



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS  
DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

**Herman Edelberto Juárez Palacios**

Asesorado por el Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS  
DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**HERMAN EDELBERTO JUÁREZ PALACIOS**

ASESORADO POR EL ING. ARMANDO ALONSO RIVERA CARRILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

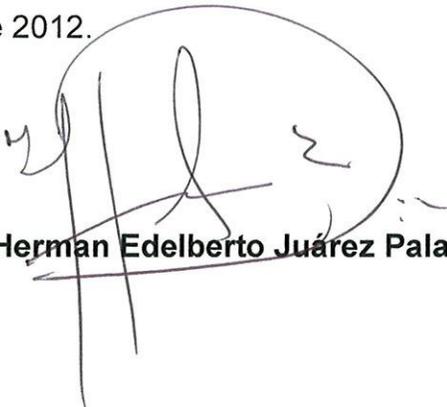
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica, con fecha 23 de abril de 2012.



**Herman Edelberto Juárez Palacios**

Guatemala 16 de Abril de 2013

Ingeniero  
Romeo Neftalí López Orozco  
Coordinador Área de Ciencias Básicas y Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero López.

Por medio de la presente me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado **“Estudio de Calidad de Energía en los Quirófanos de Adultos, Hospital General San Juan de Dios”** desarrollado por el señor **Herman Juárez Palacios**.

Puedo concluir que dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis, para lo cual me complace dar la aprobación respectiva e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente.

  
Ing. Armando Rivera Carrillo  
ASESOR  
Colegiado No. 4265

*Armando Alonso Rivera Carrillo*  
Ingeniero Electrónico  
Col. 4265



Ref. EIME 76. 2013  
Guatemala, 10 de SEPTIEMBRE 2013.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS  
DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS, del  
estudiante Herman Edelberto Juárez Palacios, que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Romeo Nestali López Orozco**  
Coordinador Área Electrotécnica



S/O



Guatemala, 14 de octubre de 2013.  
Ref.EPS.DOC.1117.10.13.

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Merck Cos.

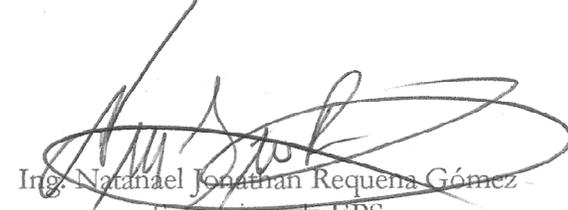
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Herman Edelberto Juárez Palacios** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **200212999**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS"**.

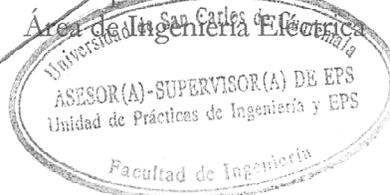
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Nataaniel Jonathán Requena Gómez  
Supervisor de EPS



c.c. Archivo  
NJRG/ra



Guatemala 14 de octubre de 2013.  
Ref.EPS.D.763.10.13.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**" que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Herman Edelberto Juárez Palacios**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS



JMC/ra



REF. EIME 76. 2013.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; HERMAN EDELBERTO JUÁREZ PALACIOS titulado: ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS, procede a la autorización del mismo.**

**Ing. Guillermo Antonio Puente Romero**



**GUATEMALA, 16 DE OCTUBRE 2,013.**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

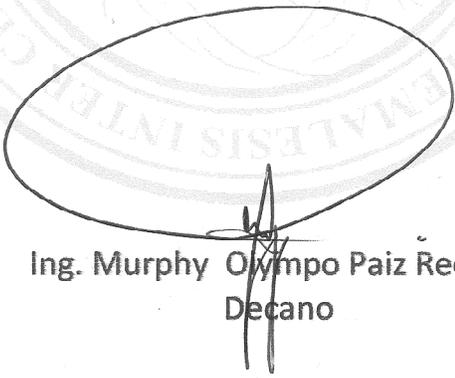


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 756.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS QUIRÓFANOS DE ADULTOS, HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS**, presentado por el estudiante universitario **Herman Edelberto Juárez Palacios**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 28 de octubre de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Gran arquitecto del universo** Por cuidar mis pasos en esta vida profana.
- Mis padres** Edelberto Leonel Juárez González (q.e.p.d) y Nidia Virginia Palacios de León, por darme la vida y la sabiduría con su ejemplo.
- Mi esposa** Cristel Gabriel Alpírez Velásquez, tu amor, comprensión y apoyo me hacen seguir adelante.
- Mis hijos** Para que este esfuerzo demuestre mi amor eterno hacia ustedes.
- Mis hermanos** Ingrid Lizeth y Jorge Leonel Juárez Palacios, por enseñarme el inmenso valor que tiene nuestra familia.
- A mis abuelos** Por sus oraciones y buenos consejos, los llevaré en mi mente por siempre.
- Mi familia y amigos** Porque siempre han estado allí cuando más los he necesitado, que Dios los bendiga.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por derramar sus bendiciones sobre mí y guiar mis pasos.
<b>Mis padres</b>	Por su paciencia y sobre todo por su apoyo incondicional.
<b>Mi esposa e hijos</b>	Por su gran amor.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios y darme la formación como profesional en cada una de sus aulas.
<b>Escuela Mecánica Eléctrica</b>	A cada uno de los profesionales que me impartieron sus conocimientos.
<b>Al pueblo de Guatemala</b>	Por brindarme una educación gratuita y de calidad, espero retribuir todo lo que he recibido.
<b>Área de Mantenimiento, Hospital General San Juan de Dios</b>	Por facilitarme los medios para poder realizar este trabajo, a todos los profesionales y el personal que aquí trabajan, los que me compartieron su experiencia y conocimientos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Antecedentes de la institución .....	1
1.1.1. Reseña histórica .....	1
1.1.2. Misión .....	3
1.1.3. Visión.....	3
1.1.4. Servicios que realiza.....	3
1.2. Descripción de las necesidades .....	8
1.3. Priorización de las necesidades .....	9
2. GENERALIDADES DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	11
2.1. Descripción del proyecto .....	11
2.1.1. Estudio de calidad de energía .....	11
2.1.2. Clasificación de las perturbaciones .....	12
2.1.2.1. Variaciones de frecuencia eléctrica .....	12
2.1.2.2. Variaciones de amplitud.....	12
2.1.2.3. Variaciones en la forma de onda .....	13
2.1.2.4. Asimetría o desequilibrio entre fases (en sistemas polifásicos).....	13

2.1.3.	Efectos de la calidad de energía en equipos.....	13
2.1.3.1.	Problemas de operación.....	14
2.1.3.2.	Daño de componentes .....	15
2.1.4.	Deficiencias en la calidad de la energía .....	15
2.1.4.1.	Interrupciones extensas .....	15
2.1.4.2.	Interrupciones momentáneas .....	16
2.1.4.3.	Depresiones de voltaje ( <i>sags</i> ) .....	16
2.1.4.4.	Sobrevoltajes temporales ( <i>swells</i> ).....	17
2.1.4.5.	Distorsión del sistema .....	18
2.1.4.6.	Impulsos y ruidos ( <i>surged and noise</i> )...	19
2.1.4.7.	Armónicos (THD, total harmonic distortion).....	20
2.1.4.8.	Variaciones de frecuencia .....	21
2.2.	Investigación preliminar para la solución del proyecto .....	22
2.2.1.	Selección del circuito a estudiar .....	22
2.2.2.	Objetivos de la medición .....	22
2.2.3.	Efecto en equipos por el tipo de disturbios.....	23
2.2.3.1.	Transitorios.....	23
2.2.3.2.	Variaciones de corta duración .....	24
2.2.3.2.1.	Interrupciones .....	25
2.2.3.2.2.	Caídas de tensión de corta duración ( <i>sags</i> ).....	25
2.2.3.2.3.	Subidas de tensión de corta duración ( <i>swells</i> ) ..	26
2.2.3.3.	Variaciones de larga duración .....	26
2.2.3.3.1.	Interrupciones sostenidas .....	27
2.2.3.3.2.	Caídas de voltaje sostenidas .....	27

2.2.3.4.	Desbalance de fases .....	28
2.2.3.5.	Distorsión de forma de onda.....	29
2.2.3.6.	Fluctuaciones de voltaje .....	29
2.2.3.7.	Variaciones de frecuencia eléctrica .....	30
2.2.4.	Configuración del medidor.....	31
2.2.5.	Mediciones efectuadas .....	32
2.2.5.1.	Mediciones básicas, valores obtenidos .....	32
2.2.5.2.	Mediciones avanzadas, valores obtenidos .....	34
2.2.5.3.	Porcentaje desbalances, valores obtenidos .....	35
2.2.5.4.	Demanda .....	35
2.2.5.5.	Distorsión armónica total (THD).....	37
2.2.5.6.	Espectro de voltaje armónico.....	38
2.2.5.7.	Espectro de corriente armónico .....	38
2.3.	Presentación de la solución del proyecto .....	39
2.3.1.	Determinación de los factores que afectan al circuito SM2-376.....	39
2.3.1.1.	Voltaje y corriente RMS .....	40
2.3.1.2.	Corrección del factor de potencia .....	43
2.3.1.3.	Transitorios .....	43
2.3.1.4.	Diagrama fasorial y desbalance de cargas.....	47
2.3.1.5.	Factor de carga.....	49
2.3.1.6.	Inspección física de los centros de carga.....	50
2.4.	Costos del proyecto .....	52

2.4.1.	Evaluación económica y cálculo de un sistema de compensación reactiva.....	52
2.4.2.	Evaluación económica y calculo de un sistema de potencia ininterrumpida (UPS) .....	54
2.4.3.	Costo del balance de cargas y renovación de tableros.....	55
2.4.4.	Sumatoria de los costos del proyecto.....	57
2.4.5.	Sumatoria de los montos por los beneficios del proyecto.....	57
2.4.6.	Relación beneficio / costo del proyecto .....	59
2.5.	Beneficios del proyecto .....	61
3.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	63
3.1.	Capacitación propuesta.....	63
3.1.1.	Detección de las necesidades de capacitación .....	63
3.1.2.	Definición de los objetivos de la capacitación .....	64
3.2.	Material elaborado.....	64
3.2.1.	Manual de Operación y Mantenimiento.....	65
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85
	APÉNDICES.....	87
	ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

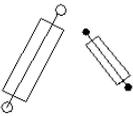
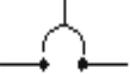
### FIGURAS

1.	Ejemplo de depresión de voltaje o <i>sags</i> .....	17
2.	Ejemplo de <i>swells</i> en la recuperación de un fallo en el sistema.....	18
3.	Ejemplo de una onda senoidal con ruido .....	20
4.	Ejemplo de una onda senoidal con armónicos .....	21
5.	Conexión de las puntas de prueba hacia el medidor.....	32
6.	Curvas del voltaje RMS.....	41
7.	Curvas de corriente RMS .....	42
8.	Potencia activa (W) y reactiva (VAr) del sistema.....	44
9.	Porcentaje de transitorios de voltaje diario.....	45
10.	Formas de onda de los transitorios de mayor magnitud.....	46
11.	Diagrama fasorial del sistema .....	47
12.	Diagrama unifilar del circuito SM2-376.....	51
13.	Pacientes egresados después de cirugía electiva.....	58
14.	Ilustración de macroshock.....	67
15.	Ilustración de microshock.....	68
16.	Ilustración de una distribución de cargas en una instalación eléctrica.....	76
17.	Ilustración del ejemplo para reacondicionamiento de cargas para balancear el sistema .....	79
18.	Ilustración del ejemplo para reacondicionamiento de cargas para balancear el sistema, logrando reducción menor al 5 % según norma .....	80

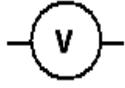
## TABLAS

I.	Servicios que presta el Hospital General San Juan de Dios.....	4
II.	Efecto de la deficiencia en la calidad de la energía en equipo médico .....	14
III.	Configuración del medidor Dranetz-BMI .....	31
IV.	Mediciones básicas obtenidas .....	33
V.	Mediciones avanzadas obtenidas .....	34
VI.	Porcentaje de desbalance obtenidos .....	35
VII.	Valores de demanda obtenidos .....	35
VIII.	Porcentaje de distorsión armónica obtenida .....	37
IX.	Valores del espectro de voltaje armónico por fase .....	38
X.	Valores del espectro de corriente armónico por fase.....	39
XI.	Características de los transformadores alimentados por SM2-376.....	50
XII.	Características de los tableros alimentados por SM2-376.....	56
XIII.	Sumario de los costos.....	57
XIV.	Beneficios y costos económicos del proyecto.....	59
XV.	Beneficios del proyecto.....	60
XVI.	Problemas de calidad típicamente encontrados en la red eléctrica, señalándose la relación del tipo de problema con el UPS que lo soporta .....	73
XVII.	Ejemplo de un cuadro de carga .....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios de corriente alterna
Ø	Abreviatura de la palabra fase
	Amperímetro
AVG	<i>Average</i> (Valor promedio)
2Ø	Bifásico, dos fases
$I_A$	Corriente de fase A
$I_B$	Corriente de fase B
$I_C$	Corriente de fase C
	Cortacircuitos, termomagnéticos
THD %	Distorsión armónica total en porcentaje
Fp, PF, fp, Cos $\theta$	Factor de potencia
	Interruptores
KVArh	Kilo voltamperios reactivos hora.
KVAr, KVAR	Kilo voltamperios reactivos, mil voltamperios reactivos.
KVA	Kilo voltamperios
KV	Kilo voltios
KWh	Kilovatios hora
KW	Kilovatios
$\theta$	Letra griega Theta para definir ángulos

<b>MWh</b>	Megavattios hora
<b>P</b>	Potencia activa o real
<b>Q</b>	Potencia reactiva
<b>RMS</b>	<i>Root mean square</i> (Media cuadrática)
<b>S</b>	Potencia aparente
	Tablero Normal
	Transformador con núcleo de hierro
<b>3Ø</b>	Trifásico, tres fases
<b>W</b>	Vatios ( <i>Watt</i> )
<b>Wh</b>	Vatios-hora
<b>V</b>	Voltios
<b>VAC</b>	Voltios de corriente alterna
<b>VDC</b>	Voltaje de corriente directa
<b>V<sub>F</sub></b>	Voltaje de fase
<b>V<sub>L</sub></b>	Voltaje de línea
<b>V<sub>AB</sub></b>	Voltaje entre las fases A y B
<b>V<sub>BC</sub></b>	Voltaje entre las fases B y C
<b>V<sub>CA</sub></b>	Voltaje entre las fases C y A
<b>V<sub>n</sub></b>	Voltaje nominal
<b>V<sub>n</sub><sup>2</sup></b>	Voltaje nominal al cuadrado
<b>V<sub>RMS</sub></b>	Voltaje RMS o efectivo
<b>VAh</b>	Voltamperios hora
<b>VArh</b>	Voltamperios reactivos hora, unidad de energía reactiva.
<b>VA<sub>r</sub>, VAR</b>	Voltamperios reactivos, unidad de potencia reactiva
<b>VA</b>	Voltamperios, unidad de potencia aparente



Voltímetro



## GLOSARIO

<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista
<b>Amperímetro de gancho</b>	Equipo de medición de corriente alterna. Posee un núcleo abierto en forma de gancho para poder introducir un conductor dentro del mismo.
<b>Amperio</b>	Unidad básica de medida de corriente o intensidad
<b>AWG</b>	<i>American Wire Gauge</i> (Calibres americanos para conductores)
<b>Bobina</b>	Arrollamiento de un conductor a lo largo de una trayectoria abierta o cerrada que envuelve a un núcleo. El núcleo puede ser de un material ferro magnético o simplemente aire.
<b>Capacitancia</b>	Su unidad básica es el Faraday [F] y se obtiene de las características físicas de construcción de un capacitor.
<b>Capacitor</b>	Dispositivo formado por dos placas conductoras separadas por un dieléctrico entre sí. El valor de su capacitancia depende de la geometría o configuración física entre ambas placas o conductores y del tipo de dieléctrico entre ellas.

