

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



## **DIMENSIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS MODERNAS**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:  
MIGUEL ANGEL ALCANTARA PINEDO**

**PROMOCIÓN  
2010-I**

**LIMA-PERÚ  
2013**

**DIMENSIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE  
TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO EN  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS MODERNAS**

Dedico este trabajo a mis padres Franklin y Rosa  
y a las personas, que en todo momento  
me brindaron su apoyo

## **SUMARIO**

El presente trabajo describe las técnicas para el mejoramiento del suministro de energía de las cargas sensibles en instalaciones eléctricas de baja tensión, mediante el uso del transformador de aislamiento.

El objetivo del trabajo es exponer la metodología para dimensionar correctamente un Transformador de Aislamiento en la etapa de proyección de las instalaciones eléctricas de baja tensión, logrando que la carga sensible pueda contar con una buena atenuación de ruidos y se pueda aislar la carga sensible de la fuente de alimentación con distorsiones de tensión y corriente mediante un blindaje electrostático.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Objetivos del trabajo .....	3
1.3 Evaluación del problema .....	3
1.3.1 Fuentes de perturbaciones .....	3
1.3.2 Técnicas de acondicionamiento .....	9
1.4 Alcance del trabajo .....	12
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>METODOLOGIA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN</b> .....	13
2.1 Fundamento teórico del transformador de aislamiento .....	13
2.1.1 Acoplamiento capacitivo .....	13
2.1.2 Ruido de modo común .....	14
2.1.3 Ruido de modo normal .....	16
2.1.4 Condensadores de derivación .....	17
2.2 Especificaciones de carga sensible .....	19
2.3 Tablero estabilizado .....	19
2.3.1 Cuadro de cargas de tablero estabilizado .....	19
2.3.2 Potencia de demanda de tablero estabilizado .....	19
2.4 Selección de transformador de aislamiento .....	22
2.4.1 Potencia del transformador de aislamiento .....	22
2.4.2 Factor k del transformador de aislamiento .....	23
2.4.3 Condiciones ambientales de operación .....	23
2.4.5 Factor de conversión .....	24
2.5 Equipos complementarios .....	24
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA</b> .....	26
3.1 Proyecto modelo .....	26
3.1.1 Generalidades .....	26
3.1.2 Objetivos .....	26

3.1.3	Suministro Eléctrico.....	27
3.1.4	Restricciones.....	27
3.1.5	Códigos y Reglamentos.....	27
3.2	Determinación de carga sensible.....	27
3.2.1	Cuadro de carga de tablero estabilizado del proyecto modelo.....	29
3.2.2	Selección del transformador de aislamiento para el proyecto modelo.....	32
3.3	Equipos complementarios usados para el proyecto modelo .....	34
3.3.1	Mejora .....	34
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>35</b>
	<b>ANEXO A</b> Glosario de términos.....	<b>37</b>
	<b>ANEXO B</b> Plano eléctrico del proyecto modelo .....	<b>39</b>
	<b>ANEXO C</b> Esquema de tableros eléctricos de proyecto.....	<b>41</b>
	<b>ANEXO D</b> Características técnicas de transformador trifásico.....	<b>43</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>45</b>

## INTRODUCCIÓN

En los primeros días de utilización de la energía eléctrica, el servicio estándar eléctrico, junto con las limitaciones que lo acompañaban, era por lo general adecuado para que trabajaran la mayoría de los equipos eléctricos.

Algunos de los usuarios más sensibles de aquellos días; como los procesos industriales continuos, llegaron en ocasiones al extremo de asignar un puesto de centinela de tempestades para que avisara cuando había rayos en las cercanías y así parara la maquinaria hasta que pasara la tempestad.

Los sistemas de protección de varillas para rayos hicieron un trabajo adecuado de protección contra rayos en la mayoría de las circunstancias. Aunque las interrupciones eléctricas prolongadas representaban un inconveniente y llegaban a causar pérdidas económicas, la mayoría de los equipos accionados por electricidad funcionaban sin mayores problemas.

Los dispositivos electrónicos digitales y otros dispositivos controlados por microprocesadores, comenzaron a aparecer hacia mediados y finales de la década de 1970. Al aumentar el uso de aquellos aparatos, se vio claramente que los antiguos estándares para la energía eléctrica ya no eran adecuados para su funcionamiento confiable. Además de los problemas iniciales que experimentaron las operaciones de grandes computadoras con la energía sucia, los usuarios encontraron que no podían mantener sus máquinas ajustadas, porque cualquier interrupción breve del suministro de Energía los obligaba a reajustarlas nuevamente. La siguiente ola de problemas vino con el uso más extendido de las computadoras personales, del equipo industrial controlado por microprocesador y de las unidades motrices de velocidad ajustable.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, por medio de interacción electromagnética. Está constituido por dos o más bobinas de material conductor, aisladas entre sí eléctricamente y por lo general enrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferro-magnético. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

Los transformadores de aislamiento son transformadores que cuenta con una pantalla electrostática entre el devanado primario y secundario. Dicha pantalla sirve de blindaje y protege a los equipos eléctricos sensibles de las señales indeseables como los ruidos

electricos, comúnmente generados por los rayos, las ondas inducidas por el encendido de interruptores, los motores, los variadores de velocidad, que inducen ruido en las líneas.

El presente informe está organizado en tres capítulos:

- Capítulo I "Planteamiento de ingeniería del problema".- En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema, para ello primeramente se describe el problema y luego se expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema y se precisan los alcances del informe.
- Capítulo II "Metodología para el dimensionamiento y selección".- En este capítulo es en donde se expone las consideraciones para que una empresa con equipamiento sensible dimensione y selecciones el transformador de aislamiento requerido.
- Capítulo III "Aplicación de la metodología al caso de estudio".- En este capítulo se describe la aplicación de la metodología al caso de estudio. Se presenta al proyecto modelo, se hace la determinación de la carga sensible y se mencionan los equipos complementarios usados para el proyecto modelo.

El informe se complementa con varios anexos.



## **CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA**

En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema, para ello primeramente se describe el problema y luego se expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema y se precisan los alcances del informe.

### **1.1 Descripción del problema**

Existencia de perturbaciones de ruido eléctrico en empresas modernas con equipamiento sensible.

### **1.2 Objetivos del trabajo**

Determinar la metodología para el dimensionamiento y selección del transformador de aislamiento en la etapa de proyección de instalaciones eléctricas en baja tensión, con la finalidad de brindar calidad de energía a los equipos electrónicos sensibles a ruidos eléctricos.

### **1.3 Evaluación del problema**

Para la comprensión y entendimiento de la problemática, es necesario primero saber que es una carga crítica y que es una carga sensible.

- Carga crítica.- Es aquella que al dejar de funcionar o al funcionar inapropiadamente pone en peligro la seguridad del personal y/o ocasiona grandes perjuicios económicos
- Carga sensible.- Es la que requiere de un suministro de alta calidad (voltaje y frecuencia estables, ausencia de ruido, ausencia de distorsión y voltaje mínimo de neutro a tierra).

Como ejemplo de lo mencionado, los centros de cómputo en las entidades bancarias son cargas críticas y sensibles. Los PLCs (Controladores Lógicos Programables) son cargas menos sensibles; pero algunos son cargas muy críticas, es decir, si un PLC deja de funcionar puede ser necesario detener toda una línea de producción.

A continuación se desarrollan dos conceptos importantes: las fuentes de perturbaciones y las técnicas de acondicionamiento.

#### **1.3.1 Fuentes de perturbaciones**

Las caídas de tensión momentáneas de 60 Hz ocasionadas por fallas y arranques de cargas grandes, son un problema común que se ha acrecentado en los años recientes. Estos producen efectos que van desde el parpadeo de relojes digitales en los hogares

hasta procesos industriales interrumpidos [1].

Esta condición típicamente ocurre cuando se inicia una falla en el sistema eléctrico y dura hasta que la falla sea eliminada por un dispositivo de sobrecorriente. La falla puede originarse en la planta industrial o en el sistema de la empresa proveedora de energía eléctrica. Esta condición puede ocurrir también durante el arranque de motores grandes.

Los disturbios internos son generados dentro de la instalación eléctrica normalmente por los mismos equipos internos y dispositivos de conmutación. Son los de mayor ocurrencia, pero con magnitud pequeña que no dañan a los equipos de forma instantánea, sin embargo los degrada con el tiempo y produce lo que se conoce como oxidación electrónica. Estos son producidos por motores, aires acondicionados, balastos, elevadores, arrancadores, etc.

Muchos productos eléctricos no están hechos para ajustarse a estas condiciones de bajo voltaje temporal. Esta condición temporal tiende a ocurrir en el orden de diez veces más frecuentemente que una interrupción total de energía (Ibídem).

La operación de hornos de arco eléctrico sobre todo cuando funden chatarra ocasiona "flicker" o parpadeo de intensidad luminosa. La operación de estos hornos de arco eléctrico exhibe corrientes erráticas de magnitud suficiente para ocasionar fluctuaciones en el voltaje. Las lámparas y monitores alimentados del mismo transformador que dichos hornos de arco presentan de manera severa estos parpadeos.

La conmutación de bancos de capacitores, ya sea en la planta industrial o en la red del sistema eléctrico puede causar el funcionamiento defectuoso de algunos equipos. En años recientes se ha vuelto un problema común asociado con el disparo inexplicable de muchos arrancadores de CA pequeños. Muchos de estos arrancadores están diseñados para desconectarse de la línea por una sobretensión del 10 al 20 % con duración de una fracción de ciclo.

Ya que muchos bancos de capacitores de empresas eléctricas son conmutados diariamente, este problema podría ocurrir en forma muy frecuente. Este indeseable problema de disparo puede usualmente remediarse agregando un reactor en serie con el dispositivo sensible, o modificando su característica de disparo. Otras soluciones pueden incluir la reducción del transitorio en el banco de capacitores. La operación de los capacitores se asocia también ocasionalmente, con el funcionamiento defectuoso o falla de otros equipos además de los controladores [1].

Es importante darse cuenta de que existen otras fuentes de disturbios que no están asociadas con el suministro eléctrico de entrada. Estas pueden incluir descargas electrostáticas, interferencia electromagnética radiada, y errores de operadores. Adicionalmente, los factores mecánicos y ambientales juegan un papel en los disturbios

del sistema. Estos pueden incluir temperatura, vibración excesiva y conexiones flojas [1]

A continuación se desarrollará aquellos fenómenos de perturbación ligados con la problemática de la que se ocupa el transformador de aislamiento, objetivo del presente informe de suficiencia profesional

En general, las perturbaciones en la calidad del suministro definidas por el estándar del IEEE están organizadas en siete categorías, según la forma de la onda [2]:

1. Transitorios
2. Interrupciones
3. Bajada de tensión / subtensión
4. Aumento de tensión / sobretensión
5. Ruidos eléctricos
6. Fluctuaciones de tensión
7. Variaciones de frecuencia

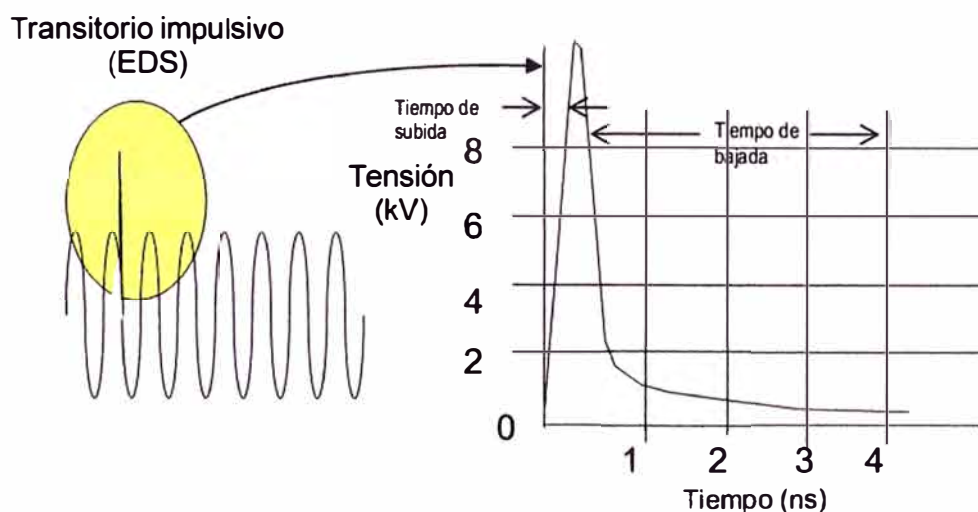
Para el propósito del tema a desarrollar solo es importante explicar los puntos 1 y 5.

#### a. Transitorios

Los transitorios, que son potencialmente el tipo de perturbación energética más perjudicial, se dividen en dos subcategorías: Impulsivos, Oscilatorios

##### a.1 Transitorios impulsivos

Son eventos repentinos de cresta alta que elevan la tensión y/o los niveles de corriente en dirección positiva o negativa. Estos tipos de eventos pueden clasificarse más detenidamente por la velocidad a la que ocurren (rápida, media y lenta). Los transitorios impulsivos pueden ser eventos muy rápidos (5 nanosegundos de tiempo de ascenso desde estado estable hasta la cresta del impulso) de una duración breve (menos de 50 ns) Ver Figura 1.1 .



**Figura 1.1 Ejemplo de transitorio impulsivo (Fuente: Ref: [2])**

Para describir el transitorio impulsivo se han utilizado muchos términos diferentes,

como caída de tensión, imperfección técnica, sobretensión breve o prolongada.

Las causas de los transitorios impulsivos incluyen rayos, puesta a tierra deficiente, encendido de cargas inductivas, liberación de fallas de la red eléctrica y ESD (descarga electrostática). Los resultados pueden ir desde la pérdida (o daño) de datos, hasta el daño físico de los equipos. De todas estas causas, el rayo es probablemente la más perjudicial, puesto que los campos creados por los rayos, pueden causar gran parte de los daños potenciales al inducir corriente hacia las estructuras conductivas cercanas.

Dos de los métodos de protección más viables contra los transitorios impulsivos consisten en la eliminación de la ESD potencial, y el uso de dispositivos de supresión de sobretensiones (popularmente conocidos como Supresores de sobretensión transitoria: TVSS, o Dispositivo de protección contra sobretensiones: SPD).

