

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN
“REY BALDUINO DE BÉLGICA”

CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN UNA RED INDUSTRIAL CON TARJETA DAQ

Trabajo de Titulación para optar al título
de Técnico Universitario en Electrónica.

Alumno:
Damian Jericó Hidalgo Rifo

Profesor Guía:
Ricardo Vera González

Resumen

Se plantea la problemática de reducir el factor de potencia, utilizando un equipo no convencional para la realización de mediciones.

La reducción de dicho factor se efectúa en una empresa que tiene una conexión trifásica a la red eléctrica y posee un mal factor de potencia por lo que tiene mensualmente una multa por parte de la empresa distribuidora de energía FRONTEL. Dicha empresa se encuentra ubicada en la localidad de Sta. Juana.

Keywords: FACTOR DE POTENCIA, POTENCIA ACTIVA, POTENCIA REACTIVA, DAQ, SISTEMA ELECTRICO EQUILIBRADO.

ÍNDICE

Introducción 1

Objetivos 2

 Objetivo general..... 2

 Objetivos específicos 2

CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

 ¿Qué es el factor de potencia? 4

 Naturaleza de un mal factor de potencia 4

 Beneficio de un buen Fp..... 4

 • Facturación: 5

 • Disminución en la sección de los cables: 5

 • Reducción de la caída de tensión. 5

 • Aumento de la potencia disponible. 5

 Compensación de potencia reactiva 6

 Determinar el nivel de compensación 6

 Instalación de banco de condensadores 7

 Niveles de instalación..... 7

 Características eléctricas de la empresa 9

CAPITULO 2: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

 Solución propuesta 12

 Sistema de adquisición de datos (DAQ)..... 12

 Elementos a utilizar 13

 Conexión de elementos 15

 Funciones del programa LabView..... 17

 Etapas del programa 19

CAPITULO 3: MEDICIÓN Y SOLUCIÓN

 Etapas de medición..... 21

 Primera medición:..... 21

 Segunda medición:..... 22

 Tercera medición: 27

Conclusiones 31

Bibliografía 32

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1: Representación gráfica de potencias.	4
Fig. 1-2: Un motor absorbe de la red energía activa P y energía reactiva Q.	4
Fig. 1-3: Triangulo de compensación de potencia.	6
Fig. 1-4: Diagrama eléctrico de banco de condensadores en instalación general	7
Fig. 1-5: Diagrama eléctrico de banco de condensadores en instalación por sector	8
Fig. 1-6: Diagrama eléctrico de banco de condensadores en instalación individual	8
Fig. 1-7: Diagrama eléctrico tablero de la carnicería.....	9
Fig. 3-1: Triangulo de potencia sin corrección de factor de potencia.....	25
Fig. 3-2: Triangulo de potencia deseado	25
Fig. 3-3: Diagrama eléctrico interno con la instalación del banco de condensadores.	26
Fig. 3-4: Triangulo de potencia con la utilización de condensador de 5[KVAR].	29
Fig. 3-5: Triangulo de potencia resultante.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:Coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del $\cos \phi$ de la instalación. 5

Tabla 3-1: Data obtenidos para el calculo de triangulo de potencia. 24

Tabla 3-2: Características del condensador dependiendo de la tensión y frecuencia. 26

Tabla 3-3: Datos obtenidos considerando la compenzacion 28

Tabla 3-4: Comparación de triángulos de potencia 29

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1-1: Documento de facturación año 2011.	10
Imagen 1-2: Documento de facturación año 2017.	10
Imagen 2-1: Esquema básico de un sistema DAQ	12
Imagen 2-2: Sensor de corriente	13
Imagen 2-3: Diagrama eléctrico del sensor de corriente	13
Imagen 2-4: Transformador	14
Imagen 2-5: DAQ NI-6008	14
Imagen 2-6: Conexión del sensor de corriente en la tarjeta NI-6008..	16
Imagen 2-7: Conexión del transformador en la tarjeta NI-6008..	16
Imagen 2-8: Programa desarrollado en Lab View	16
Imagen 2-9: Función While loop	17
Imagen 2-10: Función DAQ Assistant.	17
Imagen 2-11: Función Amplitude and level.....	17
Imagen 2-12: Función split signal.....	18
Imagen 2-13: Función merge signal.....	18
Imagen 2-14: Función Amplitude and Phase.	18
Imagen 2-15: Funciones matemáticas	18
Imagen 2-16: Símbolo del adaptador de señal.	18
Imagen 2-17: Pantalla de configuración DAQ Assistant	19
Imagen 2-18: Parte del programa dedicado al análisis de señales	19
Imagen 2-19: Etapa del programa dedicado al cálculo de potencias y eficiencia	20
Imagen 2-20: Vista del instrumento virtual	20
Imagen 3-1: Medición de tensión y corriente de fase (R)	21
Imagen 3-2: Medición de tensión y corriente de fase (S)	21
Imagen 3-3: Medición de tensión y corriente de fase (T)	21
Imagen 3-4: Medición corriente en neutro	22
Imagen 3-5: Medición de tensión y corriente de fase (R)	22
Imagen3-6: Medición de tensión y corriente de fase (S)	23
Imagen3-7: Medición de tensión y corriente de fase (T)	23
Imagen 3-8: Captura de pantalla, medición de corriente y tensión de fase (S).....	27
Imagen 3-9: Captura de pantalla, medición de corriente y tensión de fase (R)	27
Imagen 3-10: Captura de pantalla, medición de corriente y tensión de fase (T)	27
Imagen 3-11: Facturación. Marzo 2018	30

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

FP : Factor de Potencia

P : Potencia Activa

S : Potencia Aparente

% : Porcentaje

DAQ : Adquisición de Datos

RMS : Valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica

θ : Ángulo

VAC : Tensión en corriente alterna

SIMBOLOGÍA:

kW : KiloWatt

kVA : Kilovolt-ampere

VA : Volt- ampere

VA_r : Volt-ampere

W : Watt

Cos : Coseno

Hz : Hertz

V : Volt

kWh : Kilo Watt Hora

kVARh : Kilo Volt-ampere reactivo Hora

Introducción

Hoy en día la corriente alterna es la que mayormente se utiliza a la hora de producir y distribuir la energía eléctrica. Esto resulta tanto más rentable, cuanto mayor sea la simultaneidad entre la señal de corriente y tensión.

En Chile y el mundo existe recargo a empresas que utilizan la energía eléctrica con un mal factor de potencia, en nuestro país la normativa obliga a los consumidores a no bajar su factor de potencia de 0.93 inductivo. Si no cumplen con dicha normativa, se recarga en 1% de la factura total, por cada centésima que este factor baje de 0.93. [Ministerio de Energía, decreto 14, 2015].

Esto es lo que sucede en una empresa ubicada en la comuna de Santa Juana, la cual está conectada a la red trifásica y tiene una multa mensual por mal factor de potencia.

Lo que busca este proyecto, es corregir dicho factor de potencia realizando mediciones con una tarjeta de adquisición de datos.

Objetivos

Objetivo general

Reducir el factor de potencia de un sistema trifásico para disminuir los costos en la factura mensual de electricidad.

Dicho sistema eléctrico posee en su mayoría cargas de tipo inductivas y no se encuentra en equilibrio. Al igual que no posee elementos no lineales.

Objetivos específicos

- Distribuir las cargas eléctricas de la empresa para crear sistema trifásico equilibrado, utilizando así las ecuaciones de potencia.
- Analizar gráficamente mediante la medición de cada una de las fases de la red.
- Calcular el condensador o banco de condensadores necesarios para la corrección del factor de potencia.
- Comprobar el cálculo del condensador realizando mediciones en la instalación.

CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

¿Qué es el factor de potencia?

Cuando se refiere a la energía que suministra la compañía de electricidad, nos referimos directamente a dos componentes: Potencia activa y demanda.

La potencia activa que normalmente se expresa en Watt o Kilowatt (KW), indica la cantidad de energía que se consume al instante, la cual corresponde a la potencia que se transforma integralmente en energía mecánica (trabajo) y calor, a veces referidas a pérdidas.

La demanda tiene relación con la potencia aparente (S), se expresa en kilo volts-amperios (KVA), lo que resulta del producto de la tensión por la corriente. Esta potencia a su vez se compone de dos tipos de potencia: La potencia activa, nombrada anteriormente y la potencia reactiva, que corresponde a la potencia utilizada para crear campos magnéticos.

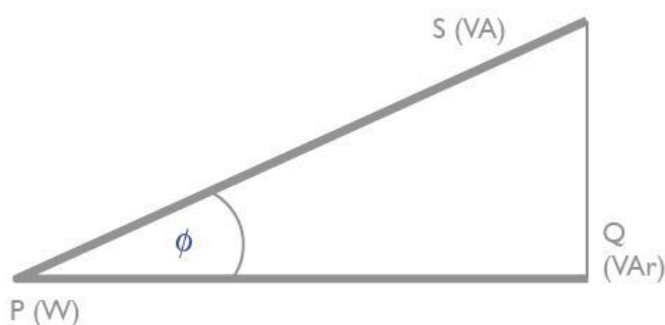


Fig. 1-1: Representación gráfica de potencias.

Fuente: Capella R. Corrección de factor de potencia.

El factor de potencia, se asocia al coeficiente de la potencia activa (kW) y la potencia aparente y su valor está comprendido entre 0 y 1.

El ángulo θ formado entre la potencia activa y la potencia aparente en la fig. 1, es igual al desfase entre la señal de corriente y tensión.

Con frecuencia el $\cos \theta$ tiene el mismo valor del factor de potencia, esto sucede cuando nos referimos a energía suministrada por la red a frecuencia industrial de 50 Hz con señales sinusoidales puras, sin armónicos.

$$Fp = \frac{P(KW)}{S(KVA)} = \cos \theta$$

Siendo: P = Potencia activa

S= Potencia aparente

El factor de potencia es un valor importante de tener en cuenta, ya que indica la eficiencia de la instalación eléctrica, indica cuanto de la potencia aparente se convierte en potencia activa. Cuando la potencia activa es igual en magnitud a la potencia aparente, nos encontramos en presencia de una eficiencia del 100%, rara vez ocurre esto pero siempre se busca optimizar el consumo eléctrico, ya que las compañías eléctricas proporcionan a los usuarios Volt-Amper (potencia aparente), pero lo cobran como Kilo- Watt (potencia activa). Si el factor de potencia de una instalación cae por debajo de 1, la compañía debe generar más cantidad de volt-amper para suministrar potencia al circuito. Esto, a su vez, aumenta los costos de generación y distribución de la compañía eléctrica, por lo cual, ésta carga tarifas adicionales a los usuarios por tener un mal factor de potencia.

Naturaleza de un mal factor de potencia

Un factor de potencia bajo ocurre generalmente por la presencia de cargas reactivas. Como se observa en la Fig1. la potencia reactiva crea una diferencia en magnitud entre la potencia activa y aparente, a su vez genera un bajo factor de potencia

La energía reactiva medida en Volt-Amper reactivo ocurre por la existencia de elementos inductivos o capacitivos en un circuito de corriente alterna y no genera ningún trabajo.

Principales consumidores de potencia reactiva:

- Motores asíncronos
- Transformadores.
- Balastos.

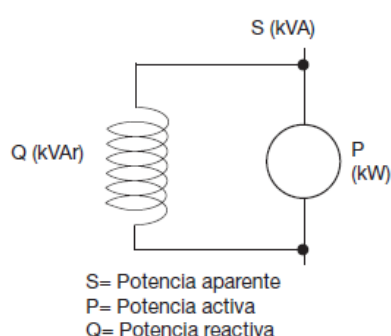


Fig. 1-2: Un motor absorbe de la red energía activa P y energía reactiva Q .

Fuente: Capella R. Corrección de factor de potencia.

