensión aplicada al consumo por la corriente que éste demanda, está relacionada por la siguiente fórmula:

$$S = V * I$$

Unidad de medida es Volt – Amper [VA]

### 2.2.2. Potencia activa (p):

Es la que se aprovecha como potencia útil en el eje del motor, la que se transforma en calor, etc. Es la potencia realmente consumida por el cliente y por lo tanto paga por el uso de la misma.

$$P = V * I * \cos\phi$$

Unidad de Medida Watts [W].

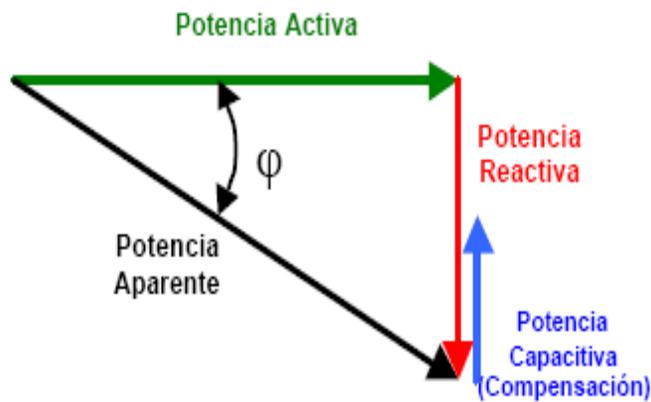
### 2.2.3. Potencia reactiva (q):

Es la potencia que los campos magnéticos rotantes de los motores o balastos de iluminación intercambian con la red eléctrica sin significar un consumo de potencia útil o activa.

$$Q = V * I * \sin\phi$$

Unidad de Medida Volt – Amper reactivo [VAr].

Podemos representarlo en el triángulo trigonométrico de la siguiente forma: (Figura 2.19)

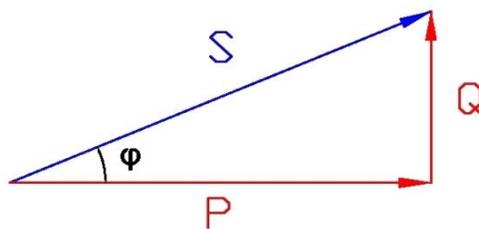


**Fig. 2.12** Triángulo de potencias

### 2.2.4. COS φ

El  $\cos\phi$  (Coseno de  $\phi$ ) no es más que el coseno del ángulo  $\phi$  que forman la potencia activa (P) y la aparente (S) en el triángulo de potencias tradicional.

Como ya se ha explicado, en un sistema eléctrico de corriente alterna con ondas senoidales perfectas la descomposición de la potencia aparente en la suma de dos vectores da como resultados un triángulo rectángulo, en el que las componentes se encuentran en los ejes de los números reales y los imaginarios: (figura 2.13)



**Fig. 2.13**

Si en este triángulo rectángulo aplicamos el Teorema de Pitágoras y las relaciones trigonométricas obtenemos que:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

El FP y  $\text{Cos}\varphi$  son dos términos distintos y dependen de distintas cosas:

$\text{Cos}\varphi$ : Sólo depende de las Potencias Activa (P) y Reactiva (Q).

FP: Depende de las Potencias Activa (P), Reactiva (Q) y de las Distorsiones (D).

En el caso de que el flujo eléctrico sea perfecto y no haya distorsiones ambos coincidirán.

### 2.2.5 Alto y bajo factor de potencia

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares.

Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

### 2.2.6 Desventajas de un bajo factor de potencia

Un bajo factor de potencia implica un aumento de la corriente aparente y por lo tanto un aumento de las pérdidas eléctricas en el sistema, es decir indica una eficiencia eléctrica baja, lo cual siempre es costoso, ya que el consumo de potencia activa es menor que el producto.

Algunos efectos de un bajo factor de potencia son:

- Aumenta el costo de suministrar la potencia activa a la compañía de energía eléctrica, porque tiene que ser transmitida más corriente, y este costo más alto se le cobra directamente al consumidor industrial por medio de cláusulas del factor de potencia incluidas en las tarifas.

- También causa sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución dentro de la misma planta industrial, así como también las caídas de voltaje y pérdidas de potencia se tornan mayores de las que deberían ser. Todo esto representa pérdidas y desgaste en equipo industrial.

**Generadores:** La capacidad nominal de generadores se expresa normalmente en kVA. Entonces, si un generador tiene que proporcionar la corriente reactiva requerida por aparatos de inducción, su capacidad productiva se ve grandemente reducida, Una reducción en el factor de potencia de 100% a 80% causa una reducción en los kW de salida de hasta un 27%.

**Transformadores:** La capacidad nominal de transformadores también se expresa en kVA, en forma similar a la empleada con generadores. De esta manera, a un factor de potencia de 60%, los kW de potencia disponible son de un 60% de la capacidad de placa del transformador. Además, el % de regulación aumenta en más del doble entre un factor de potencia de 90% y uno de 60%.

**Líneas de Transmisión y Alimentadores:** En una línea de transmisión, o alimentador, a un factor de potencia de 60%, únicamente un 60% de la corriente total produce potencia productiva. Las pérdidas son evidentes, ya que un factor de potencia de 90%, un 90% de la corriente es aprovechable, y a un factor de potencia de 100% toda es aprovechable.

FACTOR DE POTENCIA, %	CORRIENTE TOTAL, AMPERIOS %	AUMENTO DE LA CORRIENTE, %	TAMAÑO RELATIVO DEL ALAMBRE PARA PÉRDIDA %	AUMENTO EN LAS PÉRDIDAS POR CALENTAMIENTO PARA TAMAÑO ALAMBRE %
100	100	0	100	0
90	111	11	123	23
80	125	25	156	56
70	143	43	204	104
60	167	67	279	179
50	200	100	400	300
40	250	150	625	525

**Tabla 2.3** Efecto de bajo factor de potencia en los conductores

## 2.2.7 Ventajas de un alto factor de potencia

De manera invertida, lo que no produce un efecto adverso produce una ventaja; por lo tanto, el corregir el factor de potencia a niveles más altos, nos da como consecuencia: Un menor costo de energía eléctrica. Al mejorar el factor de potencia no se tiene que pagar penalizaciones por mantener un bajo factor de potencia.

**Aumento en la capacidad del sistema.** Al mejorar el factor de potencia se reduce la cantidad de corriente reactiva que inicialmente pasaba a través de transformadores, alimentadores, tableros y cables.

**Mejora en la calidad del voltaje.** Un bajo factor de potencia puede reducir el voltaje de la planta, cuando se toma corriente reactiva de las líneas de alimentación. Cuando el factor de

potencia se reduce, la corriente total de la línea aumenta, debido a la mayor corriente reactiva que circula, causando mayor caída de voltaje a través de la resistencia de la línea, la cual, a su vez, aumenta con la temperatura. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que pasa por la misma multiplicada por la resistencia en la línea.

Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores, aumento de la vida útil de las instalaciones.

### **2.2.8 Mal factor de potencia**

Es la denominación que se asigna al mal uso de la energía eléctrica generalmente de carácter reactivo generado por equipos de refrigeración, motores, etc. En su mayoría está dado por equipos que están compuesto de bobinas y debido a ello intervienen factores importantes como es la potencia activa (KW), potencia reactiva (KVAR), y potencia aparente (Voltios-Amperios) las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias.

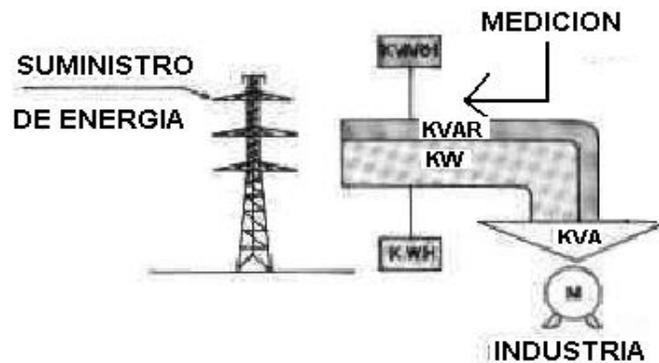
Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución.

Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

### **2.2.9 Mejora del factor de potencia**

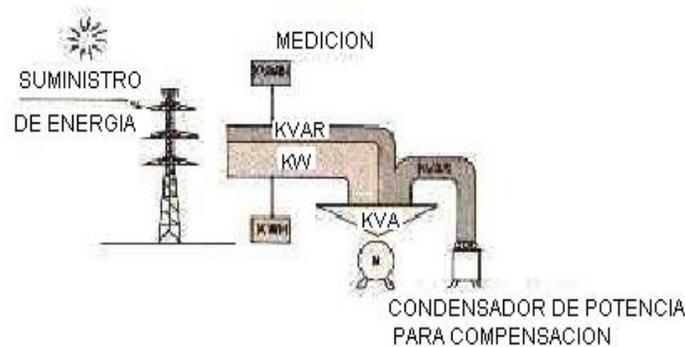
Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria.

El consumo de KW y KVAR (KVA) en una industria se mantienen inalterables antes y después de la compensación reactiva (instalación de los condensadores, como mejora del factor de potencia), los KVAR que esa planta estaba requiriendo, debían ser producidos, transportados y entregados por la empresa de distribución de energía eléctrica, le produce consecuencias negativas (potencia reactiva). (Figura 2.14)



**Fig. 2.14**

Pero esta potencia reactiva puede ser generada y entregada de forma económica, por cada una de las industrias que lo requieran, a través de los bancos de capacitores y/o motores sincrónicos, evitando a la empresa de distribución de energía eléctrica. (figura 2.21)



**Fig. 2.15**

### 2.3 Analizadores de la energía y de la calidad eléctrica

Un Analizador de Redes es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas. Están diseñados para ser instalados de forma sencilla en cualquier instalación y para que su uso sea totalmente adaptable a cualquier tipo de medida requerida. Disponen de una memoria interna donde se almacenan todos los parámetros deseados que le sean programados.

Su uso es ideal para realizar mantenimiento periódico del estado de la red eléctrica, tanto en baja como en media tensión, ver curvas de arranque de motores, detectar posibles saturaciones del transformador de potencia, cortes de alimentación, deficiente calidad del suministro eléctrico, etc.

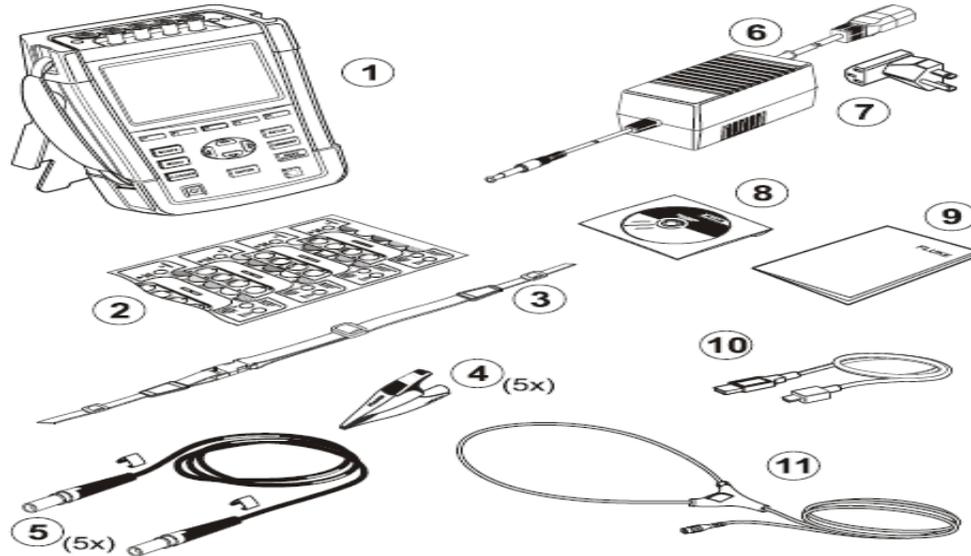
Permite analizar en qué parte de la red eléctrica se tiene un problema, calentamiento de cables, resonancias, armónicos, perturbaciones, flicker, desequilibrios de fases, etc.

El analizador Fluke 435-II (Figura 2.23) ofrece un conjunto potente y completo de medidas para comprobar sistemas de distribución eléctrica. Algunos proporcionan una impresión general del rendimiento del sistema de alimentación eléctrica. Otros se utilizan para investigar detalles específicos, cuenta con características adicionales tales como parpadeo, transitorios, onda de potencia, transmisión de señales, evento de onda, evento de rms y precisión de la entrada de tensión del 0,1%.



**Fig. 2.16** Analizador de redes FLUKE 435-II

El kit del analizador contiene los siguientes elementos: (Figura 2.24)



**Fig. 2.17** Piezas del analizador

1	Analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43x Serie II + correa lateral, juego de baterías BP290 (28 Wh) y tarjeta de memoria SD de 8 GB instalada
2	Juego de etiquetas para tomas de entrada (Nuevo UE y Reino Unido, UE, China, Reino Unido, EE.UU., Canadá)
3	Correa
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5
5	Cables de prueba, 2,5 m + pinzas codificadas con colores. Juego de 5
6	Adaptador de red
7	Juego de adaptadores de enchufe de red (UE, EE.UU., Reino Unido, Australia/China, Suiza, Brasil, Italia) o cable de alimentación regional.
8	Manual de instrucciones de seguridad (en varios idiomas)
9	CD-ROM con manuales (en varios idiomas), software PowerLog y controladores USB
10	Cable de interfaz USB para conexión al PC (USB A a miniUSB B)

**Figura 2.18** Descripción del analizador

## 2.4 Normatividad

Al realizar un estudio de calidad de energía es obligatorio abordar el tema de las normativas aplicables ya que, ante nuestros resultados, dichas normas nos proporcionarían ciertos límites a cumplir.