<b>Carga lineal</b>	Impedancia que no posee reactancia inductiva o capacitiva.
<b>Carga no lineal</b>	Impedancia que posee reactancia inductiva, capacitiva o ambas.
<b>Conductor eléctrico</b>	Materia cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja.
<b>Corriente</b>	Intensidad en Amperios [A] que pasa por un conductor.
<b>CT's</b>	Transformador de medida de corriente o intensidad
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
<b>HOSPIGEN</b>	Hospital General San Juan de Dios
<b>Hz</b>	Hertzio, unidad de medida de la frecuencia eléctrica
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
<b>Impedancia</b>	Es la razón del voltaje fasorial a la corriente fasorial, se simboliza con la letra Z. Posee una componente resistiva o resistencia y una componente reactiva o reactancia. En forma rectangular $Z = R+jX$

<b>Inductancia</b>	Su unidad básica es el Henry [H] y se obtiene de la forma o características físicas de construcción de una bobina o inductor.
<b>MCM</b>	Mils Circulares, unidad de área de sección circular de cables.
<b>NTSD</b>	Normas Técnicas del Servicio de Distribución
<b>Perfil de carga</b>	Valores de potencia activa, reactiva y aparente representados con una curva en función del tiempo.
<b>Potencia aparente</b>	Potencia total consumida por una carga no lineal o impedancia. Su unidad básica es el VA o voltamperios. Es la suma vectorial de las componentes de potencia real y potencia reactiva. Su unidad básica es el VAR.
<b>Potencia reactiva</b>	Esta potencia no se consume ni se genera y en circuitos lineales solo aparece cuando existen bobinas o condensadores. Es toda aquella potencia desarrollada en circuitos inductivos o capacitivos.
<b>Potencia real</b>	Potencia consumida por una resistencia, impedancia sin reactancia o carga lineal, se mide en vatios o <i>watts</i> .
<b>PowerVisa™</b>	Equipo de medición de calidad de energía
<b>PT's</b>	Transformador de medida de voltaje o tensión

<b>Reactancia capacitiva</b>	Componente de una impedancia que se opone a cambios de voltaje variable o alterno, su razón de cambio es inversamente proporcional a la frecuencia y a la capacitancia. Se mide en Ohmios.
<b>Reactancia inductiva</b>	Componente de una impedancia que se opone al flujo de corriente variable o alterna, su razón de cambio es directamente proporcional a la frecuencia y a la inductancia. Se mide en Ohmios.
<b>Registro</b>	Dato guardado de la medición de un parámetro durante un intervalo de tiempo.
<b>Transformador</b>	Conjunto de bobinas que interconectadas comparten un flujo magnético dentro de su núcleo y dependiendo de su forma de conexión entregan o transfieren la potencia que reciben en diferentes valores de voltaje y corriente. La potencia nominal que puede entregar se mide regularmente en KVA o MVA para transformadores de distribución y de VA para transformadores de medición.
<b>UPS</b>	Sistema de Potencia ininterrumpido
<b>Vatio, <i>Watt</i></b>	Unidad de medida de potencia real
<b>Voltaje</b>	Diferencia de tensión en voltios [V] entre dos puntos de un circuito.
<b>Voltímetro</b>	Equipo de medición de voltaje directo, alterno o ambos

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de graduación se realiza un estudio de calidad de energía del circuito SM2-376, que alimenta los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios, incluyendo en el mismo los datos obtenidos en dicho estudio y la comparación con los parámetros normalizados en el estándar IEEE 1159, de esta manera se presenta un estudio que permite tomar decisiones para la mejora del rendimiento económico y eléctrico del circuito bajo análisis.

En el primer capítulo se conoce la historia del Hospital General San Juan de Dios, desde su fundación en 1630 en la ciudad de Santiago de Los Caballeros de Guatemala, hasta la ubicación en sus actuales instalaciones a principio de 1981 después que el terremoto de 1976 dañara sus instalaciones.

El segundo capítulo presenta los principales disturbios que pueden afectar a un circuito eléctrico, así como los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas y el análisis de estos parámetros, con lo que se presentan las medidas más eficientes para contrarrestar los efectos no deseados y el cálculo del costo de este proyecto.

Por último se determinan las necesidades de capacitación que demanda el personal que labora en el Departamento de Mantenimiento del Hospital General, diseñando para esto, un Manual de operación y mantenimiento de los equipos instalados.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un estudio de calidad de energía en el circuito SM2-376, que alimenta los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios, con el fin de identificar las deficiencias y proponer las mejoras mediante acciones correctivas y preventivas.

## Específicos

1. Detectar las perturbaciones que afectan al sistema.
2. Caracterizar estos parámetros y determinar los niveles que alcanzan con el fin de corregirlos eficientemente.
3. Analizar los parámetros medidos y sugerir la mejor solución desde el punto de vista técnico y económico.
4. Mostrar que el proyecto es viable económicamente y que genera beneficios para la institución.



## INTRODUCCIÓN

Un estudio de calidad de energía pretende recabar información con la que se pueden reconocer los problemas que afectan el suministro eléctrico en un circuito determinado, buscando con esto, la corrección eficiente de los problemas detectados; la calidad de energía está delimitada por cuatro parámetros fundamentales: frecuencia, amplitud, forma de onda y la asimetría, lo último en sistemas polifásicos.

Este estudio se basa en la norma IEEE 1159, Practicas Recomendadas para el Monitoreo de la Calidad de Energía, esta define la temática para monitorear la calidad de energía en un circuito eléctrico, los niveles aceptables de las mediciones realizadas, las razones por la que estos parámetros salen de los niveles aceptables, procedimientos para la obtención de las mediciones y consejos para la solución eficiente de las posibles perturbaciones que se puedan encontrar.

Con la obtención de los parámetros dentro del circuito, se procede a analizarlos, confrontándolos con los niveles descritos en la norma; además de la determinación de los parámetros del circuito, también es necesario calcular el equipo y la determinación de las acciones a realizar con el fin de mitigar o eliminar las perturbaciones presentes, haciendo el análisis económico para mostrar que este proyecto es viable y genera beneficios para la institución.

Todo esto con el fin de tener un sistema robusto y eficiente que resulte confiable tanto para los operarios, como para los pacientes que hace uso de los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios.



# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Antecedentes de la institución**

Desde que inicio en la época de la colonia, el Hospital General San Juan de Dios, se ha erigido como una de las instituciones que mayor presencia tiene en el cuidado de la salud integral de los guatemaltecos, con el traslado al valle de La Ermita en 1778 y posterior ubicación en las actuales instalaciones, a principio de los años ochenta, este hospital ha brindado sin descanso los servicios gratuitos de Consulta Externa de Adultos, Pediatría, Ginecología y Obstetricia, Emergencia de Adultos, Pediatría y Maternidad, Intensivo de Adultos y Pediatría, Encamamiento de Adultos, Pediatría y Maternidad, Banco de Sangre, Banco de Leche Humana, Laboratorio Clínico, Cardiología, Terapia Física, Hemodiálisis, Urología, Endoscopia, Neurología, Otorrinolaringología, Estomatología, en entre otras, atendiendo a más de mil pacientes diariamente, realizando más de doscientos procedimientos quirúrgicos mensuales, en los catorce quirófanos de adultos, cuatro quirófanos de pediatría, Hospital de Día, quirófano de Séptico y Cuartos de Shock con los que cuenta este hospital, lo que hace que sea una de los hospitales más completos y con mayor capacidad de Guatemala.

### **1.1.1. Reseña histórica**

En 1630, procedentes de México arribaron a la muy noble y muy leal ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala, hermanos hospitalarios de la Orden San Juan de Dios, bajo la dirección del padre fray Carlos Cívico de la

Cerda, así como otros religiosos, el objetivo fue presentar la solicitud de administrar el hospital de la ciudad.

A la solicitud se acompañó no sólo la promesa de asistir a enfermos y la atención del hospital, sino la de cumplir con lo dispuesto por el rey de España en 1632, de tratar con servicios médicos a los habitantes de América, como a españoles.

La devastación causada por los terremotos de Santa Marta en los años 1773 y 1774 en Santiago de los Caballeros, en el valle de Panchoy la destruyó del sitio como capital, cedido a la Nueva Guatemala de la Asunción, en el valle de la Ermita.

El Hospital General San Juan de Dios fue puesto al servicio público en octubre de 1778, no se sabe con certeza el día que esto ocurrió, pero a través de la historia se ha celebrado el 24 de octubre, día de San Rafael Arcángel, patrono desde entonces, como fecha de aniversario.

Los primeros profesionales de la medicina en atender en la nueva capital fueron, don Toribio Carvajal, cirujano y don Mariano Rodríguez del Valle, este último llegó a ser sustituido por el doctor José Felipe Flores. También se puede mencionar a los doctores Manuel Vásquez de Molina, Joseph Antonio de Córdova, Juan Antonio Ruiz de Bustamante, Manuel de Merlo, Alonzo de Carriola y Francisco Deplanquez.

Ya en el siglo XX y debido al terremoto del 4 de febrero de 1976, el hospital se vio en la necesidad de trasladar algunas de las áreas de atención médica al Parque de la Industria, en la zona 9 capitalina. Las atenciones

trasladadas fueron: Emergencia, Ginecología y Obstetricia, Medicina, Pediatría y Traumatología, entre otras.

Fue en 1981 que se trasladó el Hospital a las actuales instalaciones, en la zona 1, de la ciudad de Guatemala.

### **1.1.2. Misión**

“Somos un Hospital General, docente asistencial, de referencia y de cobertura nacional, dependencia del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, responsable de brindar atención integral, mediante la promoción de la salud, prevención de enfermedades, recuperación y rehabilitación de usuarias y usuarios, contando con recurso humano calificado y tecnología moderna para el mejoramiento de la calidad de vida”

### **1.1.3. Visión**

“Ser el hospital líder a nivel nacional, comprometido a brindar atención especializada e integral de servicios de salud, mediante un sistema certificado de gestión de calidad apoyado con personal calificado, tecnología moderna y pertinente, orientada a satisfacer las necesidades y expectativas de usuarias y usuarios”

### **1.1.4. Servicios que realiza**

En su calidad de hospital general, este centro asistencial aglomera una variada y amplia lista de especialidades a todos los pacientes que acuden a sus instalaciones, las que se describen en la tabla I.

Tabla I. **Servicios que presta el Hospital General San Juan de Dios**

Hospitalización Adultos	
Medicinas	No. Camas
Medicina de hombres	80
Medicina de mujeres	80
Cardiología	24
Hematología-Oncología	--
Neurología	--
Nefrología	16
Cirugías	No. Camas
Cirugía de hombres	64
Cirugía de mujeres	64
Cirugía de tórax	5
Cirugía de emergencia	27
Cirugía ambulatoria	--
Cirugía plástica	--
Cirugía maxilofacial	8
Oftalmología	12
Otorrinolaringología	12
Neurocirugía	32
Urología	32
Trasplante renal	--
Traumatología de hombres	32
Traumatología de mujeres	30
Cuidados Intensivos	No. Camas
Cuidados intensivos	6
Cuidados intermedios	6
Cuidados coronarios	6
Cuidados progresivos	8
Observaciones	No. Camas
Observación de medicina	4
Observación de cirugía	4
<b>SUB TOTAL</b>	<b>552</b>

Continuación de la tabla I.

Hospitalización Pediatría	
Medicina Pediátrica	No. Camas
Medicina pediátrica	32
Cunas	32
Gastroenterología	24
Hematología	12
Nefrología	7
Cirugía Pediátrica	No. Camas
Cirugía pediátrica	20
Cirugía plástica	3
Neurocirugía	5
Oftalmología	2
Traumatología	25
Sala de quemados	12
Otorrinolaringología	2
Cuidados Intensivos de Pediatría	No. Camas
Cuidados intensivos	12
Cuidados Intermedios	6
Neonatología	50
Observación de Pediatría	No. Camas
Observación de medicina	11
Observación de cirugía	6
SUB TOTAL	261
Hospitalización Gineco-Obstetricia	No. Camas
Ginecología	16
Post parto	34
Séptico	20
Complicaciones prenatales	18
Alto riesgo obstétrico	3
Hospital de día	8
SUBTOTAL	99
TOTAL DE CAMAS	912

Continuación de la tabla I.

EMERGENCIAS
Emergencias de Adultos
Medicina Cirugía Traumatología Terapia respiratoria
Emergencias de Pediatría
Medicina Cirugía Traumatología Terapia respiratoria
Emergencia de Gineco-Obstetricia
Ginecología Obstetricia
CONSULTAS EXTERNAS
Clínicas de Adultos
Medicina Interna Cardiología Diabetes Epilepsia Espalda baja dolorosa Obesidad Cirugía general Cirugía cardiovascular Cirugía ambulatoria Cirugía plástica Colon y recto Cefalea Traumatología Neurocirugía Nutrición Psicología Ulceras Dermatología Endocrinología Gastroenterología

Continuación de la tabla I.

Hematología Infectología Maxilofacial Nefrología Neumología Neurología Neuropsicología Oftalmología Otorrinolaringología Estomatología (odontología) Reumatología Urología
Clínicas de Pediatría
Gastroenterología Genética Ginecología de adolescentes Hematología-Oncología Infectología  Modelo de atención integral al adolescente Nefrología Neumología Neurología Neurocirugía Psicología Psiquiatría Reumatología Traumatología Urología Medicina general del adolescente

Continuación de la tabla I.

Clínicas de Ginecología y Obstetricia
Ginecología
Obstetricia
Video diagnóstico
Endocrinología
Planificación familiar
Evaluación pre y post operatoria
Colposcopia
Post operadas
Cono-letz
Crio-terapias
Papanicolaou
Alto riesgo obstétrico
Cistoscopia
Post legrado
Uro ginecología

Fuente: <http://hospitalsanjuandedios.gob.gt/paginas.asp?id=1294&clc=236>.

Consulta: agosto de 2012.

## 1.2. Descripción de las necesidades

Un sistema hospitalario es uno de los más completos desde el punto de vista industrial; empezando por la distribución de gases médicos, la generación de vapor por medio de calderas piro-tubulares, hasta la generación de energía eléctrica por medio de plantas eléctricas; es una sinergia de actividades enfocadas al restablecimiento de la salud de personas.

Dentro de las prioridades esta la calidad del servicio de energía eléctrica, derivado a que un alto porcentaje de los procedimientos quirúrgicos y otros, necesarios para preservar la vida de los pacientes, dependen de una equipo conectado a la red eléctrica, es por esto que resulta importante la

monitorización del sistema eléctrico el cual, como un paciente enfermo, necesita una serie de estudios para corregir cualquier situación que perturbe el buen funcionamiento.