Las corrientes de armónicos son otros elementos que contribuyen a factores de potencia bajos. Se tratan de corrientes que se reflejan en el sistema y están presentes en la corriente de carga, pero no en la tensión. Las corrientes de armónicos no contribuyen en nada al sistema de alimentación pero puede disminuir el factor de potencia; las únicas cargas que no introducen corrientes de armónicos son puramente cargas lineales.

Beneficio de un buen Fp.

- Facturación:

El principal beneficio de un buen factor de potencia es la reducción en la facturación por parte de la compañía eléctrica, ya que en Chile por el decreto 300 establecido en el Artículo 1, numeral 4.6.2, la facturación por consumos efectuados en instalaciones cuyo factor de potencia medio mensual sea inferior a 0.93 se recargara en 1% por cada 0.01 en que dicho factor baje de 0,93.

- Disminución en la sección de los cables:

El corregir el factor de potencia en una instalación permite reducir la sección de los conductores a nivel global del circuito, ya que para una misma potencia activa, la intensidad resultante de la instalación corregida es menor.

cos ϕ inicial	Factor multiplicador de la sección del cable
1	1
0,8	1,25
0,6	1,67
0,4	2,5

Tabla 1-1 Coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del cos ϕ de la instalación.
Fuente: Capella R. Corrección de factor de potencia.

- Reducción de la caída de tensión.

El corregir el factor de potencia implica disminuir la energía reactiva transportada, lo que produce una disminución en la caída de tensión en las líneas.

- Aumento de la potencia disponible.

La instalación de condensadores aguas abajo de un transformador sobrecargado que alimenta una instalación eléctrica con un mal factor de potencia, permite aumentar la potencia en el secundario del transformador.

Compensación de potencia reactiva

Motores, transformadores, son cargas de tipo inductivo que absorben potencia reactiva (Q) para generar sus campos magnéticos.

La manera más sencilla y flexible de contrarrestar el consumo de potencia reactiva, a su vez mejorar el factor de potencia, es conectar condensadores en paralelo. La potencia reactiva inductiva Q_L tomada de la red puede compensarse total o parcialmente por acción de la potencia reactiva capacitiva Q_C de los condensadores como se muestra en la fig. 4

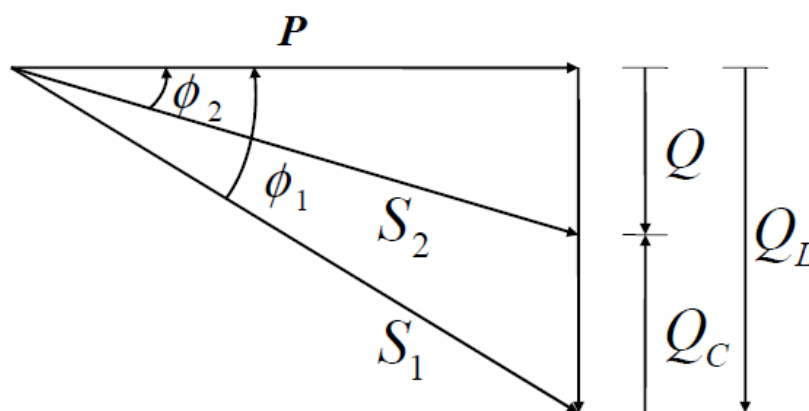


Fig. 1-3: Triangulo de compensación de potencia.
Fuente: Capella R. Corrección de factor de potencia.

Determinar el nivel de compensación

Para determinar la potencia óptima del condensador o la batería de condensadores existen distintos métodos, pero el más preciso es la medición.

Para ello es necesario distintos datos y realizar algunos cálculos.

Datos que conocer:

- Potencia activa (KW).
- $\cos \phi$ inicial.
- $\cos \phi$ deseado.

Calculo:

$$Q_C = P(\tan \phi \text{ inicial} - \tan \phi \text{ deseado})$$

Instalación de banco de condensadores

La localización del banco de condensadores en una red eléctrica para realizar una compensación de energía reactiva, depende de muchos factores, una compensación de energía reactiva ideal, es producir energía reactiva en el lugar mismo donde se consume y en una cantidad que se ajusta a la demanda.

Niveles de instalación

Instalación general:

En este tipo de instalación el banco de condensadores se encuentra ubicado en la cabecera de la instalación eléctrica asegurando una compensación global del sistema eléctrico.

Ventajas:

- Representa la solución más económica.
- Elimina las multas por mal factor de potencia.
- Fácil de implementar.

Observaciones: Al ubicar el banco de condensadores en la cabecera de la instalación eléctrica, no se reduce las pérdidas en los cables de dicha instalación por efecto Joule.

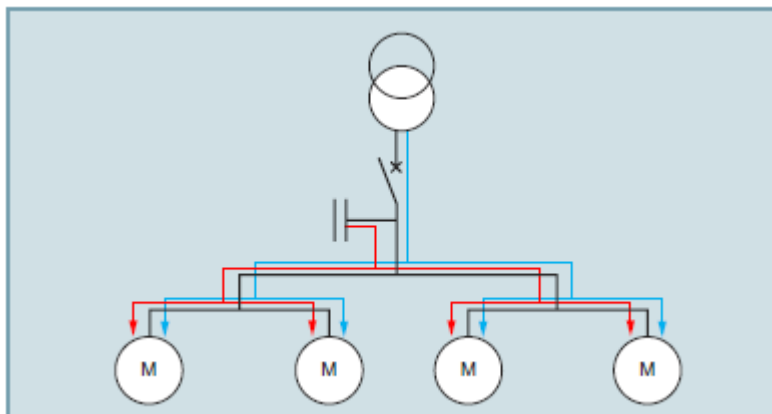


Fig. 1-4: Diagrama eléctrico de banco de condensadores en instalación general
Fuente: Compensación de energía reactiva y monitoreo de la calidad de la potencia, Legarnd.

Instalación por sector:

En este tipo de instalación el banco de condensador suministra energía reactiva a un grupo de receptores. Este tipo de instalación es conveniente cuando la instalación eléctrica es amplia y comprende sectores con distintos niveles de carga eléctrica.

Ventajas:

- Optimiza parte de la red, como se observa en la fig. 5 la energía reactiva suministrada por los condensadores, representadas en color rojo, no circulan por toda la instalación eléctrica.

- Elimina las multas por mal factor de potencia.
- Su implementación es económica.

Observaciones: Se reduce parte de las pérdidas por efecto Joule en parte de la instalación eléctrica.

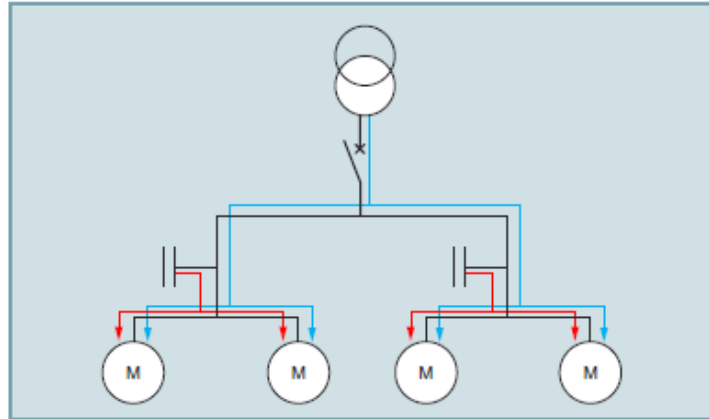


Fig. 1-5: Diagrama eléctrico de banco de condensadores en instalación por sector.
Fuente: Compensación de energía reactiva y monitoreo de la calidad de la potencia, Legarnd.

Instalación individual:

Consiste en la conexión del condensador o banco de condensadores directamente en cada receptor de tipo inductivo. Desde el punto de vista técnico, este tipo de instalación es ideal, pero solo debe contemplarse cuando la potencia de algunos receptores es importante en relación a la potencia total del sistema eléctrico.

Ventajas:

- Reduce las pérdidas por efecto Joule ya que la corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación eléctrica, como se observa en la fig. 6.
- Optimiza el sistema eléctrico.
- Elimina multas por mal factor de potencia.
- Reduce el dimensionamiento de los cables.

Observaciones: Es la instalación más óptima con respecto a las ventajas que ofrece, reduce por completo las pérdidas por efecto Joule, pero es la menos económica.

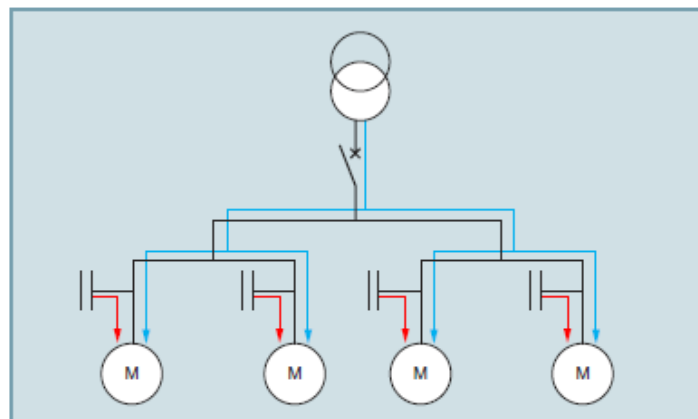


Fig. 1-6: Diagrama eléctrico de banco de condensadores en instalación individual.
Fuente: Compensación de energía reactiva y monitoreo de la calidad de la potencia, Legarnd.

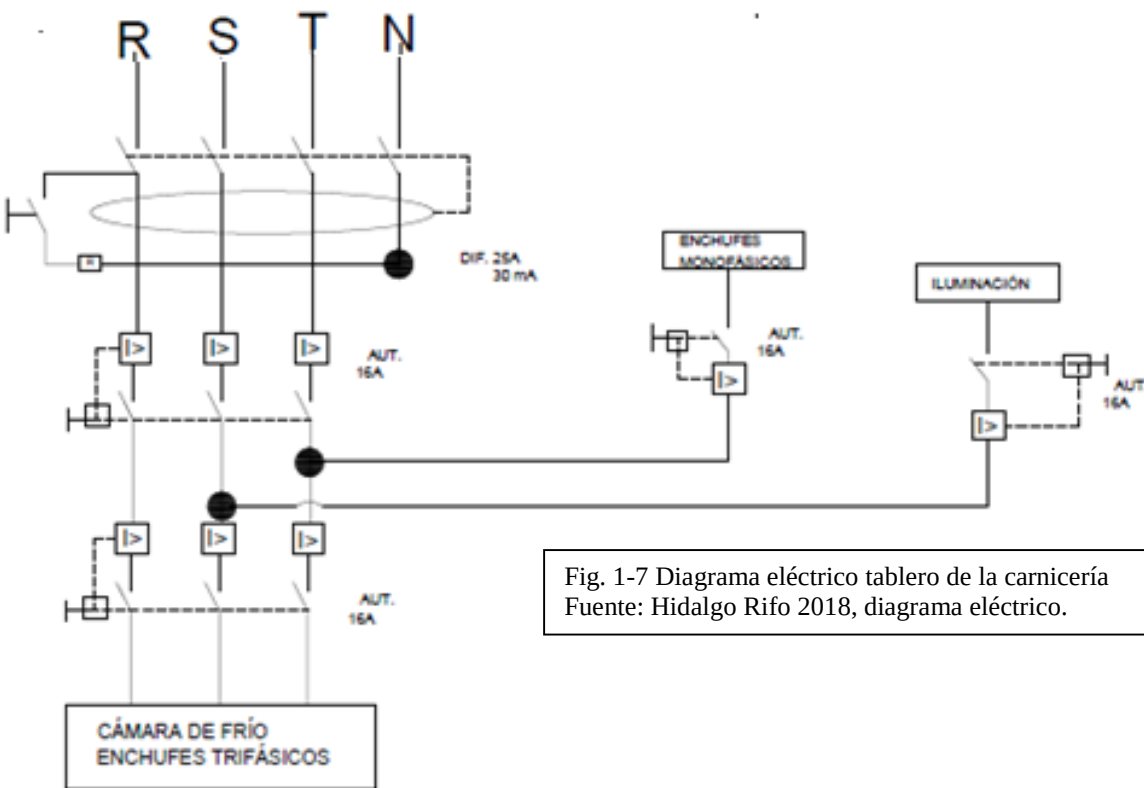
Características eléctricas de la empresa

La empresa consiste en una carnicería, con una sección de fábrica de embutidos, la cual tiene una serie de motores conectados, los cuales no funcionan todos al mismo tiempo y ninguno posee variador de frecuencia.