EN 50160:

Esta norma describe, en el punto de entrega al cliente, las características principales de la tensión suministrada por una red general de distribución en baja tensión y en media tensión en condiciones normales de explotación.

El objeto de esta norma es definir y describir los valores que caracterizan la tensión de alimentación suministrada, tales como:

- la frecuencia;
- la amplitud;
- la forma de la onda;
- la simetría de las tensiones trifásicas.

Perturbación	Medida	Límites	Intervalos de evaluación	Porcentaje de medidas dentro de límites durante el intervalo
Frecuencia	Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s	$\pm 1\%$	al año	99,5%
		+4%/-6%		100,0%
Variaciones de la tensión	Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min	$\pm 10\%$	cada semana	99,5%
		+10%/-15%		100,0%
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de $U_N$	Indicación 1		
Severidad del parpadeo	$P_{\Sigma}$ (2 horas)	<1	cada semana	95%
Huecos de tensión	Número de eventos (con $U < 0,9U_N$ )	Indicación 2	al año	
Interrupciones breves de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t < 3$ min)	Indicación 3	al año	
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t > 3$ min)	Indicación 4	al año	
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t > 10$ ms)	Indicación 5		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t < 10$ ms)	Indicación 6		
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la $U_{\text{máx}}/U_{\text{avr}}$ de cada ciclo durante 10 min	<2%	cada semana	95%
Tensiones armónicas	Para cada armónico $i$ , promedio de la $U_i/U_N$ en cada ciclo durante 10 min	Ver tabla	cada semana	95%
	Promedio del THD de la tensión referido a $U_N$ en cada ciclo durante 10 min	<8%	cada semana	95%
Tensiones interarmónicas	Por estudiar			
Transmisión de señales	Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s	Ver tabla	cada día	99%

Nº	Indicación
1	Escalones del 5% de $U_N$ son normales. Escalones del 10% de $U_N$ pueden producirse varias veces al día
2	De 10 a 1.000. La mayoría duran menos de 1 s y tienen una profundidad inferior al 60% de $U_N$
3	De 10 a 1.000. El 70% de las interrupciones duran menos de 1 s
4	De 10 a 50
5	Generalmente no sobrepasan los 1,5 kV AC
6	Generalmente no sobrepasan los 6 kV de cresta

**Tabla 2.4** Norma EN50160

CEI: 61000-4-30

La norma IEC 61000-4-30 define los procedimientos de medida de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se determina la calidad del suministro eléctrico para así obtener resultados fiables, repetibles y comparables. Además define con claridad la precisión, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos.

La finalidad es eliminar las conjeturas a la hora de seleccionar con precisión un instrumento para el análisis de la calidad eléctrica. Los parámetros que se incluyen son los siguientes:

Parámetro	Medida	Clase A		Clase B
		Intervalo	Exactitud	Procedimiento (y exactitudes)
Frecuencia	Hz	10 s	± 10mHz	A especificar por el fabricante
Tensión de alimentación	Vrms	10 ciclos	± 0.1%	A especificar por el fabricante
Flicker	Plt	CEI 61000-4-15		A especificar por el fabricante
Huecos, sobretensiones, interrupciones	Vrms, t, T	Vrms ½ ciclo (10 ms)	± 0.2%	Vrms ½ ciclo
Desequilibrio	%desequilibrio	Método de las componentes simétricas		A especificar por el fabricante
Armónicos e Interarmónicos	THD, Armónicos, Interarmónicos	CEI 61000-4-7		A especificar por el fabricante
Transmisión de señales	Vrms	Medida de interarmónicos (para f>3kHz ver CEI 61000-3-8)		A especificar por el fabricante
Flagging (advertencia de posible medida incorrecta por efecto de un hueco, sobretensión, o interrupción)	Aviso en pantalla	Requerido en las medidas de frecuencia, tensión, flicker, desequilibrio, armónicos e interarmónicos		No requerido
Sincronización horaria		A través de reloj externo, por GPS, etc.		A especificar por el fabricante

**Tabla 2.5** Norma IEC 61000-4-30

Un equipo se clasifica como Clase A cuando cumple con la totalidad de la norma. Si hubiera algún punto que no lo cumple, o lo cumple bajo otros criterios, entonces se clasifica como Clase B.

#### NOM 001-2012

La Norma NOM-001-SEDE-2012 especifica las disposiciones de carácter técnico que deben cumplir las instalaciones eléctricas del país. Los cambios y modificaciones actualizan este instrumento normativo para incrementar la seguridad en el uso de la energía eléctrica.

La estructura de esta norma oficial mexicana (NOM) responde a las necesidades técnicas en la utilización de las instalaciones eléctricas residenciales, comerciales o industriales, en el ámbito nacional, se cuida el uso de vocablos y se respetan los términos habituales, para evitar confusiones en los conceptos.

Al ser la nom-001, una norma muy extensa trabajamos con las siguientes tablas y artículos:

Tabla 430-250: corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.

Tabla 310-15 (b)(2)(a): factor de corrección por temperatura.

Tabla 310-15 (b)(3)(a): factor de agrupación.

Tabla 310-15(b) (16): ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts.

Tabla 5: dimensiones de los conductores aislados.

Tabla 4: dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit.

Tabla 9: resistencia y reactancia en corriente alterna.

Artículo: 210-23(a), (b) y (d): circuitos derivados de 15, 20,30 y 50 Amperes.

Artículo 210-19: conductores, ampacidad y tamaño mínimo.

### Código de red

El código de red es el instrumento clave para reordenar el sistema eléctrico nacional, su cumplimiento es obligatorio para cualquier integrante de la industria que haga uso de la infraestructura eléctrica. Según el código de red el factor de potencia:

En estado operativo normal, los centros de carga conectados en alta tensión deberán mantener un factor de potencia entre 0.95 en atraso y 1.0 con medición cinco-minutal. Dichos centros de carga deberán cumplir con este requerimiento al menos el 95% del tiempo durante un periodo mensual. Este requerimiento tendrá una vigencia de 10 años a partir de la publicación del manual en el DOF.

Posterior a este periodo, el requerimiento de factor de potencia será de 0.97 en atraso y 1.0 con medición cinco-minutal. Los centros de carga deberán cumplir con este requerimiento al menos el 97% del tiempo durante un periodo mensual.

### IEEE 519-2014

En el std. IEEE 519 están las recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia.

El propósito de dicha norma ha sido aplicado para definir los límites de distorsión armónica de corriente y voltaje.

- Los usuarios deben responsabilizarse para limitar la cantidad de corrientes armónicas inyectadas al sistema de potencia.

- Las compañías suministradoras deben limitar la distorsión de voltaje y suministrar un voltaje de calidad al usuario.

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

**Tabla 2.6** límites actuales de distorsión para el sistema con clasificación de 120v a 69 kV  
 Dónde:

$I_{sc}$  = corriente máxima de cortocircuito en PCC

$I_L$  = máxima corriente de carga de la demanda (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones normales de operación de carga.

Bus voltage $V$ at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1$ kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69$ kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161$ kV $< V$	1.0	$1.5^2$

<sup>a</sup>High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

**Tabla 2.7** Límites de distorsión de voltaje

CFE L0000-45

El objetivo de esta ley es establecer las desviaciones máximas permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica.

La ley aplica para el suministrador tanto como a los consumidores que estén conectados a la red de CFE.

Tensión kV	Componente armónico individual máximo de tensión (CAIMT) %	Distorsión armónica total de tensión (DATT) %
Menor de 1	6	8
de 1 a 35	5	6,5
Mayor de 35	2	3

**Tabla 2.8** Límites máximos de distorsión armónica total en tensión

**TABLA 3 - Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV**

Impedancia relativa ( $I_{cc} / I_L$ )	Componente armónico individual máximo de corriente, para armónicas impares (CAIMC) %					Distorsión armónica total de demanda (DATD) %
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
$(I_{cc} / I_L) < 20$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 \leq (I_{cc} / I_L) < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 \leq (I_{cc} / I_L) < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 \leq (I_{cc} / I_L) < 1\ 000$	12	5,5	5	2	1	15
$(I_{cc} / I_L) \geq 1\ 000$	15	7	6	2,5	1,4	20

**NOTAS:**

- 1) En el caso de armónicas pares los límites se reducen al 25 % de los correspondientes a armónicas impares.
- 2) Los límites mostrados en la tabla 3 deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en 50 %.
- 3) En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.

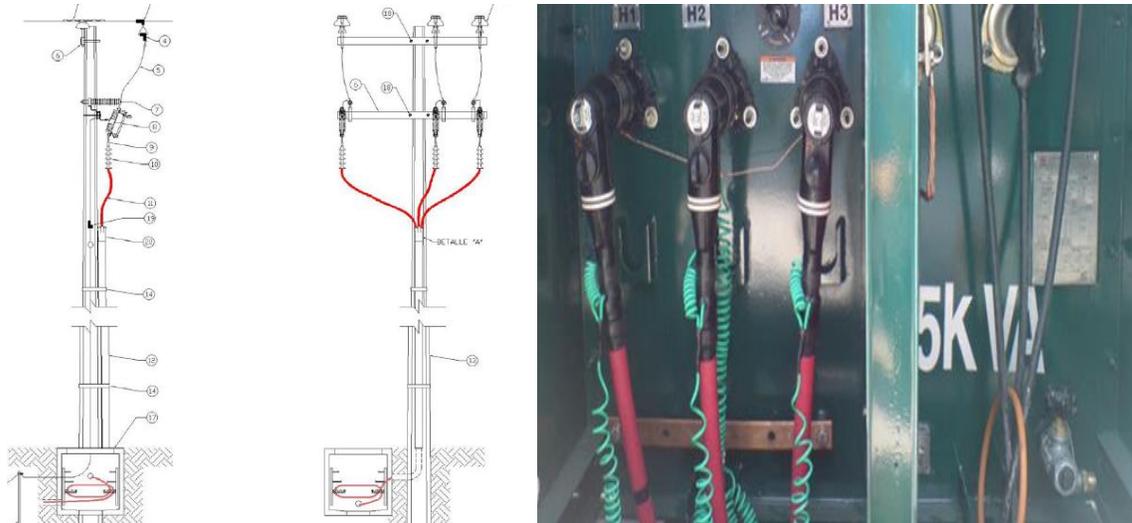
**Tabla 2.9** Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV

La empresa de suministro debe verificar la calidad de la tensión en el punto de acometida, identificar el origen de las desviaciones en exceso de lo especificado y tomar las acciones necesarias para que dichas perturbaciones se mantengan por debajo de los límites establecidos en la norma. (Esta norma está basada en el estándar internacional IEEE-519-1992.)

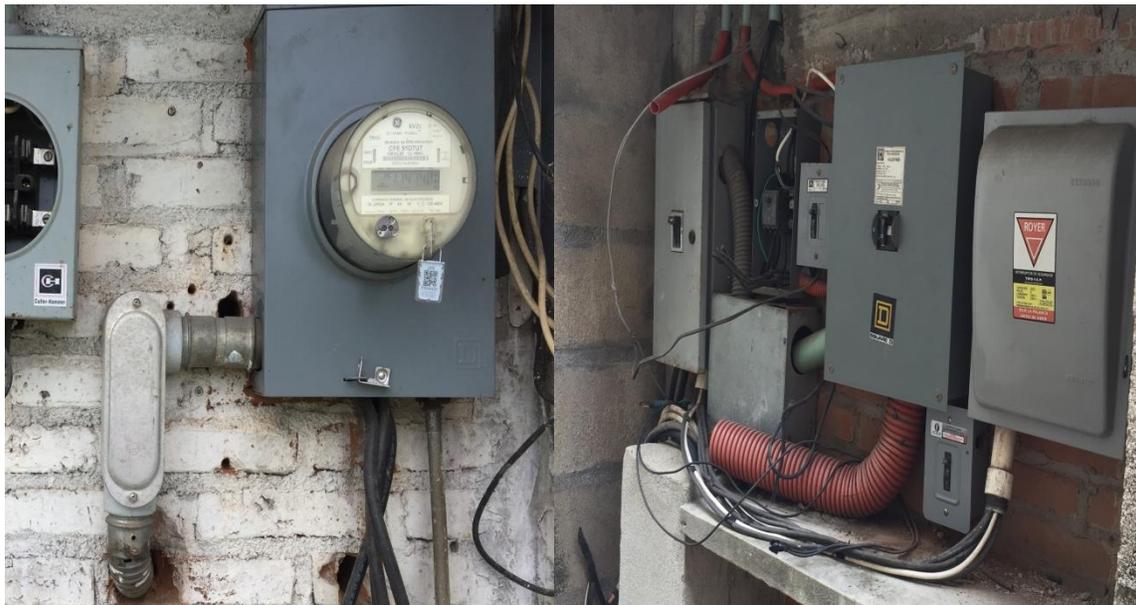
### 3. DESARROLLO

#### 3.1 Descripción de la instalación eléctrica de la empresa de lácteos San Francisco

La instalación eléctrica de la empresa empieza a partir de la acometida mediante una transición aérea – subterránea para alimentar la subestación particular tipo pedestal de 75 kva. Con relación de transformación 13200 - 220/127 V. a través de un sistema de 3 F – 4 H. El transformador se encuentra operando en el tap 5 con una relación de transformación de 57 correspondiente a 12540 v, por lo tanto, se observa un voltaje promedio de media tensión de 12909.49 v.