Desde hace varios años se ha detectado que los circuitos derivados del transformador del que se alimentan los quirófanos de adultos, sufren severas perturbaciones, sin encontrar registro alguno de un estudio de calidad de energía previo, lo que ha desatado una serie de problemas en los equipos allí conectados, sin contar los pacientes que se han visto afectados por estas perturbaciones, lo que genera la necesidad de encontrar la solución más apropiada y eficiente para revertir los efectos de este mal funcionamiento del sistema.

### **1.3. Priorización de las necesidades**

El Hospital General San Juan de Dios siendo una dependencia del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, se encuentra inmerso en un abandono de las instalaciones y aunque recibe un presupuesto que se fija a principio de cada año por el Ministerio de Salud, la mayor parte de este se enfoca a la cobertura de medicamentos e insumos necesarios para el cuidado de pacientes, descuidando el mantenimiento del sistema hospitalario, lo que agrava el deterioro de las instalaciones y de todos los equipos que allí funcionan, aumentando el riesgo de accidentes y propiciando la falla de equipo vital para la supervivencia de los pacientes, este estudio busca dar una solución precisa a las perturbaciones del sistema eléctrico, que se adapte a las necesidades que demanda el hospital y que al mismo tiempo sea económicamente viable para la institución.



## **2. GENERALIDADES DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA**

### **2.1. Descripción del proyecto**

El proyecto está enfocado en la medición de los parámetros de calidad de energía en el circuito SM2-376, que alimenta los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios.

#### **2.1.1. Estudio de calidad de energía**

La necesidad de proporcionar energía confiable, a una tensión y frecuencia constante, ha sido reconocida desde el inicio del auge de la industrialización eléctrica. Sin embargo, la realidad en el sistema de potencia, es que las perturbaciones son inevitables. Estas perturbaciones en la calidad de la potencia entregada pueden ocurrir durante el funcionamiento normal del sistema de energía eléctrica (como la conmutación de un dispositivo de corrección del factor de potencia) o durante eventos anormales (como despejar un corto circuito). Estos dos escenarios pueden causar malentendidos (en el mejor de los casos) o desencadenar grandes conflictos (en el peor de los casos) entre los proveedores, fabricantes y los usuarios finales el cual conecta equipos muy susceptibles a estas perturbaciones.

Uno de los objetivos de los estudios de calidad de energía es recabar información con la cual se podrán reconocer estos problemas (*sag*, *swell*, bajo factor de potencia, sobre voltajes, sobre corrientes, etc) esta información podría servir al usuario final para alargar la vida útil del equipo conectado, al fabricante

para diseñar equipos y hacerlos más robustos, o al proveedor de energía, para actuar antes que dichas perturbaciones afecten al usuario, en pocas palabras, seleccionar las medidas más eficientes para evitar o corregir las perturbaciones presentes.

### **2.1.2. Clasificación de las perturbaciones**

La calidad de la energía está delimitada por los cuatro parámetros generales: frecuencia, amplitud, forma de onda, y la simetría (en sistemas polifásicos); los cuales pueden servir como una referencia para clasificar las perturbaciones de tensión y de potencia en función del impacto sobre la calidad de la onda sinusoidal de voltaje normal que debe presentar el sistema. Una breve descripción se da a continuación evaluando el impacto en cargas sensibles.

#### **2.1.2.1. Variaciones de frecuencia eléctrica**

Estas son mínimas en los sistemas de potencia pero se presentan cuando los sistemas de generación experimentan variaciones de carga muy grande, debido a fallas críticas en el funcionamiento del equipo conectado.

#### **2.1.2.2. Variaciones de amplitud**

Se puede presentar de varias formas, ésta descripción está íntimamente ligada a la duración, incluso en tiempos de duración extremadamente pequeños, en condiciones de estado estacionario, lo que hace difícil la descripción y definición. Las causas y efectos requerirán una descripción más profunda para comprender y definir una solución adecuada.

### **2.1.2.3. Variaciones en la forma de onda**

Estas se producen cuando existen cargas no lineales las cuales dibujan una corriente que no es sinusoidal pura. También se podría describir una variación de la amplitud como la variación de formas de onda momentánea, pero al final, el significado del término se da por una variación constante de la forma de onda, que dura al menos varios ciclos. Este tipo de perturbación se puede describir como la distorsión armónica, ya que es fácil analizar como la superposición de los armónicos a la frecuencia nominal del sistema de potencia.

### **2.1.2.4. Asimetría o desequilibrio entre fases (en sistemas polifásicos)**

Se produce cuando cargas monofásicas desiguales, están conectadas a sistemas de más de una fase y causan una pérdida de simetría entre ellas. Este tipo de perturbaciones afectan principalmente a las máquinas rotativas y rectificadoras trifásicas, siendo importante para los diseñadores y usuarios de máquinas rotativas, tomar en cuenta los efectos. Se describe habitualmente por el porcentaje en el cual una fase de tensión difiere de la media de los tres. Una definición detallada de las diversas medidas de la tensión y la calidad de la energía por la magnitud, duración y contenido espectral se proporciona en el estándar IEEE 1159-1995.

### **2.1.3. Efectos de la calidad de energía en equipos**

Existen dos grandes categorías de cómo la deficiencia en la calidad de energía puede afectar a los equipos de consumo eléctrico

### 2.1.3.1. Problemas de operación

Puede poseer un rango desde la desprogramación de computadores operados por microprocesador hasta desconectar arrancadores de motores. Los efectos del mal funcionamiento de equipo tienen consecuencias diferentes dependiendo de la susceptibilidad del mismo. En hospitales, por ejemplo, se utiliza una variedad de equipos sofisticados. La tabla II muestra diferentes equipos médico-hospitalarios y el efecto de la deficiencia en la calidad de la energía.

Tabla II. **Efecto de la deficiencia en la calidad de la energía en equipo médico**

<b>Carga sensible</b>	<b>Probables resultados por deficiencia en calidad de energía</b>
Sistemas de monitoreo de pacientes	Tendencia incorrecta de análisis o falsa alarma. Pérdida de tiempo para restablecer funcionamiento. Pérdida de datos, descalibración y desprogramación de parámetros.
Equipo de laboratorio y analizador de gases arteriales	Dependiendo de la complejidad, puede resultar en una extensa reprogramación y pérdida de tiempo para poner en marcha nuevamente el equipo.
Contador de células sanguíneas	Apagado automático por autoprotección, con lo que se interrumpe o atrasa la corrida de pruebas
Monitoreo nuclear	Interrupción de la prueba e inhabilidad de rehacer la prueba debido al límite de exposición a la radiación de los pacientes.
Rayos X y ultrasonografía	Varía desde no tener ningún efecto hasta detenerse dependiendo de la susceptibilidad del equipo.
Sistemas de información hospitalaria y planta telefónica	Computadores típicamente sujetos a interrupciones, resultando con restauración a un estado inicial, pérdida de tiempo por reprogramación y pérdida de memoria de acceso aleatorio

Fuente: ELGUETA RUÍZ, Gustavo Roberto. Determinación de factores que causan caídas de tensión en el Hospital General San Juan de Dios. p. 96.

### **2.1.3.2. Daño de componentes**

El daño de componentes los pueden provocar impulsos generados por descargas electroatmosféricas. Esto es causado en forma usual cuando la energía inyectada por medio del impulso causa la ruptura del dieléctrico de los componentes de un circuito. Al igual que los anteriores, los impulsos de otras fuentes como la conexión de circuitos o bien grandes cargas pueden resultar con el mismo daño. También, la electricidad estática puede causar daños severos en los componentes.

### **2.1.4. Deficiencias en la calidad de la energía**

El instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) elaboró el estándar IEEE Std. 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (Prácticas Recomendadas para el Monitoreo de la Calidad de la Potencia Eléctrica). Esta normativa se desarrolló a partir de la dificultad en la comparación de los resultados obtenidos por los investigadores que utilizan diferentes instrumentos cuando se trata de caracterizar los parámetros de calidad dentro de los sistemas de baja tensión, promoviendo una mayor uniformidad en los principios operativos, las técnicas de aplicación de los instrumentos de monitorización y por supuesto la interpretación de los resultados, para lo cual describe las siguientes perturbaciones.

#### **2.1.4.1. Interrupciones extensas**

Las interrupciones extensas son las perturbaciones más reconocidas, estas son usualmente el resultado de fallas eléctricas permanentes. El suplidor de la energía eléctrica diseña el sistema de transmisión y distribución para aislar las fallas permanentes, y con ello ubicar los cortes de energía extensos

en la menor área práctica posible. Se caracteriza por una pérdida total de voltaje que puede durar desde 30 ciclos hasta varias horas (en algunos casos hasta días). La mayor parte de este tipo de interrupciones se debe mayormente a que actúan interruptores automáticos o fusibles para aislar las fallas. Este tipo de interrupciones se pueden clasificar como interrupciones permanentes.

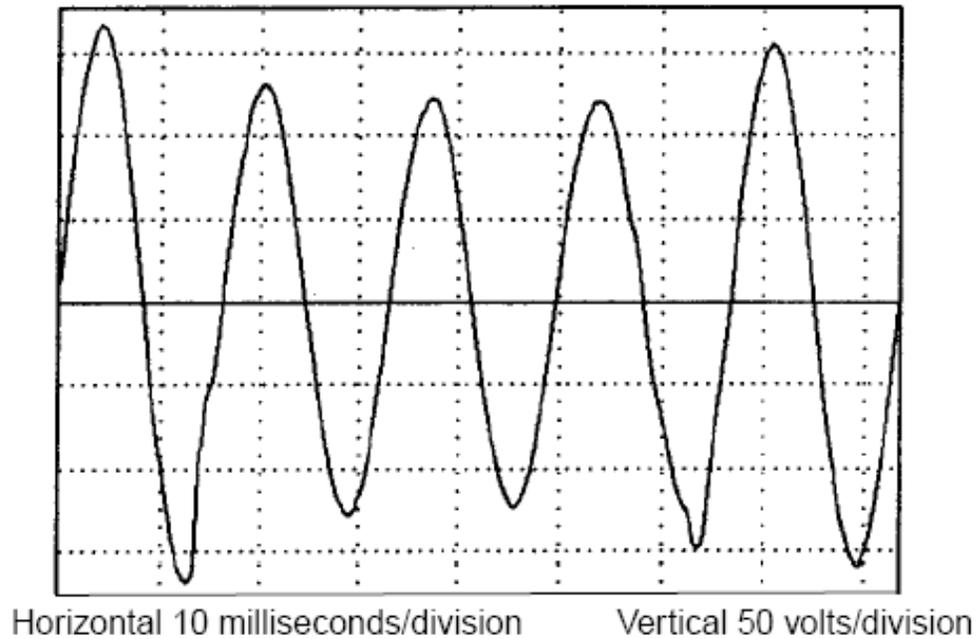
#### **2.1.4.2. Interrupciones momentáneas**

Son pérdidas totales de voltaje en forma temporal, es causada en la mayor parte de las veces por la operación de dispositivos automáticos de protección de sobrecorriente. Muchas de las fallas de los circuitos de distribución son temporales por naturaleza, así como la rama de un árbol cae sobre una línea o líneas que tienen contacto entre sí por la acción del viento, etc. Los *reclosers* reconectores o disyuntores, interrumpen brevemente la corriente de falla, generada por estas condiciones temporales, con un dispositivo liberador de fallas. Este puede liberar la falla temporal sin dañar equipos o conductores del circuito. Esta acción es vista por los usuarios como un parpadeo de la iluminación.

#### **2.1.4.3. Depresiones de voltaje (*sags*)**

Las depresiones de voltaje llamadas *sags* son niveles de voltaje menores al voltaje nominal por períodos menores o iguales a dos segundos como lo ilustra la figura 1. Estas pueden ser el resultado de grandes cargas como motores o soldaduras eléctricas conectadas en el mismo circuito, colapso de voltaje de barra del circuito de distribución o debido al arranque de motores, fallas eléctricas en otros circuitos alimentados por el mismo proveedor.

Figura 1. **Ejemplo de depresión de voltaje o sags**



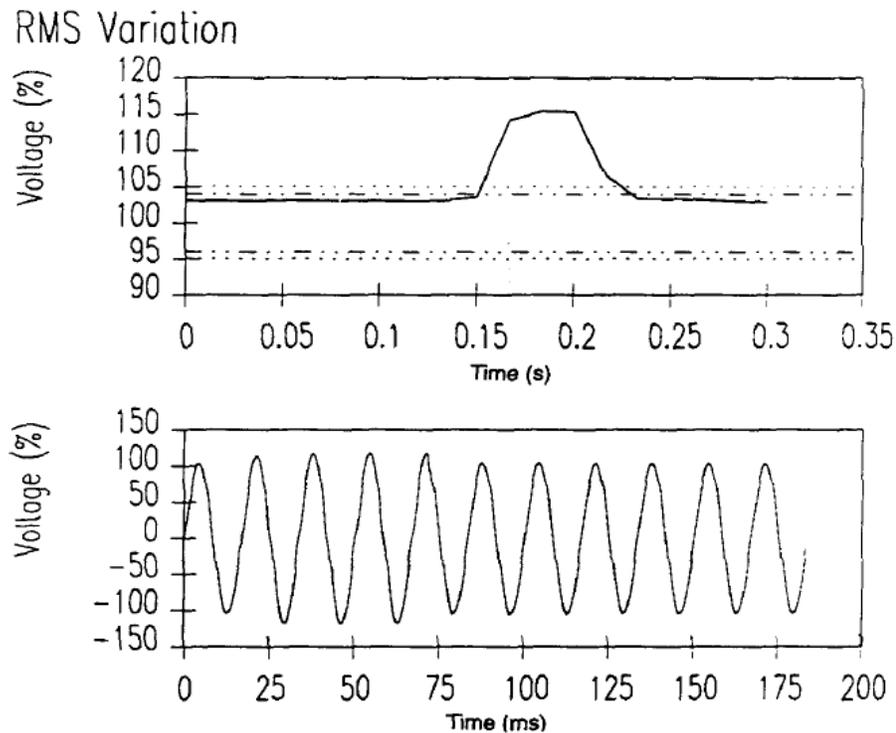
Fuente: Std. IEEE 1159 Recommended practice for monitoring power electric quality. p. 76.

#### **2.1.4.4. Sobrevoltajes temporales (*swells*)**

Estos son aumentos de voltaje en forma temporal con una duración aproximadamente igual al de las depresiones de voltajes. Estos pueden ser ocasionados por descargas electroatmosféricas o por la desconexión de grandes cargas.

Se presentan también cuando ocurre una falla en una fase de un sistema trifásico de cuatro alambres, el voltaje de las dos fases restantes se eleva dependiendo de la conexión de los transformadores hasta un 20 % con respecto a tierra. Estas perturbaciones de voltaje tienen generalmente duración de algunos segundos y pueden extenderse hasta por un minuto.

Figura 2. **Ejemplo de *swells* en la recuperación de un fallo en el sistema**



Fuente: Std. IEEE 1159 Recommended practice for monitoring power electric quality. p.76.