Esta empresa está conectada a una red trifásica de 380 VAC con una potencia contratada de 7,0 KW.

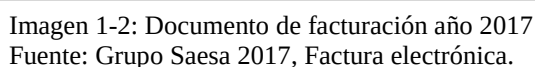
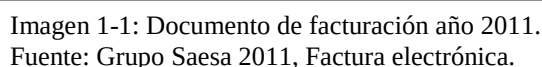
Todos los jueves realizan, la producción de embutidos por lo que en ese día es donde se genera mayor consumo, por parte de los motores trifásicos que funcionan en la producción.

También, para la conservación de sus productos, la carnicería cuenta con una cámara de frío, cuyo compresor funciona con 380v trifásico. El funcionamiento de este compresor depende de los valores de set point de temperatura ingresados en el controlador. En la etapa de deshielo del evaporador, se conectan 3 resistencias las cuales producen el calor para derretir el hielo que se produce en las etapas de frío.



Deficiencia detectada

El conjunto de motores al interior de la fábrica dan lugar a una potencia reactiva de tipo inductiva, lo cual produce un factor de potencia inferior a 0.93 por lo que la distribuidora de electricidad, en este caso Frontel del grupo SAESA agrega cada mes en la factura de luz una multa por mal factor de potencia. Esto se genera hace 7 años aproximadamente.



El cálculo del factor de potencia por parte de la empresa generadora de energía, lo realiza mensualmente por el consumo de energía reactiva que tienen sus usuarios. Un ejemplo de esto se encuentra en la imagen de facturación anterior del año 2017, imagen 1-2.

Se observa que en ese mes en particular el usuario tuvo un consumo de potencia activa de 1276 kilo-watt hora [KWh] y un consumo reactivo de 929 kilo-var-hora. [KVAR.h]

Con estos datos es posible verificar la multa por mal factor de potencia al calcular la potencia aparente.

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ $S = \sqrt{1276^2 + 929^2}$ $S = 1578,3 \text{ [KVA h]}$	$\text{Factor de potencia} = \frac{P}{S}$ $F.p = \frac{1276}{1578,3}$ $Fp = 0,808$
---	--

La diferencia entre el factor de potencia normado (0,93) y el que se obtiene del cálculo es de 0,12. Lo cual se encuentra señalado en la factura por lo que existe una multa por el 12% del consumo total.

CAPITULO 2: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Solución propuesta

Medir tanto la señal de tensión como la señal de corriente mediante un sistema de adquisición de datos, para así calcular el desfase existente y a su vez el condensador o banco de condensadores adecuado para la corrección del factor de potencia de la instalación eléctrica de la carnicería.

Sistema de adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos es el proceso por el cual se utiliza un computador para medir fenómenos físicos o eléctricos.

El objetivo de un sistema DAQ es proporcionar las herramientas y recursos necesarios para obtener valores de señales físicas y convertirlas en datos los cuales se pueden procesar o mostrar.

Este sistema consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las computadoras estándares en la industria, proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.

Esquema básico:



Imagen 2-1: Esquema básico de un sistema DAQ
Fuente: Adquisición de datos National Instrument, 2016.

Sensor: Un sensor o transductor es el elemento encargado de transformar un fenómeno físico en una señal eléctrica que se pueda medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo.

Acondicionamiento de señal: Generalmente las señales que entregan los sensores son incompatible con la tarjeta de adquisición de datos, por lo que se debe realizar una adaptación de dichas señales para ser ingresadas al hardware de adquisición de datos.

Dispositivo DAQ: Es el encargado de realizar la interfaz entre el computador y el exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC.

PC: Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida.

Elementos a utilizar

Sensor de corriente: Elemento que permite medir corriente alterna. Esencialmente es un transformador de núcleo dividido utilizado para medir la intensidad que circula por un conductor sin la necesidad de desmontar dicho conductor el cual actúa como devanado primario. Internamente este elemento tiene un devanado secundario el cual entrega una tensión proporcional a la corriente que circula por el conductor a medir.

El sensor seleccionado entrega una señal de tensión alterna en su salida proporcional a la intensidad a medir, sus especificaciones técnicas son:

Marca: Seed Technology

Modelo: sct-013

Corriente de entrada: 0 a 30 [A] AC

Voltaje de salida: 0 a 1 [V] AC

No linealidad: $\pm 1\%$

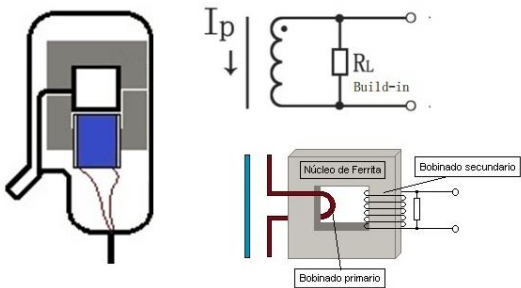


Imagen 2-2: Sensor de corriente
Fuente: Manual sensor sct013, 2015

Imagen 2-3: Diagrama eléctrico del sensor de corriente.
Fuente: Manual sensor sct013, 2015

Transformador: Para las mediciones de tensiones es necesario el acondicionamiento de señales para que los niveles voltajes sean compatibles con el dispositivo de adquisición de datos. El transformador seleccionado, permite disminuir la tensión alterna a valores manejables para la tarjeta de adquisición de datos. Sus características técnicas son:

Marca: L.A. Power

Voltaje de entrada: 220 [V] AC.

Voltaje de salida: 6 [V] AC.

Corriente máxima: 0.3 [A].



Imagen 2-4: Transformador
Fuente: Fotografía transformador, (Hidalgo Rifo,2015)

Dispositivo DAQ: La tarjeta de adquisición de datos utilizada para visualizar los datos obtenidos es la ni-6008 cuyas características son las siguientes:

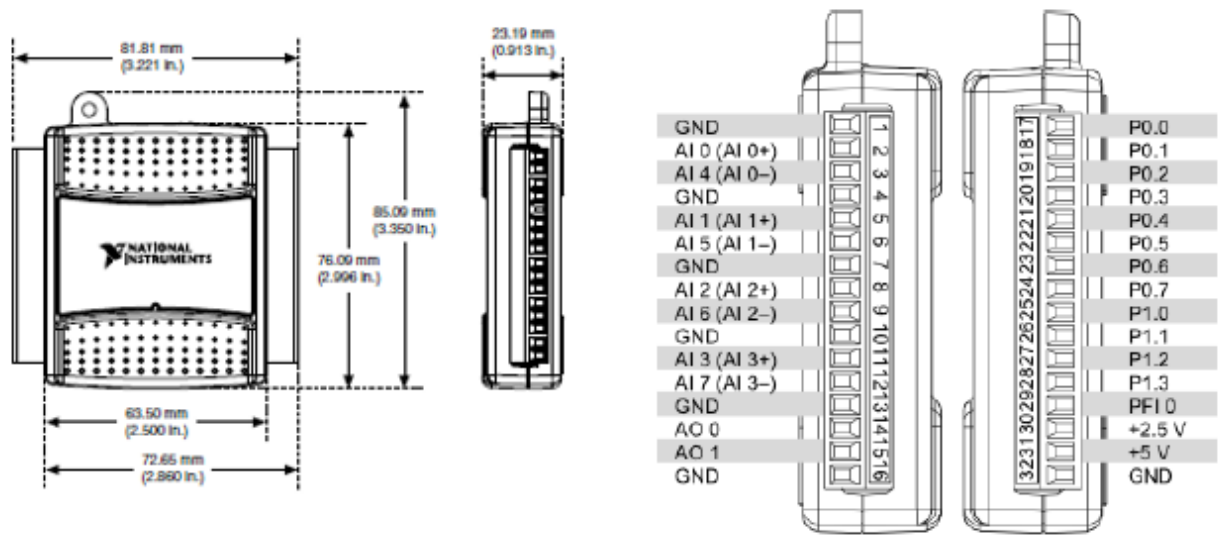


Imagen 2-5: DAQ NI-6008.
Fuente: Manual NI-USB 6008 , National Instrument.

Marca: National Instrument.

Entradas analógicas de una sola terminal: 8.

Impedancia de entrada analógica: 144 K Ω

Salidas analógicas: 2.

Entradas o salidas digitales: 8.

Resolución de entradas analógicas: 12 bits en modo diferencial y 11 bits en modo single-ended

Rango de tensión de entrada en modo diferencial : $\pm 20[V]$, $\pm 10[V]$, $\pm 5[V]$, $\pm 4[V]$, $\pm 2.5[V]$, $\pm 2[V]$, $\pm 1.25[V]$, $\pm 1[V]$

Rango de tensión de entrada en modo Single-ended: $\pm 10 [V]$.

Conexión de elementos

Los elementos a conectar tienen una salida de tensión por lo cual la tarjeta de adquisición de datos recibirá una señal de voltaje. Para realizar medición de tensión se debe tener en cuenta que en esencia el valor de esta magnitud es la diferencia de potencial entre dos puntos de interés de un circuito teniendo un punto de referencia.

Esencialmente existen dos métodos para medir voltaje con respecto a un punto de referencia. Uno es la medición con respecto a un punto común o tierra, con frecuencia este punto es estable y se encuentra cercano a los 0[V]. La referencia a tierra es provisto ya sea por el dispositivo que toma la medición o bien, por la señal externa medida. Cuando la tierra es proporcionada por el dispositivo, la configuración se denomina modo de salida sencilla referenciada a tierra (RSE), y cuando la tierra es proporcionada por la señal, la configuración se llama modo de salida sencilla no referenciada (NRSE).

Otro método es el diferencial que consiste en medir la tensión diferencial entre dos puntos separados. Por ejemplo para medir tensión en el sensor de corriente es posible conectar la bobina del secundario de dicho sensor y medir el voltaje en los extremos de la bobina. La diferencia entre voltajes es la tensión del secundario del sensor de corriente.

Transformador

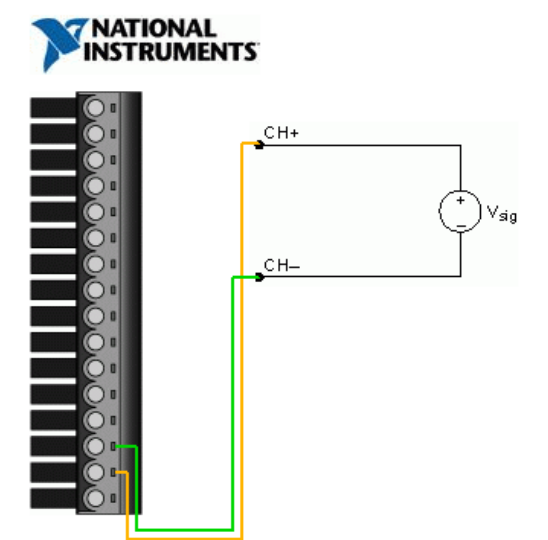


Imagen 2-6: Conexión del sensor de corriente en la tarjeta NI-6008.
Fuente: Captura de pantalla, programa LabView 2013.