**Fig. 3.1** Transición aérea – subterránea



**Fig. 3.2** Medidor de energía eléctrica e interruptores

Mediante un levantamiento eléctrico se recopilaron los datos de cargas conectadas en el sistema eléctrico. En el cual se obtuvo lo siguiente:

Carga instalada empresa de lácteos																								
	Recepcion de leche	Area de mecanica	Taller de herreria	Area de calderas	Area de arroqueson	Procesadora de alimentos	Area de cuajado	Pasteurizacion	Area queso-crema	Comedor	Empaquetado	Bodega producto terminado	Tienda	Hamburguesera	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Oficina	Veterinaria	Total	Watts	Total wats	Voltaje	
Motor 2 HP	5		1		1	1	4	4	1											17	1500	25500	220	
Motor 1 1/2 HP	1						1														2	1120	2240	220
Motor 3/4 HP			1				2	4													7	560	3920	220
Motor 3 HP				2																	2	2250	4500	220
Motor 5 HP			1		1		1														3	3750	11250	220
Motor 1 HP			2				1	1							1	1					6	750	4500	220
Motor 10 HP								2													2	7500	15000	220
Motor 25 HP								1													1	18700	18700	220
Motor de 1/2 HP								3										1			4	370	1480	220
Motor de 1/4 HP															1	1	1				3	190	570	220
Alumbrado 85 W		6		1	1	1	4	2		2							7		1	25	85	2125	127	
Alumbrado 65 W	1					1		7	1	1	6		2	4	17	1	1	1	2	44	65	2860	127	
Alumbrado 35 W		3	4							1		2			38	28	39		5	120	35	4200	127	
Alumbrado 13 W														2						67	13	871	127	
Alumbrado 1.2 W																	53			53	1.2	63.6	127	
Alumbrado 100 W			1																	1	100	100	127	
Alumbrado 56 W													4							4	56	224	127	
Alumbrado 28 W													8							8	28	224	127	
Contacto 162 W		4	3	2	1	2	2	6	1	1	5	2	5	4	14	16	18	4	2	92	180	16560	127	
Radio de banda civil																				1	150	150	127	
Lamparas Halogeno			1															4		4	25	100	127	
Enfriador de 1 puerta													2							2	500	1000	127	
Enfriadores 2 puertas												2	1		1					4	800	3200	127	
Enfriador 3 puertas													1							1	1000	1000	127	
Enfriador de piso										1	2			1						4	1200	4800	127	
Planta de soldar			1																	1	7600	7600	220	
Computadora												2					1	2	2	7	350	1750	127	
Impresora												1			1	1			2	7	100	700	127	
Bascula												1							1	2	40	80	127	
lavadora															3	1	2			6	550	3300	127	
Television													6	2	4				1	13	95	1235	127	
Climas 1 tonelada												1			4	3	3			11	1550	17050	127	
Clima 1 1/2 tonelada															2	1	1	2		6	1900	11400	220	
Clima 2 toneladas																	2			2	2300	4600	220	
Clima 3 toneladas													1							1	3520	3520	220	
Ventilador															1	1			1	3	65	195	127	
Secadora																				1	400	400	127	
Licudora															1	1	1			3	300	900	127	
Refrigerador														1	1	1	1		3	7	575	4025	127	
Horno de microondas															1	1	1			3	1300	3900	127	
Plancha															1	1	1			3	1150	3450	127	
Reloy checador										1										1	36	36	127	
Enfriador criotec CAT 08													1							1	3500	3500	127	
Cafetera													1							1	1800	1800	220	
Enfriador de agua																			1	1	455	455	127	

68414.2 Watts  
68.4142 Kw

Acorde a los datos obtenidos en el recibo 1 (Anexos) la empresa tiene un bajo factor de potencia de acuerdo a los estándares del código de red nacional, a la vez la demanda contratada es superada por la demanda máxima, provocando con esto sanciones económicas, por parte de la compañía suministradora.

### 3.2 Análisis de las mediciones de la red eléctrica de la empresa de lácteos

El monitoreo de la instalación eléctrica de la empresa inició a las 15:00 horas de día 5 de octubre de 2017 y concluyó el 06 de octubre de 2017 a las 15:00 horas.

La programación del equipo depende del tipo de sistema eléctrico que se tenga, en el caso de este proyecto la medición se realizó en un transformador tipo pedestal de 75 kVA del lado secundario el cual el tipo de conexión es en estrella. (Figura 2.25).

### 3.2.1 Configuración del equipo

Conforme a los datos obtenidos del transformador se procede a seleccionar los parámetros de conexión en el analizador de redes.

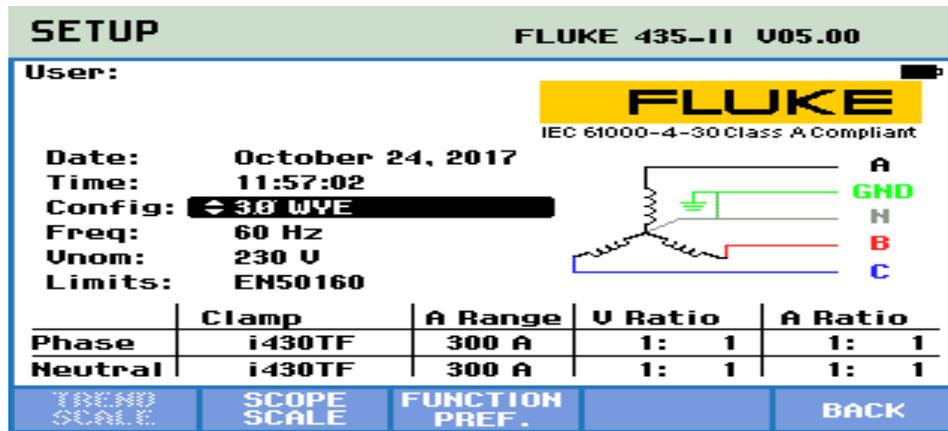


Fig. 3.3 Pantalla de inicio

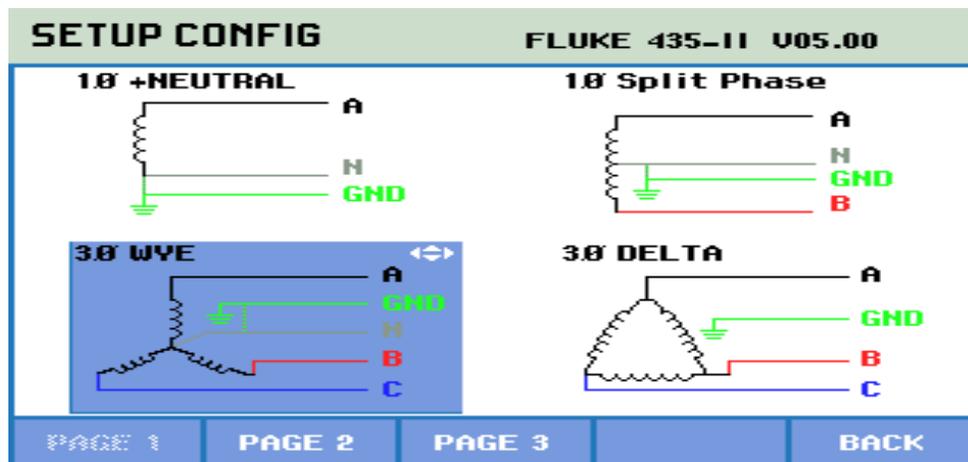
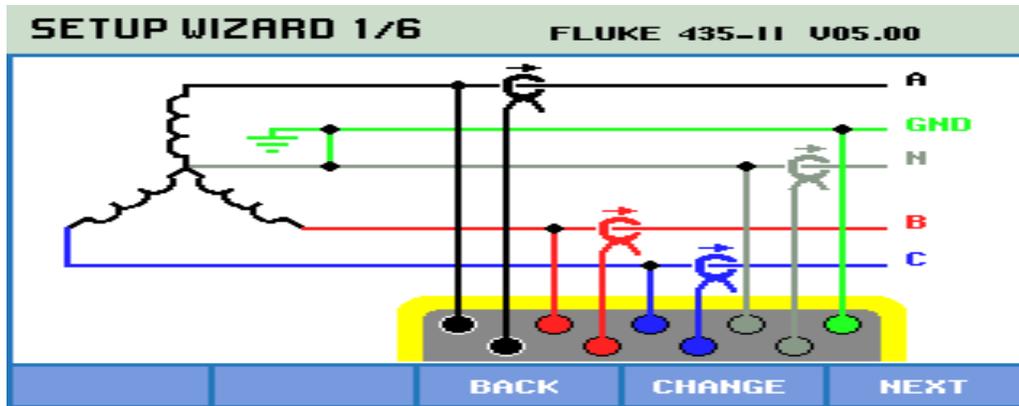


Fig. 3.4 Elección de conexión

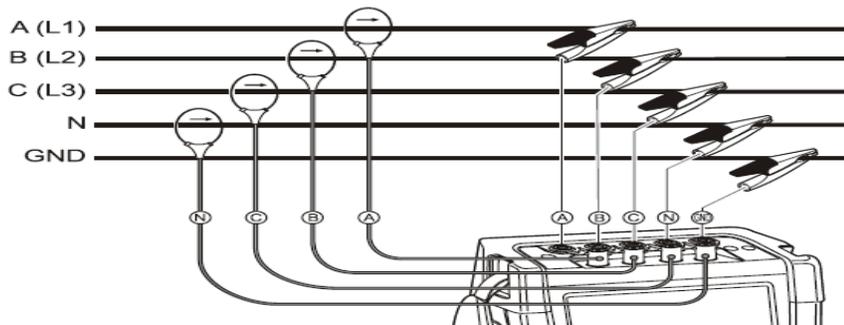
### 3.3 Diagrama de conexiones principales

Al seleccionar los parámetros de conexión nos muestra una pantalla automáticamente, el cual es el diagrama de conexiones en sistema trifásico, que a continuación se presenta:



**Fig. 3.5** Diagrama de conexión

1.- Se colocan las sondas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A, B, C y N (Neutro). Las sondas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta.

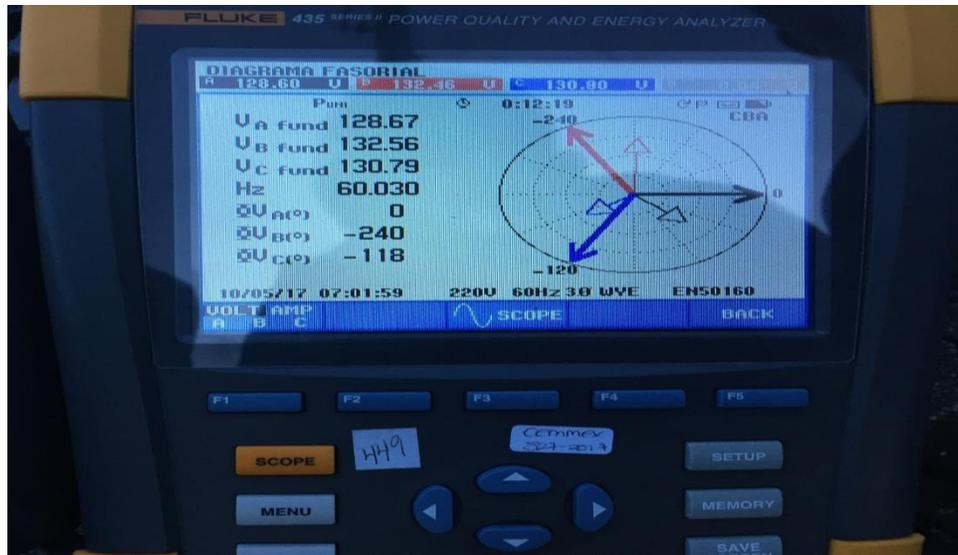


**Fig. 3.6** Dirección de las sondas amperimétricas

2.- Se colocan las pinzas de tensión comenzando por la conexión a tierra y, después, en sucesión N, A, B y C, para obtener resultados de medida correctos, se debe conectar siempre la entrada de conexión a tierra.

3.- después de realizar los puntos anteriores se comprueba siempre dos veces las conexiones, que las sondas amperimétricas estén firmemente fijadas y completamente cerradas alrededor de los conductores.