#### **2.1.4.5. Distorsión del sistema**

Los sobrevoltajes y distorsiones del sistema ocurren en un circuito de transmisión, cuando las condiciones del circuito son de alguna forma alteradas. Una oscilación es considerada como una distorsión recurrente, debido al intercambio de energía entre campos electrostáticos y electromagnéticos. Una oscilación de baja frecuencia, o una que es rápidamente amortiguada, es llamada sobrevoltaje. Las distorsiones del sistema pueden ser producidas por la configuración del mismo sistema, así como las interrupciones, tierras, cambios de carga, etc. o pueden ser producidas por causas externas como los rayos.

Entre ellas se pueden mencionar, oscilaciones, oscilaciones forzadas, reflexión de ondas viajeras, reflexiones parciales, conexiones o desconexiones, pérdida total de carga y descargas electroatmosféricas.

#### **2.1.4.6. Impulsos y ruidos (*surged and noise*)**

Los impulsos son condiciones de sobrevoltaje que duran menos de medio ciclo. Debido a la forma de onda (elevada magnitud y corto tiempo de duración) los impulsos son a veces llamados transitorios (*spikers*). Las descargas electroatmosféricas y tanto conexiones y desconexiones de capacitores e interruptores, pueden generar impulsos transitorios. Este tipo de impulsos siempre ha existido en sistemas de distribución, pero hasta ahora se les está tomando atención, principalmente debido a la sensibilidad de los equipos electrónicos como los equipos de video y computadores personales.

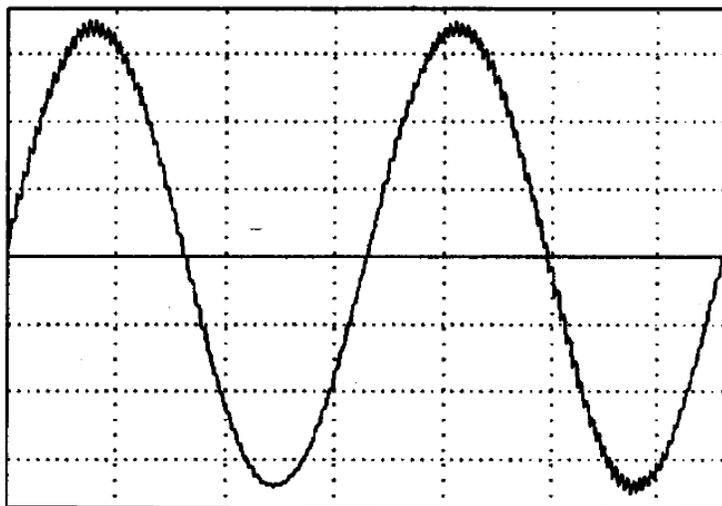
El ruido (*noise*) es un impulso repetitivo superpuesto a la onda senoidal. Los radiotransmisores, la iluminación fluorescente, los cargadores de baterías, las computadoras y las conexiones flojas de conductores pueden producir ruido eléctrico.

Existen dos tipos comunes de impulsos y ruidos eléctricos, el modo común y el modo transverso.

Las distorsiones de modo común son voltajes medidos entre cada una de las fases energizadas y tierra, un neutral y tierra, o ambas. Las distorsiones de modo transverso, son voltajes medidos únicamente entre conductores que transportan corriente.

Las distorsiones de modo transverso (perpendiculares a la dirección en que se propaga), pueden llegar a ser del modo común debido al acoplamiento mutuo entre otros conductores y tierra cuando viajan a través de la red eléctrica.

Figura 3. **Ejemplo de una onda senoidal con ruido**



Horizontal 5 milliseconds/division

Vertical 200 volts/division

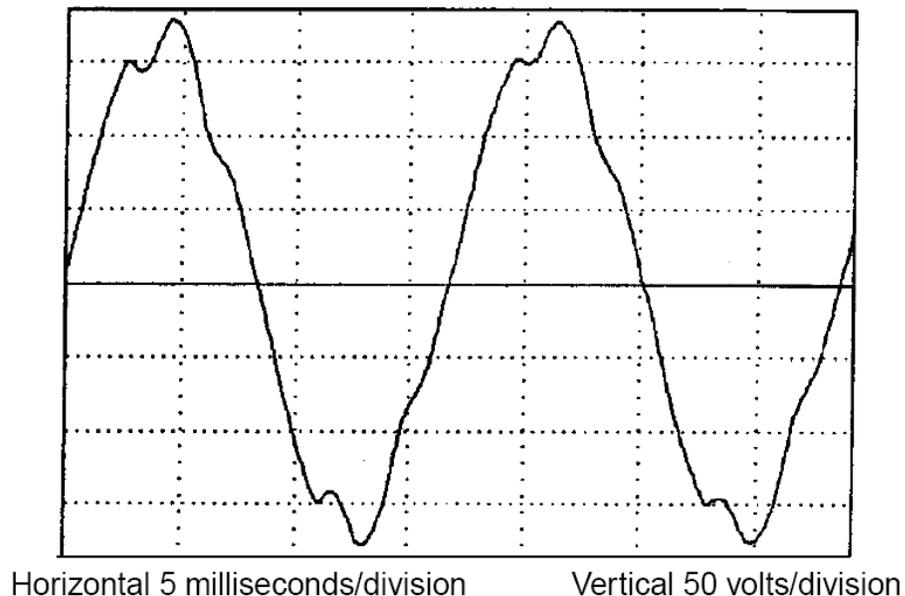
Fuente: Std. IEEE 1159 Recommended practice for monitoring power electric quality. p.76.

#### **2.1.4.7. Armónicos (THD, total harmonic distortion)**

La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico, es la superposición de señales, con frecuencias que son múltiplos pares o impares de la frecuencia fundamental. Las cargas lineales, aquellas que conducen la corriente proporcional al voltaje aplicado, no generan grandes niveles de armónicas. Las cargas no lineales transportan la corriente en forma de pulso. Las pulsaciones de corriente crean caídas de voltaje por todo el sistema, como resultado de la corriente interactuando con la impedancia del sistema.

Las distorsiones creadas por cargas no lineales pueden crear distorsión de voltaje más allá del alambrado interno de la acometida. Esta viaja a través del sistema de distribución hacia otro usuario. Cargas concentradas que generan grandes niveles de la tercera armónica pueden resultar con una corriente en el neutro mayor que la que se encuentra normalmente en circuitos donde la corriente de retorno de las diferentes fases se cancela.

Figura 4. **Ejemplo de una onda senoidal con armónicos**



Fuente: Std. IEEE 1159 Recommended practice for monitoring power electric quality. p.76.

#### **2.1.4.8. Variaciones de frecuencia**

La variación de frecuencia es un problema que se presenta muy raramente, especialmente donde existen múltiples sistemas de generación acoplados alimentando un sistemas eléctrico. Estas perturbaciones pueden ocurrir en sistemas eléctricos pequeños o donde la red de distribución es muy

extensa. Al detectarse sistemas muy próximos a niveles de variación de frecuencia en una red, requerirán procedimientos de emergencia (distribuyendo o desconectando cargas) para estabilizar la frecuencia del sistema.

## **2.2. Investigación preliminar para la solución del proyecto**

Descripción de los aspectos a considerar previo a la determinación de las perturbaciones presentes en el circuito eléctrico bajo análisis y las soluciones más eficientes que puedan disminuir o eliminar los efectos de dichas perturbaciones.

### **2.2.1. Selección del circuito a estudiar**

Al observar el diagrama unifilar que alimenta los circuitos principales dentro del hospital, el cual se presenta en los anexos de este documento, podemos ver que la subestación se alimenta con 13,2 KV que son suministrados por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), los que transformamos a 480/277 VA, posterior a esto, se llega a alimentar 18 circuitos principales los que se distribuyen a través de todo el edificio del hospital.

### **2.2.2. Objetivos de la medición**

El monitoreo de la calidad de energía es necesaria para caracterizar los fenómenos electromagnéticos en un área particular dentro de un circuito eléctrico. En algunos casos, el objetivo de la monitorización es para diagnosticar incompatibilidades entre la fuente de energía eléctrica y la carga, así como para evaluar el entorno eléctrico en un lugar determinado, con el objetivo de mejorar las técnicas de modelización de los fenómenos que se presentan o el desarrollo de una base de datos de la calidad de energía en un

circuito determinado como parte de un plan de mantenimiento. En otros aún, este seguimiento puede ser utilizado para predecir el rendimiento futuro de los equipos conectados para desarrollar dispositivos que mejoren la calidad de determinado sistema. En cualquier caso, la tarea más importante en cualquier proyecto de monitoreo de calidad de energía es definir claramente los objetivos a medir.

El circuito SM2-376 alimenta específicamente los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios, debido a los equipos utilizados en estos quirófanos y a disturbios que han afectado colateralmente; surge la necesidad de caracterizar los parámetros que afectan este circuito, esto con la intención de determinar soluciones eficientes para minimizar o eliminar efectos no deseados, que se traducen en gastos en reparaciones o cambio de equipo médico dañados; sin olvidar que el más afectado es el paciente que requiere de estos, para recuperar la salud.

### **2.2.3. Efecto en equipos por el tipo de disturbios**

Los siguientes párrafos, describen los efectos que se observan en el funcionamiento de diferentes equipos a estos fenómenos.

#### **2.2.3.1. Transitorios**

Los transitorios son voltajes causados por rayos o conmutaciones que pueden provocar una degradación o falla dieléctrica inmediata en todas las clases de equipos. Una alta magnitud de los valores de corriente como en descargas electroatmosféricas que se dan en un tiempo muy corto contribuye a la ruptura del aislamiento de conductores en equipos eléctricos como máquinas rotativas, transformadores, condensadores, cables, CTs, PTs, interruptores y/o

desconectadores. La aplicación repetida pero a una menor magnitud de los transitorios de este tipo como en la conexión y desconexión que se da en un banco automático de compensación reactiva; causa en el equipo una lenta degradación y eventual fallo del aislamiento en conductores. En equipos electrónicos, se presentan fallas en componentes que le suministran energía (fuentes de poder), esto puede resultar incluso, de un solo transitorio de magnitud relativamente pequeña.

### **2.2.3.2. Variaciones de corta duración**

El problema más común asociado con variaciones de corta duración como lo son las caídas de tensión (*sags*) y sobretensiones (*swells*), es la desconexión de equipos. Muchas industrias con cargas críticas en los procesos de producción, se ven afectadas, incluso por fenómenos instantáneos y de corta duración ya que estos pueden causar paros que requieren horas para reiniciar. En estas instalaciones, el efecto en los procesos de producción es el mismo para una variación de corta duración como para los fenómenos de larga duración.

La monitorización de los parámetros que alimentan un circuito eléctrico, es importante porque a menudo resulta muy difícil determinar a partir de los efectos que a simple inspección se observan en los equipos ya que la interrupción podría ser causada por fenómenos electromagnéticos semejantes como por ejemplo el que se produce por descargas electroatmosféricas. Además, podría causar confusión al escoger los métodos para la corrección ya que estos son muy diferentes si el equipo está siendo afectado por caídas de tensión (*sag*), en lugar de interrupciones de larga duración por mencionar un ejemplo.

### **2.2.3.2.1. Interrupciones**

Equipos electrónicos y de iluminación pueden verse afectados por interrupciones incluso cuando se produzcan instantáneamente, causando mal funcionamiento o que el equipo se apaguen. Comúnmente se ven dañadas las fuentes de poder de los dispositivos electrónicos, los controladores electrónicos, computadoras y los arrancadores electrónicos para máquinas rotativas. Las interrupciones momentáneas y temporales casi siempre causan que el equipo deje de funcionar y pueden provocar el disparo de los contactores en motores de inducción. En algunos casos, las interrupciones pueden dañar el equipo electrónico de arranque suave.

### **2.2.3.2.2. Caídas de tensión de corta duración (*sags*)**

Caídas de tensión de corta duración, en particular, causan numerosas interrupciones de proceso. A menudo, el *sag* es detectado por controladores de procesos electrónicos equipados con circuitos de detección de fallas, disparando las protecciones y apagando otras cargas menos sensibles. Una solución común a este problema es alimentar el controlador electrónico con un UPS, o de otro dispositivo de mitigación, para proporcionar una tensión adecuada para el controlador durante un *sag*. El reto de aplicación es la de mantener el controlador electrónico activo durante *sags* y que estos no dañen equipos de proceso que se pueden ver desprotegidos y al mismo tiempo reducir paradas molestas.

Dispositivos electrónicos con batería de respaldo no se verán afectados por las reducciones de corta duración en el voltaje. Los equipos tales como transformadores, cable, interruptores, CT's y Pt's no deben verse dañados o

presentar mal funcionamiento debido a caídas de corta duración. Durante un *sag*, se puede presentar un ligero cambio de velocidad de las máquinas de inducción y una ligera reducción en la potencia reactiva que entrega un banco de condensadores. También la intensidad de luz visible de algunos dispositivos de iluminación se puede reducir brevemente durante un *sag*.

#### **2.2.3.2.3. Subidas de tensión de corta duración (*swells*)**

Un aumento de la tensión aplicada a los equipos, por encima de la potencia nominal, puede provocar el fallo de los componentes, dependiendo de la frecuencia de ocurrencia. Los dispositivos electrónicos, incluyendo las unidades de velocidad ajustable, computadoras y controladores electrónicos, pueden sufrir fallo inmediato si se dan estas condiciones. También, los transformadores, cable, interruptores, CT's, PT's y máquinas rotativas pueden sufrir una reducción de la vida útil. Un aumento temporal de la tensión en algunos relés de protección puede causar operaciones no deseadas mientras que otros no se verán afectados. *Swells* de voltaje muy frecuentes en un banco de condensadores, pueden causar que físicamente estas se observen hinchadas o pierdan la forma cilíndrica regular con que se fabrican y aunque no sea evidente una destrucción física, disminuye el valor de la capacidad del banco. También la salida de luz visible desde algunos dispositivos de iluminación puede aumentar durante un *swells*.

#### **2.2.3.3. Variaciones de larga duración**

Se consideran variaciones de larga duración a las perturbaciones en la tensión de alimentación que duran más de 1 minuto; estos fenómenos pueden causar problemas en los equipos. Normalmente los problemas de sobretensión

y baja tensión son menos probables de ocurrir en los circuitos alimentados por servicios públicos, ya que la mayoría de estas empresas se esfuerzan por mantener  $\pm 5\%$  regulación de voltaje. Pero se pueden dar problemas de sobretensión y subtensión debido a los alimentadores sobrecargados, selección incorrecta de tap en transformadores, fusibles abiertos en bancos de condensadores, etc.

#### **2.2.3.3.1. Interrupciones sostenidas**

El efecto de una interrupción sostenida es la parada del equipo, con excepción de las cargas protegidas por los sistemas que cuentan sistemas de UPS, u otras formas de dispositivos de almacenamiento de energía.

#### **2.2.3.3.2. Caídas de voltaje sostenidas**

Caídas de tensiones superiores a 1 min, pueden causar fallos en los equipos controladores de motores ya que pueden desconectarse en condiciones de mínima tensión, estos controladores pueden llegar a tener una tolerancia entre el 70-80 % de la tensión nominal. También caídas de tensión de larga duración provocan que los motores de inducción sufran sobrecalentamiento debido a que al disminuir el voltaje, la corriente se incrementa para poder mantener la misma potencia (torque) en el eje, también se pueden presentar variaciones de velocidad en la velocidad nominal.