Sensor de corriente

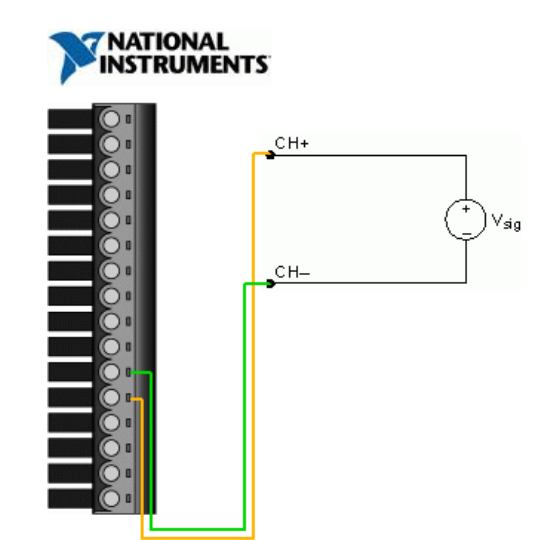


Imagen 2-7: Conexión del transformador en la tarjeta NI-6008.
Fuente: Captura de pantalla, programa LabView 2013.

Como se puede observar en la imagen 8 y 9 los sensores se encuentran conectados en modo diferencial en la tarjeta de adquisición de datos, los terminales del sensor de corriente encuentran conectado a la entrada analógica AI 1 y AI 5. Los terminales del transformador se conectan en la entrada analógica AI 0 Y AI 4.

Software: El utilizado para efectuar las distintas mediciones, es el Lab View 2013, que es un programa, diseñado para distintas aplicaciones de medidas, procesamiento de datos y control, el cual se basa en un lenguaje de programación gráfico.

Programa:

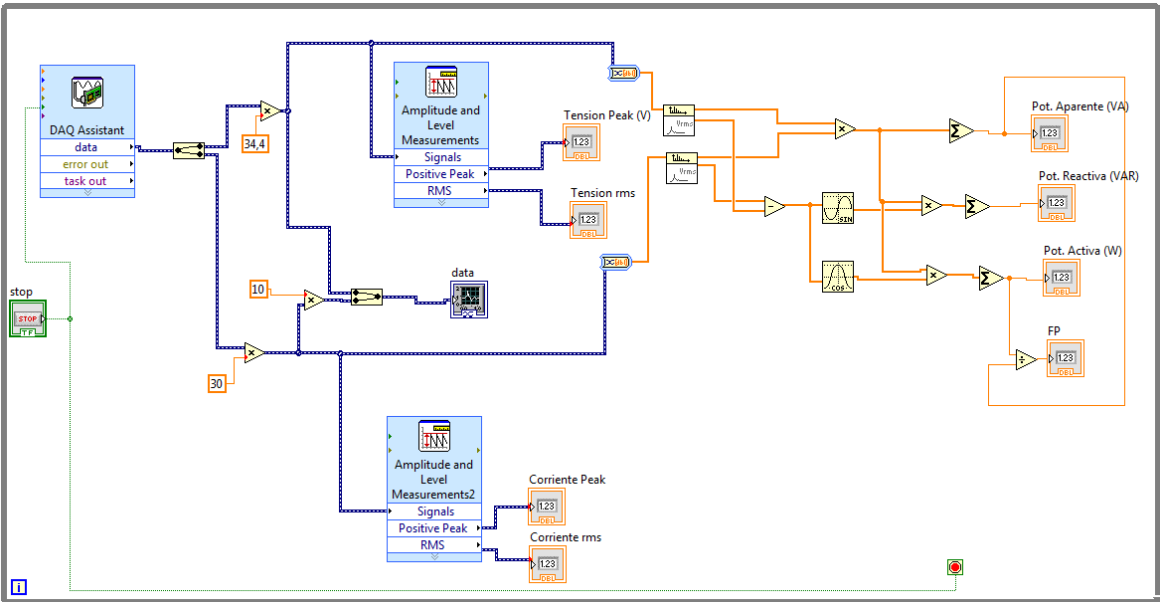


Imagen 2-8: Programa desarrollado en Lab View 2013.
Fuente: Captura de pantalla, programa LabView 2013.

Funciones del programa LabView 2013

While loop: Permite la ejecución de todas las funciones que estén en el interior del cuadro generando un ciclo de ejecuciones hasta que la terminal condicional se lo permita. Esta terminal se activa con un valor booleano específico permitiendo detener el ciclo,

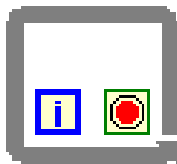


Imagen 2-9: Función While loop.
Fuente: Programa LabView 2013.

DAQ Assistant: Esta función permite la configuración de la tarjeta de adquisición de datos, las entradas en donde ingresa la señal a medir. Proporciona una guía paso a paso para configurar, probar y programar tareas de medición.

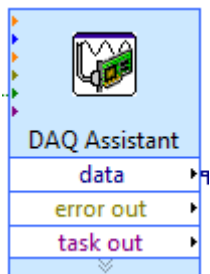


Imagen 2-10: Función DAQ Assistant.
Fuente: Programa LabView 2013.

Amplitude and level measurement: Este bloque recibe una señal y entrega en su salida parámetro de dicha señal, como: Valor cuadrático medio, valor peak positivo, valor peak negativo, valor DC de la señal y promedio de ciclo.

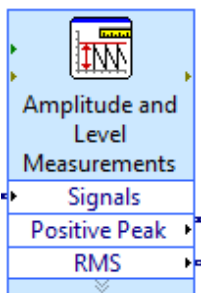


Imagen 2-11: Función Amplitude and level.
Fuente: Programa LabView 2013.

Split signal: Esta función tiene como entrada una combinación de señales y entrega en su salida cada señal por individual.



Imagen 2-12: Función split signal.
Fuente: Programa LabView 2013.

Merge Signals: Esta herramienta fusiona dos o más señales en una sola salida. Al contrario de la función Split signal.

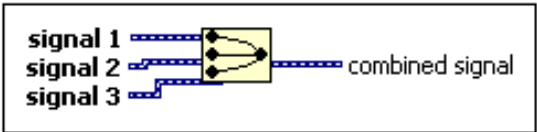


Imagen 2-13: Función merge signal.
Fuente: Programa LabView 2013.

Amplitude and Phase: Esta función recibe una señal y a su salida muestra el espectro de Fourier de la amplitud y fase de dicha señal.



Imagen 2-14: Función Amplitude and Phase.
Fuente: Programa LabView 2013.

Funciones matemáticas: Son funciones diseñadas para realizar operaciones matemáticas como multiplicaciones, divisiones, sumatorias, y operaciones trigonométricas, como entradas se tienen los operando y como salida el resultado de dicha operación.

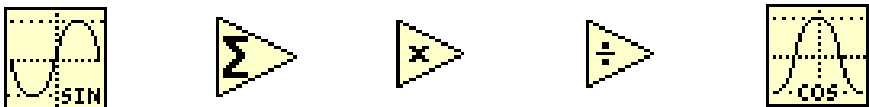


Imagen 2-15: Funciones matemáticas.
Fuente: Programa LabView 2013.

Adaptador de señal: Esta función convierte datos de tipo dinámico en datos numéricos.



Imagen 2-16: Símbolo del adaptador de señal.
Fuente: Programa LabView 2013.

Etapas del programa

Etapa de configuración: En esta etapa se configura el hardware ni-6008, se seleccionan las entradas, el rango de medición, la frecuencia de muestreo. Samples To Read especifica el número de muestras para leer cuando se selecciona N Samples y Rate (Hz) es la frecuencia de muestreo.

En este caso se selecciona dos entradas de señal de tensión, una para medir tensión de fase y la otra para medir corriente, por el sensor seleccionado el rango de corriente va de 0 a 1 y el de tensión tiene un rango de -8,4 a 8,4

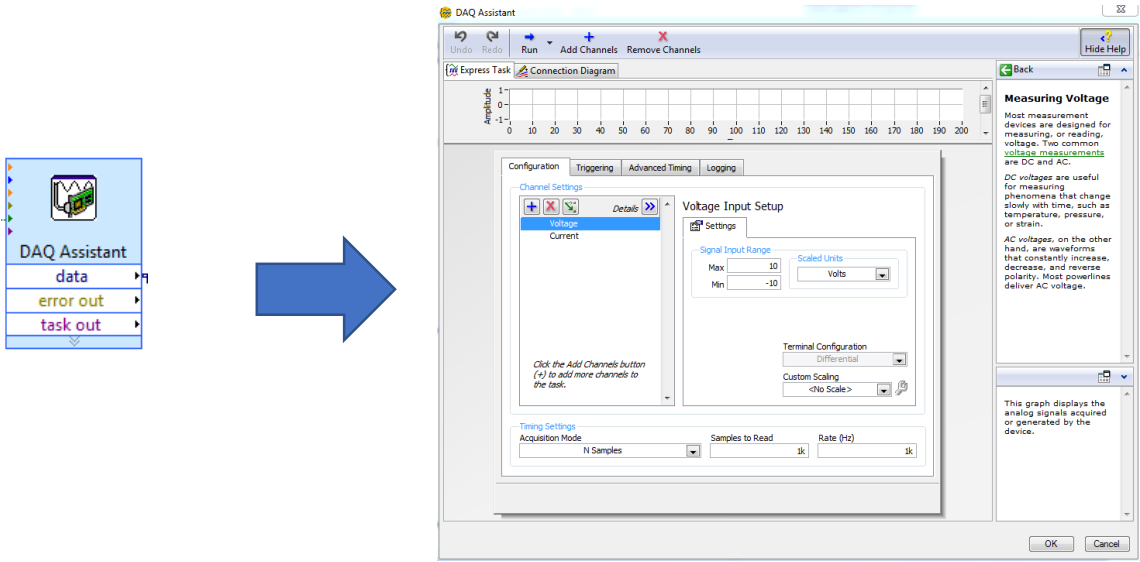


Imagen 2-17: Pantalla de configuración DAQ Assistant.
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Etapa de análisis: Se dividen los datos para tratar cada señal por individual. Cada una se adecúa amplificándola a un valor determinado para que los valores RMS de tensión y corriente sean similares a cualquier dispositivo de medición en las mismas condiciones.

Se vuelve a fusionar los datos para analizar gráficamente. A demás se emplea del bloque amplitude and level measurement para visualizar los valores peak de tensión y corriente.

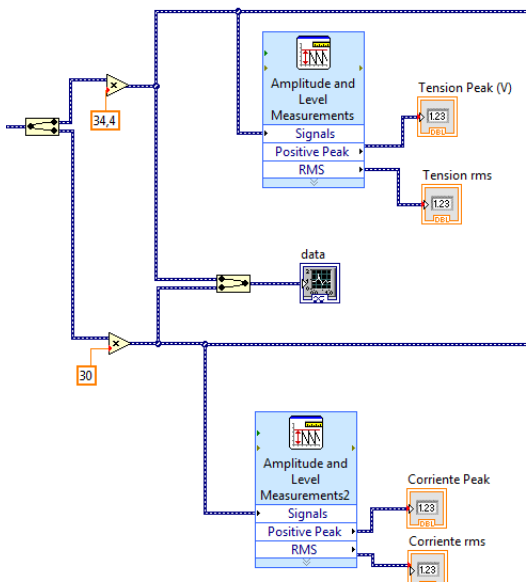


Imagen 2-18: Parte del programa dedicado al análisis de señales.
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Etapas de potencia: Se transforman los datos dinámicos a numéricos para que sean compatibles con el bloque de Amplitude and Phase que tiene como salida los valores de tensión y corriente, los cuales son multiplicados y sumados para el cálculo de potencia aparente. También este mismo bloque entrega el ángulo de fase en radianes, por lo que es utilizado para medir el desfase entre tensión y corriente calculando la diferencia de fase, que luego es ingresada a las funciones trigonométricas para el cálculo de potencia reactiva y activa.