Las pantallas de osciloscopios y diagrama fasorial resultan útiles para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectadas correctamente. (Figura 2.27)



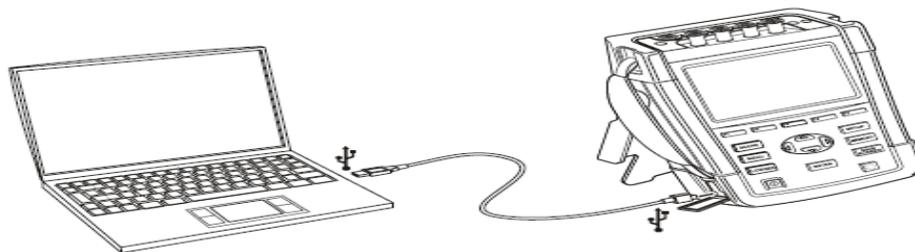
**Fig. 3.7** Diagrama fasorial

Las recomendaciones antes de conectar el equipo de medición:

- Portar equipo de protección especial de uso personal (casco, lentes, guantes y botas de seguridad).
- Delimitar el area con medios de proteccion.
- No dejar conductores desnudos.

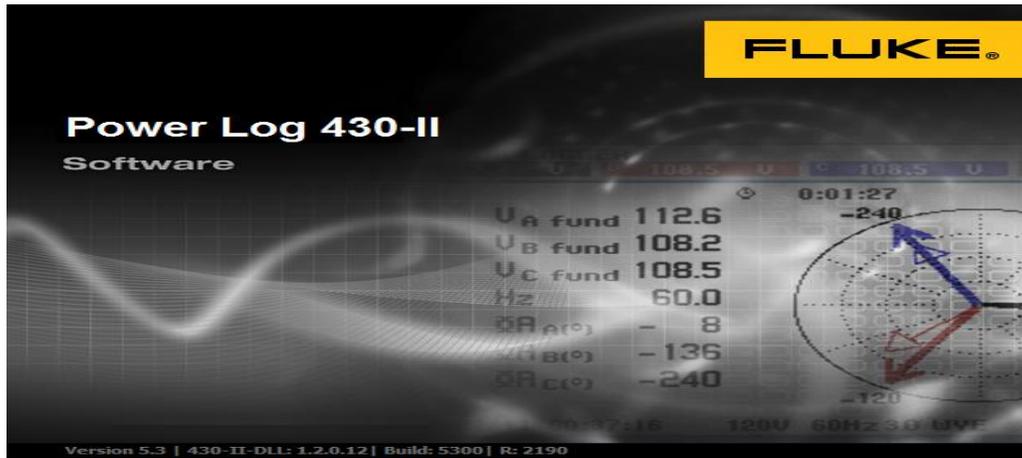
### 3.4 Conexión del analizador con la computadora

El analizador está equipado con una interfaz USB aislada para establecer comunicación con un PC. Para realizar la conexión con el puerto USB de un PC, se suministra un cable de interfaz USB-A a mini-USB. El software Power Log permite cargar en un PC u ordenador portátil datos de tendencias y de formas de onda, así como capturas de pantalla.



**Fig. 3.8** Conexión y descarga de datos al software

A fin de extraer los datos almacenados del analizador, es necesario instalar en el ordenador el programa Power Log 430-II, directo de la página fluke.



**Fig. 3.9 Pantalla de inicio de software**

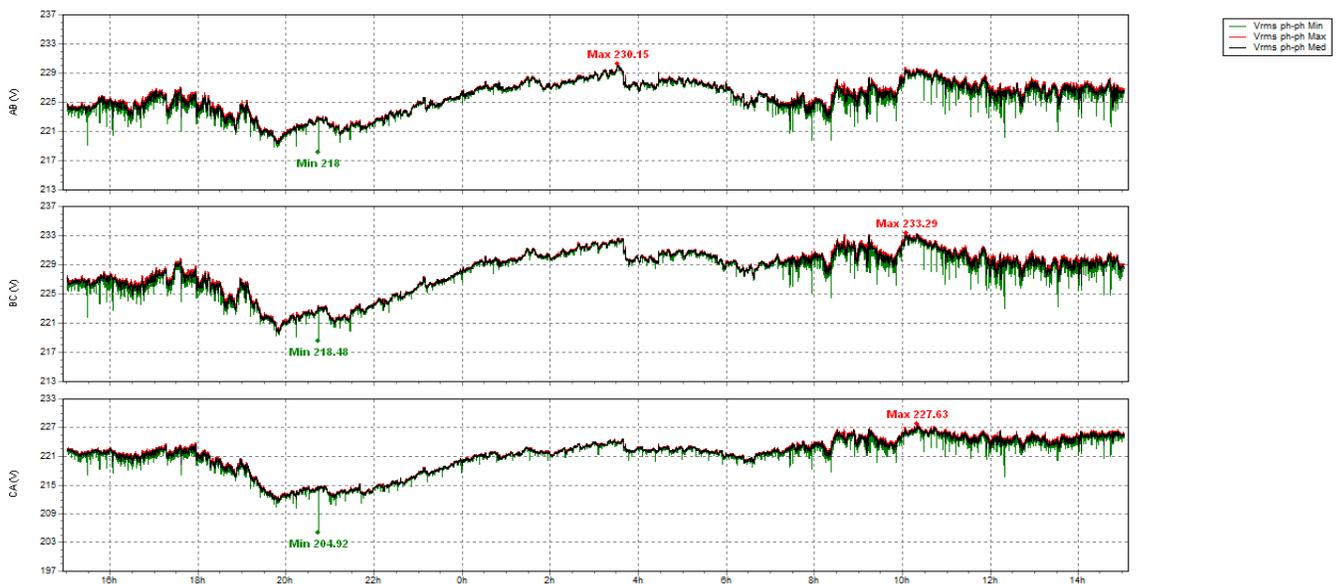
Para descargar la información almacenada en el instrumento es necesario seleccionar la pestaña “fichero”, después la opción “Descargar datos” y asignar un nombre y una dirección para guardar el archivo generado.

Una vez guardado el archivo en el ordenador se podrá acceder fácilmente a los registros grabados en la medición sin necesidad de que esté el instrumento conectado.

## 4. Resultados y conclusiones

### 4.1 Resultados

#### Voltaje de línea.



En la gráfica se muestra el perfil de voltaje en un periodo de 24 horas, el comportamiento de los voltajes entre líneas:

**Rango de variaciones de voltaje de fase a fase permitido: 10%. -10% (línea 1).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
VOLTAJE PROMEDIO	220 v	225.65
VOLTAJE MINIMO PERMITIDO	198 v	219.34 v
VOLTAJE MAXIMO PERMITIDO	242 v	230.06 v
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

**Rango de variaciones de voltaje de fase a fase permitido: 10%. -10% (línea 2).**

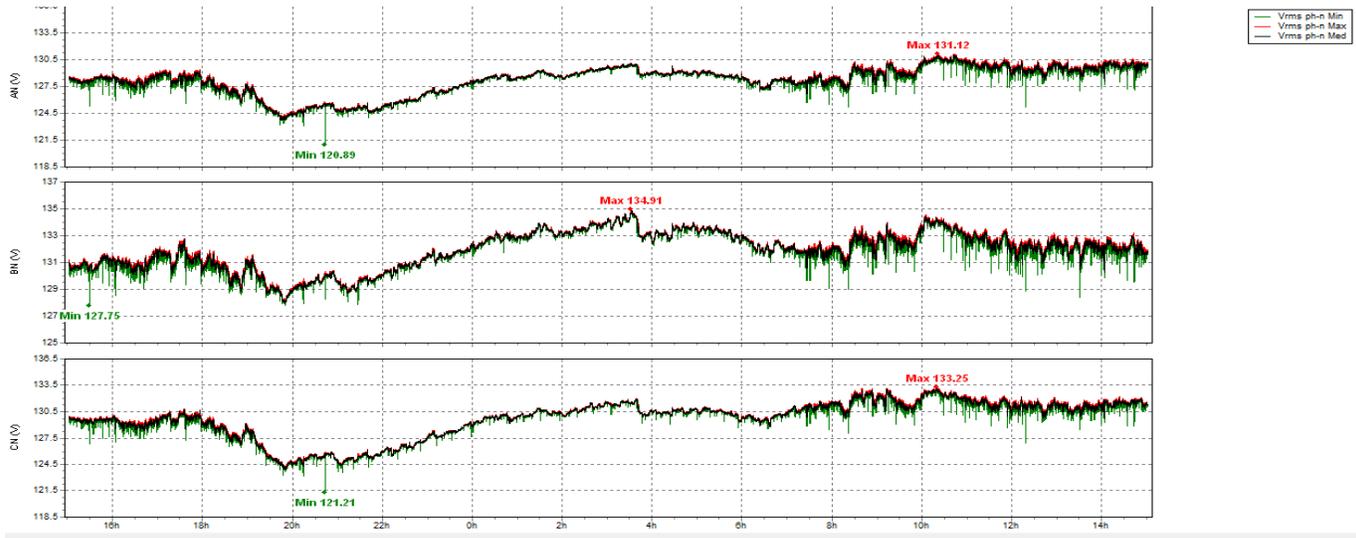
DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
VOLTAJE PROMEDIO	220 v	228.14
VOLTAJE MINIMO PERMITIDO	198 v	219.61 v
VOLTAJE MAXIMO PERMITIDO	242 v	233.14 v
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

**Rango de variaciones de voltaje de fase a fase permitido: 10%. -10% (línea 3).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
VOLTAJE PROMEDIO	220 v	225.65
VOLTAJE MINIMO PERMITIDO	198 v	219.34 v
VOLTAJE MAXIMO PERMITIDO	242 v	230.06 v
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

Conforme al estándar internacional EN50160 las variaciones de voltaje de línea a línea están dentro de los límites permitidos con un voltaje promedio de 226.48v, voltaje que se encuentra un 3% arriba del nominal. Los valores de voltaje máximo de 233.14v voltaje que se encuentra un 6% arriba del voltaje nominal con lo cual se cumple satisfactoriamente.

## Voltaje de fase a neutro



En la gráfica se muestra el perfil de voltaje en un periodo de 24 horas, el comportamiento de los voltajes entre fase y neutro:

**Rango de variaciones de voltaje de fase a neutro permitido: 10%. -10% (línea 1).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
VOLTAJE PROMEDIO	127 v	128.99 v
VOLTAJE MINIMO PERMITIDO	114.3 v	123.77 v
VOLTAJE MAXIMO PERMITIDO	139.7 v	131.01 v
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

**Rango de variaciones de voltaje de fase a neutro permitido: 10%. -10% (línea 2).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
VOLTAJE PROMEDIO	127 v	131.90 v
VOLTAJE MINIMO PERMITIDO	114.3 v	127.91 v
VOLTAJE MAXIMO PERMITIDO	139.7 v	134.87 v
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

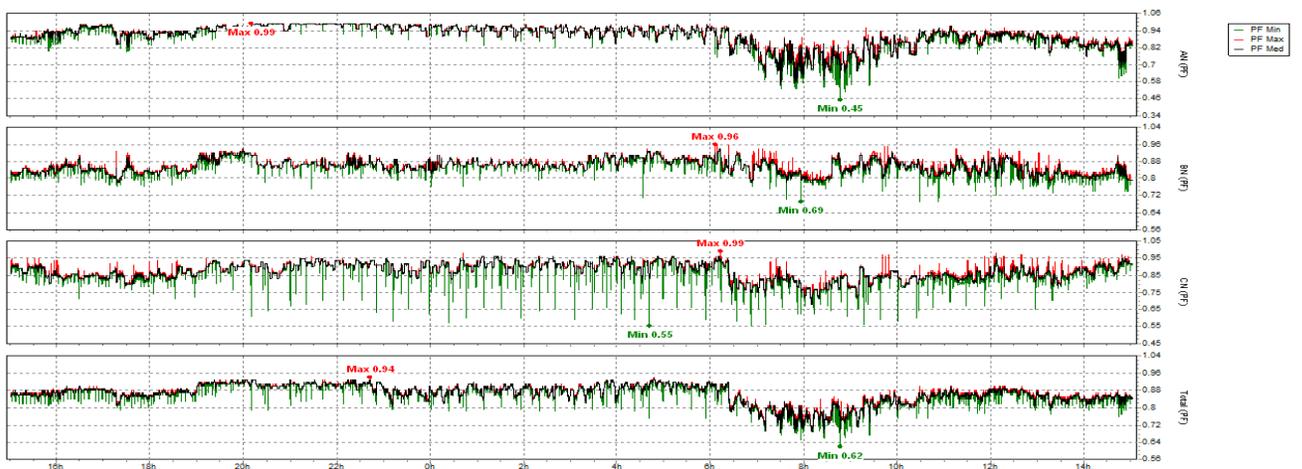
**Rango de variaciones de voltaje de fase a neutro permitido: 10%. -10% (línea 3).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
VOLTAJE PROMEDIO	127 v	129.67 v
VOLTAJE MINIMO PERMITIDO	114.3 v	123.86 v
VOLTAJE MAXIMO PERMITIDO	139.7 v	133.15 v
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

Conforme al estándar internacional EN50160 las variaciones de voltaje de fase a neutro están dentro de los límites permitidos con un voltaje promedio de 129.92v, voltaje que se encuentra un 3% arriba del nominal. Los valores de voltaje máximo de 134.87 voltaje que se encuentra un 6% con lo cual se cumple satisfactoriamente al estándar anteriormente mencionado.