### **a.2 Transitorios oscilatorios**

Un transitorio oscilatorio es un cambio repentino en la condición de estado estable de la tensión o la corriente de una señal, o de ambas, tanto en los límites positivo como negativo de la señal, que oscila a la frecuencia natural del sistema. En términos simples, el transitorio hace que la señal de suministro produzca un aumento de tensión y luego una bajada de tensión en forma alternada y muy rápida. Los transitorios oscilatorios suelen bajar a cero dentro de un ciclo (oscilación descendente) [2].

Estos transitorios ocurren cuando uno conmuta una carga inductiva o capacitiva, como un motor o un banco de capacitores. El resultado es un transitorio oscilatorio porque la carga resiste el cambio. Al apagar un motor en rotación, se comporta brevemente como un generador a medida que pierde energía, por lo que produce electricidad y la envía a través de la distribución eléctrica. Un sistema de distribución eléctrica grande puede actuar como un oscilador cuando se conecta o desconecta el suministro, dado que todos los circuitos poseen alguna inductancia inherente y capacitancia distribuida que brevemente se energiza en forma descendente.

Cuando los transitorios oscilatorios aparecen en un circuito energizado, generalmente a consecuencia de operaciones de conexión de la red eléctrica (especialmente cuando los bancos de capacitores se conectan automáticamente al sistema), pueden ser muy perturbadores para los equipos electrónicos.

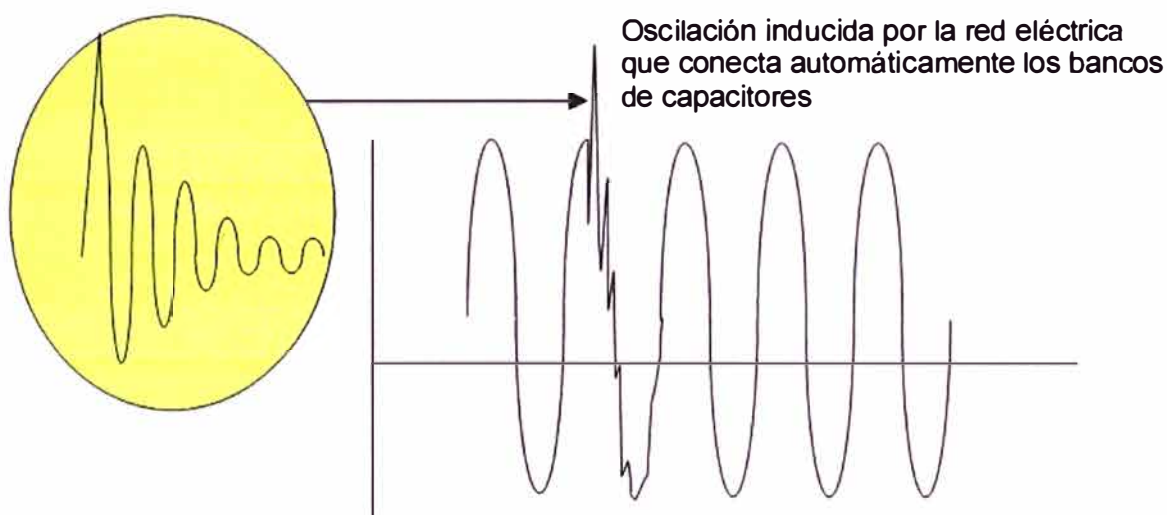
El problema más reconocido asociado con la conexión de capacitores y su transitorio oscilatorio es el disparo de controles de velocidad automáticos (ASD). El transitorio relativamente lento provoca una elevación en la tensión de enlace de CC (la tensión que controla la activación del ASD) que hace que el mecanismo se dispare fuera de línea con una indicación de sobretensión.

Una solución común para el disparo de los capacitores es la instalación de reactores

o bobinas de choque de línea que amortiguan el transitorio oscilatorio a un nivel manejable. Estos reactores pueden instalarse delante del mecanismo o sobre el enlace de CC y están disponibles como una característica estándar o como una opción en la mayoría de los ASD.

Otra solución incipiente para los problemas de transitorios en la conexión de capacitores es el interruptor de cruce por cero. Cuando el arco de una onda senoidal desciende y alcanza el nivel cero (antes de transformarse en negativa), esto se conoce como cruce por cero. Un transitorio causado por la conexión de capacitores tendrá una magnitud mayor cuanto más lejos ocurra la conexión de la sincronización de cruce por cero de la onda senoidal. Un Interruptor de cruce por cero soluciona este problema al monitorear la onda senoidal para asegurarse de que la conexión de los capacitores ocurra lo más cerca posible a la sincronización de cruce por cero de la onda senoidal.

La Figura 1.2 ilustra un transitorio oscilatorio típico de baja frecuencia atribuible a la energización de los bancos de capacitores.



**Figura 1.2 transitorio oscilatorio típico de baja frecuencia (Fuente: [2])**

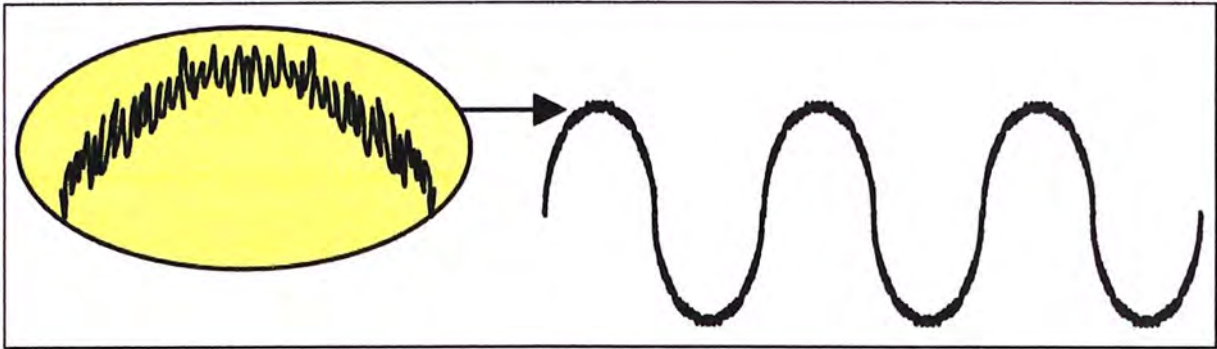
### **b. Ruidos Eléctricos**

El ruido es una tensión indeseada o corriente sobrepuesta en la tensión del sistema de energía eléctrica o forma de onda de la corriente. El ruido puede ser generado por dispositivos electrónicos alimentados eléctricamente, equipos microondas, fuentes de alimentación para conexiones, transmisores radiales, etc. Los sitios con conexiones de puesta a tierra deficientes hacen que el sistema sea más susceptible al ruido (Figura 1.3).

El ruido puede causar problemas técnicos a los equipos como errores de datos, malfuncionamiento de los equipos, falla de componentes de largo plazo, falla del disco duro, y monitores con video distorsionado.

Existen muchos enfoques diferentes para controlar el ruido, y algunas veces resulta necesario utilizar varias técnicas diferentes en forma conjunta para lograr el resultado

requerido.

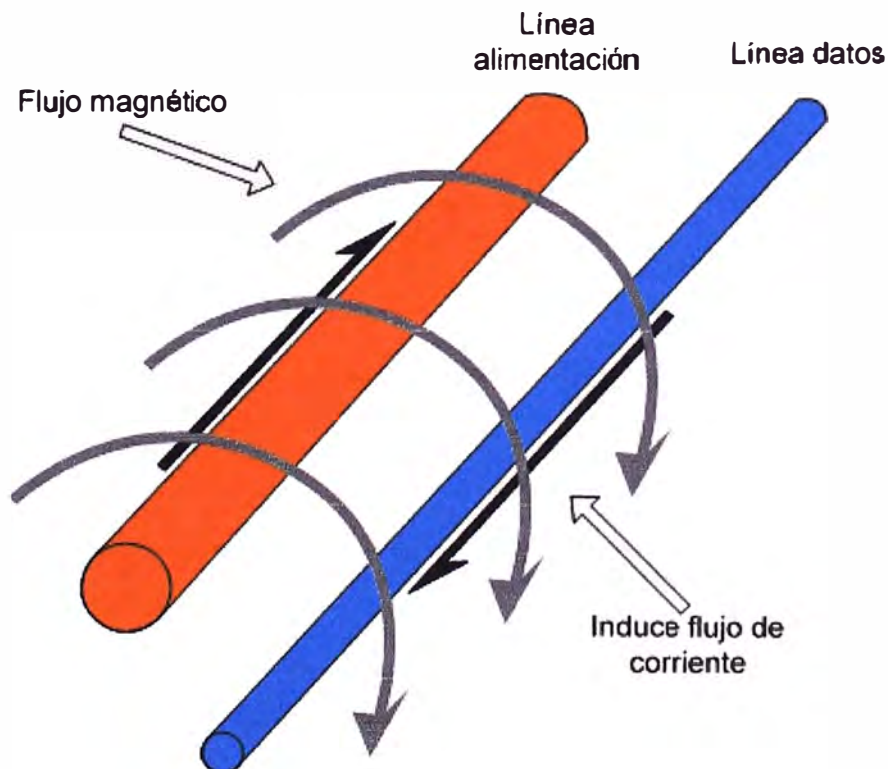


**Figura 1.3 Ruido (Fuente: [2])**

Algunos métodos son los siguientes:

- Aislar la carga mediante una UPS.
- Instalar un transformador de aislamiento blindado y con puesta a tierra.
- Reubicar la carga lejos de la fuente de interferencia.
- Instalar filtros de ruido.
- Blindar los cables.

El daño de datos es uno de los resultados más comunes del ruido. La EMI (Interferencia electromagnética) y la RFI (Interferencia de radiofrecuencia) pueden crear inductancia (corriente y tensión inducidas) en los sistemas que transportan datos, como se ilustra en la Figura 1.4.



**Figura 1.4 Inducción (Fuente: [2])**

Dado que los datos viajan en formato digital (unos y ceros representados por tensión



o falta de tensión), el exceso de tensión por sobre los niveles operativos de los datos pueden dar la apariencia de datos que no corresponden o viceversa. Un ejemplo clásico de ruido creado por la inductancia es cuando el cableado de la red se extiende a través de un cielorraso y cruza luces fluorescentes.

La iluminación fluorescente produce una cantidad significativa de EMI, que si está muy próxima al cableado de red puede causar datos erróneos. Esto también puede ocurrir comúnmente cuando el cableado de red está tendido muy cerca de líneas de potencia de alta capacidad. Los manojos de líneas de potencia frecuentemente terminan tendidos junto al cableado de red en centros de datos con piso falso, lo que aumenta las posibilidades de ruido

### **1.3.2 Técnicas de acondicionamiento**

Existen muchas técnicas de acondicionamiento, aunque este informe se enfoca en los transformadores e asilamiento, a continuación se describirá brevemente algunas de dichas técnicas.

- Supresores, "Surge suppressers".
- Filtros de radio frecuencia.
- Filtros de armónicas.
- UPSs.
- Transformadores de aislamiento.

#### **a. Supresores**

Reducen o eliminan los impulsos o "surge transients". Los supresores más utilizados tienen varistores de óxido metálico (MOVs) y solo eliminan impulsos cuando se excede cierto valor instantáneo en el voltaje. Los más sofisticados son los supresores activos que son capaces de limitar impulsos sin importar en qué punto de la onda sinusoidal ocurren.

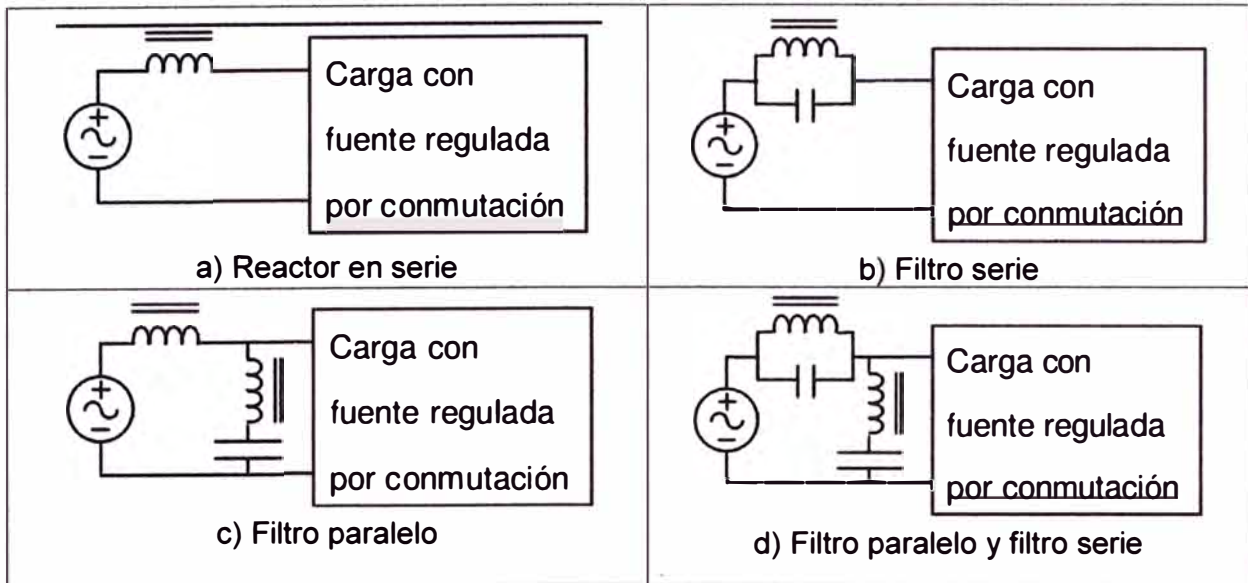
Nota: Un varistor es un componente electrónico con una curva característica similar a la del diodo.

#### **b. Filtros de radio frecuencia**

Reducen el ruido (de modo común y de modo diferencial). La atenuación del ruido y el ancho de banda dependen del diseño del filtro. Se forman de reactores en serie y capacitores en paralelo.

#### **c. Filtros de armónicas**

Reducen la distorsión en la corriente de entrada de cargas no lineales, la distorsión puede causar el calentamiento de los conductores y los transformadores. Los filtros se construyen con reactores en serie y condensadores en paralelos con la finalidad de evitar que las armónicas alimenten a la carga. En la Figura 1.5 (a, b, c y d) se muestra ejemplo de lo mencionado.