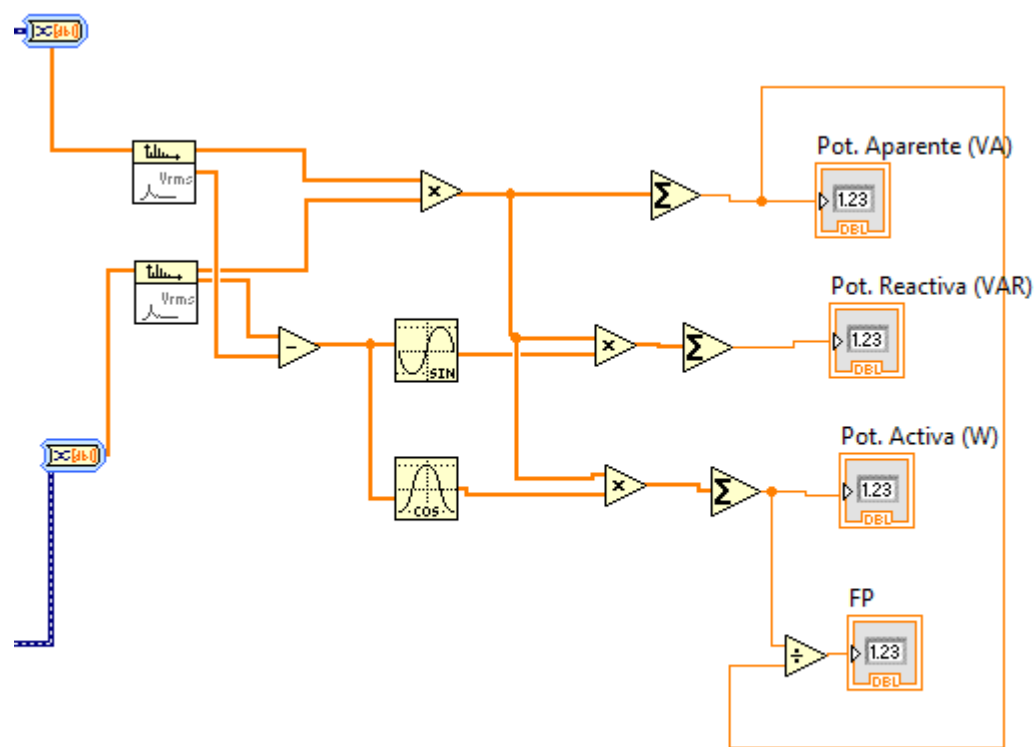


Imagen 2-19: Etapa del programa dedicado al cálculo de potencias y eficiencia.
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Instrumento virtual:

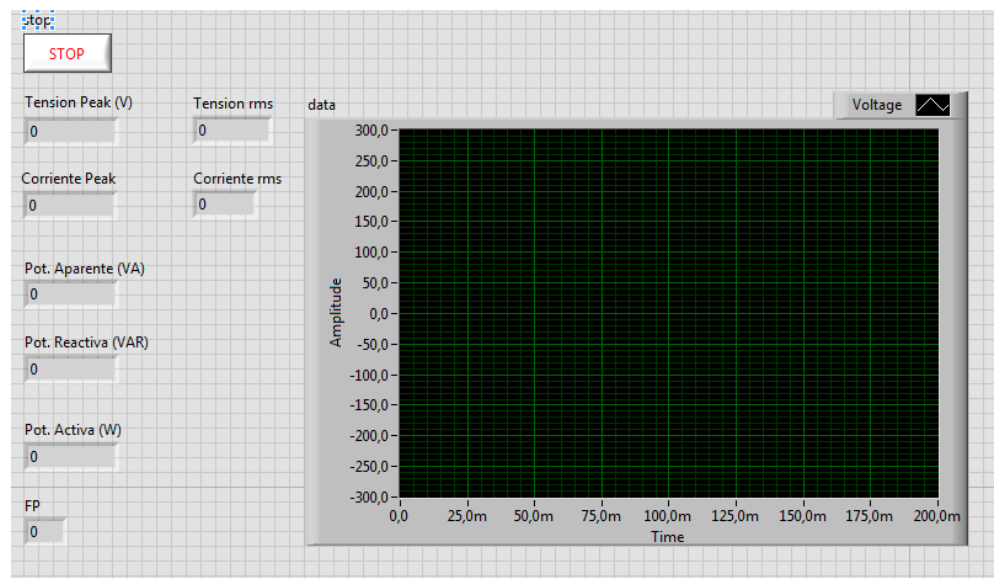


Imagen 2-20: Vista del instrumento virtual
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

CAPITULO 3: MEDICIÓN Y SOLUCIÓN

Etapas de medición

Primera medición:

Descripción: Nuevamente la carnicería se encuentra en funcionamiento normal. Cámara de frio y vitrinas en etapa de frio, máquinas encendidas.

La señal de color blanco representa la tensión y la de color rojo corresponde a la corriente.

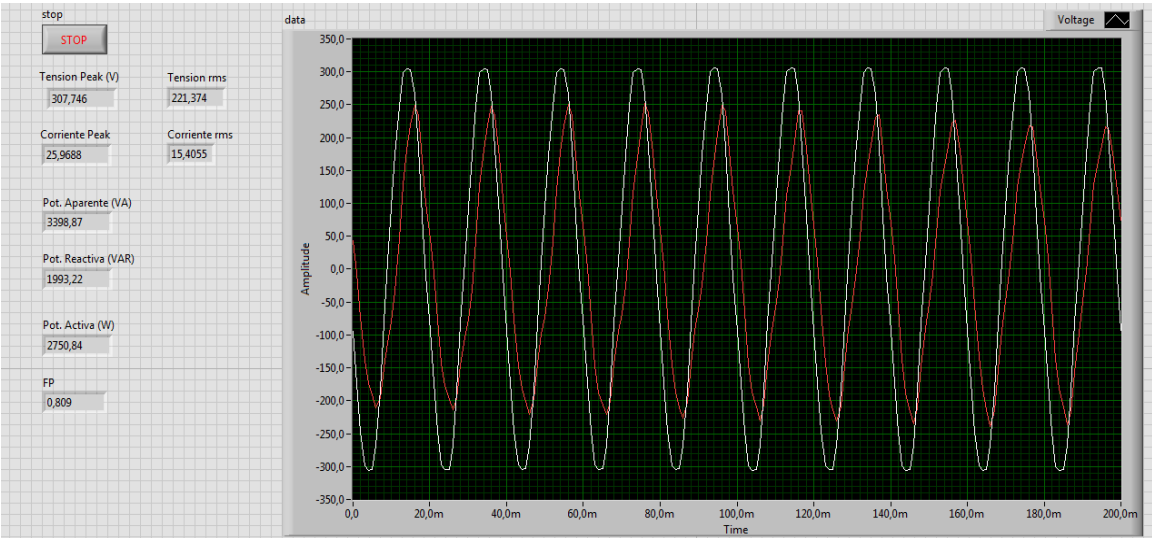


Imagen 3-1: Medición de tensión y corriente de fase (R).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

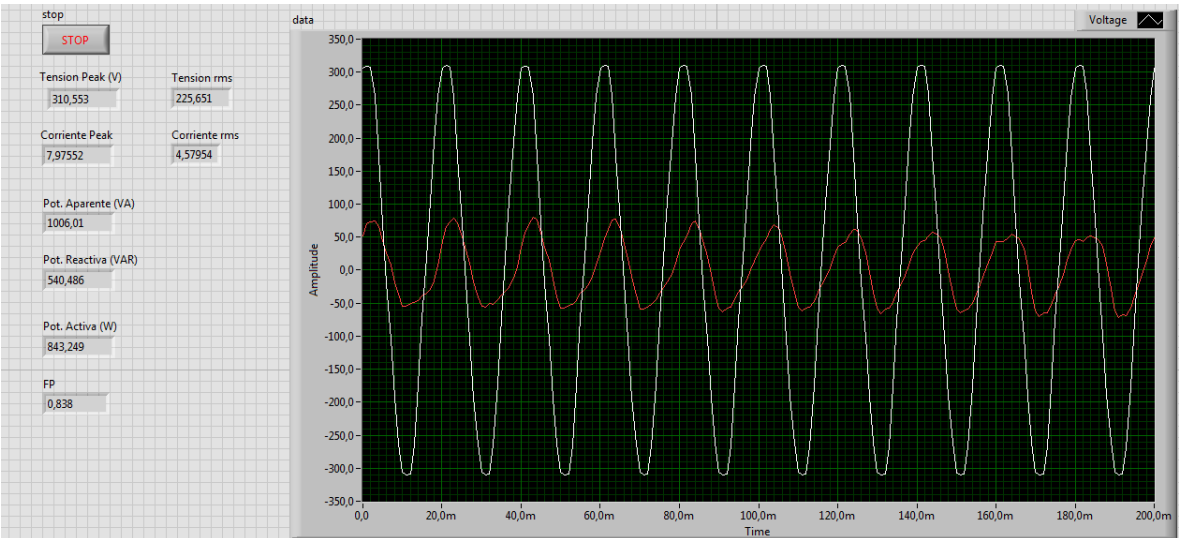


Imagen 3-2: Medición de tensión y corriente de fase (S).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

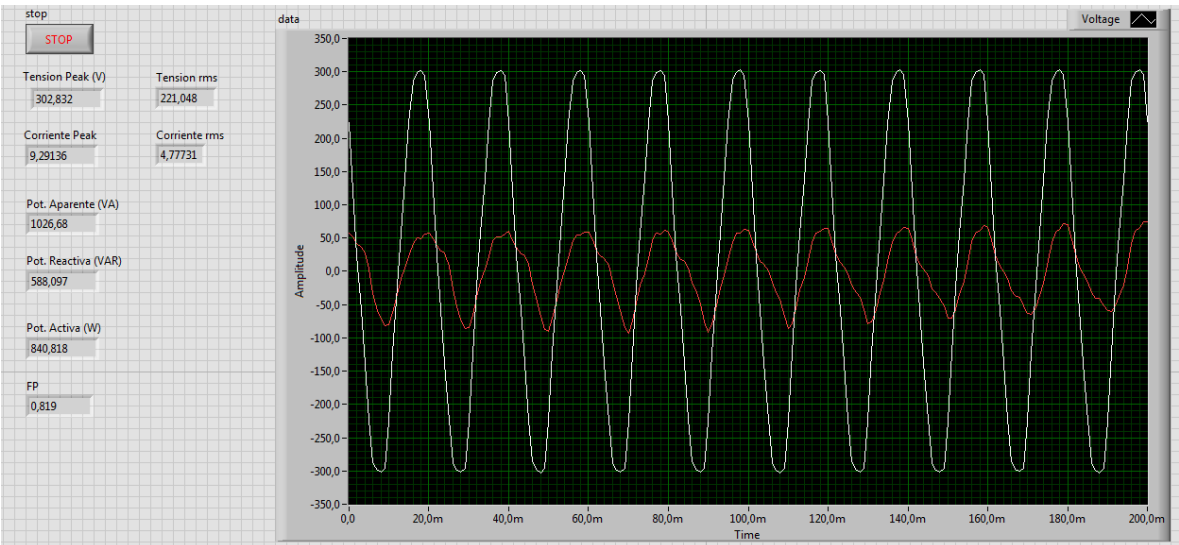


Imagen 3-3: Medición de tensión y corriente de fase (T).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Observaciones: En primera instancia es posible ver un sistema trifásico en desequilibrio por lo que no es posible la utilización de ecuaciones para el cálculo de potencia reactiva total. También al estar las líneas no equilibradas existe una corriente en neutro. Por lo visto en el instrumento, esta corriente es de 11,9 [A Rms], una corriente muy elevada en la línea de neutro. Por lo que es necesario distribuir mejor las cargas en la carnicería para tener una corriente similar en cada línea.