Los aparatos electrónicos como computadoras y controladores electrónicos pueden dejar de funcionar durante esta condición. También se pueden presentar condiciones de mínima tensión en los bancos de condensadores esto resulta en una reducción de la potencia reactiva (VAR) entregada por el banco de compensación, dado que esta potencia es

proporcional al cuadrado de la tensión aplicada ( $Vn^2$ ). En condiciones de mínima tensión, no causan problemas considerables en transformadores, cables, interruptores, CT's, PT's, dispositivos de medición, y los transductores. La salida de luz visible desde algunos dispositivos de iluminación se puede reducir durante condiciones de bajo voltaje.

#### **2.2.3.4. Desbalance de fases**

En general, la tensión de suministro de red mantiene un nivel relativamente bajo de desequilibrio entre fases, ya que incluso un bajo nivel de desequilibrio puede causar un disturbio en el suministro de energía significativos y efectos de calentamiento en el proceso de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. El desbalance entre fases se presentan frecuentemente en las cargas individuales de los consumidores finales, debido a las cargas monofásicas conectadas, sobre todo cuando se utilizan cargas que demandan gran potencia monofásica, como hornos y resistencias monofásicas. En estos casos puede ocurrir fácilmente el sobrecalentamiento de los motores y transformadores del cliente si el desequilibrio no se corrige. Por ejemplo, si se tiene un sistema con un desbalance de fases considerable, se presenta una corriente en los motores de inducción trifásicos que varía con el cubo de la diferencia de voltaje del desbalance de tensión aplicada a los terminales del motor. Un desequilibrio de tensión de 3.5 % resulta en un aumento del 25 % de la temperatura. Los efectos sobre otros tipos de equipos pueden ser mucho menos perjudiciales.

Los niveles deseables de desbalance no deben superar el 1 % para todos los niveles de tensión, manteniendo este porcentaje podremos reducir los posibles efectos de calentamiento en niveles de voltaje menores.

Niveles de desbalance de tensión mayor al 2 % puede indicar una fase abierta en un banco de condensadores trifásicos (si se cuenta con compensación reactiva). Desbalance de tensión superior al 5 % pueden ser causados por pérdida de alguna de las tres fases, monitores de pérdida de fase a menudo se requieren para proteger los motores trifásicos de los efectos adversos de la pérdida de una fase.

#### **2.2.3.5. Distorsión de forma de onda**

La inyección de corriente armónica proveniente de las cargas conectadas de algunos clientes puede distorsionar el sistema de suministro de la red eléctrica afectando a todos los usuarios conectados.

Esta distorsión de corriente y tensión armónica puede causar un sobrecalentamiento de equipos rotativos, transformadores, conductores de alta tensión, fallas prematuras o el accionamiento de los dispositivos de protección (como los fusibles), crear condiciones de resonancia de armónicos, lo que puede empeorar aún más el funcionamiento del sistema eléctrico, y crear inexactitudes en las mediciones realizadas para cobros.

Al presentarse distorsión armónica en un sistema de servicios públicos puede causar los mismos problemas anteriormente mencionados, en el equipo del cliente sobrecalentando la fuente de poder de electrodomésticos, bombas o cualquier otro equipo.

#### **2.2.3.6. Fluctuaciones de voltaje**

Las fluctuaciones en la tensión de alimentación se manifiestan más a menudo en variación de la intensidad lumínica de fuentes de iluminación. Una

disminución repentina de la tensión de menos de 0.5 % puede causar una reducción notable en la salida de intensidad lumínica de una lámpara incandescente y una reducción menos perceptible en la que la intensidad lumínica en lámparas de descarga gaseosa (vapor de sodio o vapor de mercurio). Las fluctuaciones de voltaje menores del 7 % en magnitud, tienen poco efecto sobre otros tipos de cargas conectadas de los clientes.

### **2.2.3.7. Variaciones de frecuencia eléctrica**

En general, las empresas proveedoras del servicio de energía eléctrica, mantienen un control estricto de la frecuencia del sistema de potencia que entregan. Pequeñas variaciones en la frecuencia en un sistema eléctrico puede causar graves daños al generador y los ejes de la turbina debidos a los grandes torques mecánicos desarrollados.

Los equipos de última generación son los más susceptibles a cambios en el valor de la frecuencia del sistema. En pequeñas centrales generadoras un exceso de velocidad puede dar lugar a un aumento de la frecuencia.

Errores de sincronización de frecuencia pueden ocurrir a veces en un circuito alimentador de un cliente que utiliza cargas rectificadas. Estas cargas pueden provocar picos de voltaje lo suficientemente grave como para registrar un cambio de signo de la onda de voltaje (cruce de ceros) provocando problemas en equipos electrónicos que cuentan los cruces por cero para obtener el valor de la frecuencia, mientras el valor de la frecuencia fundamental no ha variado.

## 2.2.4. Configuración del medidor

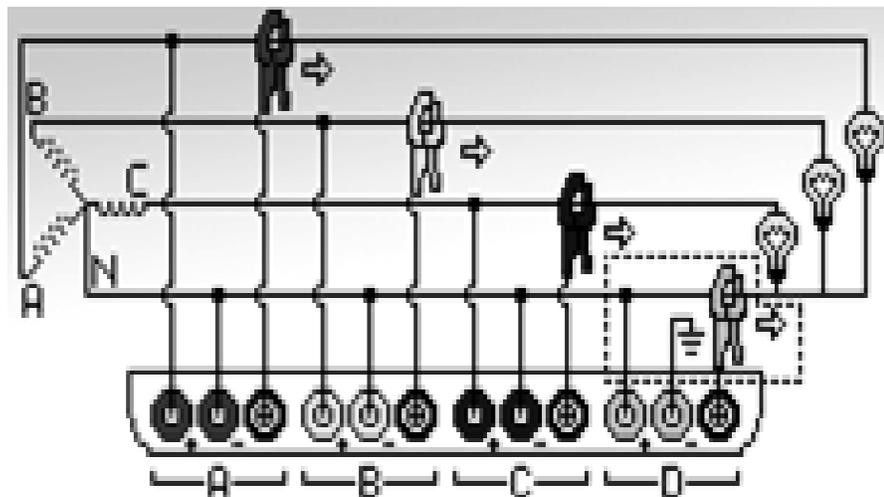
Para la caracterización del circuito bajo estudio, se escoge el equipo marca Dranetz- BMI ya que cumple con lo especificado en el estándar IEEE 1159, utilizado como referencia en este estudio. La medición se realizó por diez días desde el 06/03/2013 hasta el 16/03/2013, el tiempo de muestreo se determinó así, para observar un patrón en los fenómenos que afectan al circuito SM2-376, dicho medidor se configuró con las siguientes características:

Tabla III. Configuración del medidor Dranetz-BMI

<b>DRANETZ Power Xplorer Configuration</b>	
<i>Firmware</i>	Power Xplorer (c) 2009 Dranetz-BMI, Oct 14 2010 @ 11:37:27 Ver.: V 4.2, Build: 7, DB ver.: 0
<i>Serial Number</i>	PVUSFA198
<i>Site/Filename</i>	QUIROFANO ADULTOS SM2_376
<i>Measured from</i>	06/03/2013 12:51
<i>Measured to</i>	16/03/2013 17:09
<i>File ending</i>	Bad
<i>Synchronization</i>	Standard A
<i>Configuration</i>	4 WIRE / 3 PROBE (WYE)
<i>Monitoring type</i>	STANDARD PQ
<i>Nominal voltage</i>	277.0 V
<i>Nominal current</i>	100.0 A
<i>Nominal frequency</i>	60.0 Hz
<i>Use inverse sequence</i>	Yes
<i>Using currents</i>	Yes
<i>Characterizer mode</i>	IEEE 1159
<b>Periodic Journal Intervals</b>	
<i>Voltage</i>	10.0 minutes
<i>Current</i>	10.0 minutes
<i>Power</i>	10.0 minutes
<i>Harmonics</i>	10.0 minutes
<i>Demand</i>	5.0 minutes, Subintervals/Intervals: 3
<i>Energy</i>	10.0 minutes
<i>Inst. flicker</i>	10.0 minutes
<i>Long term flicker</i>	120.0 minutes
<i>EN50160 compliance</i>	10.0 minutes

Fuente: DRANETZ-BMI. PowerVisa™ user's guide. p. 274.

Figura 5. **Conexión de las puntas de prueba hacia el medidor**



Fuente: DRANETZ-BMI. user's guide AC power analysis software. p. 240.

### 2.2.5. Mediciones efectuadas

Se realizaron mediciones en el circuito SM2-376, desde el 06/03/2013 hasta el 16/03/2013, los resultados se confrontan con los parámetros descritos en la Norma IEEE 1159 y determinar de esta manera, cuales están fuera de lo descrito en norma.

#### 2.2.5.1. Mediciones básicas, valores obtenidos

La medición efectuada proporcionó valores del funcionamiento característicos de cualquier circuito, debido a que el medidor fue programado para que tome una medición cada 10 minutos, el equipo calcula el promedio de todas las mediciones que se tomaron durante estos 10 minutos, este promedio es el valor desplegado, también se presentan un valor máximo y mínimo, todos se presentan a continuación en la tabla IV.

Tabla IV. Mediciones básicas obtenidas

<b>Mediciones básicas</b>			
	Min	Max	Promedio
Vrms (Fase A)	233.8	280.8	273.6
Vrms (Fase B)	224.1	280.6	272.8
Vrms (Fase C)	221.1	278.8	270.2
Vrms (Fase D, Neutro)	0.06307	1.961	0.1316
Vrms (Entre A-B)	389.4	487.2	474.5
Vrms (Entre B-C)	382.9	485.2	470.7
Vrms (Entre C-A)	368.4	483.3	469.2
Irms (Fase A)	33.92	140.5	51.39
Irms (Fase B)	20.48	78.24	34.96
Irms (Fase C)	28.21	82.71	41.81
Irms (Fase D, Neutro)	4.908	24.89	10.7
P(kW) (Fase A)	5.204	22.13	9.39
P(kW) (Fase B)	4.633	14.35	7.184
P(kW) (Fase C)	2.574	11.98	5.063
P(kW) (Fase D, Neutro)	0.00075	0.002492	0.00038
<b>P(KW) TOTAL</b>	<b>12.33</b>	<b>47.73</b>	<b>21.78</b>
S(kVA) (Fase A)	10.31	25.87	14.05
S(kVA) (Fase B)	7.36	15.36	9.536
S(kVA) (Fase C)	8.257	18.17	11.29
S(kVA) (Fase D, Neutro)	0.000512	0.004073	0.001444
Q(kVAR) (Fase A)	6.964	14.27	9.963
Q(kVAR) (Fase B)	1.617	7.901	5.657
Q(kVAR) (Fase C)	5.857	14.81	9.769
Q(kVAR) (Fase D, Neutro)	0.0000284	0.003064	0.000886
<b>Q(KVAr) TOTAL</b>	<b>17.18</b>	<b>31.39</b>	<b>24.28</b>
<b>PF(TOTAL)</b>	<b>0.4291</b>	<b>0.8531</b>	<b>0.6106</b>
TOTFreq	59.86	60.2	60.01
Factor K (Fase A)	1.041	1.629	1.314
Factor K (Fase B)	1.229	2.034	1.668
Factor K (Fase C)	1.177	1.972	1.556
Factor K (Fase D)	1.17	4.914	1.648

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### 2.2.5.2. Mediciones avanzadas, valores obtenidos

El Medidor Dranetz-BMI, despliega mediciones con valores donde utiliza procedimientos avanzados para obtenerlos los que se observan en la tabla V.

Tabla V. **Mediciones avanzadas obtenidas**

<b>Mediciones avanzadas</b>			
	Min	Max	Promedio
A(Angulo del factor de potencia)	118.3	154.9	131.7
B(Angulo del factor de potencia)	124.5	166.7	141.4
C(Angulo del factor de potencia)	-240.3	118.8	14.46
D(Angulo del factor de potencia)	-11.94	157.6	109.9
A(Desviación del Voltaje RMS)	0.1956	0.8124	0.3659
B(Desviación del Voltaje RMS)	0.2983	0.8966	0.4506
C(Desviación del Voltaje RMS)	0.2928	0.8271	0.4318
D(Desviación del Voltaje RMS)	0.07283	0.1686	0.09323
A-B(Desviación del Voltaje RMS)	0	0	0
B-C(Desviación del Voltaje RMS)	0	0	0
C-A(Desviación del Voltaje RMS)	0	0	0
A(Desviación de la Corriente RMS)	0.2006	1.01	0.4457
B(Desviación de la Corriente RMS)	0.207	1.07	0.4522
C(Desviación de la Corriente RMS)	0.2687	1.148	0.5038
D(Desviación de la Corriente RMS)	0.3868	2.302	0.7893
A(Componente VDC)	-0.01537	-0.001705	-0.008975
B(Componente VDC)	-0.0447	-0.03539	-0.04006
C(Componente VDC)	-0.03559	-0.0253	-0.03057
D(Componente VDC)	-0.01306	0.003345	-0.005733
A-B(Componente VDC)	0	0	0
B-C(Componente VDC)	0	0	0
C-A(Componente VDC)	0	0	0
A(Componente IDC)	-0.01292	-0.009268	-0.01092
B(Componente IDC)	-0.001398	0.003381	0.000173
C(Componente IDC)	-0.008219	-0.0024	-0.005497

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### 2.2.5.3. Porcentaje desbalances, valores obtenidos

La tabla VI despliega valores del porcentaje de desbalance que afecta a las tres fases del circuito bajo estudio.

Tabla VI. **Porcentaje de desbalance obtenidos**

<b>Porcentaje de desbalance</b>		
	Min	Max
Desbalance de corriente TOTAL (máxima desviación Promedio)	14	35,75
Desbalance de corriente TOTAL (Método de secuencia negativa)	15	43,19
Desbalance de corriente TOTAL (Método de Secuencia Cero)	2	2,721

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### 2.2.5.4. Demanda

La Tabla VII, enlista los valores que son demandados por las cargas conectadas al circuito SM2-376.

Tabla VII. **Valores de demanda obtenidos**

<b>Demanda</b>			
	Min	Max	Promedio
<b>Demanda de Potencia Real (kWh/h)</b>	13.19	43.76	<b>21.64</b>
Demanda de Potencia Reactiva (kVARh/h)	21.59	28.27	25.39
Demanda de Potencia Aparente (kVAh/h)	28.05	53.9	34.87
Promedio del Factor de Potencia sobre el último intervalo	0.448	0.867	0.6274

Continuación de la tabla VII.