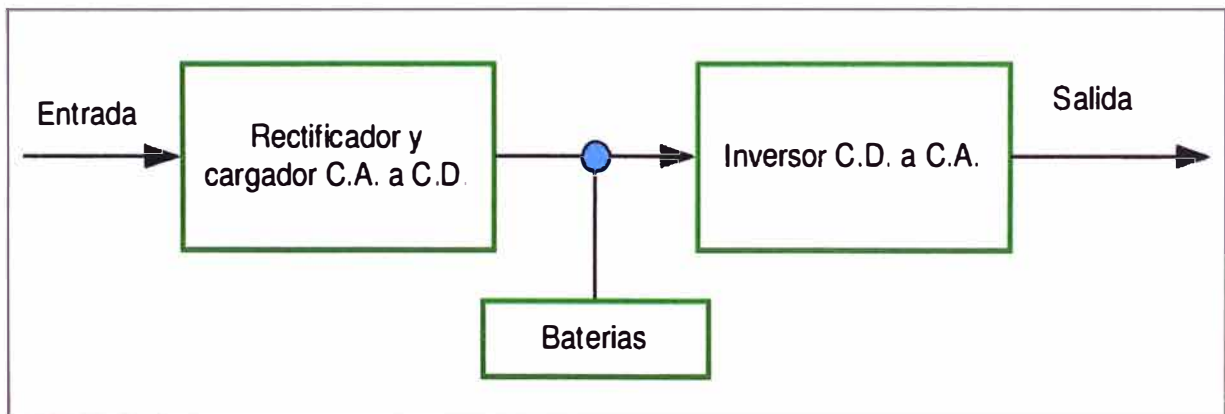


**Figura 1.5 Configuraciones de filtros pasivos monofásicos (Fuente: Referencia [3])**

#### d. UPS (Uninterruptible Power Supply).

Existen varias configuraciones de sistemas de alimentación ininterrumpible o UPSs, las categorías principales son UPSs giratorios y estáticos. En los estáticos existen dos diseños básicos: UPS rectificador/cargador y UPS interactivo.

- UPS rectificador / cargador.- La tensión de entrada se convierte primero a tensión directa, ésta se emplea simultáneamente para cargar las baterías y operar el inversor que alimenta corriente alterna a la carga (Figura 1.7)



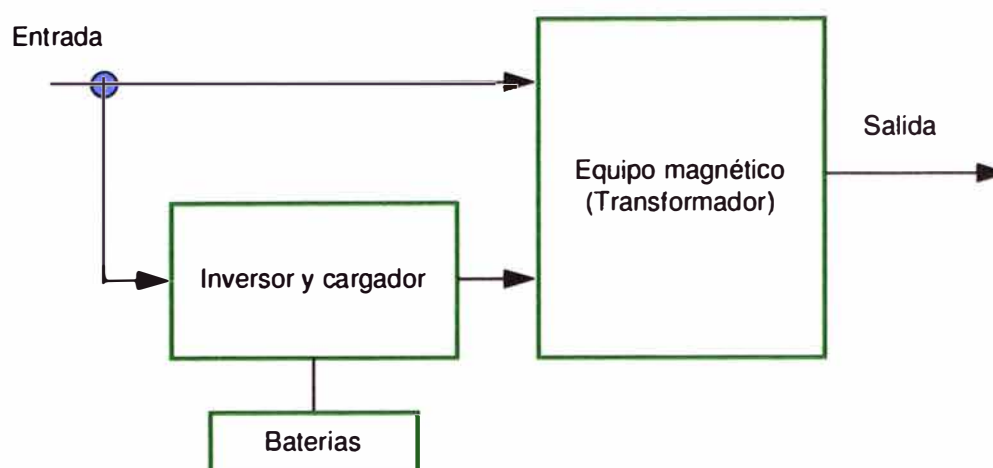
**Figura 1.7 UPS rectificador / cargador (Fuente: Ibídem)**

- UPS interactivo.- La alimentación de corriente alterna no se convierte en corriente directa sino que se alimenta directamente a la carga crítica por medio de un transformador o un inductor (Figura 1.8).

El equipo magnético está normalmente a cargo de la alimentación regulada a la carga. En algunos casos el equipo magnético consta de elementos inversores e inductores o transformadores y en otros casos es un transformador ferorrresonante. El nombre interactivo proviene del hecho de que el UPS interactúa con la alimentación de línea para reducir, aumentar o reemplazar el voltaje de entrada según se requiera para



mantener voltaje regulado.

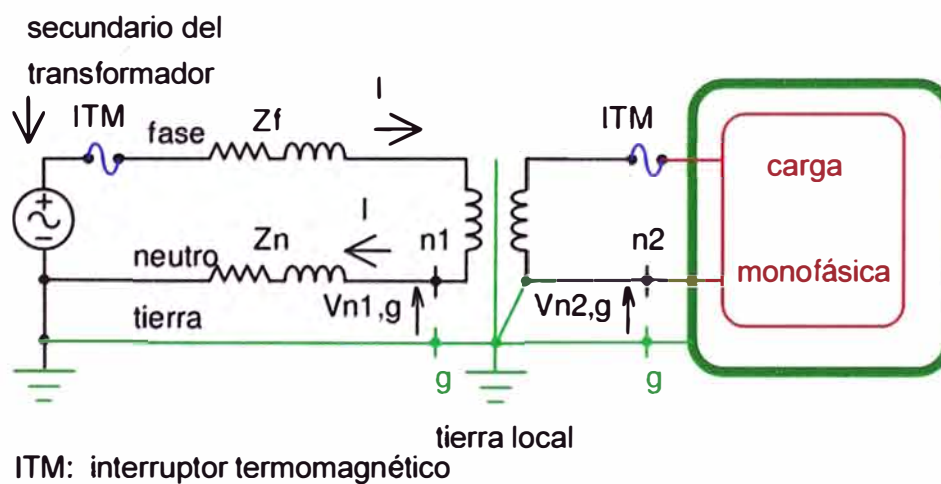


**Figura 1.8 UPS interactivo (Fuente: Ibidem)**

### e. Transformadores de aislamiento

Atenúan los disturbios de modo común (neutro a tierra y fase a tierra). Proporcionan un punto de tierra local. Con derivaciones "taps" permite la compensación de caídas de voltaje de estado estable en el circuito de alimentación.

Es un transformador con primario y secundario separados cierta distancia y uno o varios blindajes para reducir el ruido de modo común, la Figura 1.9 ilustra la conexión apropiada de un transformador de aislamiento.



**Figura 1.9 Transformador de aislamiento (Fuente: Ibidem)**

Dónde:

- $Z_f$ : Impedancia de fase de lado primario del transformador de aislamiento.
- $Z_n$ : Impedancia de neutro de lado primario del transformador de aislamiento.
- $V_{n1,g}$ : Voltaje entre neutro de lado primario y tierra.
- $V_{n2,g}$ : Voltaje entre neutro de lado secundario y tierra.

El transformador de aislamiento proporciona aislamiento entre el primario y el secundario. Suele tener una relación 1:1. Se utiliza principalmente como medida de

protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red. También para acoplar señales procedentes de sensores lejanos, en equipos de electro medicina.

Los transformadores de aislamiento son recomendados para aislar eléctricamente y reducir los ruidos eléctricos hacia las cargas sensibles. Son útiles y confiables para alimentar instalaciones críticas como, sistemas médicos, sistemas de Telecomunicaciones y computadoras, procesador de control e Instrumentación. A la vez permite adecuar las fases para obtener cero voltios entre neutro y tierra; y 220 voltios entre fase y tierra, normativa ideal para centros de cómputo. No produce distorsión armónica. No permite interferencias con otros equipos

El contar con un transformador de aislamiento en conexión directa a una carga sensible y a un sistema compuesto por cargas no lineales generadoras de un alto contenido armónico generan los siguientes beneficios [4]:

- Se crea un aislamiento entre la carga y el resto del sistema por ser un sistema derivado separado, dejando a la carga del lado secundario fuera de la influencia del disturbio del ruido eléctrico, producidos en la red general de alimentación a la carga.
- Atenuación de ruido eléctrico de modo común. Con lo cual la carga quedará protegida contra problemas de ruido eléctrico.

#### **1.4 Alcance del trabajo**

En el informe de suficiencia se explicara la metodología para el adecuado dimensionamiento de un transformador de aislamiento. La metodología expuesta es aplicada a un caso de estudio puntual en una empresa con equipamiento sensible y con una carga determinada, además de otras características y requerimientos. El informe sustenta la necesidad del uso de los transformadores de aislamiento al describir los problemas (perturbaciones de ruido eléctrico) que puedan presentarse en la línea.

## CAPÍTULO II METODOLOGIA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN

En el presente capítulo es en donde se expone las consideraciones para que una empresa con equipamiento sensible dimensione y seleccione el transformador de aislamiento requerido.

### 2.1 Fundamento Teórico del Transformador de Aislamiento

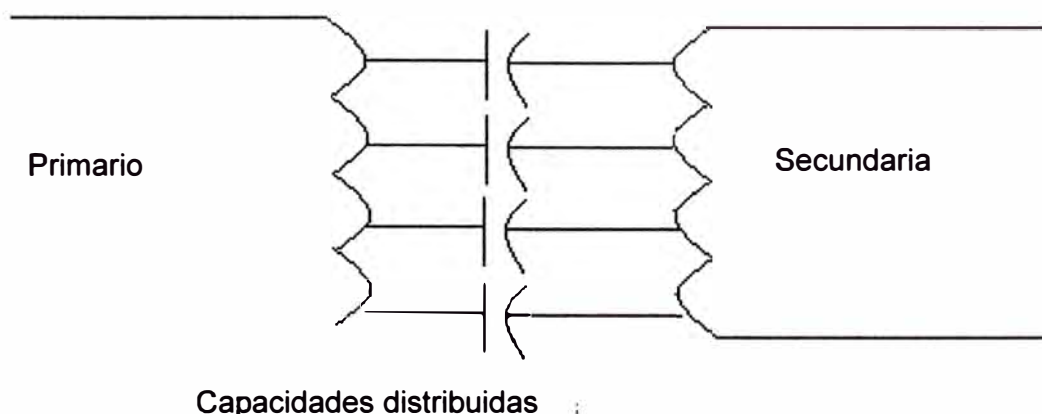
Los transformadores son máquinas eléctricas las cuales constan de dos bobinas o devanados, llamados primario y secundario, los cuales están acoplados en forma electromagnética, sin que exista unión física entre ambos devanados. Esta construcción tiene inherente el aislamiento entre el primario y el secundario, por lo tanto básicamente todo transformador es aislado, pero realmente lo importante es su aislamiento a los ruidos [5].

Este tipo de aislamiento tiene ciertas consideraciones especiales.

#### 2.1.1 Acoplamiento capacitivo

El diseño de los transformadores está relacionado a la proximidad entre el primario y el secundario. Es pues que entre estos devanados se presenta un fenómeno eléctrico el cual es denominado "capacidades de interdevanado" [5].

La figura 2.1 muestra el esquema representativo del mismo.



**Figura 2.1 Esquema de capacitancias de interdevanado (Fuente: Referencia [5])**

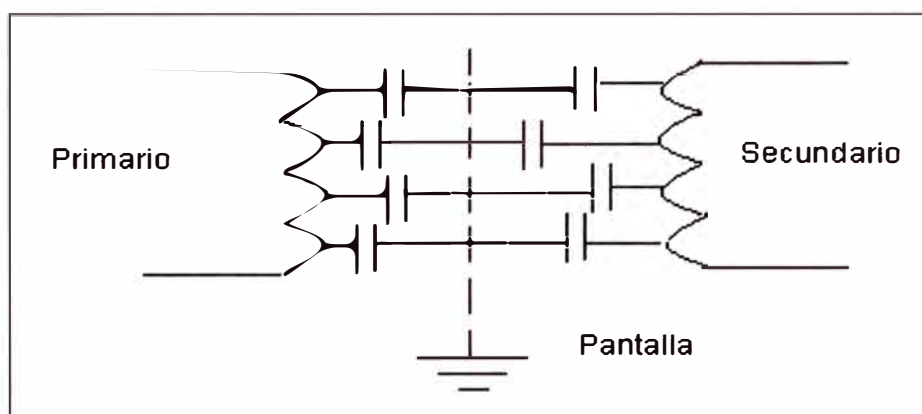
Estas capacidades permiten que los ruidos de alta frecuencia pasen desde el primario al secundario.

De las Leyes Eléctricas básicas se determina que:

$$Z_{\text{capacitiva}} = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.1)$$

Se concluye de la fórmula, que cuando aumenta la frecuencia la reactancia (producida por las capacidades parásitas) disminuye (inversamente proporcional).

Para evitar ello, o por lo menos atenuar en gran parte los ruidos que puedan pasar entre los devanados, las capacidades parásitas se pueden reducir notablemente al instalar una "Pantalla Electrostática" o de Faraday entre los devanados primario y secundario. La Figura 2.2 muestra su representación eléctrica.



**Figura 2.2 Representación de apantallamiento entre devanados (Referencia: [5])**

Los condensadores colocados en serie producen una capacidad total que se define por la siguiente ecuación:

$$C_t = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.2)$$

Llevando a cabo lo anterior, la capacidad total se disminuye enormemente, por lo que la ecuación (2.1)  $Z_{\text{capacitiva}}$  aumenta y así la trayectoria para el ruido de radiofrecuencia se ve modificada, al encontrar una mayor oposición,

Una segunda pantalla en el devanado primario actuaría como una trayectoria de baja impedancia para que el ruido de Modo Común viaje de una pantalla a la siguiente. Esta vía aleja al ruido de Modo Común del devanado, con lo que se elimina la conversión a Modo Normal que es inherente a los transformadores.

El doble apantallamiento es muy utilizado a nivel mundial en los transformadores trifásicos, pero no en la protección de equipos electrónicos, en especial los computadores, ya que implica costos altos en el diseño del transformador.