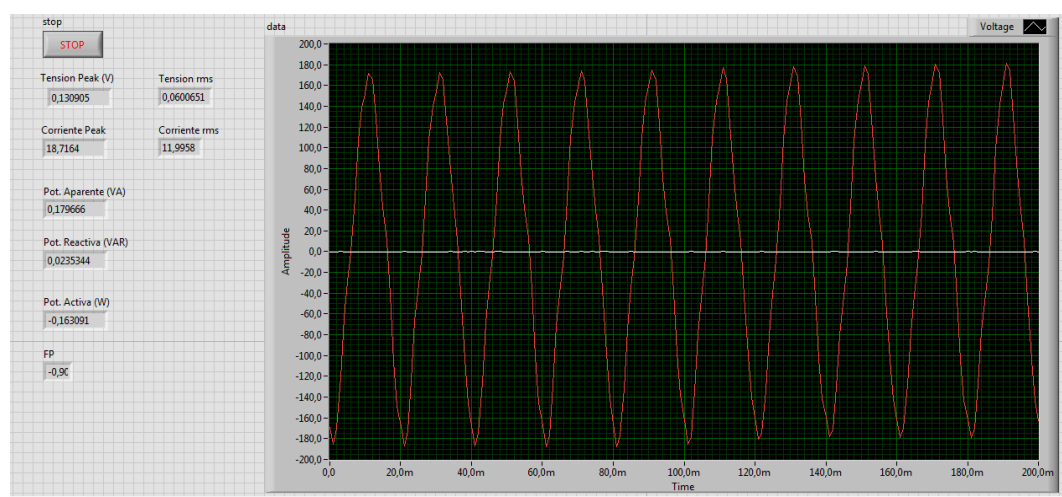


Imagen 3-4: Medición corriente en neutro
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Segunda medición:
Descripción: Nuevamente la carnicería se encuentra en funcionamiento normal. Cámara de frio y vitrinas en etapa de frio, máquinas encendidas, con la diferencia de que el sistema se encuentra en mejor distribución de cargas, esto se puede observar en los niveles de corriente.

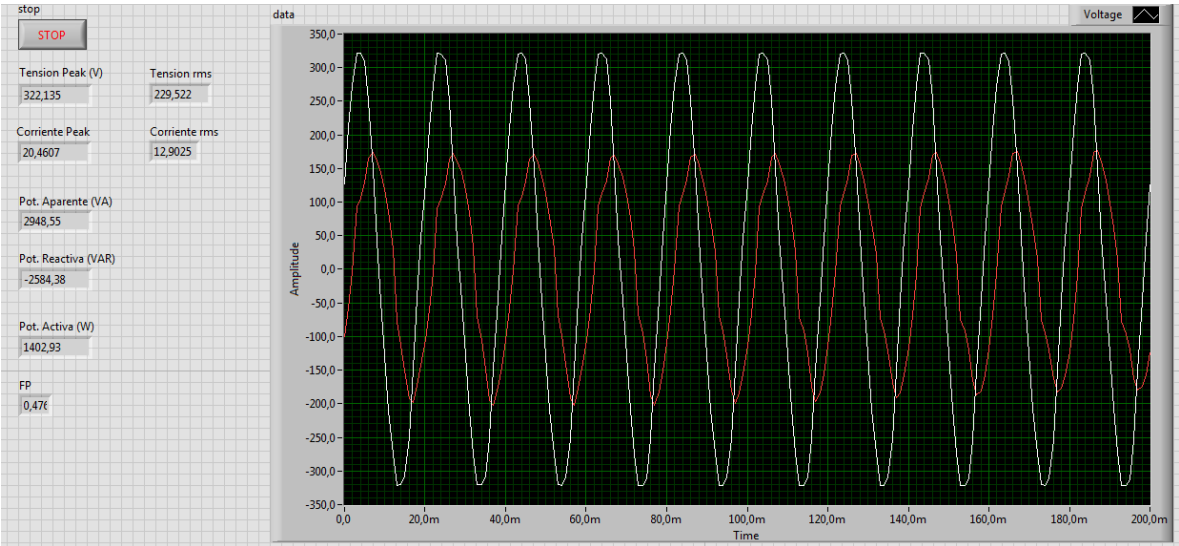


Imagen 3-5: Medición de tensión y corriente de fase (R).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

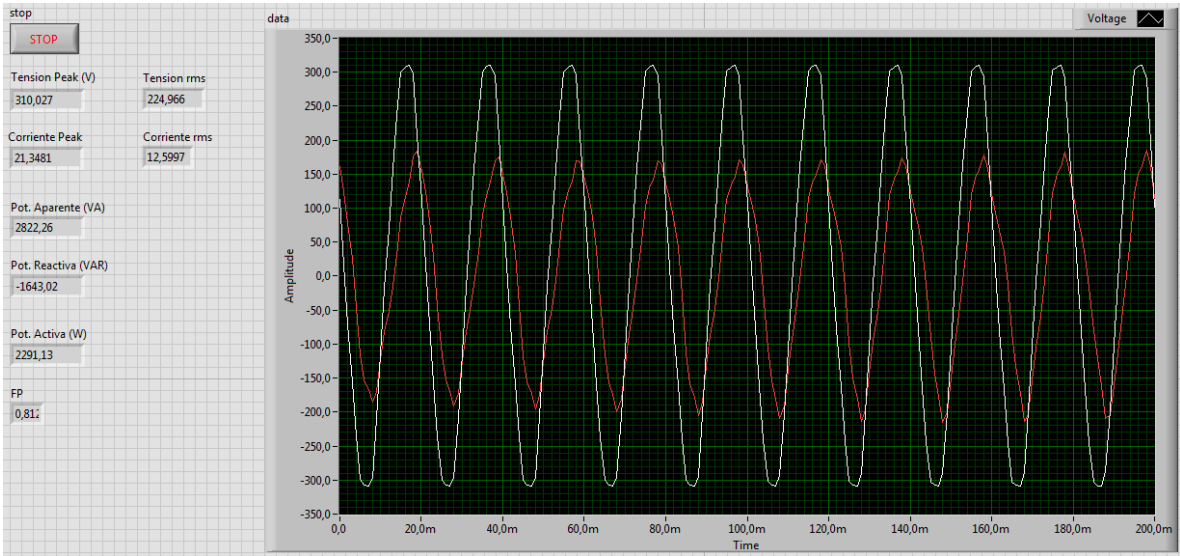


Imagen3-6: Medición de tensión y corriente de fase (S).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

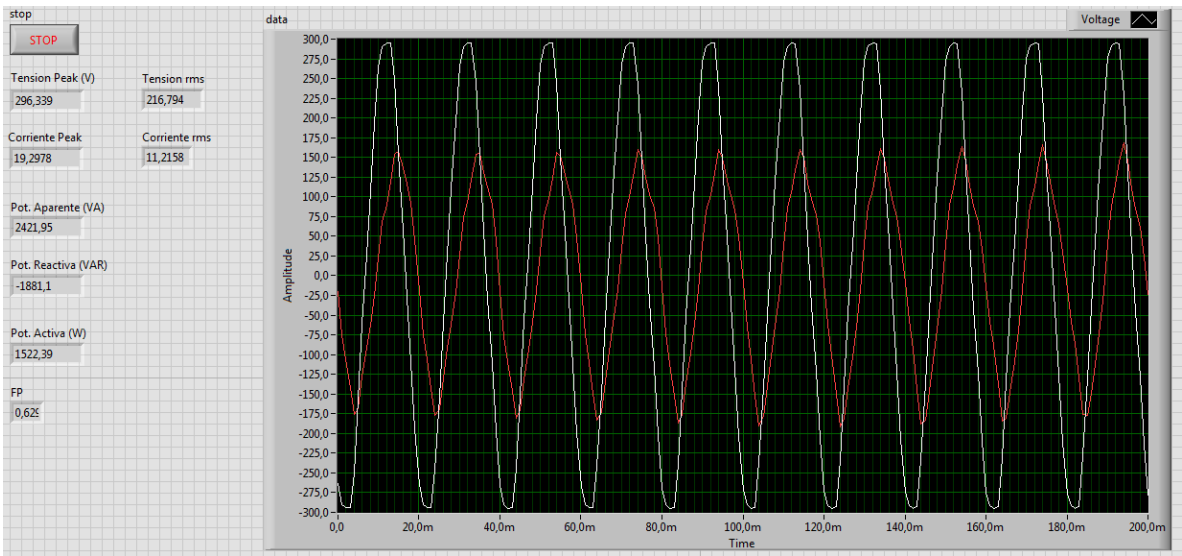


Imagen3-7: Medición de tensión y corriente de fase (T).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Observaciones: En el instrumento virtual se puede observar claramente que la corriente esta en atraso con respecto a la tensión, por lo que se puede inferir que el sistema es de carácter inductivo, por esto el programa muestra la potencia reactiva con signo negativo, ya que el triángulo de potencia es invertido.

Tabla de datos:

Línea	Tensión [V RMS]	Corriente [A RMS]	Potencia Activa (W)	Potencia Reactiva (VAR)	Potencia Aparente (VA)	Factor de potencia.
R	229,5	12,9	1403	2584,4	2948,5	0,47
S	224,9	12,6	2291	1643,02	2822,3	0,81
T	216,8	11,2	1522,4	1881,1	2422	0,63

Tabla 3-1: Resumen de resultados obtenidos.
Fuente: Hidalgo Rifo, 2018

Análisis de resultados

Para el cálculo de potencias totales y el desarrollo del triángulo de potencia se utilizará la corriente, tensión y factor de potencia promedio entre las tres líneas.

Tension prom: $\frac{229,5\ Vrms + 224,9\ Vrms + 216,8\ Vrms}{3} = 223,7\ [V\ RMS]$

Corriente prom: $\frac{12,9\ Arms + 12,6\ Arms + 11,2\ Arms}{3} = 12,2\ [A\ RMS]$

Factor de Pot. prom: $\frac{0,47 + 0,81 + 0,63}{3} = 0,63$

$\cos^{-1} 0,63 = 50,9^{\circ}$ En atraso (ángulo de desfase entre tensión y corriente)

Como el sistema se encuentra en equilibrio y todo se encuentra conectado en estrella es factible la utilización de las siguientes ecuaciones:

$$P_T = 3 * V\ fase * I\ linea * \cos \phi$$

$$Q_T = 3 * V\ fase * I\ linea * \sen \phi$$

$$S_T = V\ fase * I\ linea$$

Cálculo de potencias

Potencia Activa:

$$P_T = 3 * 223,7[V\ rms] * 12,2\ [A\ rms] * \cos 50,9^{\circ}$$

$$P_T = 5163,6\ [Watt]$$

Potencia Reactiva:

$$Q_T = 3 * 223,7[V\ rms] * 12,2\ [A\ rms] * \sin 50,9^{\circ}$$

$$Q_T = 6353,8[VAR]$$

Potencia Aparente:

$$S_T = 3 * 223,7[V\ rms] * 12,2\ [A\ rms]$$

$$S_T = 8187,4[VA]$$

Triángulo de potencia:

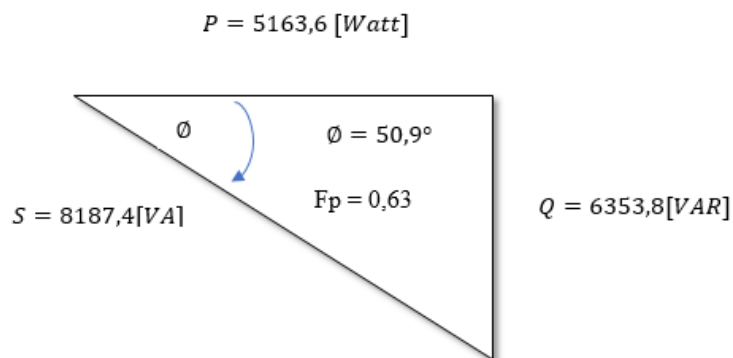


Fig. 3-1: Triangulo de potencia sin corrección de factor de potencia
Fuente: Hidalgo Rifo, 2018