<b>Pico de Potencia Real (kW)</b>	18.13	43.76	<b>38.06</b>
Potencia Aparente, coincidente en el pico de Potencia Real (kVA)	30.62	53.9	48.77
Potencia Reactiva, coincidente en el pico de Potencia Real (kVAR)	21.83	27.85	27.05
Factor de Potencia Promedio, coincidente en el pico de potencia Real	0.57	0.867	0.8032
Pico de Potencia Reactiva (kVAR)	23.7	28.27	27.86
Potencia Aparente, coincidente en el pico de Potencia Reactiva (kVA)	30.62	51.61	43.16
Potencia Reactiva, coincidente en el pico de Potencia Reactiva (kW)	15.85	40.72	29.82
Factor de Potencia Promedio, coincidente en el pico de potencia Reactiva	0.491	0.821	0.6929
Pico de Potencia Aparente (kVAR)	30.62	53.9	48.92
Potencia Real, coincidente en el pico de Potencia Aparente (kW)	17.91	43.65	37.92
Potencia Reactiva, coincidente en el pico de Potencia Aparente (kVAR)	21.83	27.98	27.36
Factor de Potencia Promedio, coincidente en el pico de potencia Aparente	0.564	0.867	0.7973
Predicción de Demanda de potencia real (kWh/h)	13.01	46.19	21.64
Predicción de Demanda de Potencia Reactiva (kVARh/h)	21.18	28.76	25.39
Predicción de Demanda de Potencia Aparente (kVAh/h)	27.62	56.19	34.87
Demanda de Corriente RMS	34.63	66.59	42.73
Demanda de la Corriente Pico	37.77	66.59	60.25

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### 2.2.5.5. Distorsión armónica total (THD)

El circuito SM2-376, presenta valores normales de armónicos, como se puede ver en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Porcentaje de distorsión armónica obtenida**

<b>Porcentaje de Distorsión Armónica (THD)</b>					
	<b>Limite (Según IEEE 1159)</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>Estatus</b>
THD	<8.00%	3.40%	3.34%	3.45%	Abajo Limite
H02	<2.00%	0.04%	0.04%	0.04%	Abajo Limite
H03	<5.00%	0.36%	0.30%	0.36%	Abajo Limite
H04	<1.00%	0.05%	0.04%	0.05%	Abajo Limite
H05	<6.00%	3.35%	3.30%	3.41%	Abajo Limite
H06	<0.50%	0.04%	0.03%	0.03%	Abajo Limite
H07	<5.00%	0.68%	0.72%	0.72%	Abajo Limite
H08	<0.50%	0.01%	0.01%	0.02%	Abajo Limite
H09	<1.50%	0.05%	0.05%	0.05%	Abajo Limite
H10	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	Abajo Limite
H11	<3.50%	0.45%	0.34%	0.44%	Abajo Limite
H12	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	Abajo Limite
H13	<3.00%	0.11%	0.14%	0.08%	Abajo Limite
H14	<0.50%	0.01%	0.00%	0.01%	Abajo Limite
H15	<0.50%	0.08%	0.07%	0.05%	Abajo Limite
H16	<0.50%	0.01%	0.00%	0.00%	Abajo Limite
H17	<2.00%	0.09%	0.11%	0.14%	Abajo Limite
H18	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	Abajo Limite
H19	<1.50%	0.06%	0.07%	0.07%	Abajo Limite
H20	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	Abajo Limite
H21	<0.50%	0.04%	0.03%	0.04%	Abajo Limite
H22	<0.50%	0.01%	0.01%	0.01%	Abajo Limite
H23	<1.50%	0.05%	0.07%	0.08%	Abajo Limite
H24	<0.50%	0.02%	0.02%	0.01%	Abajo Limite
H25	<1.50%	0.07%	0.07%	0.05%	Abajo Limite

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### 2.2.5.6. Espectro de voltaje harmónico

El espectro de frecuencia que se obtienen de los voltajes harmónico presentes en el circuito bajo estudio, se presentan en la tabla IX.

Tabla IX. **Valores del espectro de voltaje harmónico por fase**

<b>Espectro de Voltaje Harmónico</b>			
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Promedio</b>
AVHarm(180Hz)	0.5349	10.55	1.041
BVHarm(180Hz)	0.1623	9.293	0.8493
CVHarm(180Hz)	0.4984	7.323	0.9808
AVHarm(300Hz)	2.112	13.74	6.897
BVHarm(300Hz)	2.235	14.96	6.771
CVHarm(300Hz)	2.161	16.73	6.949
AVHarm(420Hz)	0.4721	3.467	1.432
BVHarm(420Hz)	0.5352	4.736	1.456
CVHarm(420Hz)	0.3927	4.76	1.339
AVHarm(540Hz)	0.1297	0.7252	0.2052
BVHarm(540Hz)	0.07257	0.7788	0.1564
CVHarm(540Hz)	0.09255	0.8181	0.1865

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### 2.2.5.7. Espectro de corriente harmónico

Las corriente harmónica, que se presentan dentro del circuito SM2-376 presentan valores que forman un espectro, estos valores se enlistan en la tabla X.

Tabla X. **Valores del espectro de corriente armónico por fase**

<b>Espectro de Corriente Armónico</b>			
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Promedio</b>
AIHarm(180Hz)	0.8891	5.379	2.06
BIHarm(180Hz)	3.369	7.452	5.057
CIHarm(180Hz)	4.38	9.058	6.158
AIHarm(300Hz)	2.439	6.766	5.151
BIHarm(300Hz)	3.527	5.948	4.766
CIHarm(300Hz)	3.377	6.132	4.692
AIHarm(420Hz)	0.9378	3.235	1.435
BIHarm(420Hz)	1.064	2.158	1.546
CIHarm(420Hz)	0.9894	2.047	1.487
AIHarm(540Hz)	0.06694	1.575	0.3064
BIHarm(540Hz)	0.04601	0.6835	0.201
CIHarm(540Hz)	0.08308	1.202	0.3108

Fuente: elaboración propia, con programa de DRANETZ-BMI.

### **2.3. Presentación de la solución del proyecto**

Con los datos de las mediciones, podemos tener un panorama amplio de los problemas que afectan al circuito, con esto se puede plantear soluciones eficientes y corregir estas perturbaciones.

#### **2.3.1. Determinación de los factores que afectan al circuito SM2-376**

La determinación de los factores que afectan al circuito, es la interpretación de los valores obtenidos con la medición, así como la inspección visual y de la condición física de los elementos conectados al circuito, como

transformadores, conductores eléctricos, cableado con aislamiento degradado, fallas mecánicas en protecciones, conexiones flojas y otros.

### **2.3.1.1. Voltaje y corriente RMS**

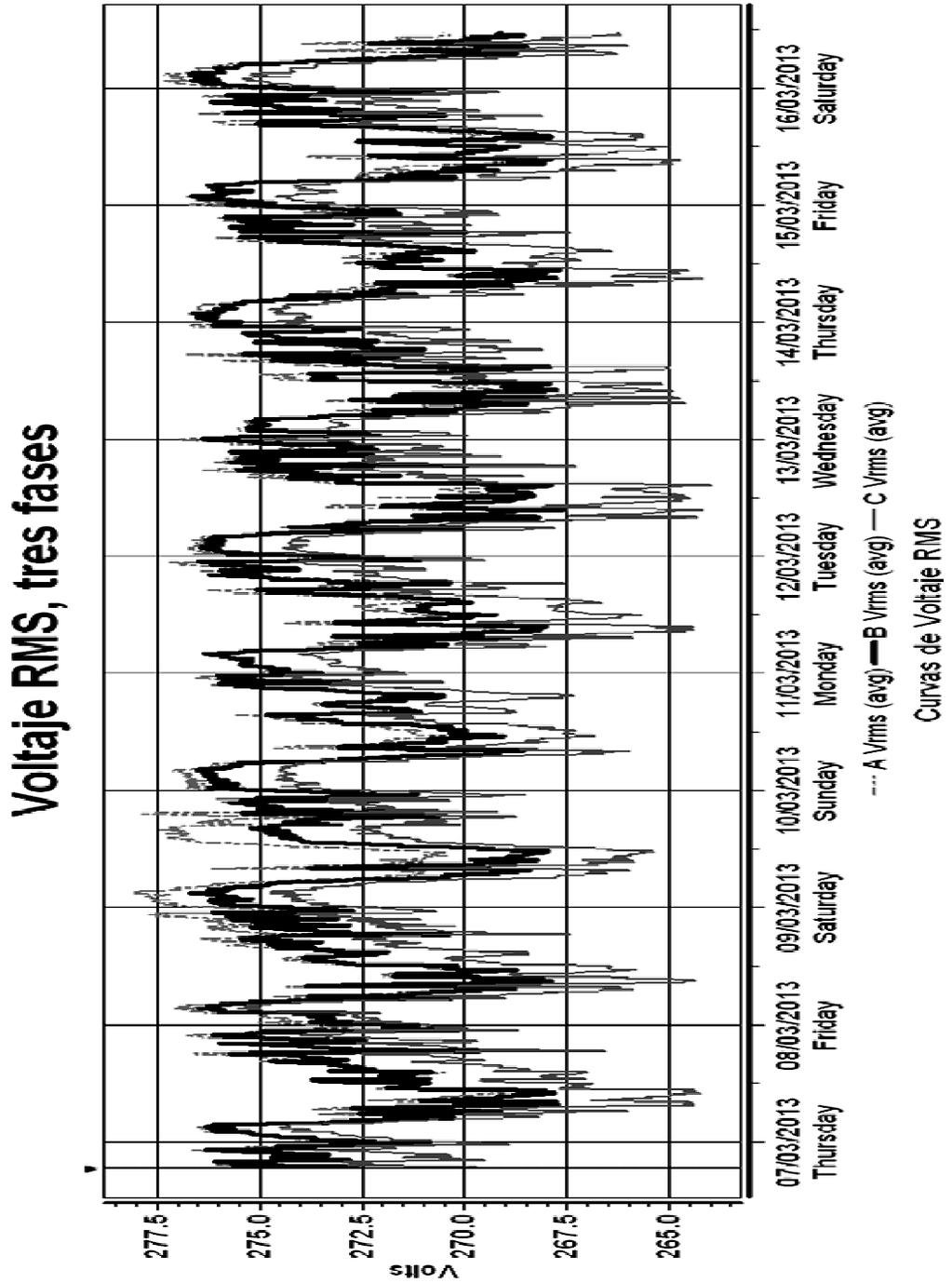
Los valores de voltaje de fase RMS, son calculados por el equipo de medición, después de obtener el dato puntual de la medición este hacer el barrido de cada punto, resultando en la figura 6 la que presenta los valores pico de la medición RMS del voltaje por fase en todo el lapso de tiempo que se realizo la medición.

Se observa de esta figura que el voltaje baja hasta los valores mínimos por fase, alrededor de las 11:00 todos los días, esta hora se ve en la figura porque las líneas paralelas al eje de las ordenadas representas un día de medición, y este efecto se da un poco menos de la mitad de cada línea, este fenómeno se debe a que desde las 9:00 hasta las 15:00, se conecta la mayor parte de la carga al circuito.

Esta caída de tensión, corresponde a los valores de transitorios de voltajes de la figura 9, se puede ver que el valor máximo del transitorio de voltaje, coincide con el horario de ocurrencia de las caídas de tensión y de corriente, estos son los horarios donde son programadas las operaciones en los quirófanos de adultos, donde la carga más importante son los equipos de electrocirugía.

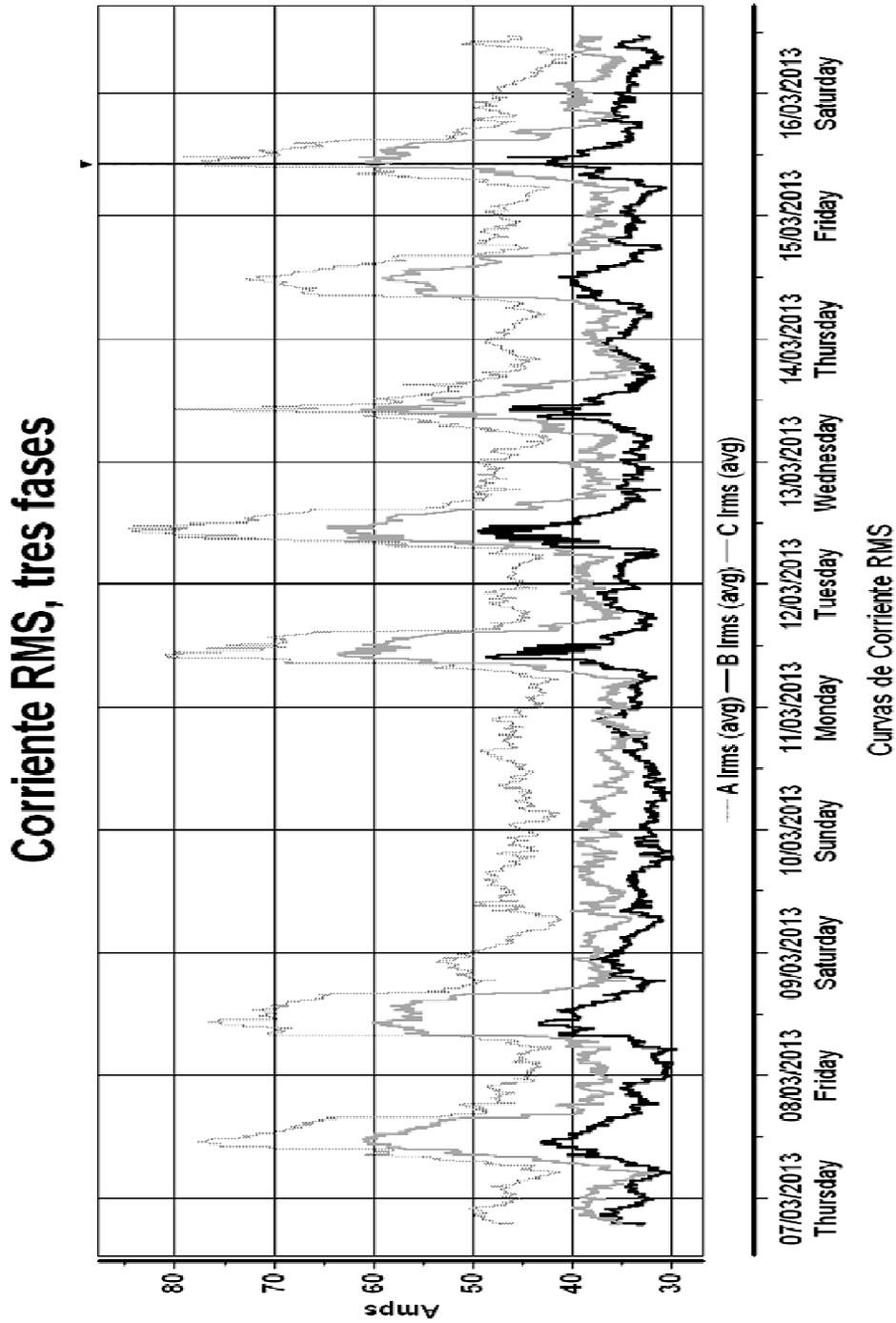
Los valores de corriente RMS también corresponden a estos valores, como se puede ver en la figura 7, se observa que los picos de corriente son muy pronunciados.

Figura 6. Curvas del voltaje RMS



Fuente: elaboración propia, con programa de PowerVisaTM.

Figura 7. Curvas de corriente RMS



Fuente: elaboración propia, con programa de PowerVisa™.

### **2.3.1.2. Corrección del factor de potencia**

El resultado de esta medición, da a conocer el perfil de carga que posee el circuito SM2-376, vemos de la tabla IV, una carga reactiva grande lo que hace que el factor de potencia sea muy bajo, manteniéndose en promedio en 0,61.