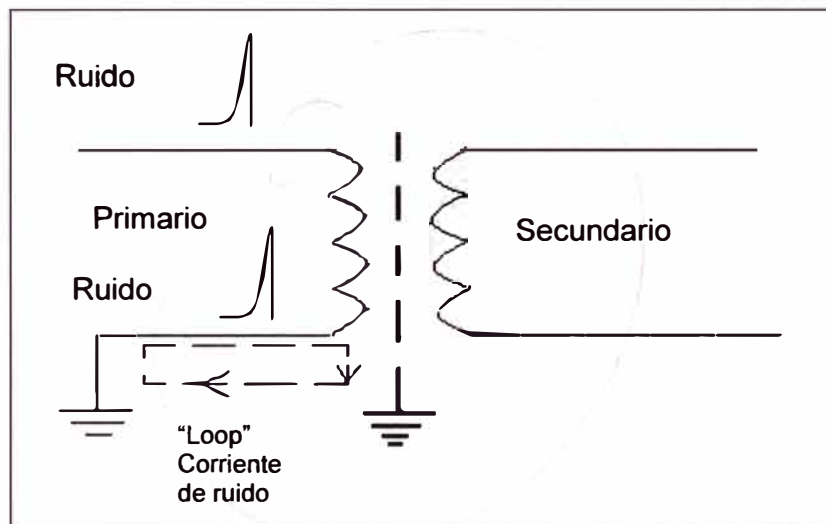
La pantalla puede ser hecha de una hoja de cobre, colocada entre los devanados primario y secundario. Esta pantalla puede estar aterrada, con lo que se completa la trayectoria para cualquier ruido originado en el primario del transformador. Con ello se evita que la carga sensible (ósea los equipos electrónicos) conectada en el secundario no se vea afectadas por estos disturbios.

### 2.1.2 Ruido de modo común

Es un impulso de ruido que puede medirse entre el conector de tierra y el conector de neutro y al mismo tiempo puede medirse entre la tierra y la fase. Se denomina de Modo Común por ser común a ambas líneas con respecto a la tierra [5].

Es causado por descargas atmosféricas, apertura y cierre de breakers, malas técnicas de aterrizado, falta de tierra, radio transmisores, etc.

La pantalla está diseñada para eliminar el ruido de Modo Común, como se muestra en la Figura 2.3. Se habla de Modo Común siempre que la tierra sea trayectoria para el ruido.



**Figura 2.3 Ruido de modo común (Fuente: Referencia [5])**

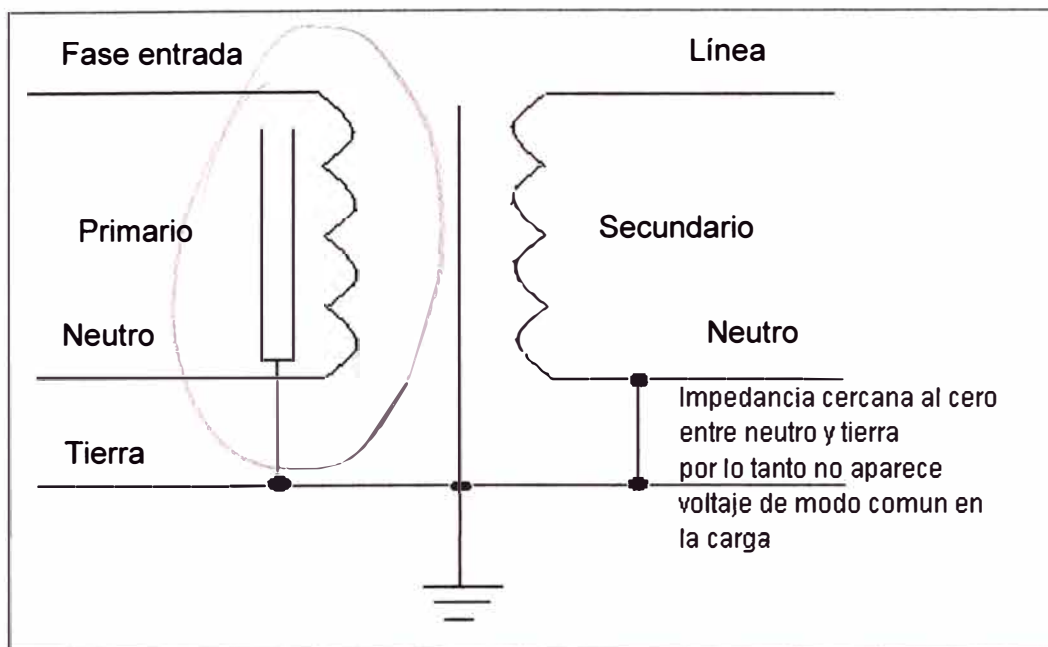
Al colocar una pantalla en los transformadores, se aumenta las características de rechazo o atenuación hasta unos -60 dB (1000 veces). Un impulso de 1000 voltios en el primario aparece en el secundario como 1 voltio. Como es claro, el rango de atenuación depende de las frecuencias del ruido.

Las normas de seguridad de la NEC, requieren que uno de los terminales del secundario del transformador de aislamiento esté aterrado y se identifique como neutro. Esta configuración se muestra en la Figura 2.4.

El Transformador de Aislamiento permite que la tierra sea restablecida cerca del sistema de cómputo. El neutro está sólidamente referenciado a tierra a través de la unión y no a través de cualquier capacidad distribuida que pueda existir en la carga. Cualquier ruido de Modo Común que apareciera en el secundario tendría su corriente cortocircuitada a tierra a través de la unión neutro-tierra del transformador.

Se puede concluir que cualquier tipo de voltaje desarrollado en la unión es por lo tanto extremadamente bajo. Como se observa en la Figura 2.4, un terminal del secundario, la pantalla y el núcleo están unidos a tierra, con un solo punto de unión. Queda claro que si el Transformador estuviera montado en un chasis metálico haciendo parte de un Acondicionador, el chasis estaría unido a este punto de tierra.

Lo que se trata de lograr es que la tierra y cualquier otro punto de referencia relacionada con esta, tengan la impedancia más baja posible la una con respecto a la otra. Con ello se obtiene un punto "limpio" y único de referencia de tierra para cualquier cosa conectada al Acondicionador.



**Figura 2.4 Esquema de aterramiento común (Fuente: Referencia [5])**

### 2.1.3 Ruido de modo normal

Este tipo de perturbación es el que puede ser detectado entre la línea de fase y la línea de neutro. Son ocasionados usualmente por encendidos y apagados de grandes cargas, o por los condensadores que sirven para correcciones del factor de potencia.

El voltaje de 220 voltios entre fase y neutro es una señal de Modo Normal. Se transfiere del devanado primario al secundario, por corrientes que inducen cambios en el campo magnético. Cualquier variación en la corriente que fluye en el devanado primario implica una variación en el flujo de corriente en el devanado secundario, sin importar la frecuencia del voltaje aplicado, puesto que los principios eléctricos de los transformadores se cumplen para todas las frecuencias.

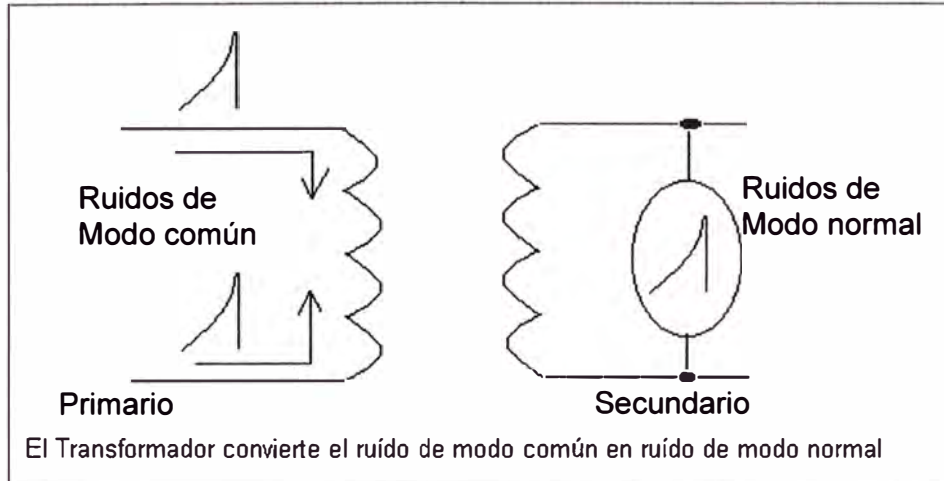
El transformador es diseñado para transferir señales de Modo Normal, sin importar que la frecuencia de la señal aplicada este variando. Un transformador de distribución está construido para trabajar señales de 60 Hz con eficiencias cercanas al 97 %.

Sin embargo, la eficiencia de este tipo de transformador a otras frecuencias es muy diferente. La respuesta de frecuencia no es uniforme a medida que esta aumenta. La forma de onda de un impulso de ruido se ve afectada y presenta distorsión al pasar por el transformador, pero la amplitud no es afectada apreciablemente.

Existe otra fuente de ruido normal en el secundario de los transformadores y es un "atributo" del mismo y se llama conversión. Significa convertir los ruidos de Modo Común

del primario en ruidos de Modo Normal en el secundario (Figura 2.5).

Como estos dos impulsos de ruido son comunes a la línea de fase y neutro, aparecen a través del transformador con un desfase de  $180^\circ$ . Idealmente deberían anularse, pero la realidad es otra.



**Figura 2.5 Conversión del modo común en modo normal (Fuente: Referencia [5])**

En los transformadores físicos, no ideales, existen imperfecciones, por lo tanto aparecen discontinuidades en las capacidades y en general en las impedancias de los devanados, lo cual afecta la velocidad del ruido viajando a través del primario, lo mismo que la distribución de las corrientes en los alambres.

Por lo tanto no hay una cancelación total de las señales de Modo Común. La corriente resultante produce una diferencia de voltaje entre los terminales del devanado secundario del transformador, o entre fase y neutro del mismo. Se puede resumir que en los transformadores reales los voltajes de Modo Común en el primario tienden a producir voltajes de Modo Normal en el secundario.

#### 2.1.4 Condensadores de derivación

La colocación de condensadores entre la línea de fase y el neutro en el lado del secundario, proporcionan una trayectoria de baja impedancia para el ruido de Modo Normal en vez de que sea a través de la carga conectada a este devanado [5].

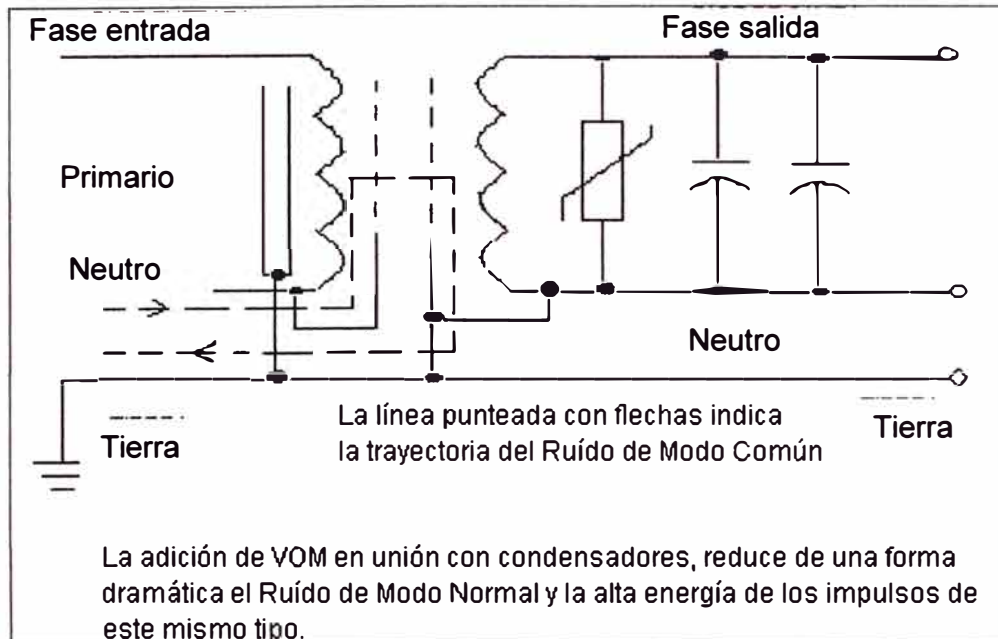
El uso de Varistores (MOV) entre la línea de fase y neutro en el secundario también controlan los impulsos de alta energía que pasan a través del transformador. La Figura. 2.6 muestra la conexión eléctrica típica. Otra forma sería una segunda pantalla introducida específicamente para eliminar esta conversión.

De la misma forma como lo hace un filtro, la inductancia de los devanados del secundario del transformador trabajan en conjunto con los condensadores.

La inductancia del secundario reduce notablemente el tiempo de subida de los impulsos de ruido y el condensador brinda una trayectoria de retorno del mismo, con esto se obtiene que el ruido se elimine antes de que llega a la carga.



Los condensadores trabajan en unión con la inductancia del devanado del Transformador, a medida que la frecuencia aumenta, la reactancia capacitiva disminuye.



**Figura 2.6 Uso de varistores (Fuente: Referencia [5])**

Esto significa que los ruidos prefieren una trayectoria de más baja impedancia con respecto a la carga. Además, la reactancia inductiva asociada con el devanado aumenta, oponiéndose al flujo de corriente de alta frecuencia. Por ello es importante tener cuidado en la elección de los valores apropiados de los condensadores. Esto se constituye así en un efectivo filtro de Modo Normal.

Esta cualidad ofrece ventajas adicionales.

- Si algún ruido de Modo Común aparece sobre el terminal "vivo" o de fase en el secundario, se proporciona una trayectoria de muy baja impedancia a tierra.
- Si al lado del secundario es generado por la carga algún tipo de ruido de Modo Común, los condensadores crean un lazo para evitar que sea transferido al primario y de ahí a otros equipos conectados a la red de alterna que alimenta el transformador.

Se concluye así que los Acondicionadores de Voltaje, los cuales poseen Transformador de Aislamiento, garantizan una completa inmunidad a los ruidos para cualquier carga conectados a ellos.

Otro beneficio de los Acondicionadores es su baja impedancia, esto significa que para la carga es como si no existiera el transformador.

Un transformador de aislamiento puede permitir pasos de hasta el 500 a 1000 % de su corriente nominal por pequeños periodos de tiempo. Equipos con impedancias internas muy altas no pueden hacer esto, inclusive pueden deteriorarse.

Las fuentes de conmutación (Switching) de la mayoría de los equipos electrónicos y en especial de los microcomputadores, manejan la corriente que necesitan solo durante



el pico de la onda senoidal, lo que hace que las bajas impedancias de los transformadores de aislamiento sean excelentes para su suministro.

## **2.2 Especificaciones de carga sensible**

Como fue descrito en el Capítulo I, la carga sensible es aquella que requiere de un suministro de alta calidad (voltaje y frecuencia estable, ausencia de ruido, ausencia de distorsión y voltaje mínimo de neutro a tierra).