Potencia reactiva deseada:

Un factor de potencia favorable para esta instalación seria de 0,95 en atraso.

$$\cos^{-1} 0,95 = 18,19^\circ$$

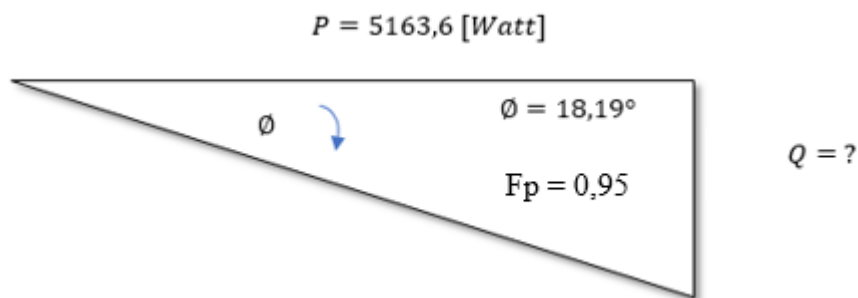


Fig. 3-2: Triángulo de potencia deseado.
Fuente: Hidalgo Rifo, 2018

$$\tan(18,19^\circ) = \frac{Q}{P}$$

$$\tan(18,19^\circ) = \frac{Q}{5163,6 \text{ [Watt]}}$$

$$\tan(18,19^\circ) * 5163,6 \text{ [Watt]} = Q$$

$$Q = 1696,7 \text{ [VAR]} \text{ (Potencia reactiva deseada)}$$

Cálculo de condensador:

La potencia que debe compensar el banco de condensadores es la diferencia entre la potencia reactiva inicial y la potencia reactiva deseada.

$$Q_c = 6353,8 \text{ [VAR]} - 1696,7 \text{ [VAR]}$$

$$Q_c = 4657,1 \text{ [VAR]}$$

Otro método de calcular el condensador o banco de condensadores es el anteriormente mencionado.

$$Q_c = P(\tan \phi_{\text{inicial}} - \tan \phi_{\text{deseado}})$$

$$Q_c = 5163,6[\text{Watt}] * (\tan 50,9^\circ - \tan 18,19^\circ)$$

$$Q_c = 4657,1 [\text{VAR}]$$

$$Q_c = 4,6 [\text{KVAR}]$$

El condensador cuyo valor en potencia reactiva es más cercano al valor obtenido y que se encuentra en el mercado es de 5[KVAR].

Características:

Marca: Legrand.

Conexión: Trifásica en triángulo.

Potencia reactiva:

Tension	50 Hz	60Hz
440 V	5,0 [KVAR]	6,0 [KVAR]
415 V	4,4 [KVAR]	5,3 [KVAR]
400 V	4,1 [KVAR]	5,0 [KVAR]

Tabla 3-2: Características del condensador dependiendo de la tensión y frecuencia.
Fuente: Manual de usuario. condensador trifásico 5[KVAR] . Legrand.

Conexión del condensador a la red trifásica:

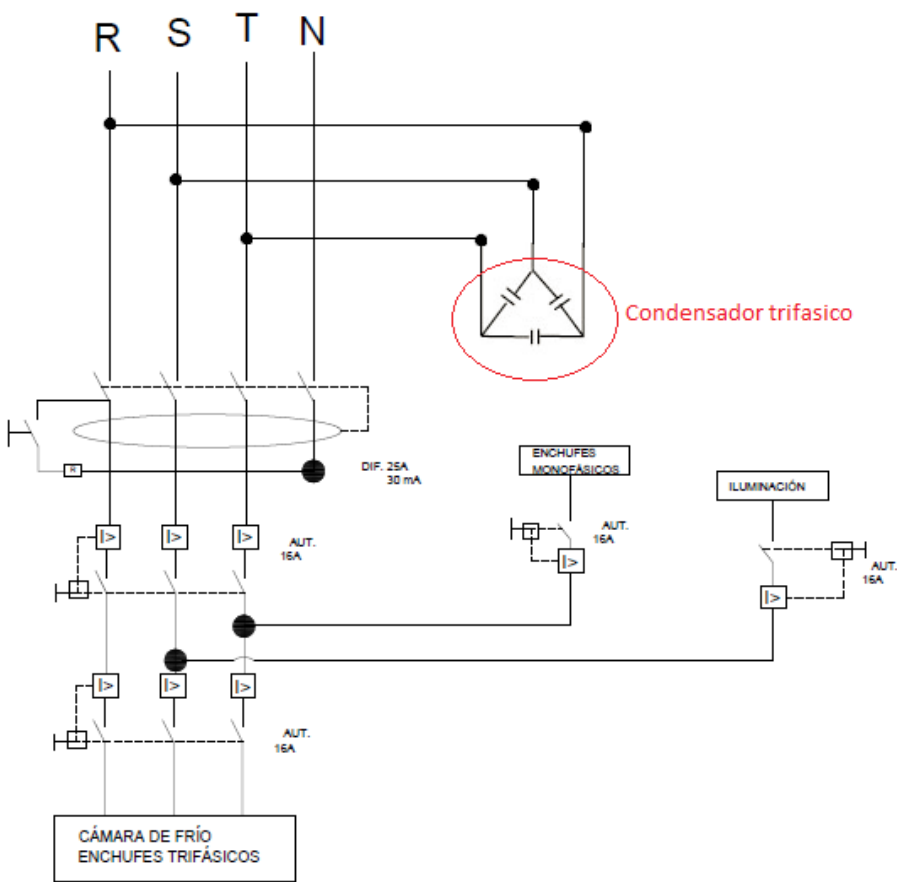


Fig. 3-3: Diagrama eléctrico interno con la instalación del banco de condensadores.
Fuente: Hidalgo Rifo 2018, diagrama eléctrico creado en Autocad 2010.

Como se puede observar en el diagrama la opción más óptima para la corrección del factor de potencia en la carnicería, es realizando una conexión general, ya que es más económico y reduce las multas eléctricas, pero tiene la desventaja de que no se reduce las pérdidas eléctricas en los cables por efecto Joule.

Tercera medición:

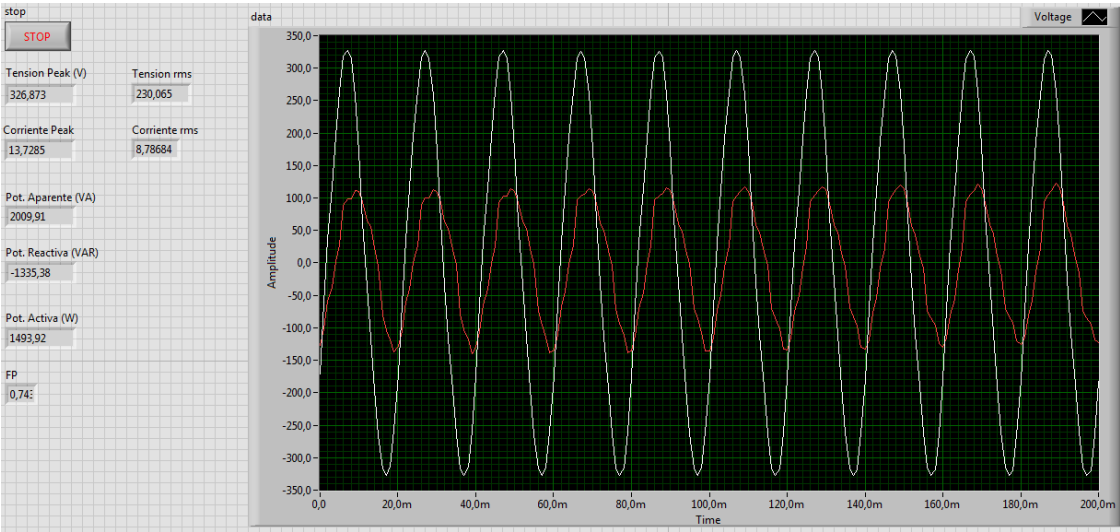


Imagen 3-8: Captura de pantalla, medición de corriente y tensión de fase (R)
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

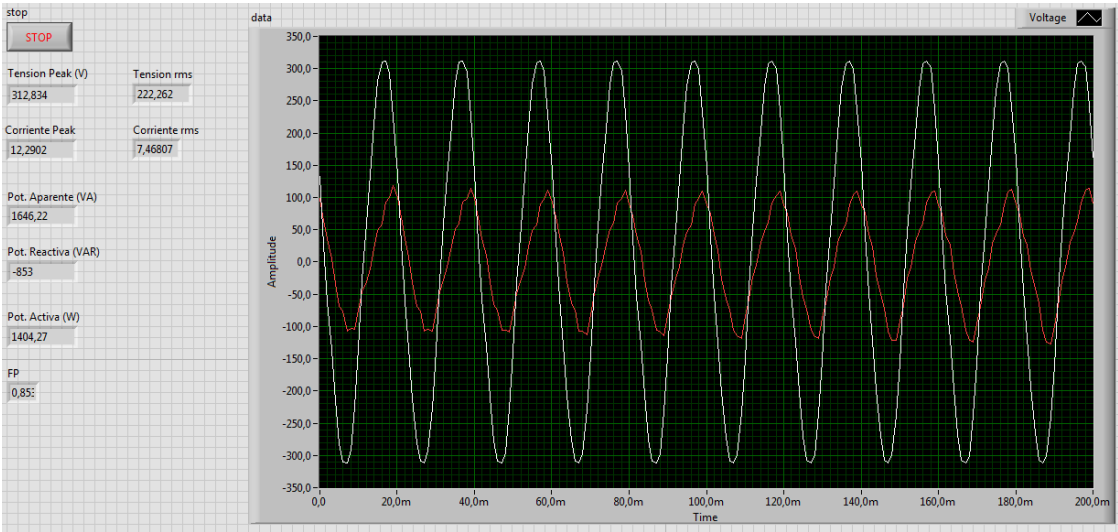


Imagen 3-10: Captura de pantalla, medición de corriente y tensión de fase (S)
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

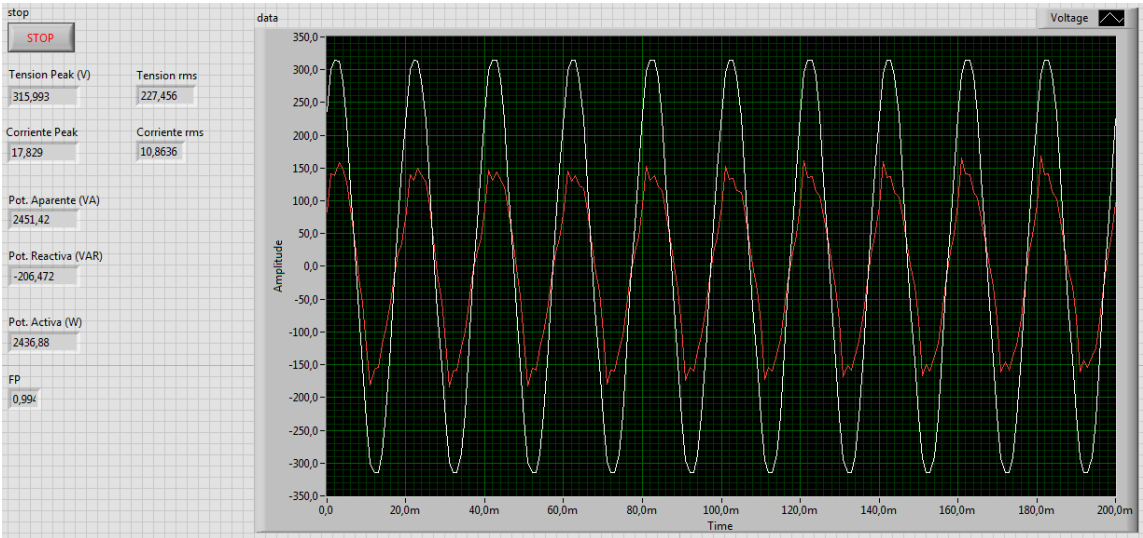


Imagen 3-9: Captura de pantalla, medición de corriente y tensión de fase (T).
Fuente: Captura de pantalla, programa desarrollado en LabView 2013.