**Factor de potencia**

**Factor de potencia entre líneas y totales.**



**Factor de potencia permitido: 0.90 - 1 (línea 1).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO	$\geq 0.90$	0.90
FACTOR DE POTENCIA MINIMO PERMITIDO	0.90	0.56
FACTOR DE POTENCIA MAXIMO PERMITIDO	1	0.99
NUMERO DE MUESTRAS		8640

**Factor de potencia permitido: 0.90 - 1 (línea 2).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO	$\geq 0.90$	0.85
FACTOR DE POTENCIA MINIMO PERMITIDO	0.90	0.78
FACTOR DE POTENCIA MAXIMO PERMITIDO	1	0.94

**Factor de potencia permitido: 0.90 - 1 (línea 3).**

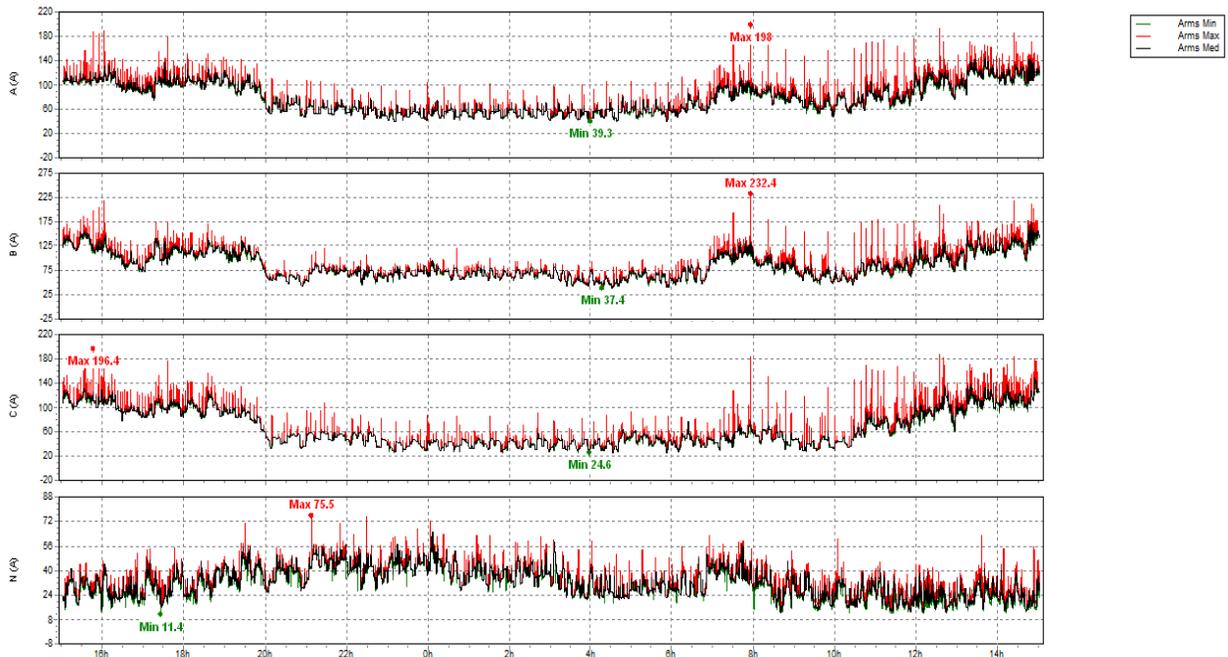
DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO	$\geq 0.90$	0.87
FACTOR DE POTENCIA MINIMO PERMITIDO	0.90	0.68
FACTOR DE POTENCIA MAXIMO PERMITIDO	1	0.96
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

**Factor de potencia permitido: 0.90 - 1 (total).**

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO	$\geq 0.90$	0.86
FACTOR DE POTENCIA MINIMO PERMITIDO	0.90	0.68
FACTOR DE POTENCIA MAXIMO PERM.	1	0.94
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

Basándonos en el código de red (apartado: Requerimiento de factor de potencia) se registró un valor promedio de 86% con un valor mínimo de 68.62% detectado en la fase B. conforme a este resultado, se llega a la conclusión que se utilizara un banco de capacitores de 25 kVAR para una corrección de 97% en el factor de potencia.

## Corriente rms



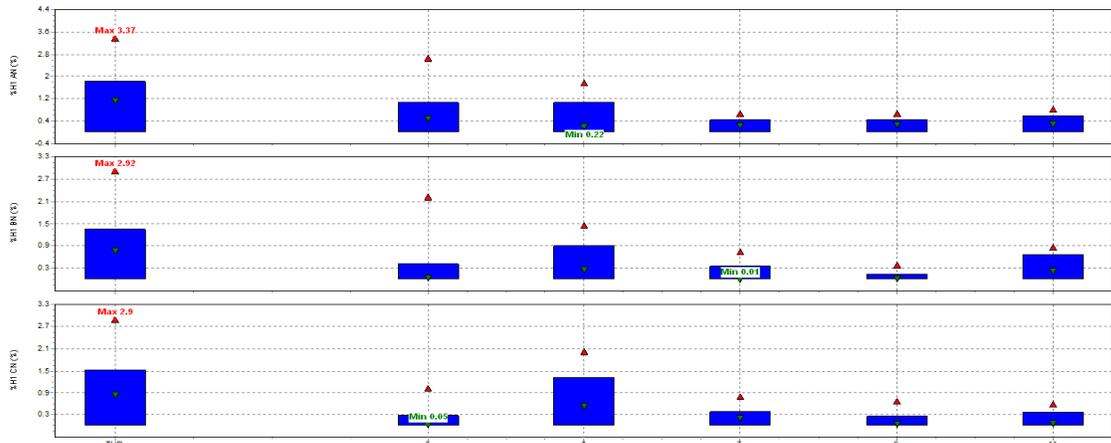
En la gráfica se muestra el perfil de corriente en un periodo de 24 horas. Conforme a las lecturas del analizador de redes se obtuvieron los siguientes datos:

	FASE A	FASE B	FASE C	NEUTRO
MAX.	146.9 A	176.6 A	150.5 A	64.9 A
MED.	77.71 A	84.64 A	65.15 A	31.99 A
MIN.	39.7 A	37.5 A	24.7 A	12.5 A

El valor de corriente promedio durante el periodo normal de operación fue de 75.83 Amperes

## Armónicos

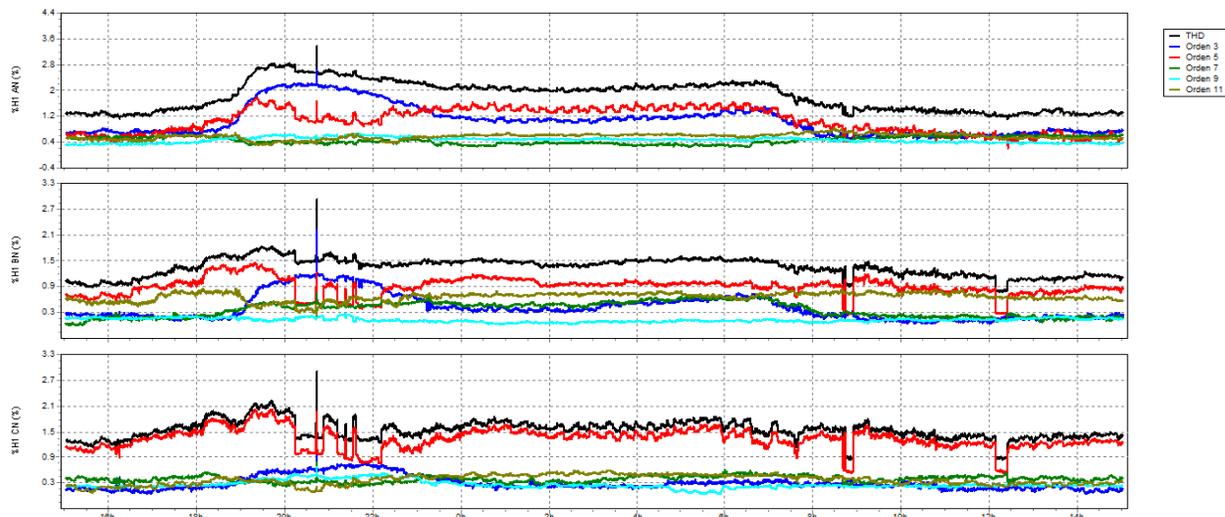
### Espectro armónico en señal de voltaje.



### Prueba de distorsión armónica total de voltajes de fase $\leq 8\%$ (THDv)

ARMONICOS			% THD VOLTAJE TOTAL	
3er	5ta	7ma	MAXIMO	PROMEDIO
0.597%	1.100%	0.411%	3.37%	1.568%

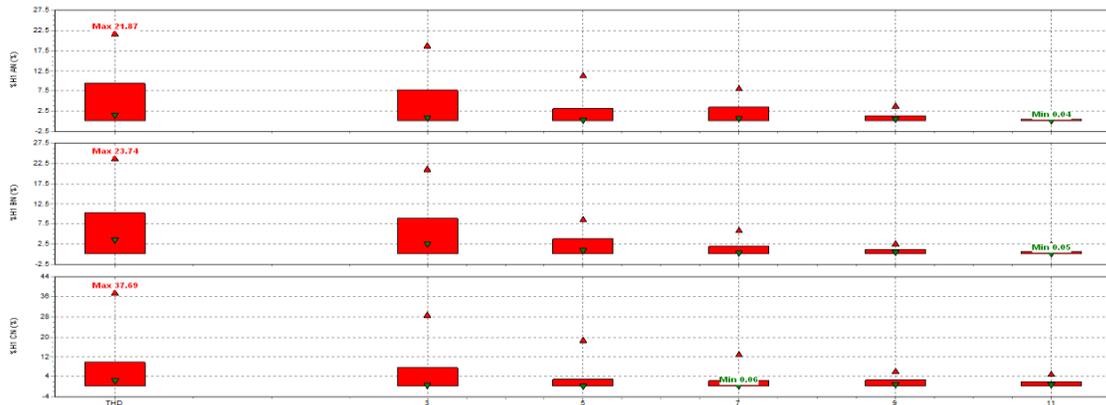
### Perfil de distorsion armonica de voltajes.



Acorde al Std. IEEE 519 - 2014 , estandar internacional EN50160 y a la especificacion CFE L0000-45 la distorsion armonica total en voltajes cumple satisfactoriamente. En las

armónicas individuales la de mayor aporte es la 5ta armónica con un valor de 1.100% , el cual se encuentra dentro del rango recomendado por los estandares anteriormente mencionados.

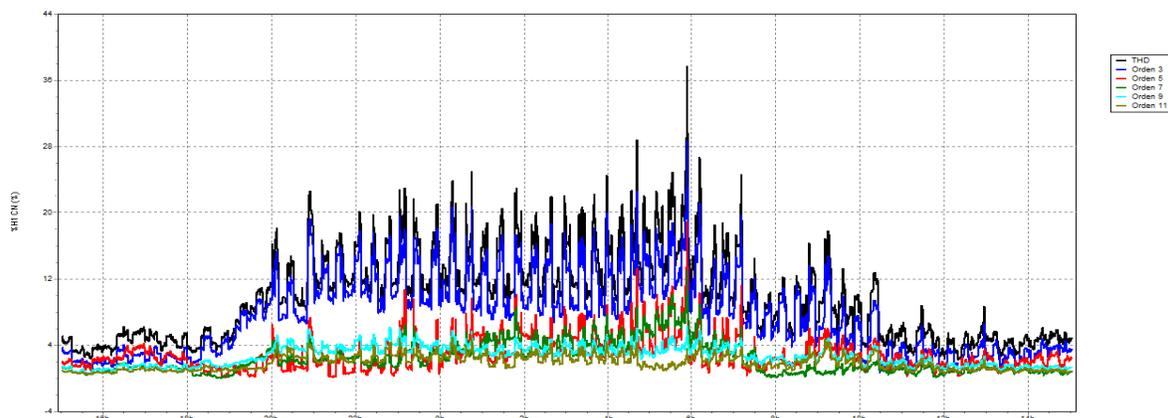
### Espectro armonico en señal de corriente.



### Prueba de distorsión armónica total de armónicas de fase $\leq 8\%$ (THDi)

SCR=Is/IL	h<11			% THD corriente total	
	3er	5ta	7ma	Maximo	Promedio
< 20c	8.10%	3.35%	2.64%	37.69%	9.81%

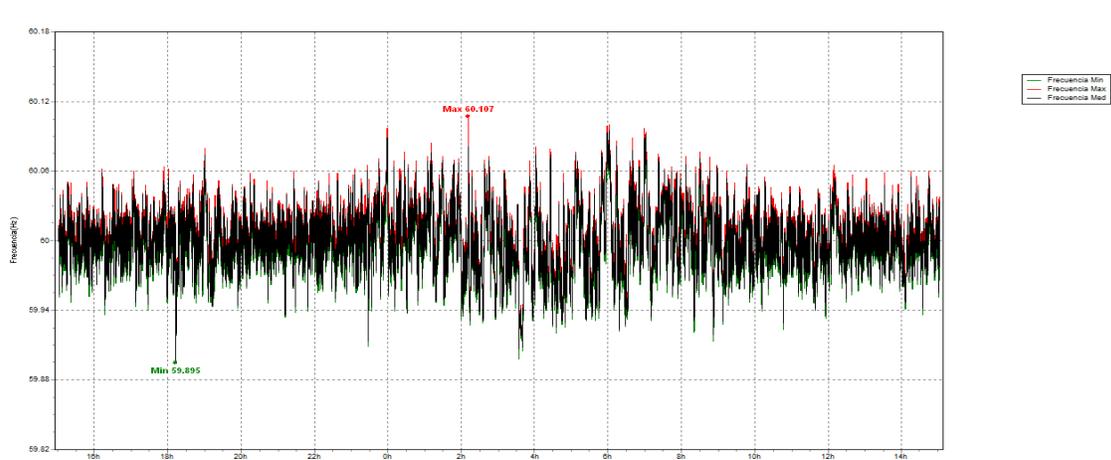
### Perfil de distorsion armonica de corriente.