Actualmente los dispositivos como cámaras de seguridad, computadoras, rack de comunicaciones, etc. Deben garantizar alimentarse con energía estable para su correcta operación [6]. Por dicho motivo al momento de realizar la proyección de los circuitos eléctricos en las instalaciones eléctricas de baja tensión, se debe especificar que cargas son las Cargas Sensibles, que requerirán energía estable.

Actualmente se estila colocar los circuitos que se alimentan de energía estable centralizados en un tablero eléctrico específico, denominado Tablero Eléctrico Estabilizado. En la Figura 2.7 se muestra el diagrama del Tablero General.

## **2.3 Tablero estabilizado**

El tablero Estabilizado es aquel en el cual centralizan todos los circuitos que alimentan de energía a las cargas sensibles.

El alimentador eléctrico que llega a este tablero previamente está conectado a un transformador de aislamiento el cual se encarga de atenuar principalmente las perturbaciones de ruido eléctrico. Este tablero también puede ir acompañado con equipos complementarios como podría ser un estabilizador de tensión o un UPS [6] (Figura 2.8).

### **2.3.1 Cuadro de cargas de tablero estabilizado**

Luego de identificar la carga sensible, se debe hacer la proyección de los circuitos eléctricos para el dimensionamiento de los cables e interruptores térmicos y diferenciales, también hallar la potencia de demanda que requerirá el tablero estabilizado, ya que dicha potencia de demanda ayuda también a realizar el correcto dimensionamiento y elección del transformador de aislamiento que protegerá al tablero estabilizado (Tabla 2.1).

### **2.3.2 Potencia de demanda de tablero estabilizado**

La potencia instalada de cada circuito eléctrico que alimenta de energía a las cargas sensibles al ser multiplicada por el factor de corrección respectivo del circuito brinda como resultado la potencia demandada del circuito.

Si se suman todas las potencias de demanda de los circuitos que se encuentran dentro del tablero estabilizado obtendremos la potencia de demanda del tablero estabilizado.

De la Tabla 2.1 se observa que la potencia instalada es de 8.2 kW mientras la potencia de máxima demanda es de 7.29kW.

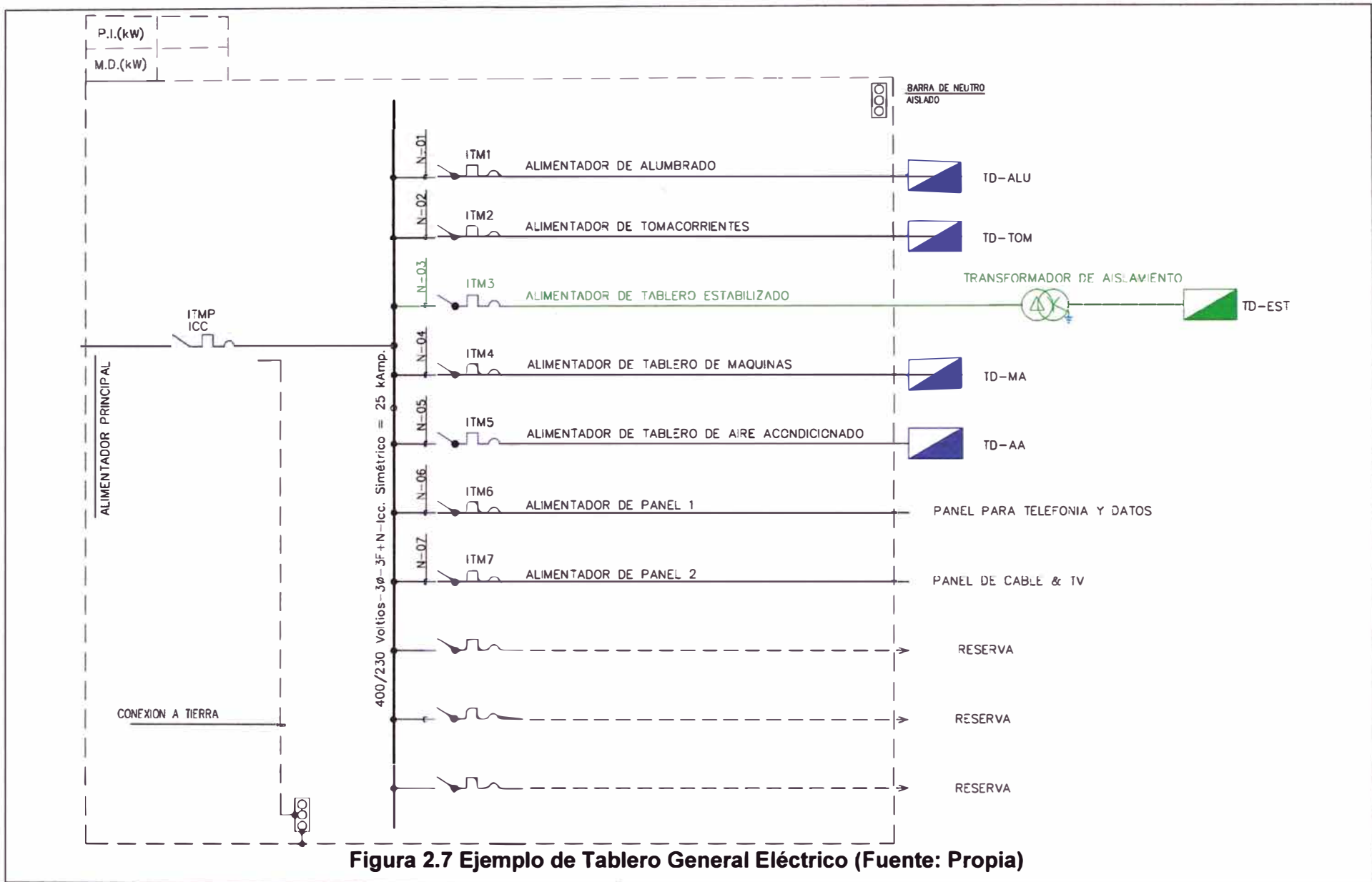


Figura 2.7 Ejemplo de Tablero General Eléctrico (Fuente: Propia)

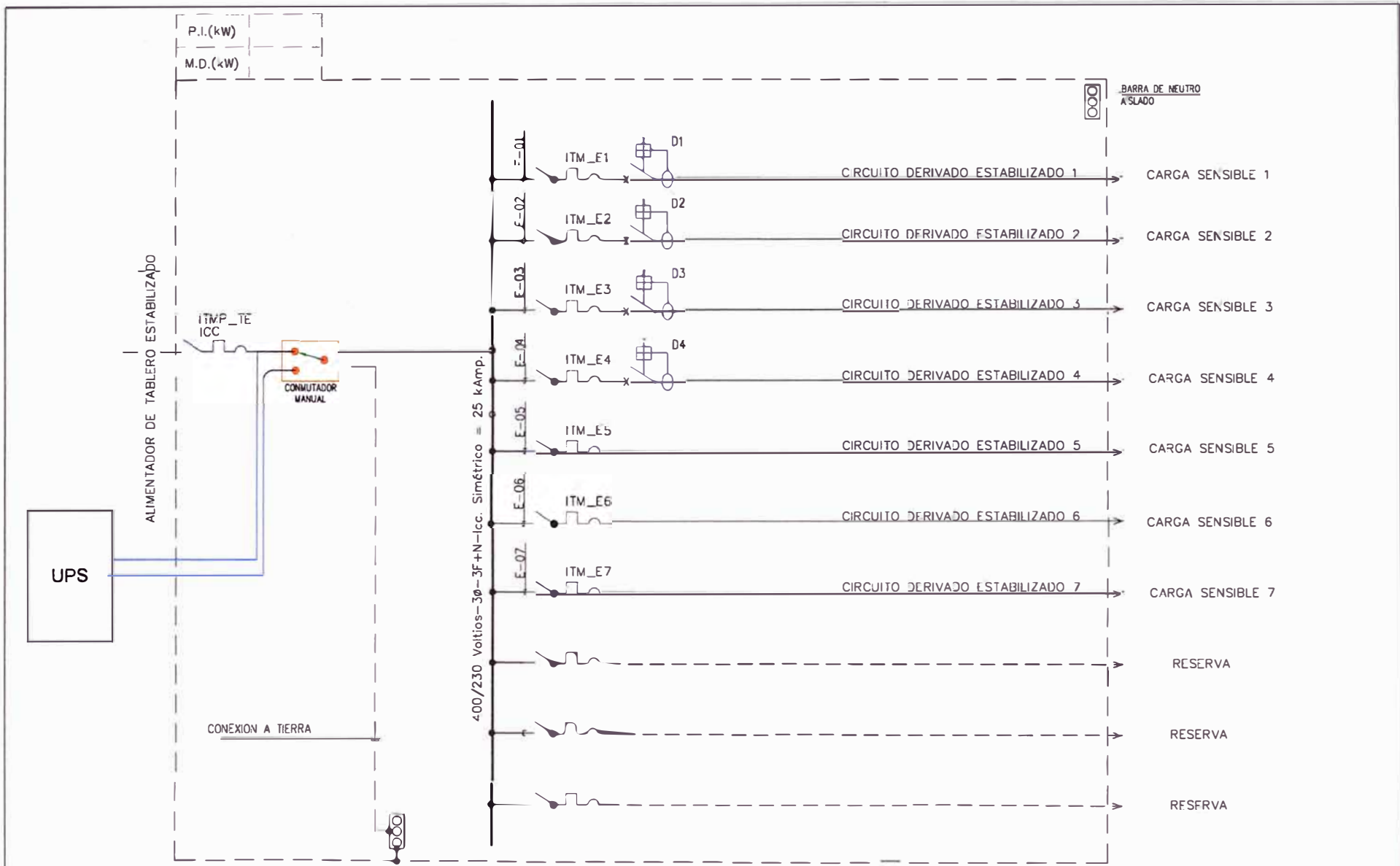


Figura 2.8 Ejemplo de Tablero Estabilizado (Fuente: Propia)

**Tabla 2.1 Cuadro de cargas de tablero estabilizado (Fuente: Ref. [7])**

Circuito	Descripción	Cantidad	Carga Unitaria (W)	Carga Instalada (W)	Factor de Demanda	Demanda Máxima (W)
E-01	Sensible 1	5.00	300.00	1,500.00	0.70	1,050.00
E-02	Sensible 2	2.00	500.00	1,000.00	0.70	700.00
E-03	Sensible 3	6.00	300.00	1,800.00	0.70	1,260.00
E-04	Sensible 4	16.00	100.00	1,600.00	0.80	1,280.00
E-05	Sensible 5	1.00	1,000.00	1,000.00	1.00	1,000.00
E-06	Sensible 6	1.00	1,000.00	1,000.00	1.00	1,000.00
E-07	Sensible 7	1.00	1,000.00	1,000.00	1.00	1,000.00
E-08	Reserva					
E-09	Reserva					
E-10	Reserva					
<b>Total</b>				<b>8,900.00</b>	<b>0.82</b>	<b>7,290.00</b>

#### 2.4 Selección de transformador de aislamiento

Para la correcta selección del transformador del aislamiento en la etapa de proyección se debe conocer las siguientes características técnicas: Potencia del transformador de aislamiento, Factor k del transformador de aislamiento, frecuencia, tipo de conexión, nivel de tensión entre primario / secundario, tipo de montaje y las condiciones ambientales de operación.

##### 2.4.1 Potencia del transformador de aislamiento

Teniendo el escenario habitual donde la carga sensible cuenta con un respaldo de energía brindado por el UPS, para calcular la potencia del transformador de aislamiento, previamente se debe calcular la potencia del UPS.

Obteniendo la máxima demanda del tablero estabilizado se dimensiona la potencia necesaria del UPS que se requerirá mediante la ecuación:

$$P_{ups} = \frac{M.D}{0.8} \quad (2.3)$$

Dónde:

- P<sub>ups</sub>: Potencia del equipo UPS requerido (kVA)
- M.D: Máxima demanda de Potencia del tablero Estabilizado (kW)

Obteniendo la potencia P<sub>ups</sub> se dimensiona la potencia necesaria del transformador de aislamiento mediante la ecuación:

$$P_{ta} = \frac{P_{ups}}{F.C} \quad (2.4)$$

Dónde:

- P<sub>ta</sub>: Potencia del transformador de Aislamiento requerido (kVA)
- P<sub>ups</sub>: Potencia del equipo UPS requerido (kVA)

- F.C: Factor de Corrección, estimado por el proyectista ( $0.8 \leq F.C \leq 0.9$ )

Esta potencia Pta se le puede multiplicar por un factor de holgura ( $f.h > 1$ ), si es que se tiene pensado aumentar la carga sensible a futuro, teniendo presente que el alimentador principal y el interruptor general del tablero estabilizado también han sido dimensionados para el escenario del aumento proyectado.

#### 2.4.2 Factor k del transformador de aislamiento

Los transformadores con Factor K están diseñados para reducir los efectos por calentamiento de las corrientes armónicas creadas por cargas. El Factor K es un indicador de la capacidad del transformador para soportar contenido armónico mientras se mantiene operando dentro de los límites de temperatura de su sistema de aislamiento [7]. Los transformadores Factor K tienen capacidades UL de K-4, K-13, K-20, K30 y K-40.