Tabla de datos:

Línea	Tensión [V RMS]	Corriente [A RMS]	Potencia Activa (W)	Potencia Reactiva (VAR)	Potencia Aparente (VA)	Factor de potencia.
R	230	8,8	1494	1335,4	2009,91	0,74
S	227,4	10,86	2436,8	206,47	2451,42	0,99
T	222,3	7,46	1404,3	853	1646,2	0,85

Tabla 3-3: Resumen de resultados obtenidos con el condensador en funcionamiento
Fuente: Tabla creada con los datos obtenidos (Hidalgo Rifo 2018)

Análisis de resultados

Tension prom: $\frac{230 \text{ Vrms} + 227,4 \text{ Vrms} + 222,3 \text{ Vrms}}{3} = 226,5 \text{ [V rms]}$

Corriente prom: $\frac{8,8 \text{ Arms} + 10,86 \text{ Arms} + 7,46 \text{ Arms}}{3} = 9,04 \text{ [A rms]}$

Factor de Pot. prom: $\frac{0,74 + 0,99 + 0,85}{3} = 0,86$

$\cos^{-1} 0,86 = 30,6^\circ$ En atraso (ángulo de desfase entre tensión y corriente)

Cálculo de potencias

Potencia Activa:

$P_T = 3 * 226,5 \text{ [V rms]} * 9,04 \text{ [A rms]} * \cos 30,6^\circ$

$P_T = 5287,2 \text{ [Watt]}$

Potencia Reactiva:

$Q_T = 3 * 226,5 \text{ [V rms]} * 9,04 \text{ [A rms]} * \sin 30,6^\circ$

$Q_T = 3126,8 \text{ [VAR]}$

Potencia Aparente:

$S_T = 3 * 226,5 \text{ [V rms]} * 9,04 \text{ [A rms]}$

$S_T = 6142,7 \text{ [VA]}$

Triángulo de potencia (con condensador implementado)

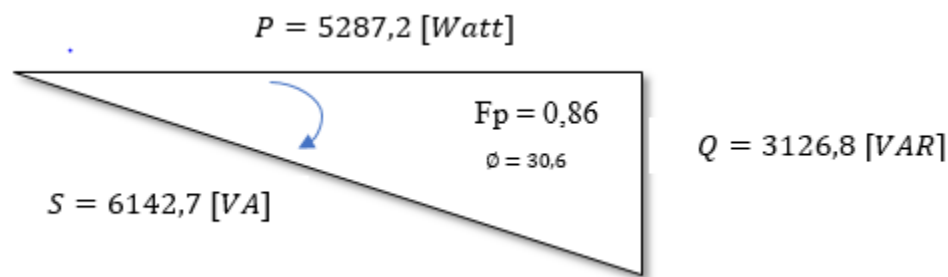


Fig. 3-4: Triángulo de potencia con la utilización de condensador de 5[KVAR].
Fuente: Triángulo de potencia creado en programa Word 2013 (Hidalgo Rifo 2018)

Observaciones:

La instalación eléctrica de la empresa inicialmente tenía un factor de potencia de 0,63 de tipo inductivo por lo que era necesario la instalación de una carga capacitiva para generar una compensación y reducir el factor de potencia

Triángulo de potencia sin compensación	Triángulo de potencia con compensación
$P = 5163,6 \text{ [Watt]}$ $Q = 6353,8$	$P = 5287,2 \text{ [Watt]}$ $Q = 3126,8$

Tabla 3-4: Comparación de triángulos de potencia.
Fuente: Tabla creada con los datos obtenidos (Hidalgo Rifo 2018).

A primera vista es posible notar una mejora en el factor de potencia, ya que antes de agregar el banco de condensadores las mediciones dieron como resultado un factor de potencia de 0,63. La conexión del condensador dio lugar a la reducción de potencia reactiva en las líneas de alimentación de la empresa, mejorando el factor de potencia a 0,86, resultado que mostró el instrumento virtual. También la compensación de potencia reactiva por parte de los condensadores generó una reducción de la corriente en los cables que alimentan la carnicería.

Es notorio que no se logra alcanzar un factor de potencia de 0,95. Esto es posible que se deba a las condiciones del sistema eléctrico ya que la potencia reactiva del condensador varía con respecto a la frecuencia y tensión.

Factura después de la corrección

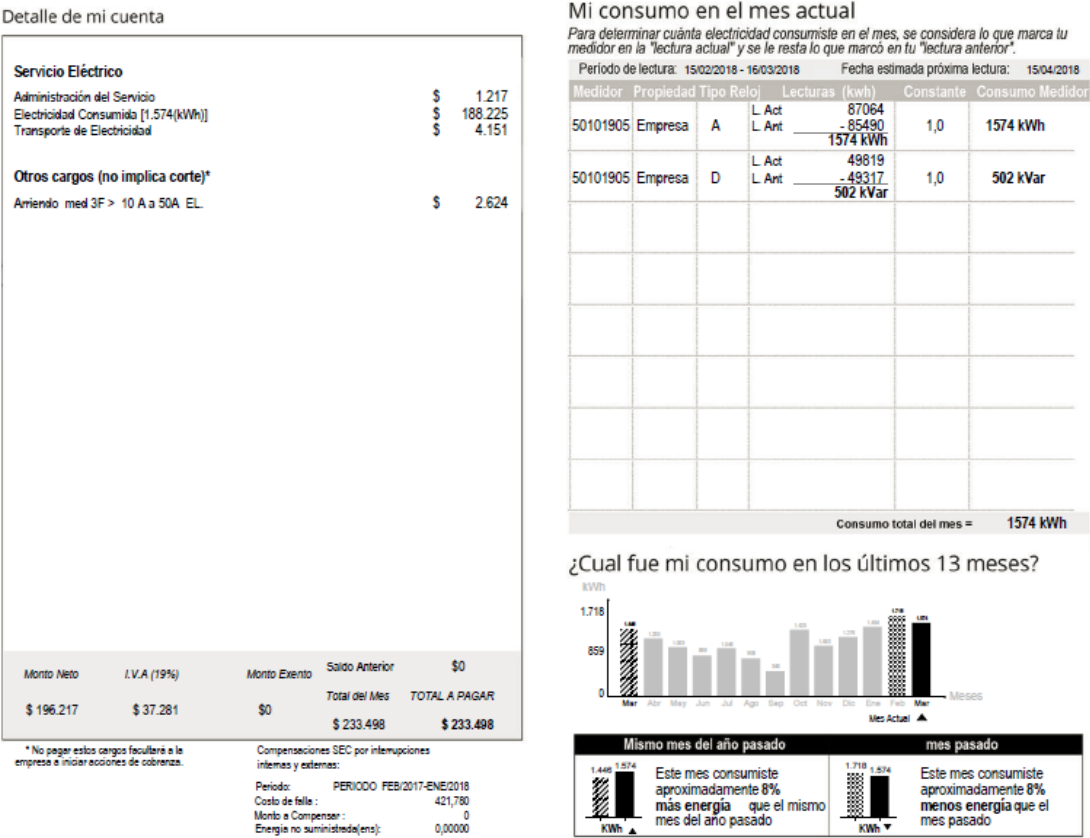


Imagen 3-11: Facturación. Marzo 2018.
Fuente: Grupo Saesa 2018, Factura electrónica.

Análisis de factura mes de Marzo:

Consumo de potencia activa: 1704 KWh (Kilo-Watt-hora)

Consumo de potencia reactiva: 502 KVAR

Calculo de potencia aparente y factor de potencia:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$
$$S = \sqrt{1704^2 + 502^2}$$
$$S = 1776,4 \text{ [KVA h]}$$

$$\text{Factor de potencia} = \frac{P}{S}$$
$$F.p = \frac{1704 \text{ [KWh]}}{1776,4 \text{ [KVA h]}}$$
$$Fp = 0,95$$

Triangulo de potencia de la factura Marzo 2018:

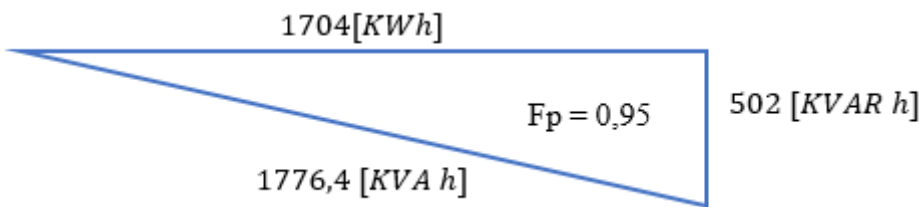


Fig. 3-5: Triángulo de potencia resultante.
Fuente: Triángulo de potencia creado en programa Word 2013

Conclusiones

Mediante el análisis minucioso de los elementos empleados para el desarrollo del proyecto, la tarjeta de adquisición de datos, pc, sensor; entre otros. Se hizo posible realizar mediciones que nos permiten comprobar el estado en el cual se encontraba la red eléctrica de la empresa y posteriormente realizar correcciones mediante un banco de condensadores normalizando el factor de potencia de acuerdo a los parámetros establecidos por el decreto 14 del Ministerio de Energía, provocando una disminución en el cobro mensual ya que no existen multas asociadas.

De la realización de este proyecto se puede rescatar los beneficios que tiene al disminuir el factor de potencia, ya que además de reducir la factura mensual por no multas, de parte de la empresa distribuidora de energía, el sistema eléctrico se hace más eficiente y se reduce la corriente en las líneas eléctricas.

Los elementos conectados para la corrección de factor de potencia, genera una disminución en el consumo de potencia reactiva, lo cual se confirma en la factura mensual actual de energía eléctrica.

El utilizar un transformador para mediciones de tensión limita mucho el sistema de adquisición de datos, ya que solo es posible medir tensiones de línea de 220 [VAC], por lo que es posible la implementación de un atenuador de tensión para adecuar un mayor rango de valores por ejemplo tensiones entre línea 380[VAC]

En este caso el costo del banco de condensadores e instalación de los mismos no sobrepasan a los cobros por multas de tres meses consecutivos. Por lo tanto es una alternativa eficiente y rentable al momento de atenuar los costos en la factura eléctrica.

La tarjeta de adquisición de datos posee un sinnúmero de funciones que permiten realizar control y mediciones de alta fidelidad, creando así sistemas confiables los cuales pueden ser comparados con instrumentos disponibles en el mercado.

Si bien el banco de condensadores no logró una mejora completa del factor de potencia ya que se esperaba un factor de potencia de 0,95 y el obtenido fue de 0,86 éstos redujeron considerablemente la potencia reactiva mensual de la empresa, eliminando así las multas por parte de Frontel, grupo Saesa.

Bibliografía

CAPELLA, R. (2000). *Corrección del factor de potencia.*

Energía, M. d. (4 de Julio de 2015). Decreto 14 T. *FIJA PRECIOS DE NUDO PARA SUMINISTROS DE ELECTRICIDAD*. Santiago, Santiago, Chile.

Instrument, N. (Julio de 2015). *National Instrument*. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>

James W. Nilson, S. A. (2005). *Circuitos Eléctricos*. Pearson Educación.

Peter Bastian, W. E. (2001). *Electrotecnia*. España: Ediciones Akal.

Service, L. (Marzo de 2017). *Legrand*. Obtenido de https://www.legrand.cl/archivos/guia_catalogo_tecnico.pdf