Conforme al Std. IEEE 519 – 2014 y la especificacion CFE L0000-45 la distorsion armonica total en corriente NO cumple satisfactoriamente, obteniendo un resultado de 9.81%, estando asi un 4.81% arriba de lo establecido en las normas anteriormente mencionadas. En las

armónicas individuales la de mayor aporte es la 3 er armónica con un valor de 8.10%, estando así con un rango de 4.10% fuera de lo establecido conforme a las normas antes mencionadas.

## Frecuencia



## Prueba de frecuencia (según la EN50160)

Rango de frecuencia permitido: 1%, - 1%

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO	RESULTADO
FRECUENCIA PROMEDIO	60 Hz	60.0006 Hz
FRECUENCIA MINIMO PERMITIDO	59.4 Hz	59.896 Hz
FRECUENCIA MAXIMO PERMITIDO	60.6 Hz	60.095 Hz
PORCENTAJE PERMITIDO FUERA DE RANGO	5%	0%
NUMERO DE MUESTRAS		8640 MUESTRAS

Conforme a los parámetros de medición de la norma internacional EN5160, el rango de la frecuencia obtenida en la lectura está dentro del rango permitido, obteniendo como un máximo obtenido de 60.095 Hz y un promedio de 60.0006 Hz.

## 4.2 Recomendaciones

En base al análisis de las mediciones presentadas anteriormente, así como las observaciones registradas durante el estudio de calidad de energía eléctrica realizado en la empresa de lácteos “San francisco” ubicado en Carretera costera Km. 174 Rancho San Francisco,

Colonia Miguel Alemán. Municipio de Pijijiapan. Chiapas, Con un horario de producción de 7:00 AM – 6:00 PM. Se propone lo siguiente:

Realizar un cambio de transformador de 75 kva a uno de 112.5 kva, ya que la carga instalada está en un 90% del valor nominal del transformador y por lo observado, se está construyendo una nueva vivienda tipo residencial por lo cual aumentara y se rebasara el valor nominal del transformador.

Un cambio de instalación eléctrica conforme a la NOM-0001-SEDE-2012, ya que la instalación eléctrica actual no cumple con los requerimientos que esta norma deriva. Esto puede ser una de las problemáticas más graves en la calidad de la energía en la empresa de lácteos.

Se propone cambio de motores de forma secuencial a los motores Premium (realizar la sustitución de motores de forma secuencial porque son costosos económicamente y no afectara la economía del dueño) ya que estos son de mayor eficiencia y se aprovechara de la mejor forma la energía consumida.

### **4.3 Conclusión**

La instalación de cargas no lineales en los sistemas eléctricos genera corrientes y tensiones con frecuencia y niveles diferentes a los diseñados para la correcta operación de la red eléctrica. Estas condiciones son llamadas perturbaciones y distorsiones de las ondas sinusoidales de los parámetros eléctricos.

Durante el proceso de este proyecto se fueron presentando dificultades en el sistema eléctrico, problemas que son ocasionados por diversas cargas no lineales, reflejándose en su bajo factor de potencia y un incremento mínimo en armónicos de corriente.

Se dieron a conocer las principales normas internacionales y nacionales las cuales establecen límites para cada tipo de perturbación que exista en el sistema eléctrico y tiempos de medición, cuyo fin es garantizar una alta calidad en la energía eléctrica.

La instalación eléctrica de la empresa de lácteos presenta algunas complicaciones, las cuales fueron detalladas en este trabajo, se demostró que estas condiciones derivan en la presencia de disturbios eléctricos, los cuales se ven reflejados en las líneas del transformador, donde se midió en el monitoreo eléctrico.

Con base a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

El contenido armónico en la instalación eléctrica se encuentra por arriba de lo indicado en los estándares de IEEE std 519-2014, especificación CFE L0000-45, con aportación individual de la 3era armónica en corriente. Por lo tanto:

Se instalará un banco de capacitores con filtro armónicos, marca Alpes Technologies, línea semiautomática, modelo SAI 025–240 Alpes, tipo std, potencia de 25 kVAR a 240 Volts, el

equipo está construido con un paso fijo de 10 kVAr y un paso reprogramable de 15 dando un total de 25 kVAr a 240 Volts, con interruptor horario, incluye interruptor termo magnético de capacidad calculada. Con el fin de elevar el factor de potencia a un 97% lo cual es superior a lo que establece el código de red el cual lo expide la comisión reguladora de energía.

Se realizará un cambio de tarifa de OM a HM, para aprovechar los periodos de base e intermedio, donde los precios son más bajos a comparación de la tarifa OM.

Se realizará una ampliación eléctrica enfocándonos en los climas para no exceder la carga contratada y así no tener cargos extras por la energía consumida.

## Referencias Bibliográficas

- [1] ABC de la calidad de la energía, Enriquez Harper Gilberto.
- [2] Calidad del servicio de energía eléctrica, Samuel Ramírez Castaño y Eduardo Antonio Cano Plata.
- [3] Los armónicos y la calidad de la energía eléctrica, RTR Energía.
- [4] Análisis de la calidad de la energía eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana (2010).
- [5] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas. Diario Oficial de la Federación, México, 2012.
- [6] EN 50160. Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. 1999.
- [7] IEC 61000-4-30. Técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad eléctrica.
- [8] IEEE Standard 519-2014. Recommended Practice for Harmonic Control in Industrial Systems, IEEE New York, USA, 2014.
- [9] Especificación CFE L0000-45. Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica, Comisión Federal de Electricidad, México, 2005.
- [10] Código de red resolución 151/2016.
- [11] Teoriza y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos, App. Tecsup.
- [12] Cuaderno de aplicaciones, corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas, Library.e.abb.

## Anexos

## Anexo A

## Recibo de comisión federal y diagramas unifilares.

**AVISO RECIBO**



**Comisión Federal de Electricidad**

Av. Paseo de la Reforma Num. 164  
Col. Juárez, Ciudad de México C.P. 06600.  
RFC: CSS160330CP7  
CFE SUMINISTRADOR DE SERVICIOS BÁSICOS

**Número de Servicio:**  
714 090 401 052

**Total a pagar:**  
\$43,334.00  
(CUARENTA Y TRES MIL TRESCIENTOS TREINTA Y CUATRO PESOS 00/100 M.N.)

**Fecha límite de pago:**  
29 JUL 17

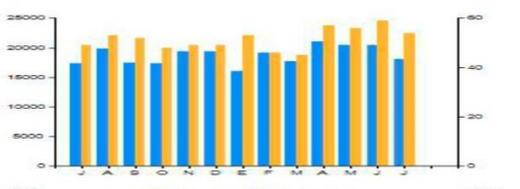
**Nombre y Domicilio:**  
NAVA MOCTEZUMA BERNARDO  
CARR COST KM 174 RCHO SN FCO  
RCHO SAN FRANCISCO Y MPIO DE PIJUIAPAN  
MIGUEL ALEMAN  
MIGUEL ALEMAN VALDEZ, CHIS.  
C.P. 30550

**Ruta:** 71DK13H038001050      **Periodo:** 16 JUN 17 A 14 JUL 17

Función	No. Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Diferencia	Totales
kWh	51D7U7	37441	19351	18090	18,090
kW	51D7U7	54	0	54	54
kVArh	51D7U7	83286	73624	9662	9,662

Tarifa	Carga conectada	Demanda contratada	Multiplicado
OM	53	53	1

**Datos Históricos**



Mes	Demanda máxima kW	Consumo total kWh	FP %	F.C. %	Precio medio
JUL 16	49	17,350	88.58	49	1.5016
AGO 16	53	19,875	88.60	50	1.6568
SEP 16	52	17,495	87.70	47	1.7877
OCT 16	48	17,295	87.47	50	1.8033
NOV 16	49	19,353	88.56	51	1.8102
DIC 16	49	19,355	88.56	55	1.8355
ENE 17	53	16,024	91.31	45	1.9514
FEB 17	46	19,125	89.84	53	1.9736
MAR 17	45	17,654	89.32	54	2.1323
ABR 17	57	21,021	90.39	48	2.2432
MAY 17	56	20,397	90.27	51	2.0976
JUN 17	59	20,414	89.27	48	2.0757
JUL 17	54	18,090	88.21	50	2.0651

Mes	Factor de proporción	Demanda máxima kW	Precios \$/kWh	Importe \$	Factor de potencia
JUN 17	0.4667	54	204.16	5,145.19	
JUL 17	0.4515	54	204.47	4,985.18	
					88.21

**Avisos Importantes**

- Corte a partir de 30 JUL 17.
- De acuerdo a tus instrucciones, el importe de este aviso-recibo será cargado a tu cuenta bancaria.
- Nos transformamos para servirte mejor.
- Servicio a Clientes Teléfono 071.

**Datos Fiscales del Receptor**

NAMB5805275E4  
CARR COST KM 174 RCHO SN FCO  
MIGUEL ALEMAN VALDEZ, CHIS.

Serie: KF      Folio: 000016087101  
Folio Fiscal: B4DAAA1D-56EB-4D17-8BB2-B9279F27474A  
N. Certificado del SAT: 0000100000406725461  
No. certificado del CSD: 0000100000404010245  
Fecha y Hora de certificación: 2017-07-17T20:23:18  
Unidad de medida: No Aplica  
Método de pago: NA  
Régimen Fiscal: RÉGIMEN GENERAL DE LEY DE PERSONAS MORALES

**Conceptos**

Energía 26,058.66  
Demanda Máxima 10,131.48  
2% Baja Tensión 723.80  
Cargo Factor de Potencia 442.96  
Subtotal 37,356.90  
IVA 16% 5,977.10  
Facturación del Periodo 43,334.00  
Adeudo Anterior 49,155.13  
Su Pago 49,155.00  
**Total \$43,334.13**

**Estado de cuenta**

Cadena original      Este documento es una representación impresa de un CFDI      Pago en una sola exhibición