En los casos en que un transformador alimenta cargas no lineales, se presenta un sobrecalentamiento aun cuando no ha alcanzado sus KVA nominales, este sobrecalentamiento debido a la presencia de las armónicas es directamente proporcional al cuadrado de la armónica multiplicado por las pérdidas que esta produce. De esta manera aparece el factor K aplicado a transformadores

A continuación se presenta en la Tabla 2.1 Factores K Típicos de las cargas:

**Tabla 2.2 Factores K Típicos de las cargas (Fuente: Ref. [7])**

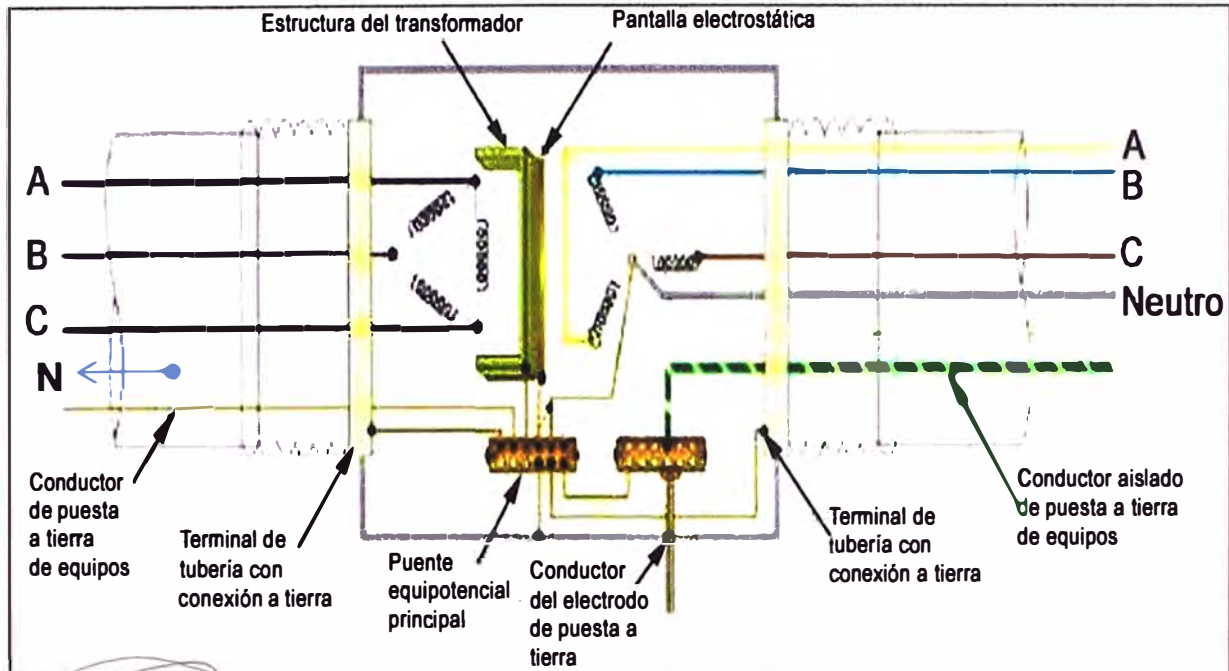
Carga	factor k
Iluminación por descarga eléctrica	K-4
Ups con filtrado de entrada opcional	K-4
Máquinas de soldar	K-4
Equipo de calefacción por inducción	K-4
PLCs y controles de estado solido	K-4
Equipos de telecomunicaciones	K-13
Ups sin filtrado de entrada opcional	K-13
Circuitos con receptáculos de varios cables en áreas de cuidado general de unidades de salud, salones de clase de escuelas, etc	K-13
Circuitos con receptáculo de varios cables alimentando equipo de inspección o pruebas en una línea de ensamble o producción	K-13
Carga de computadoras	K-20
Variadores de velocidad de estado solido	K-20
Circuito con receptáculo de varios cables en áreas críticas de cuidado y en cuartos de operación / recuperación de en hospitales	K-20

#### 2.4.3 Condiciones ambientales de operación

Son referidas a las condiciones de temperatura, humedad relativa y altura sobre el

nivel del mar del lugar donde se instalara el transformador de aislamiento.

Se muestra el diagrama de conexiones del transformador de aislamiento trifásico con pantalla electrostática en la Figura 2.9).



**Figura 2.9 Diagrama de conexiones de transformador de aislamiento trifásico**

#### 2.4.5 Factor de conversión

Es el factor de conversión en la tensión que se da entre el devanado primario y secundario en este tipo de transformadores el factor de conversión de tensión es 1. Ya que la función principal de este transformador no es elevar ni reducir la tensión, pues la función principal es aislar la carga sensible y atenuar los ruidos de alta frecuencia que pudieran producirse aguas abajo del devanado primario.

#### 2.5 Equipos complementarios

Son considerados los siguientes.

##### a. UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)

El UPS que en sus siglas en inglés significa ("Uninterruptible Power Supply") o fuente de energía ininterrumpida, es un equipo de respaldo eléctrico que habitualmente se coloca conjuntamente con el transformador de aislamiento.

El UPS se utiliza debido a que la carga que se centraliza en el tablero estabilizado no solo es carga sensible, sino también es una carga crítica que debe operar continuamente, para lo cual se consideran este equipo de respaldo para las situaciones en que no se cuente con suministro de energía comercial.

##### b. Estabilizadores

Los estabilizadores Monofásicos y Trifásicos, son reguladores automáticos de tensión alterna AC diseñados para absorber y eliminar cualquier anomalía o pico de tensión

originado en la red eléctrica y estabilizar su salida para alimentar a cargas críticas y sensibles, es decir, si aparece cualquier fluctuación de tensión originada por variaciones de cargas externas conectadas a esa red, este estabilizador es capaz de regular automáticamente la tensión de salida.

Siendo este el equipo ideal para alimentar líneas de producción, equipos de telecomunicaciones, informática, equipos de ingeniería y diseño, equipos láser, equipos de medicina, ascensores, aire acondicionado, audio y vídeo, TV, estaciones de radio, fábricas textiles, etc.



## **CAPÍTULO III**

### **APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA AL CASO DE ESTUDIO**

En este capítulo se describe la aplicación de la metodología al caso de estudio. Se presenta al proyecto modelo, se hace la determinación de la carga sensible y se mencionan los equipos complementarios usados para el proyecto modelo.

#### **3.1 Proyecto modelo**

El proyecto, materia de estudio es el gimnasio BODYTECH que se encuentra ubicado en el cruce de la Av. La Mar con la Av. Universitaria en el distrito de San Miguel, se toma como modelo de estudio a este proyecto debido a que el gimnasio cuenta con carga sensible distribuida dentro de sus instalaciones de baja tensión las cuales deben ser protegidas de las distorsiones de ruido eléctrico por lo cual se considera en la etapa de proyección el dimensionamiento de las características eléctricas que debería tener el transformador de aislamiento para de esta manera poder realizar una correcta elección del equipo en la etapa de ejecución del proyecto.

##### **3.1.1 Generalidades**

El proyecto analizado comprende un local comercial de dos niveles destinado al uso de gimnasio.

- En el primer nivel, consta con los siguientes ambientes destinados para sala de Pilates, salón de spinning, sala de máquinas de ejercicio cardiovascular, las escaleras de acceso vertical al nivel inmediato superior, la cafetería, oficinas administrativas, zona de ventas y el cuarto de equipos o rack.
- El segundo nivel, consta de los siguientes ambientes: zona de abdominales colíndate a pasillo de tránsito horizontal para el acceso vertical al nivel inmediato inferior del gimnasio, colíndante a esta zona de pesas, tenemos las salas de grupales 1 y grupales 2, pasillos de evacuación a las salidas de emergencia, baños y camarines de mujeres y hombres, spa y sauna con cámara húmeda y cámara seca. En cada nivel se tiene salidas de emergencia.

##### **3.1.2 Objetivos**

La proyección de las instalaciones eléctricas de baja tensión del Gimnasio en mención, incluye iluminación, tomacorrientes, alimentación de equipos de fuerza, equipos de comunicaciones y equipos de cómputo en sus distintas áreas. Por fines prácticos



referentes al Informe, solo indicaremos la carga total del gimnasio y especificaremos la carga sensible para dimensionar y seleccionar el transformador de aislamiento adecuado.

### 3.1.3 Suministro Eléctrico

El gimnasio al ser un local comercial dentro de un Mall, los niveles de tensión y la demanda de energía requerida por el gimnasio son suministrados por el centro comercial (Mall)

- Suministro	Sub Estación Eléctrica Mall
- Demanda Max.	187,033 KW
- Conductor	Cobre Electrolítico
- Caída Tensión	Máximo 2,5 % Alimentadores, 1,5 % Circuitos Interiores
- Sistema	Trifásico (3 Fases + Neutro + Tierra)
- Tensión	380/220 V (Trifásico/Monofásico)
- Frecuencia	60 Hz
- Tierra	16 $\Omega$

### 3.1.4 Restricciones

Como el objetivo del informe es referido al dimensionamiento y la aplicación del transformador de aislamiento, se dará más énfasis en el presente proyecto modelo a especificar la carga sensible, a centralizarla en un tablero estabilizado y finalmente a realizar la elección del transformador de aislamiento apropiado para proteger de ruidos eléctricos a los equipos de cómputo, rack de comunicación, circuitos de cámaras, tomacorrientes estabilizados, panel de alarma contra incendios, y demás cargas que requieran energía estable.

### 3.1.5 Códigos y Reglamentos

La reglamentación usada para el análisis y diseño del proyecto está dada por el "Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)", Código Nacional de Electricidad (CNE), como también siguiendo las Normas internacionales IEC.

### 3.2 Determinación de carga sensible

En todas las sedes de los gimnasios BODYTECH, se tienen equipos y circuitos que requieren una alimentación de energía estable, los equipos de comunicación y cómputo son siempre energizados del tablero estabilizado, así como los sistemas del panel de alarma contra incendio y panel de CCTV pues esto es una recomendación del proveedor de dichos equipos. En el anexo B, se muestran el plano eléctrico de distribución de los circuitos eléctricos estabilizados del presente proyecto modelo.

La Figura 3.1 muestra el diagrama unifilar de la carga total que se encuentra distribuida dentro del gimnasio.

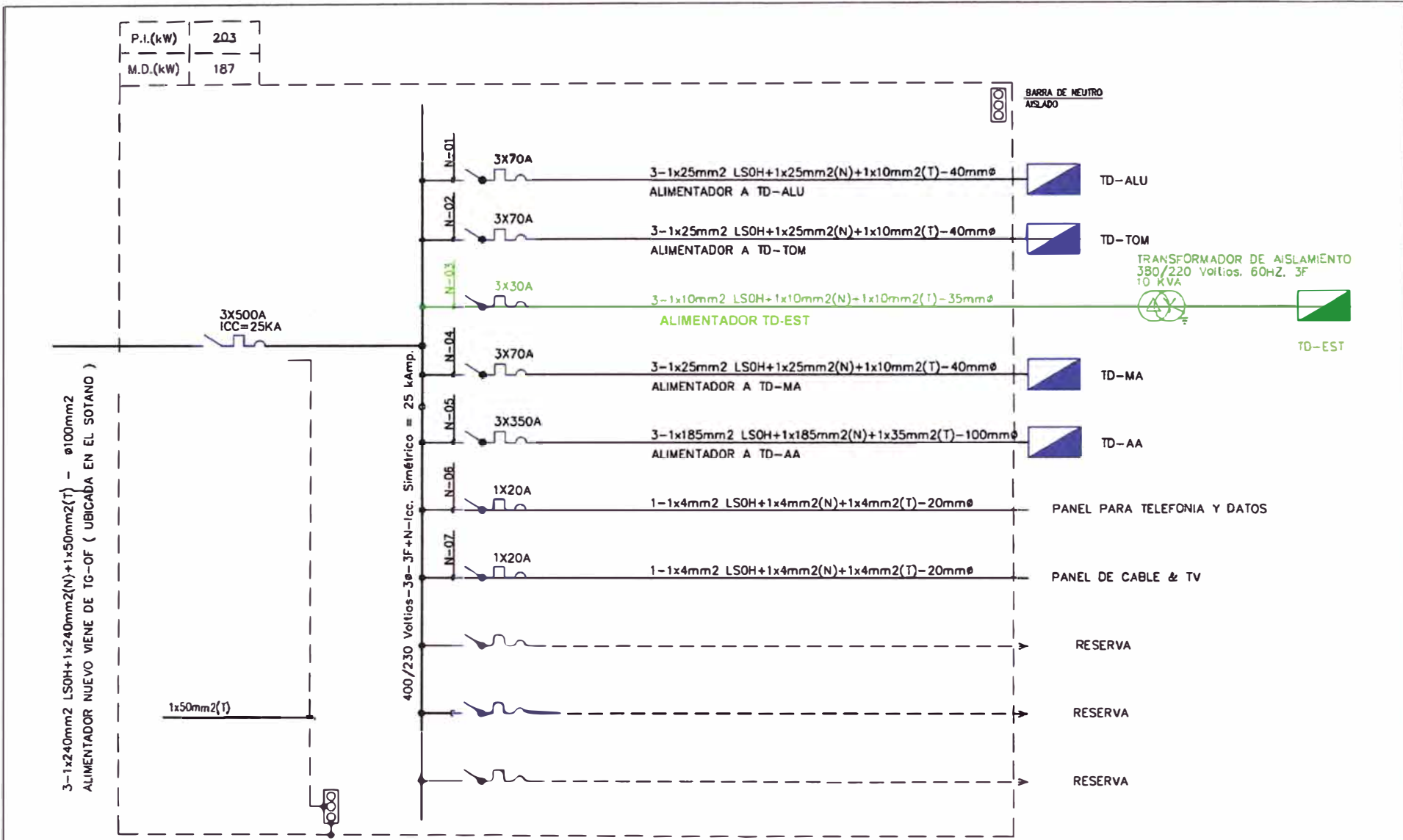


Figura 3.1 Diagrama unifilar del tablero TG-N

La Tabla 3.1 muestra el cuadro de cargas de todo el Gimnasio que se encuentra centralizado en el tablero general TG-N.