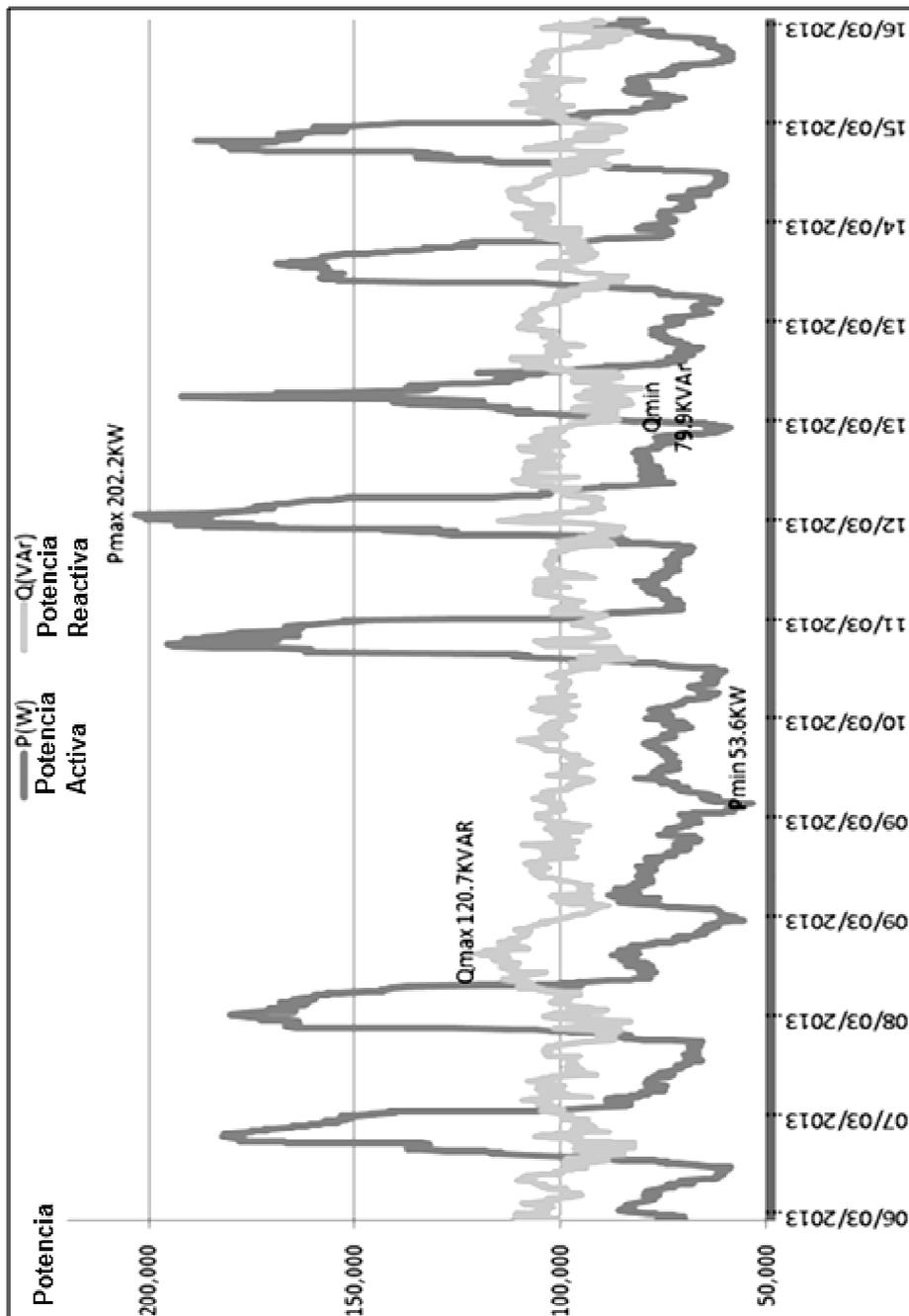
En la gráfica de potencias que se presenta en la figura 8, se puede observar que la potencia reactiva permanece con poca variación, desde 79,9 KVAR hasta 120,7 KVAR, mientras que la potencia activa varía desde 53,6 KW en horas de la noche, aumentando hasta 202,2 KW durante el día. Esto ocasiona que el factor de potencia durante la noche sea demasiado bajo hasta 0,46 y durante el día alcanza hasta 0,91.

Este circuito no posee un sistema fijo o automático que logre corregir este problema, en los anexos de este documento, se observa en facturas de la EEGSA del mes que fue realizada la medición, proporcionados por el Departamento de Compras de este hospital.

### **2.3.1.3. Transitorios**

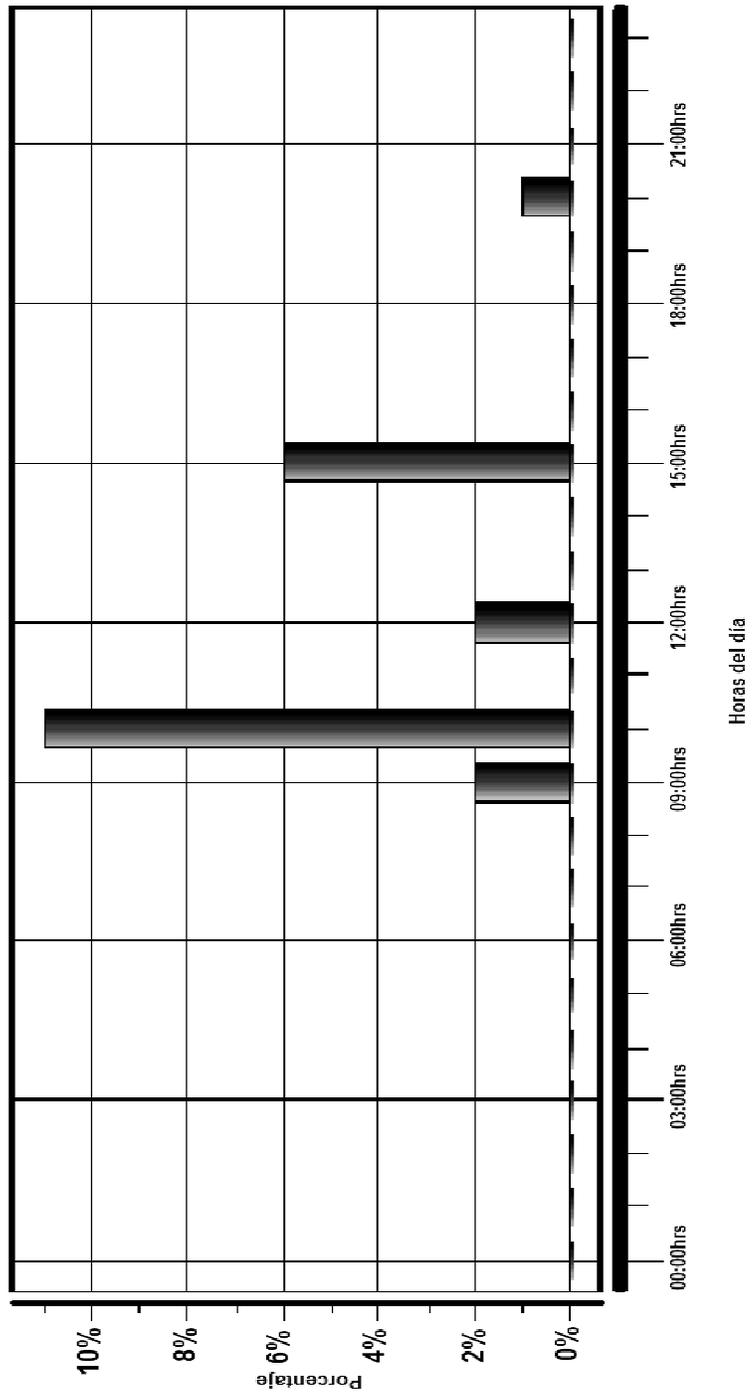
Se encontró que los transitorios más frecuentes y de mayor magnitud coincidentemente están en el periodo de las 9:00 hasta las 15:00 superando el 10 % del valor normal, como se observa en la figura 9, demostrando que en este lapso de tiempo las variaciones de voltaje son más pronunciadas. La mayor magnitud de transitorios ocurre en la fase C y se produjo el día viernes 15/03/2013 comenzando a las 10 horas con 4 minutos y 34 segundos, finalizando a las 10 horas con 4 minutos y 35 segundos; durando 53 ciclos, aproximadamente 1 segundo; como se ve en la figura 10, este evento presenta una deformación pronunciada en las ondas senoidales de voltaje y corriente.

Figura 8. Potencia activa (W) y reactiva (VAr) del sistema



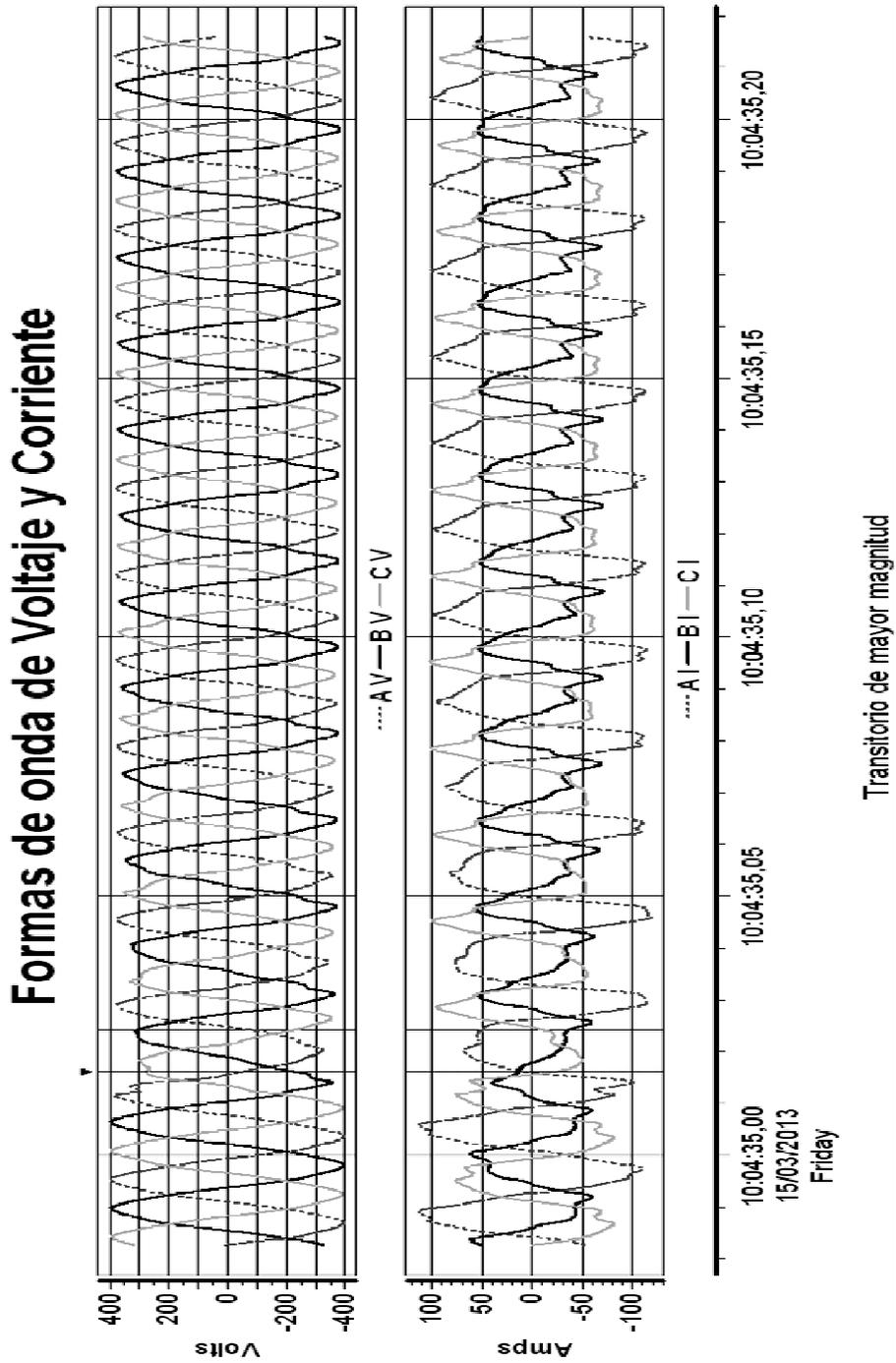
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Porcentaje de transitorios de voltaje diario**



Fuente: elaboración propia, con programa de PowerVisaTM.

Figura 10. Formas de onda de los transitorios de mayor magnitud

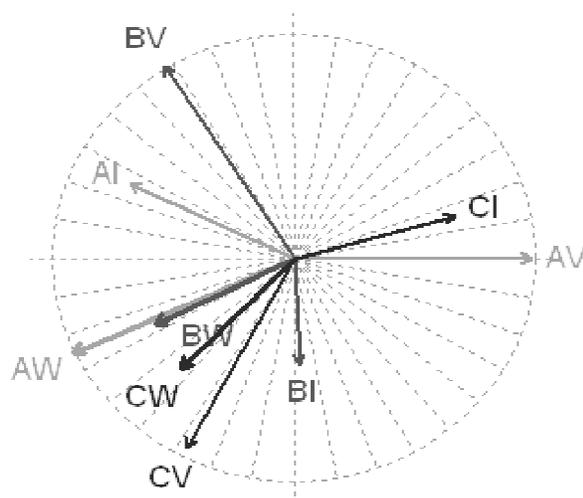


Fuente: elaboración propia, con programa de PowerVisaTM.

### 2.3.1.4. Diagrama fasorial y desbalance de cargas

Lo que se observa en la figura 11, es el diagrama fasorial que se da en promedio y en estado estable en el circuito bajo estudio, la magnitud del valor de corriente demuestra que la fase con mayor carga es la fase A y la fase de menor carga es la fase B, por lo que es aconsejable reacomodar las cargas para balancear estas dos fases y mejorara la confiabilidad del todo el sistema.

Figura 11. Diagrama fasorial del sistema



	Phase		
	A	B	C
V	0°	122°	242°
A	154°	273°	16°
W	205°	208°	227°

	Magnitude		
	A	B	C
V	264.0	268.5	257.0
A	59.96	38.53	55.57
W	14.21k	9.1k	9.722k

Fuente: elaboración propia, con programa de PowerVisaTM.

Según el estándar IEEE 1159 (utilizando como referencia en este estudio para el análisis de las mediciones) el porcentaje admisible de desbalance en un sistema trifásico es de 5 % por lo que vamos a calcular el porcentaje de desbalance presente en el circuito SM2-376, esto se calcula con la siguiente relación:

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \frac{(\text{CargaMayor}[\text{W}] - \text{CargaMenor}[\text{W}]) \times 100}{(\text{CargaMayor}[\text{W}])}$$

Utilizamos los valores de carga en Watts que proporciona la figura 11 y la sustituimos en la igualdad.

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \frac{(14.21\text{KW} - 9.1\text{KW}) \times 100}{(14.21\text{KW})} = 35,96 \%$$

Este valor está siete veces por encima del 5 % que estipula la norma, por lo que se deben balancear las cargas del circuito para acercarse a este valor; es un trabajo complicado, debido a la variabilidad de la carga en el sistema, pero los beneficios que agregará al circuito hace que valga la pena realizarlo.