**Pago en una sola exhibición**

01 714090401052 170729 000043334 3

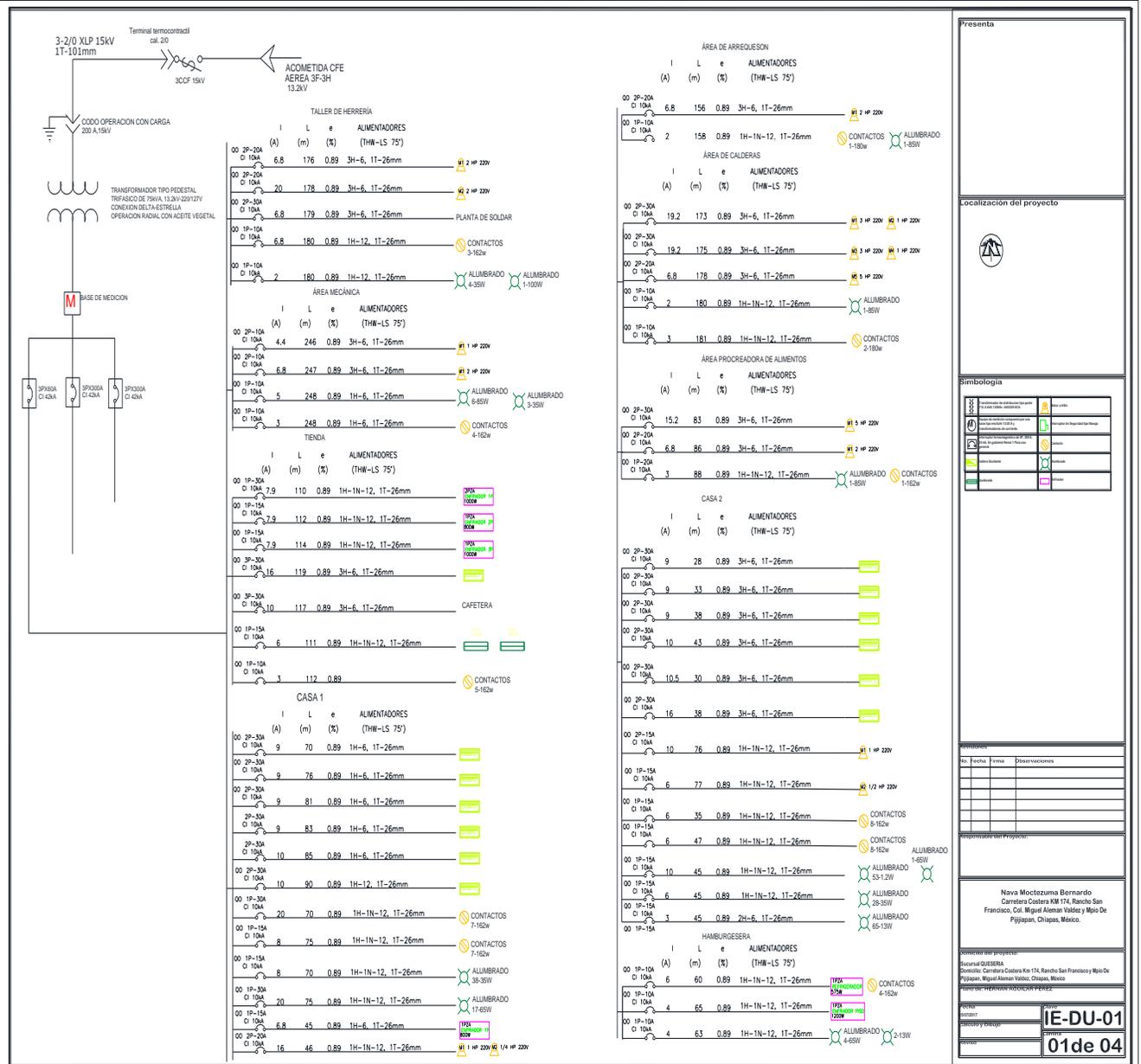
**Cuenta:** 71DK13H038001050

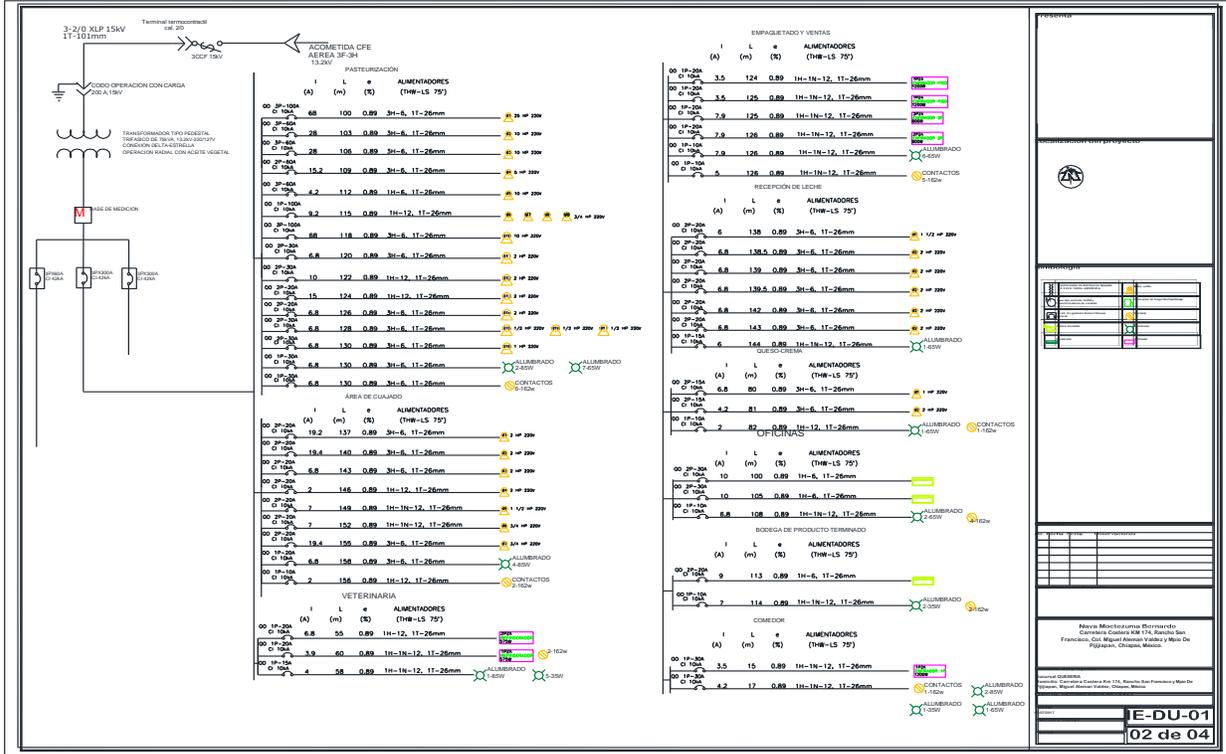


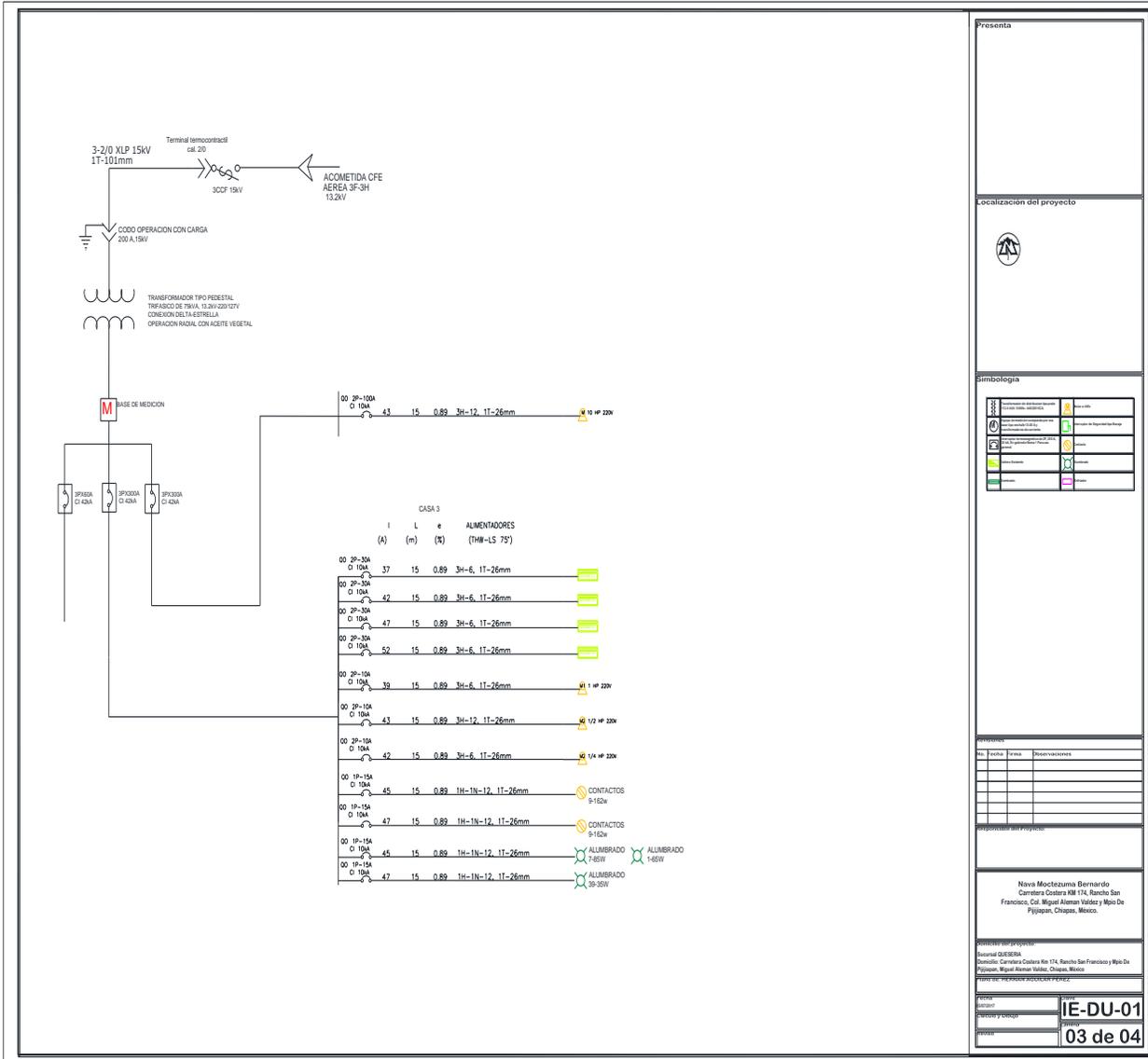
**Clave de envío:** Cobranza Electrónica

**Total a pagar:**  
\$43,334.00  
(CUARENTA Y TRES MIL TRESCIENTOS TREINTA Y CUATRO PESOS 00/100 M.N.)

**TALÓN DE CAJA**







Presenta

---

Localización del proyecto




---

Simbología

Icono de línea	Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable
Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable
Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable
Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable
Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable
Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable	Icono de cable

---

REVISIONES

No.	Fecha	Descripción

---

Propietario del Proyecto:

Navra Mochizuma Bernardo  
Carretera Costera KM 174, Rancho San Francisco, Col. Miguel Alemán Valdez y Mozo De Figueroa, Chiquila, Yucatán, México

---

Proyecto del Proyecto:

Escuela QUERENA  
Campus: Carretera Costera Km 174, Rancho San Francisco y Mozo De Figueroa, Miguel Alemán Valdez, Chiquila, Yucatán, México

---

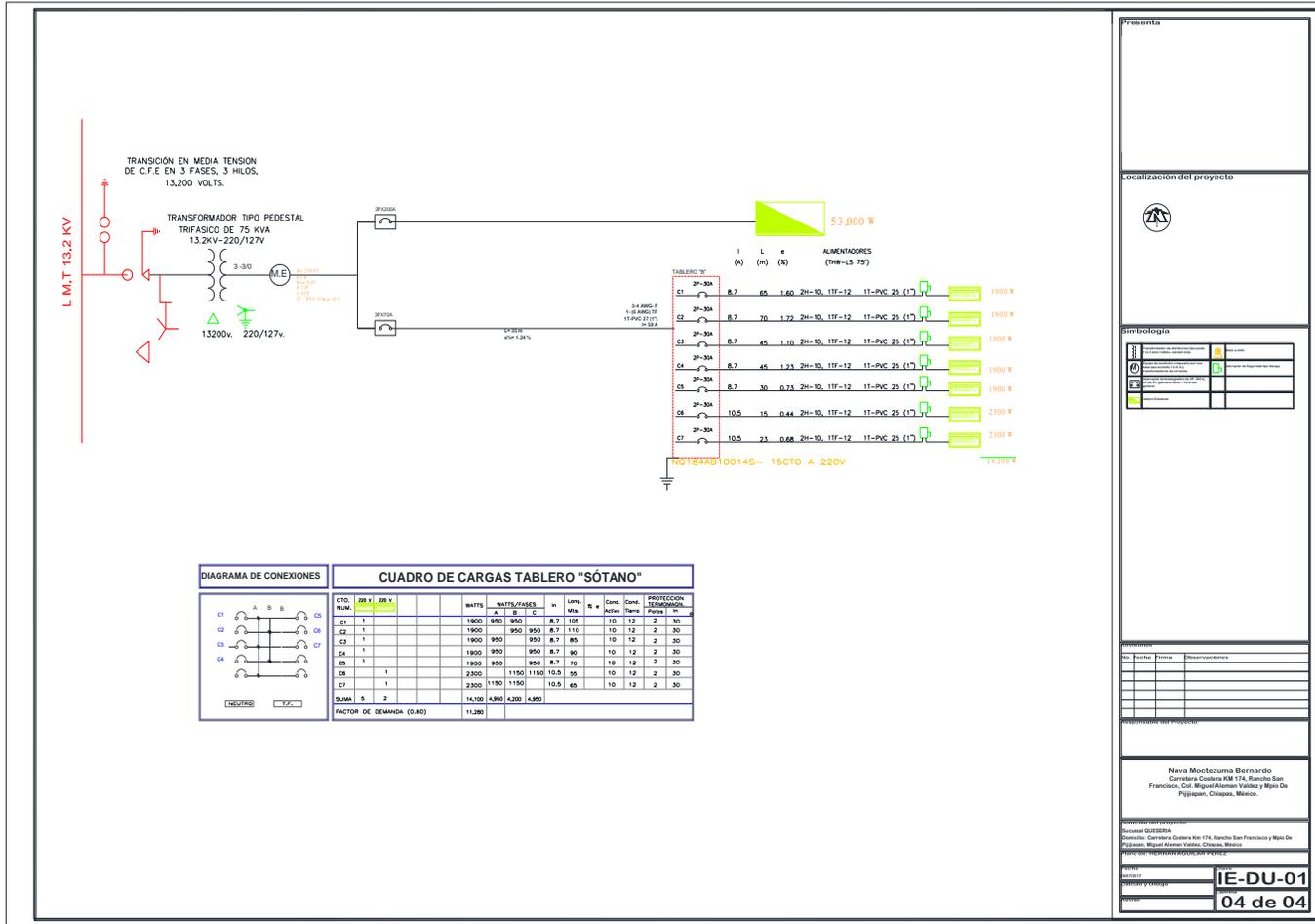
Nombre del Proyecto:

IE-DU-01

Fecha:

03 de 04

# Ampliación eléctrica



Calculo de climas

Clima de 2 toneladas

2400 Btu

220 volt

10.5 Amp.

Distancia 40 metros

2300 watts

Corriente nominal

$I_n = 10.5 \times 1.25 = 13.125 \text{ Amp.}$

Factores de corrección aplicables

Temperatura

$F_t = 0.82$

(tabla 310-15(b)(2)(a))

Agrupación

$F_a = 0.80$

(tabla 310-15(b)(3)(a))

$$I_c = I_n / (F_t \times F_a) = 20.00 \text{ Amp.}$$

Selección del conductor. Tabla 310-15(b)(16) columna a 60°  
Calibre 10 AWG, 30 Amp.

De la tabla 250-122. Tamaño mínimo de conductores puesto a tierra.  
Calibre 12 AWG, 20 Amp.