**Tabla 3.1 Cuadro de cargas de todo el Gimnasio**

Circuito	Descripción	Cantidad	Carga Unitaria (W)	Carga Instalada (W)	Factor de Demanda	Demanda Máxima (W)
N-01	TD-ALU	1.00	18,940.00	18,940.00	1.00	18,940.00
N-02	TD-TOM	1.00	21,400.00	21,400.00	0.81	17,334.00
N-03	TD-EST	1.00	8,900.00	8,900.00	0.82	7,298.00
N-04	TD-MA	1.00	33,821.00	33,821.00	0.66	22,321.86
N-05	TD-AA	1.00	118,900.00	118,900.00	1.00	118,900.00
N-06	Panel de central de Sonido	1.00	1,200.00	1,200.00	1.00	1,200.00
N-07	Panel de TV & Cable	1.00	1,200.00	1,200.00	1.00	1,200.00
N-08	Reserva					
N-09	Reserva					
N-10	Reserva					
<b>TOTAL</b>				204,361.00	0.92	187,193.86

### 3.2.1 Cuadro de carga de tablero estabilizado del proyecto modelo

El proyecto modelo cuenta con las siguientes cargas sensibles que se alimentaran del tablero estabilizado:

- Computadoras
- Cámaras de seguridad
- Puertas electrónicas
- Panel de sistema contra incendios
- Panel de sistema de voz y data
- Panel de sistema de seguridad

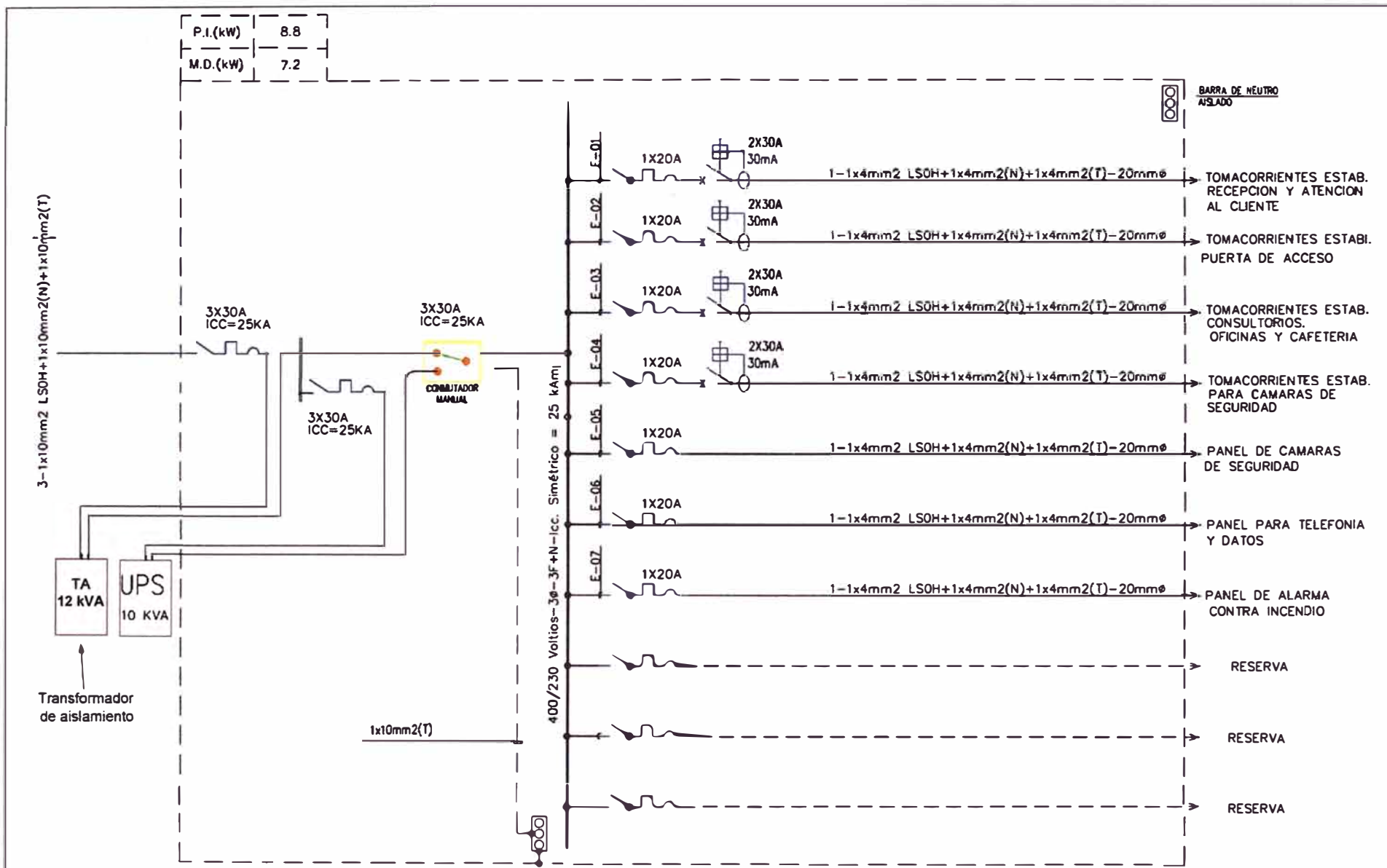
Teniendo que dimensionar un tablero estabilizado, que cuente con los circuitos necesarios para poder dotar de energía estable, a los circuitos mencionados líneas arriba.

A continuación se muestra el cuadro de cargas del tablero estabilizado.

**Tabla 3.2 Cuadro de cargas del tablero estabilizado**

<b>Circuito</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Carga Unitaria (W)</b>	<b>Carga Instalada (W)</b>	<b>Factor de Demanda</b>	<b>Demanda Máxima (W)</b>
E-01	Tomacorriente estabilizado Atención al cliente y Recepción	5.00	300.00	1,500.00	0.70	1,050.00
E-02	Tomacorriente estabilizado puerta de acceso	2.00	500.00	1,000.00	0.70	700.00
E-03	Tomacorriente estabilizado oficina, cafetería y consultorios	6.00	300.00	1,800.00	0.70	1,260.00
E-04	Tomacorriente estabilizado salida de cámaras	16.00	100.00	1,600.00	0.80	1,280.00
E-05	Panel de Cámaras de Seguridad	1.00	1,000.00	1,000.00	1.00	1,000.00
E-06	Panel de telefonía y data	1.00	1,000.00	1,000.00	1.00	1,000.00
E-07	Panel de alarma contra incendios	1.00	1,000.00	1,000.00	1.00	1,000.00
E-08	Reserva					
E-09	Reserva					
E-10	Reserva					
<b>TOTAL</b>				8,900.00	0.82	7,290.00

A continuación, en la Figura 3.2, se muestra el diagrama unifilar respectivo del tablero estabilizado TD-EST. Donde se puede visualizar los circuitos eléctricos de las cargas sensibles del gimnasio, las cuales se deben proteger de las distorsiones producidas en la red eléctrica, la potencia instalada del tablero estabilizado es de 8.9 kW con una máxima demanda de 7.29 kW. Teniendo la máxima demanda del tablero estabilizado ya se puede estimar la potencia del transformador de aislamiento.



**Figura 3.2 Diagrama unifilar del tablero Estabilizado (TD-EST)**

### 3.2.2 Selección del transformador de aislamiento para el proyecto modelo

Determinando la Máxima Demanda de energía del tablero estabilizado (TD-EST), y debido a que dentro del proyecto se considera tener respaldo eléctrico mediante un equipo UPS, se dimensiona la potencia necesaria del UPS que se requerirá utilizando la ecuación 2.3:

$$P_{ups} = \frac{M.D}{0.8} \quad (3.1)$$

Dónde:

- P<sub>ups</sub>: Potencia del equipo UPS requerido (kVA)
- M.D: Máxima demanda de Potencia del tablero Estabilizado (kW)

En nuestro caso de estudio la M.D es igual a 7.29 kW, reemplazando los datos en la ecuación 3.1, tendremos que la potencia del equipo UPS es:

$$P_{ups} = 9.11 \text{ kVA}$$

Por lo tanto se escoge un UPS de 10kVA capacidad comercial.

Obteniendo la potencia P<sub>ups</sub> se dimensiona la potencia necesaria del transformador de aislamiento mediante la ecuación 2.4:

$$P_{ta} = \frac{P_{ups}}{F.C} \quad (3.2)$$

Dónde:

- P<sub>ta</sub>: Potencia del transformador de Aislamiento requerido (kVA)
- P<sub>ups</sub> = 10kVA
- F.C = 0.85

Reemplazando los datos en la ecuación 3.2, tendremos que la potencia del transformador de aislamiento es: P<sub>ta</sub> = 11.76kVA

Por lo tanto se escoge un transformador de aislamiento de 12 kVA capacidad comercial. Ya que en el proyecto contamos con filtrado de entrada opcional del UPS, solicitaremos un transformador de aislamiento de K-4 tomando de referencia la (Tabla 2.2).

El transformador de aislamiento a seleccionar debe ser del tipo seco, para instalaciones internas ya que cumple con lo siguiente;

- Dimensiones reducidas.
- No se requiere previsiones de aceite.
- Sus pérdidas en el núcleo y en los bobinados son generalmente menores:

Normas a consultar:

IEC 61558, IEC 60076-11

En el anexo D, se muestra el cuadro con las características proyectadas del transformador de aislamiento para el presente proyecto modelo.

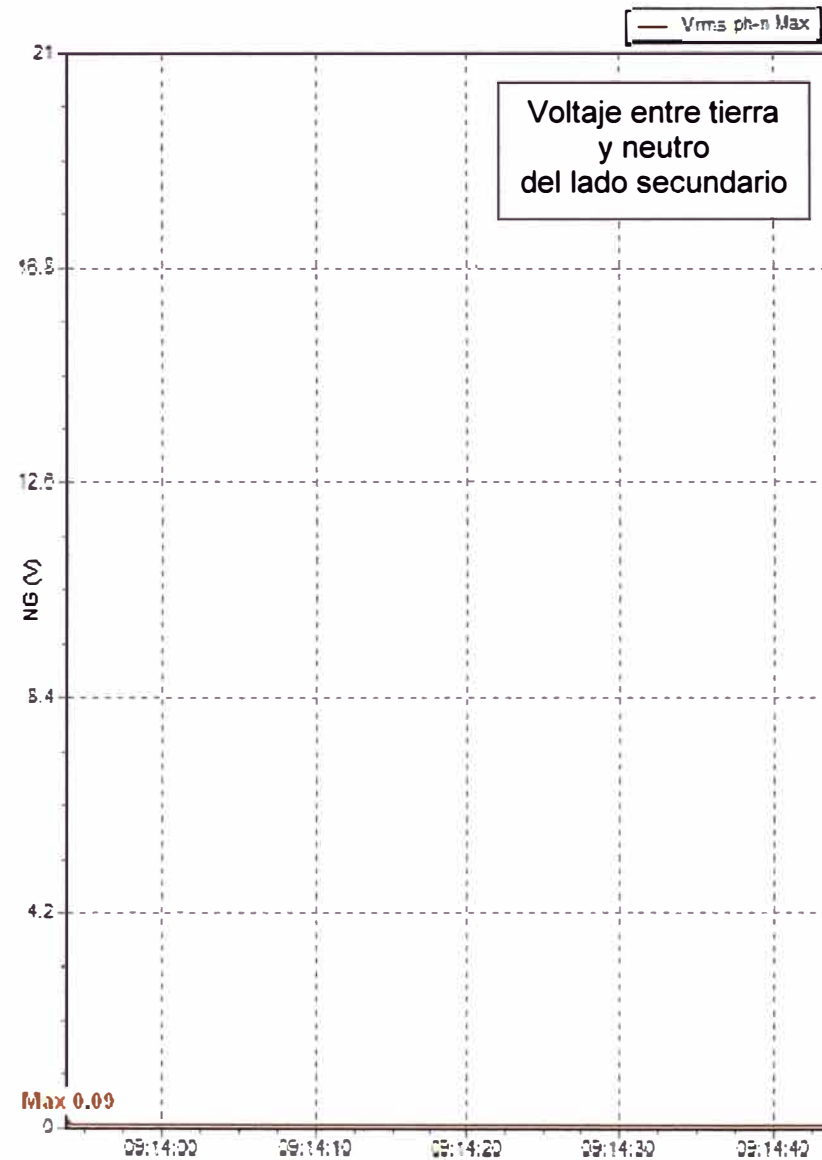
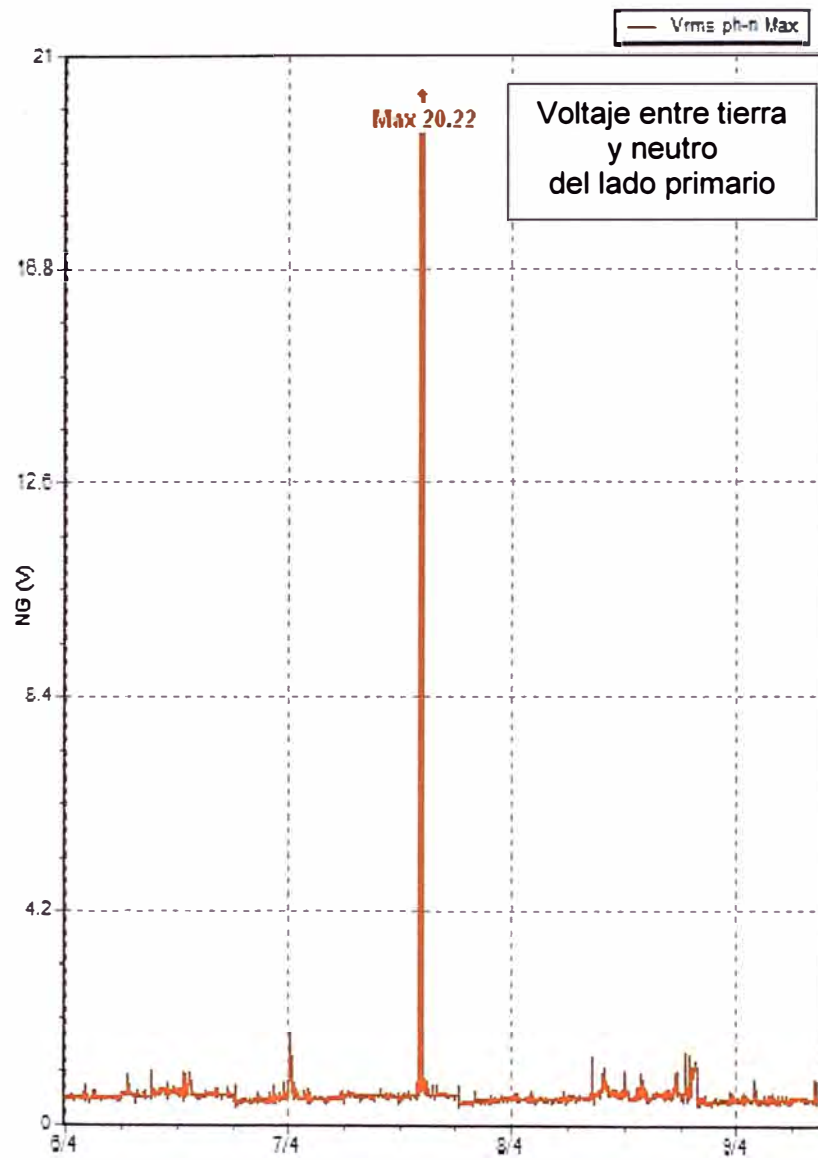


Figura 3.3 Contraste de ruido de voltaje en entrada vs. salida del transformador de aislamiento instalado (sección 3.3.1)



### **3.3 Equipos complementarios usados para el proyecto modelo**

Por lo ya visto, el proyecto contara con un equipo de respaldo que es el UPS de una capacidad de 10kVA, el cual entra a tallar en caso de cualquier emergencia como apagones, fallas internas que puedan dejar sin energía al tablero estabilizado del gimnasio (sub tablero TD-EST).