Interruptor termomagnético.

$$I_{tm} = I_n \times 2.5\% = I_{tmc} \quad I_{tm} = 10.5 \times 2.5 = 26.25 \text{ Amp. (Tabla 430-52)}$$

El interruptor termomagnético inmediato superior 30 Amp.

Selección de tuberías (tabla 4 cedula 80)

Calibre 10 AWG = 55.68mm

Calibre 12 AWG = 11.68mm

Tubo conduit pvc de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas.

Calculo de caída de tensión

$$I = 14 \text{ Amp.}$$

$$L = 0.040 \text{ km}$$

$$e\% = \frac{(173 \times I \times L \times (R \cos \varphi + Xl \sin[\text{arc} \cos \varphi]))}{V \cdot f \cdot f} =$$

$$ze = (R \cos \varphi + Xl \sin[\text{arc} \cos \varphi]) \quad R = 3.9 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad Xl = 0.207 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$ze = 3.89 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$e\% = 0.85 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Clima de 2 toneladas

2400 Btu

220 volt

10.5 Amp.

Distancia 65 metros

2300 watts

Corriente nominal

$$I_n = 10.5 \times 1.25 = 13.125 \text{ Amp.}$$

Factores de corrección  
aplicables

Temperatura

$$F_t = 0.82$$

(tabla 310-15(b)(2)(a))

Agrupación

$$F_a = 0.80$$

(tabla 310-15(b)(3)(a))

$$I_c = I_n / (F_t \times F_a) = 20.00 \text{ Amp.}$$

Selección del conductor. Tabla 310-15(b)(16) columna a 60°  
Calibre 10 AWG, 30 Amp.

De la tabla 250-122. Tamaño mínimo de conductores puesto a tierra.  
Calibre 12 AWG, 20 Amp.

Interruptor termomagnético.

$$I_{tm} = I_n \times 2.5\% = I_{tmc} \quad I_{tm} = 10.5 \times 2.5 = 26.25 \text{ Amp. (Tabla 430-52)}$$

El interruptor termomagnético inmediato superior 30 Amp.

Selección de tuberías (tabla 4 cedula 80)

Calibre 10 AWG = 55.68mm

Calibre 12 AWG = 41.68mm

Tubo conduit pvc de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas.

Calculo de caída de tensión

$$I = 14 \text{ Amp.}$$

$$L = 0.065 \text{ km}$$

$$e\% = \frac{(173 \times I \times L \times (R \cos \varphi + Xl \sin[\text{arc} \cos \varphi]))}{V \cdot f \cdot f} =$$

$$ze = (R \cos \varphi + Xl \sin[\text{arc} \cos \varphi]) \quad R = 3.9 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad Xl = 0.207 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$ze = 3.89 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$e\% = 1.95 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Clima de 1.5 toneladas

1800 Btu

220 volt

8.7 Amp.

Distancia 70 metros

Corriente nominal

$$I_n = 8.7 \times 1.25 = 10.875 \text{ Amp.}$$

Factores de corrección  
aplicables

Temperatura

$$F_t = 0.82$$

(tabla 310-15(b)(2)(a))

Agrupación

$$F_a = 0.80$$

(tabla 310-15(b)(3)(a))

$$I_c = I_n / (F_t \times F_a) = 16.43 \text{ Amp.}$$

Selección del conductor. Tabla 310-15(b)(16) columna a 60°

Calibre 12 AWG, 30 Amp.

De la tabla 250-122. Tamaño mínimo de conductores puesto a tierra.

Calibre 12 AWG, 20 Amp.

Interruptor termomagnético.

$$I_{tm} = I_n \times 2.5\% = I_{tmc}$$

$$I_{tm} = 8.7 \times 2.5 = 21.75 \text{ Amp. (Tabla 430-52)}$$

El interruptor termomagnético inmediato superior 30 Amp.

Selección de tuberías (tabla 4 cedula 80)

Calibre 12 AWG = 11.68mm

Tubo conduit pvc de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas.

Calculo de caída de tensión

$$I = 8.7 \text{ Amp.}$$

$$L = 0.070 \text{ km}$$

$$e\% = \frac{(173 \times I \times L \times (R \cos \varphi + Xl \sin[\text{arc} \cos \varphi])}{V \cdot f \cdot f} =$$

$$ze = (R \cos \varphi + Xl \sin[\text{arc} \cos \varphi]) \quad R = 3.9 \frac{\Omega}{km} \quad Xl = 0.207 \frac{\Omega}{km}$$

$$ze = 3.89 \frac{\Omega}{km}$$

$$e\% = 1.72 \frac{\Omega}{km}$$

## Anexo B

### Calculo de cortocircuito por el método de bus infinito.

Corriente nominal del transformador:

$$I = \frac{VA}{\sqrt{3} \times VL}$$

Donde:

$$I = \frac{75000}{(\sqrt{3}) (220V)} = 196.82 A$$

Método de bus infinito:

$$\frac{100}{z} \times I$$

Donde:

$$I_{ccs} = \frac{100}{2.87} (196.82) = 6.85 KA$$

## Anexo C

### Calculo de corrección de factor de potencia.

Las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de potencia reactiva se puede reducir e incluso anular si se colocan condensadores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.

La empresa de lácteos tiene una carga instalada de 53 Kw, conforme a las lecturas del analizador de redes se obtiene una potencia activa de 48.320 Kw, con un factor de potencia de 86%. A continuación, se realiza el cálculo para un banco de capacitores.

Datos:

$$f.p = 0.86 \quad \text{Pot. Activa} = 48.320 \text{ kw}$$

El factor de potencia se define como el coseno del ángulo de triángulo de potencias:

$$\text{Cos } \phi = \text{Cos } \phi_1$$

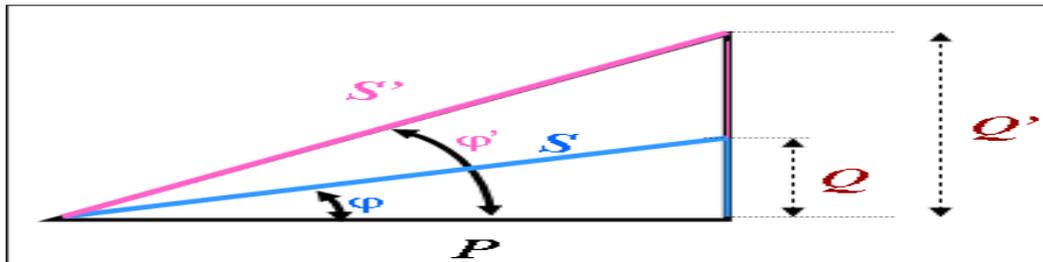
Esto quiere decir que  $\phi_1 = \text{Cos}^{-1}(0.86)$

$\phi_1 = 30.68^\circ$  Angulo del triángulo de potencias inicial.

f.p. (propuesto) =  $\text{Cos}\phi_2 = \phi_2 = \text{Cos}^{-1}(0.97)$

$\phi_2 = 14.06^\circ$  Angulo del triángulo de potencias propuesto.

Triangulo de potencias



**Fig. 4.1** Triangulo de potencias actual y corrección

Dónde:

S = potencia aparente, Q = potencia reactiva y P = potencia activa.

Se tiene la siguiente fórmula para calcular la potencia.

Formula de potencia activa:

$$P = S_1 \text{Cos } \phi_1$$

Despejando la formula, se obtendrá:

$$S_1 = P / \text{Cos } \phi_1$$

Sustituiremos la fórmula de potencia aparente, esta quedara de la siguiente manera:

$$S_1 = \frac{48320}{0.86} = 56186.04 \text{ VA}$$

Ahora conocemos el valor de potencia aparente y el ángulo de nuestro triangulo inicial, esto nos permite calcular la potencia reactiva.

Formula de potencia reactiva:

$$Q_1 = S_1 \text{SEN } \phi_1$$

Sustitución:

$$Q1 = (56186.04)(\text{Sen } 30.68) = 28668.51 \text{ VAR}$$

Corrigiendo f.p a 0.97

$$S2 = \frac{P}{\text{COS}\phi 2}$$

Sustitución:

$$\frac{48320}{0.97} = 49814.43 \text{ VA}$$

Formula de potencia reactiva:

$$Q2 = S2 \text{ Sen } \phi 2$$

$$Q2 = (49814.43)(\text{Sen } 14.06) = 12101.81 \text{ VAR}$$

Una vez que obtenemos el valor de la potencia reactiva (Q1 y Q2)

$$Qc = Q1 - Q2$$

$$Qc = 28668.51 - 12101.81 = 16566.7 \text{ VAR}$$

$$Qc = 16.56 \text{ KVAR}$$

## Anexo C

**Formula de potencia aparente liberada:**

$$kVA = kW \left( \frac{1}{\text{cos}\phi 1} - \frac{1}{\text{cos}\phi 2} \right)$$

Donde:

$$kVA = 48.32 \left( \frac{1}{0.86} - \frac{1}{0.97} \right)$$

$$kVA = 48.32 \times 0.13 = 6.28 \text{ Kva}$$

**Aumento de tensión aproximado al instalar un banco de capacitores.**

$$\% A.T = \frac{KVAR}{KVAcc}$$

$$KVAcc = \frac{KVA \text{ de transformador}}{z} \times 100$$

$$KVAcc = \frac{75}{2.87} \times 100 = 2613$$

$$\%A.T = \frac{16.56}{2613} = 6.33\%$$

**Reducción de pérdidas al corregir el factor de potencia.**

$$\%R.P. = 100 - 100 \left( \frac{F.P \text{ inicial}}{F.P \text{ corregido}} \right)^2$$

$$\%R.P. = 100 - 100 \left( \frac{0.86}{0.97} \right)^2 = 22.56\%$$

### Análisis de facturación, histórico de penalización.

Empresa de lácteos San Francisco

Carretera Costera Km 174 Rancho San Francisco Municipio de Pijijiapan  
Tarifa OM.

MES	DEMANDA FACTURABLE KW	CONSUMO EN KWH	F.P.	F.C	CARGO BAJO F.P \$	FACTURACION SIN IVA \$	PRECIOS/KWH
Dic 16	49	19.355	88.56	55	351.73	38635.76	1.314
Ene 17	53	16.024	<b>91.31</b>	45	<b>125.58</b>	31269.69	1.363
Feb 17	46	19.125	89.84	53	37.70	37744.17	1.450
Mar 17	45	17.654	89.32	54	187.28	37643.61	1.642
Abr 17	57	21.021	<b>90.39</b>	48	<b>47.20</b>	47154.65	1.583
May 17	56	20.397	<b>90.27</b>	51	<b>42.82</b>	42785.62	1.437
Jun 17	59	20.414	89.27	48	210.81	42374.31	1.444
Jul 17	54	18.090	88.21	50	442.96	37356.90	1.437
Ago 17	62	20.876	88.66	45	388.10	43510.93	1.400
Sep 17	55	18.494	87.94	45	528.69	41941.56	1.381
Oct 17	48	16.719	86.78	50	727.77	33808.57	1.396
Nov 17	55	20.408	88.98	47	291.76	41972.12	1.433
<b>Total anual</b>		<b>228.577</b>			<b>\$3166.8</b>	<b>\$476197.89</b>	
<b>Promedio</b>	53	19.04	88.61	49.25	351.86	39683.15	1.44
<b>Máximo</b>	62	21.021	89.84	55	727.77	47154.65	1.642
<b>Mínimo</b>	45	16.024	86.78	45	37.70	31269.69	1.314

MES	DEMANDA FACTURABLE KW	KVAR NECESARIOS PARA F.P 97	FACTURACION SIN CARGO POR F.P.	BONIFICACION PARA F.P DE 97%
<b>Dic 16</b>	49	15.95	35173.63	633.12
<b>Ene 17</b>	53	12.35	<b>31395.27</b>	565.11
<b>Feb 17</b>	46	13.03	37706.47	678.71
<b>Mar 17</b>	45	13.53	37456.33	674.21
<b>Abr 17</b>	57	15.09	<b>47201.85</b>	849.63
<b>May 17</b>	56	15.05	<b>42828.44</b>	770.91
<b>Jun 17</b>	59	17.83	42163.5	758.94
<b>Jul 17</b>	54	18.20	36913.94	664.45
<b>Ago 17</b>	62	16.99	40122.83	722.21
<b>Sep 17</b>	55	19.02	37763.73	679.74
<b>Oct 17</b>	48	18.38	33080.8	595.45
<b>Nov 17</b>	55	17.16	41680.36	750.24
<b>TOTAL</b>		<b>16.08</b>		<b>8342.24</b>

Ahorro en el costo anual por facturación es de:

\$ Ahorro = total consumo de demanda sin corregir el F.P – el total consumo de demanda al corregir el F.P

$$3166.8 - 8342.72 = \$5175.92$$

Considerando que el precio de venta de un banco de capacitores de 25 kVAr a 240 V de la marca ALPES es de 17,871.56 más un 25% por mano de obra:

$$\frac{\text{costo del banco de capacitores}}{\text{ahorro anual por corregir el factor de potencia}}$$

La inversión se recupera en:

$$\frac{22339.45}{5175.92} = 4.31 \text{ Años}$$

El banco de capacitores cuenta con doce meses de garantía, contra defectos de fabricación y se puede extender mediante la contratación de una póliza de mantenimiento.