#### **3.3.1 Mejora**

Para comprobar los beneficios de la instalación de transformadores de aislamiento para la atenuación de ruidos eléctricos, se hizo una visita al gimnasio al concluir la etapa de ejecución del proyecto y utilizando un instrumento de análisis de sistemas eléctricos como el FLUKE 430-II, se tomó medidas del voltaje entre neutro y tierra de la entrada y la salida del transformador de aislamiento instalado.

En la Figura 3.3 se observa que se atenúa de forma pronunciada los ruidos de modo común existentes en el devanado primario aislando de dichos ruidos a la carga conectada en el lado del devanado secundario del transformador de aislamiento.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. El tablero estabilizado, suministra energía con bajo nivel de ruido común a los circuitos de carga sensible.
2. Debido a que el tablero estabilizado del caso de estudio cuenta con un equipo UPS de respaldo de energía, las cargas sensibles también son consideradas críticas, y en caso de corte de suministro eléctrico, dichas cargas operaran sin problemas el tiempo de autonomía que brinde el UPS.
3. Al conectar el neutro a tierra en la salida del transformador de aislamiento, hacemos que el neutro genere un punto de voltaje que tiende a CERO.
4. La atenuación de ruido común realizada por el transformador de aislamiento, hace que la carga del lado secundario este aislada de las demás cargas del sistema eléctrico del proyecto.

### Recomendaciones

1. Los centros comerciales brindan protección de pozo a tierra en niveles que están dentro del rango de 15 a 25  $\Omega$ , mejoraría la protección eléctrica y la calidad de la energía si la carga sensible tuviera un pozo a tierra menor a 5  $\Omega$ .
2. Se podría aumentar la autonomía del UPS, adicionando un banco de baterías externo.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

CA	Corriente Alterna.
CC	Corriente Continua
EMI	Interferencia Electromagnetica
RFI	Interferencia de Radiofrecuencia
ASD	Accionamiento de Velocidad (Adjustable-Speed Drive)
ESD	Descarga Electrostática
TVSS	Supresor de Sobretensión
SPD	Dispositivo de Protección Contra Sobretensiones
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos ( Institute of Electrical And Electronics Engineers )
MOV	Varistor de Oxido Metal
UPS	Sistema de Alimentación Ininterrumpida (Uninterruptible Power Supply)
NEC	Código Nacional Eléctrico de Estados Unidos
PT	Potencia de Transformador de Aislamiento
M.D	Máxima Demanda de Potencia
F.C	Factor de Correccion de Potencia
KVA	Kilovolt-amper ( Unidad de Medida de la Potencia Aparente )
KW	Kilowatt ( Unidad de Medida de la Potencia Activa )
dB	Decibel ( Unidad de medida del ruido )
CCTV	Circuito Cerrado de Televisión (Videovigilancia)
SM	Módulo suscriptor
TDMA	Time Division Multiplex Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TS	ETSI Technical Specification
VHF	Very High Frequency, es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.

**ANEXO B**  
**PLANO ELECTRICO DEL PROYECTO MODELO**

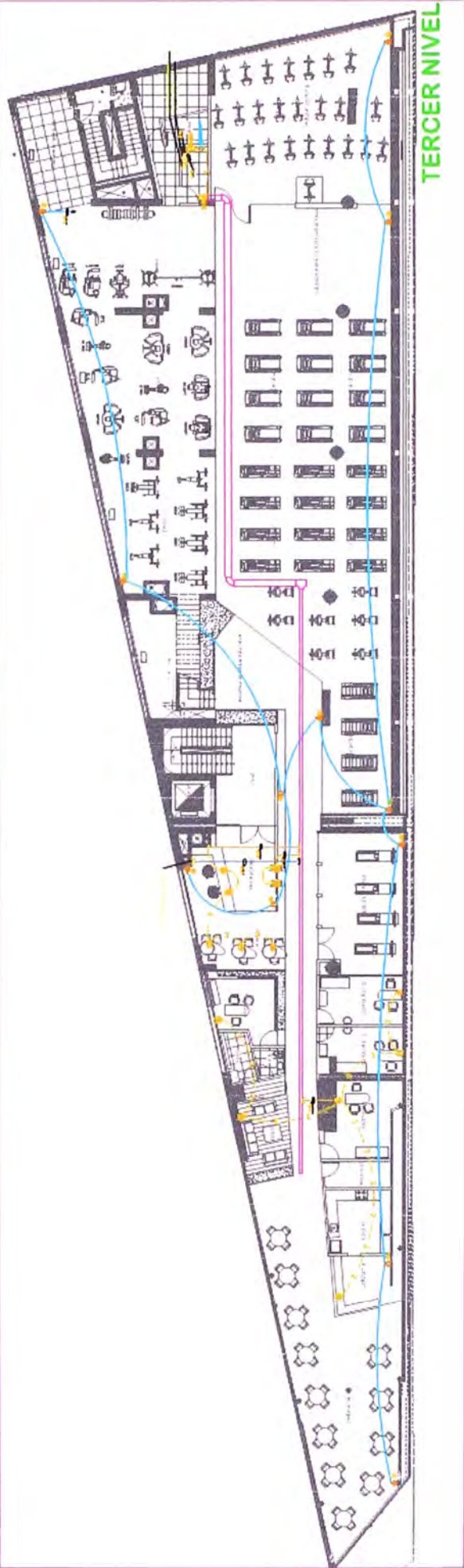
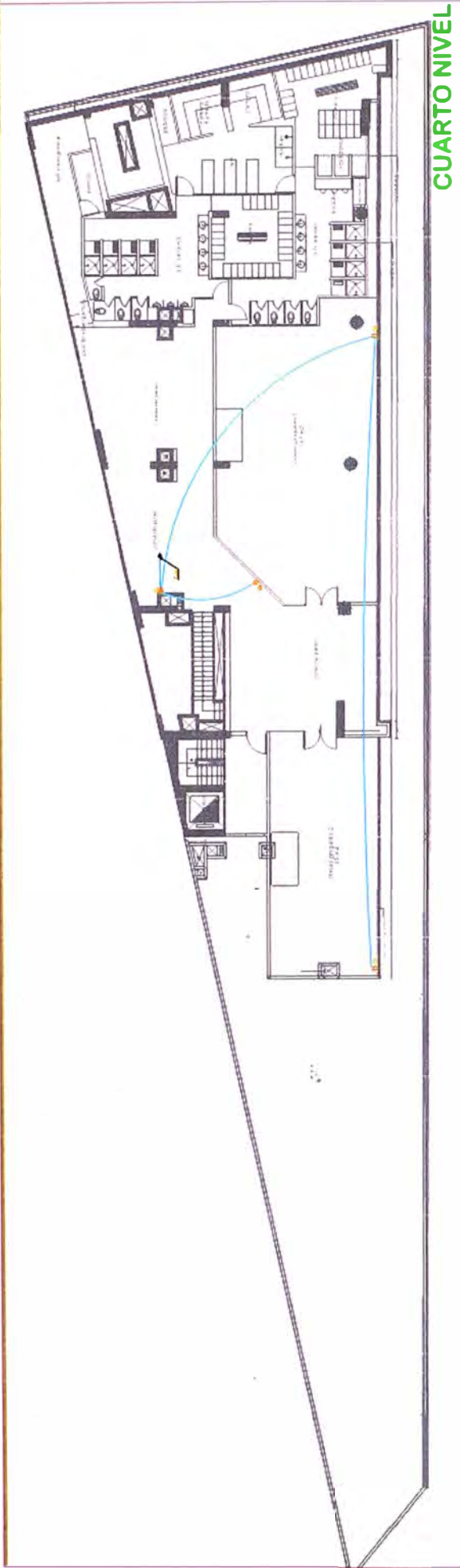
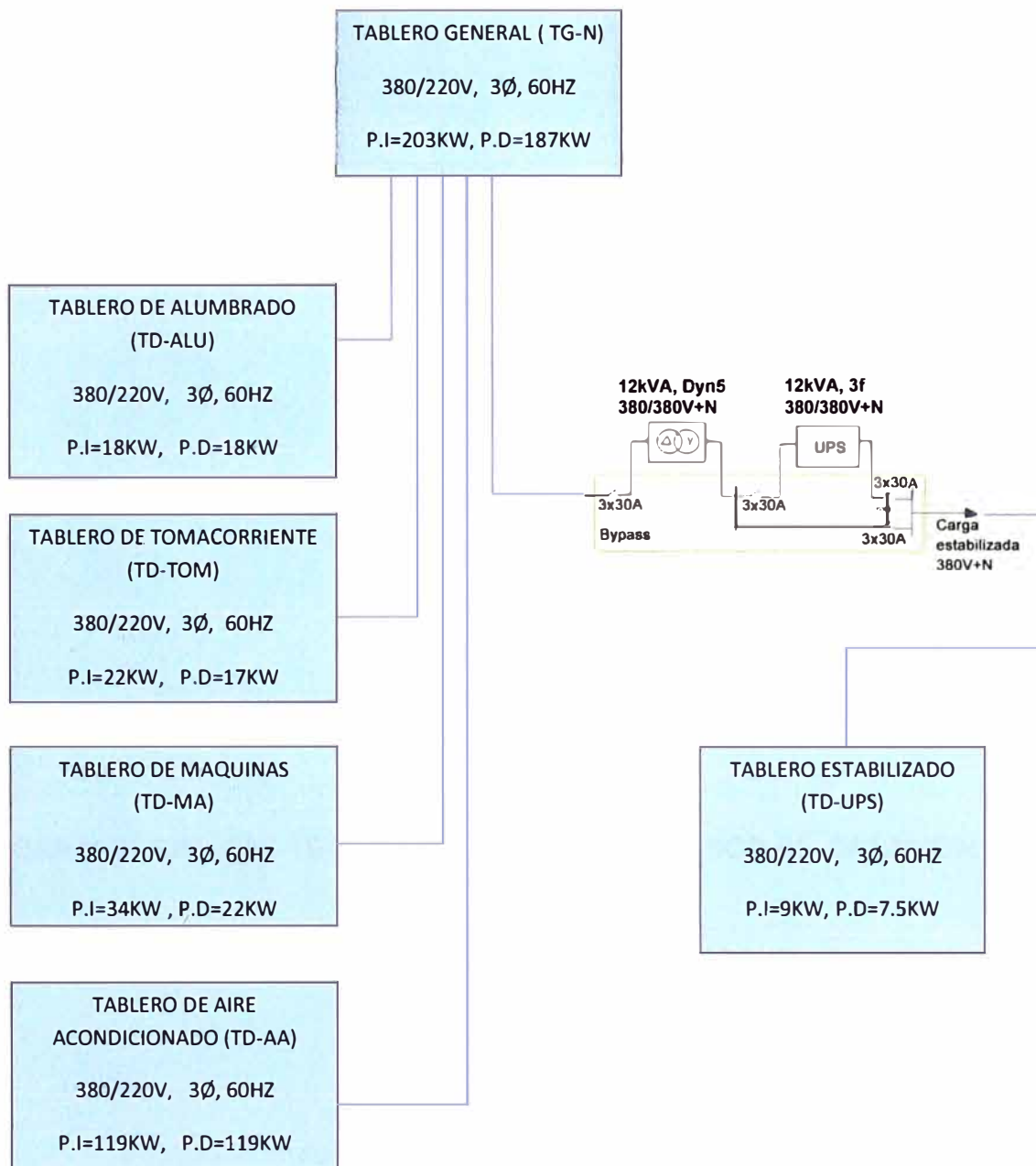


Figura B.1 Plano eléctrico del proyecto modelo

**ANEXO C**  
**ESQUEMA DE TABLEROS ELECTRICOS DE PROYECTO**



**Figura C.1 Esquema de tableros eléctricos señalando sus principales características**



**ANEXO D**  
**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO**

**Figura D.1 Características técnicas de transformador de Aislamiento**

Descripción	Transformador de Aislamiento
Potencia	12 kVA
Tensión Primario	Nominal 380 V
Tensión Secundario	Nominal 380/220 V
Frecuencia	60 Hz
Factor K	k-4
Tipo de Conexión	Dyn5
Tipo de Aislamiento	Seco
Fases	trifasico + neutro
Tipo de Montaje	Interior
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN</b>	
Temperatura	0-50°C
Humedad relativa	98% (Sin condensación)
Altura	0-1500 msnm
<b>ACCESORIOS</b>	
Borneras de Bakelita de entrada y de salida	
Placa de Características	
Gabinete metálico acabado en pintura al horno texturizada	

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Saucedo y J. Taxis, "Factores que afectan la calidad de la energía y su solución", Instituto Nacional Politécnico" Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional Adolfo López Mateos.
- [2] Joseph Seymour y Terry Horsley, "Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico". Informe Interno APC Schneider Electric. <http://www.apcmedia.com/>
- [3] Llamas, A., "Alimentación de cargas críticas y sensibles". Programa de Graduados en Ingeniería - Maestría en Ingeniería Eléctrica, ITESM Campus Monterrey. [http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/CEE/articulos/02.\\_Ali\\_Car\\_critic.pdf](http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/CEE/articulos/02._Ali_Car_critic.pdf)
- [4] Cervantes C, Mario, "Beneficios y Definición del Harmonic Magnetic Isolators", [http://www.secovi.com/files/transformadores/beneficios\\_hmi.pdf](http://www.secovi.com/files/transformadores/beneficios_hmi.pdf)
- [5] TCS Alarmas "Transformador de aislamiento", <http://www.tcsalarmasperu.com/imagenes/pdf/Cctv/Estabilizador%20-%20UPS/Transformador%20de%20Aislamiento.doc>
- [6] Aldo Agustín Zea Meléndez, "Mejoramiento del suministro de energía de una carga crítica mediante uso de transferencias de conmutación en baja tensión y grupos electrógenos". Informe de Suficiencia (FIEE-UNI), 2012.
- [7] Powerpic, "Notas Técnicas- "Importancia del "factor k" en transformadores", [powerpic.com.pe/boletines/3/archboletin.pdf](http://powerpic.com.pe/boletines/3/archboletin.pdf)