Así mismo, se observa que una gran mayoría de tableros son de marca *Federal Pacific*, esta marca de tableros y cortacircuitos, no es comercial en Guatemala y se pueden considerar obsoletos, el personal de mantenimiento ha utilizado cortacircuitos de otros tableros para ubicarlos en estos tableros ya que al fallar los cortacircuitos, es complicado encontrar el repuesto en el mercado, por lo que es aconsejable actualizar los tableros a una marca comercial, se deberá coordinar los trabajos para aprovechar a balancear la carga y cambiar estos tableros.

### 2.3.1.5. Factor de carga

Se define el factor de carga como La relación de la carga media de un período de tiempo designado hacia la carga máxima que se presenta en ese período de tiempo, lo que podemos traducir en la siguiente igualdad:

$$FC = \frac{\text{(Demanda de Potencia Real (kWh/tiempo))}}{\text{(Pico de Demanda de Potencia Real (kWh/tiempo))}}$$

Se podría decir que es la medida de cargabilidad que presenta un circuito específico, un valor mayor a uno representa una sobrecarga en el sistema lo que no es deseable ya que la vida útil del sistema se reduce. Un valor muy por debajo de uno, se interpreta como un sistema sobre dimensionado, en el que se puede presentar mucha inestabilidad y por consecuencia deficiente. Es deseable contar con un factor de carga por debajo de uno pero muy cercano a la unidad.

En transformadores de distribución, el factor de carga también da un parámetro del nivel de sobrecargar admisible en este equipo sin perder la vida útil, lo que resulta de mucha utilidad en situaciones de emergencia, pero hay que cumplir con condiciones de temperatura y valores de tiempo limitado, para no dañar el transformador que se va a sobrecargar.

Valores de carga media y máxima que se necesitan para el cálculo del factor de carga, se obtienen de la tabla VII, sustituyendo estos valores en la formula anterior, para encontrar el factor de carga de la instalación.

$$FC = \frac{(21,64 \text{ (KWh/h)})}{(38,06 \text{ (KWh/h)})} = 0,57$$

Este valor es muy bajo, pero bastante común ya que los valores medidos en otras instalaciones rondan entre 0,5 y 0,7, esto no quiere decir que sean normales, pero por lo general las instalaciones manejan estos niveles ya que los sistemas son sobredimensionados, muchas veces exagerando en el diseño de las instalaciones, previendo cargas futuras y otros factores que reducen este valor. Lo que indica el valor calculado del factor de carga de la instalación, es que el circuito resulta ser deficiente.

### 2.3.1.6. Inspección física de los centros de carga

El circuito SM2-376 se divide en tres circuitos, los que llegan hacia tres transformadores secundarios, distribuyéndose hacia 10 tableros, los que alimentan los 14 quirófanos de adultos que funcionan en esta área del hospital, según el diagrama unifilar proporcionado por el Departamento de Mantenimiento de este hospital, el que se presenta en la figura 12.

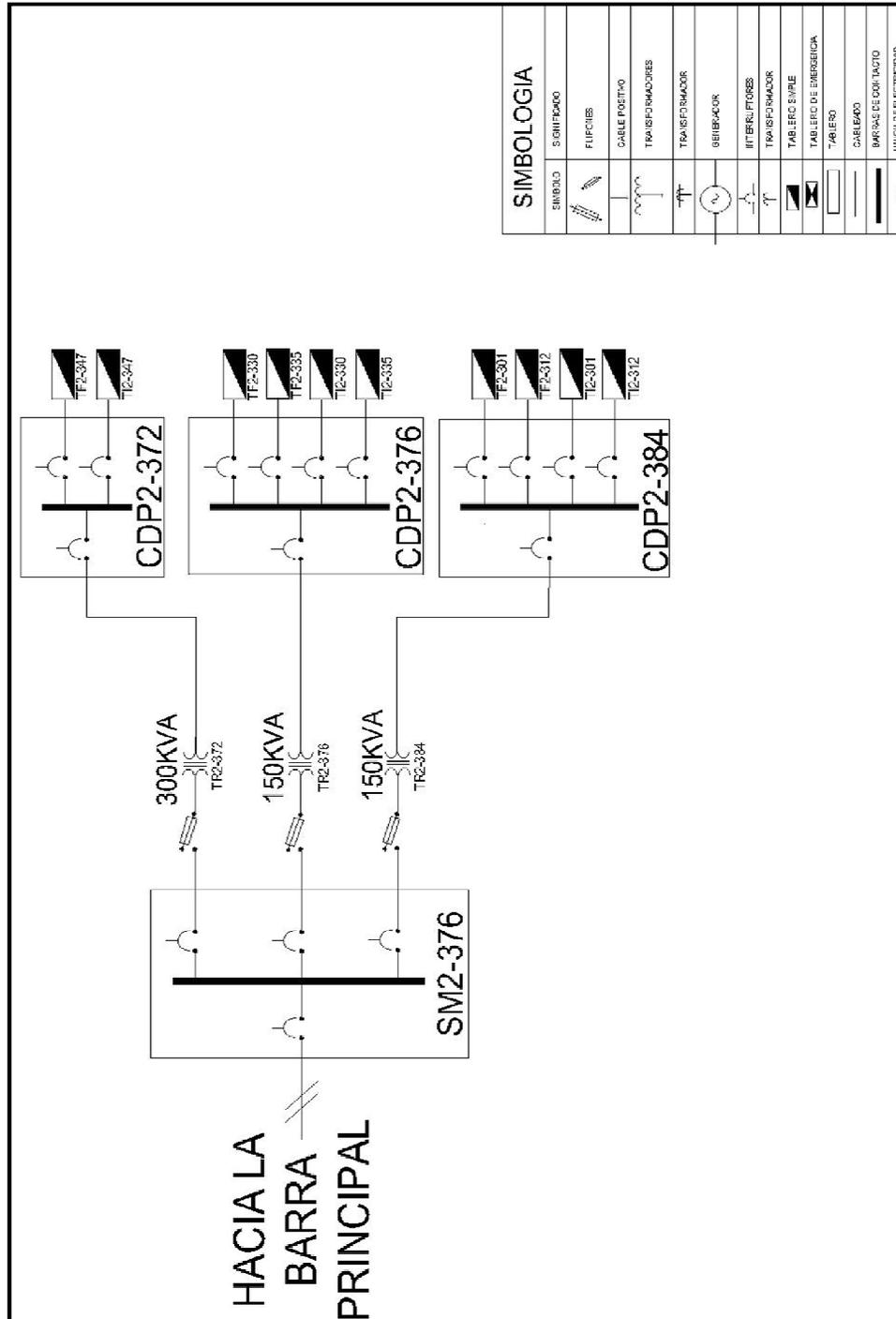
Se inspeccionaron estos centros de carga para verificar la información del unifilar, en esta inspección se encontró que los tres transformadores son secos del tipo *Pad Mounted*, se pudo recabar la siguiente información de estos transformadores, la que se enlista en la tabla XI, que se presenta.

Tabla XI. **Características de los transformadores alimentados por SM2-376**

KVA	Ubicación	Identificación (según unifilar)	Voltaje
300	Nivel 2, Edificio servicios médicos	TRE2-372	480/208-120V
150	Nivel 2, Edificio servicios médicos	TR2-384	480/208-120V
150	Nivel 2, Edificio servicios médicos	TR2-376	480/208-120V

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Diagrama unifilar del circuito SM2-376



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Se encontró que dos de estos transformadores están sobredimensionados ya que poseen un factor de carga cercano a 0,35, muy por debajo de 1, lo que agrega inestabilidad al sistema.

También los centros de carga carecen de algún tipo de mantenimiento, los conductores ya denotan desgaste en el aislamiento y por el paso de los años, es conveniente reapretar todas las terminales.

Los cuartos eléctricos donde se encuentran estos transformadores, son utilizados como bodegas, en algunos casos, se obstruye totalmente el paso del personal de mantenimiento, lo que puede causar problemas en alguna maniobra de emergencia que se tenga que realizar, esto evidencia potenciales accidentes.

## **2.4. Costos del proyecto**

Con los datos del estudio de calidad de energía, se hace evidente que es necesario controlar el factor de potencia agregando al circuito un sistema de compensación reactiva, se debe instalar un UPS en línea como un método para regular el voltaje y que sirva de respaldo cuando existan cortes de energía, también es necesario balancear las cargas conectadas al circuito, por último se deberán renovar los tableros en este circuito.

### **2.4.1. Evaluación económica y cálculo de un sistema de compensación reactiva**

Según los cobros del suplidor de energía, con un factor de potencia de 0,61, como el que se maneja en promedio en el circuito SM2-376, corresponde una penalización por incumplimiento de las Normas Técnicas del Servicio de

Distribución (NTSD) de 1 % por cada centésima de diferencia entre el factor de potencia promedio y 0,9. Se puede concluir que el suplidor cobrará un 29 % más del valor de la factura.

Si la predicción de demanda de energía, de la tabla VII es de 21,64 KWh/h recordando que la medición se hizo por 10 días, multiplicamos por tres dicho valor para obtener el valor por 30 días de un mes, este valor se vuelve a multiplicar por veinticuatro para pasar horas a días obtenemos que el pronóstico de consumo en el mes de la medición será de 1 558,08 KWh, asumiendo que tenemos una tarifa BTDFp (Baja Tensión Demanda Máxima fuera de punta) que tiene un valor por energía consumida de 1,348635 Q/KWh, correspondiente al trimestre que se efectuó la medición, debido a esto, se tiene un cobro de Q2 101,28 sin IVA, agregando cargos fijos, cargos por potencia máxima y potencia contratada, el monto asciende a Q5 142,41 sin IVA, a esto se le suma el 29 % por bajo factor de potencia, tenemos un monto (si iva, tasa municipal y otros cargos) de Q6 633,71. Son aproximadamente Q1 500,00 mensuales, Q18 000,00 anuales, por el pago por penalización por bajo factor de potencia, según la tabla IV el circuito consume aproximadamente 25 KVAr de potencia reactiva, podemos afirmar esto haciendo el cálculo por la formula:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P[\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)]$$

$P = 21,78 \text{ KW}$  (se utilizó el valor de la tabla IV)

$$\theta_1 = \cos^{-1}(fp_1) = \cos^{-1}(0,61) = 52,4^\circ$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(fp_2) = \cos^{-1}(0,986) = 9,6^\circ$$

$$\tan(52,4^\circ) = 1,298$$

$$\tan(9,6^\circ) = 0,167$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(1,30 - 0,17) = 21,78 \text{ KW} (1,13) = 24,61 \text{ KVAr}$$

Un valor cercano a 25 KVAR, como se predijo en las mediciones; en el mercado, un banco de capacitores de esta capacidad está en el rango de los Q35 000,00, la instalación estaría a cargo del departamento de mantenimiento de este hospital, se podría recuperar la inversión aproximadamente en 2 años, teniendo en cuenta que este equipo tiene vida útil mayor a los 15 años, es totalmente justificable la inversión, sin mencionar los ahorros en reparación o cambio del equipo médico y por supuesto, el beneficios para los pacientes.

#### **2.4.2. Evaluación económica y calculo de un sistema de potencia ininterrumpida (UPS)**

Debido a las fluctuaciones de voltaje y corriente que son evidentes en la figura 10, es necesaria la instalación de un sistema de potencia ininterrumpido (UPS) que sirva como respaldo de los equipos y regule las fluctuaciones de voltaje

De la tabla IV, se obtienen los valores de potencia activa y reactiva que demanda el sistema, se utiliza estos valores para encontrar la potencia aparente con la siguiente relación:

$$S(\text{KVA}) = \sqrt{(P(\text{KW})^2 + Q(\text{KVAR})^2)}$$

$$S(\text{KVA}) = \sqrt{(21,78^2 + 24,28^2)}$$

$$S = 32,61 \text{ KVA}$$

Del resultado anterior se sabe que este equipo debe ser de 32,61 KVA, ya que este valor no es comercial y previendo algún incremento en la carga, se calcula un UPS de 40 KVA, en el mercado nacional, UPS's de última generación y con esta capacidad, está valorado alrededor de Q186 000,00. El presupuesto anual para reparación de equipo biomédico de todo el hospital

haciende a Q800 000,00, si se logra reducir esta cantidad instalando este equipo, se puede lograr una renta a favor del hospital, considerando que el equipo tiene una vida útil de 15 años. A continuación se enlistan algunas características que debe reunir este equipo:

- UPS's trifásicos, Doble Conversión en Línea, de construcción modular con diseño de tolerancia a fallas.
- Capacidad de suministro: 30 KVA N+1 (40 KVA) para cada uno de los equipos.
- Máxima capacidad de salida: 40KVA
- Módulos de potencia y baterías contenidas en un solo gabinete
- Voltaje nominal de salida: 120 V, 208 V, 208 V 3 PH
- Frecuencia de salida: 57-63 Hz, para 60 Hz nominal
- Factor de cresta sin límite
- Capacidad de realizar auto-diagnóstico de forma automática y reportarlo de igual manera.
- Bypass automático incorporado
- Puesta en marcha en frío
- Regulación de frecuencia y tensión constantes

### **2.4.3. Costo del balance de cargas y renovación de tableros**

Al hablar de balance de cargas, se está asumiendo que ciertos circuitos van a ser reacomodadas a otros tableros, esto da la oportunidad de renovar los tableros que actualmente se encuentran instalados ya que estos se encuentran desactualizados, así como los cortacircuitos actualmente instalados ya no son confiables, debido a la antigüedad de los mismos.

Se cotizo la renovación y el estudio de balance de cargas, la que puede ver en los anexos de este estudio, esta haciendo a Q74 000,00 estos trabajos tienen la misión de mejorar la confiabilidad del sistema, así como reducir el calentamiento en los equipos; por lo que no se podrá apreciar un ahorro considerable, pero a mediano plazo se podrán verán los beneficios. A continuación se enlistan las características de los tableros que se alimentan del circuito SM2-376, los que deben ser renovados.

Tabla XII. **Características de los tableros alimentados por SM2-376**

<b>ID Tablero (unifilar)</b>	<b>Alimentado por</b>	<b>Fases</b>	<b>Polos</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Ubicación</b>
CDP2-372	TR2-372	3	4	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
CDP2-376	TR2-376	3	8	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
CDP2-384	TR2-384	3	8	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TF2-347	CDP2-372	2	20	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TI2-347	CDP2-372	2	24	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TF2-330	CDP2-376	2	24	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TI2-330	CDP2-376	2	18	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TF2-335	CDP2-376	2	42	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TI2-335	CDP2-376	2	12	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TF2-301	CDP2-384	2	12	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TI2-301	CDP2-384	2	12	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TF2-312	CDP2-384	3	24	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)
TI2-312	CDP2-384	2	12	208-120	Nivel 2, Edificio servicios médicos (quirófanos)

Fuente: elaboración propia.

#### 2.4.4. Sumatoria de los costos del proyecto

En la tabla XIII se presenta la sumatoria total de los costos estimados para el proyecto.

Tabla XIII. Sumario de los costos

Descripción	Monto
Banco de Compensación Reactiva	Q35 000,00
UPS doble conversión en línea	Q186 000,00
Balance de cargas y cambio de tableros	Q74 000,00
TOTAL	Q295 000,00

Fuente: elaboración propia.

#### 2.4.5. Sumatoria de los montos por los beneficios del proyecto

Según estadísticas del hospital (cuadro de costos directos 2012, anexos), el costo día cama ocupada en paciente pendiente de cirugía electiva es de Q636,43 y en promedio un paciente programado para cirugía (cirugía hombres, cirugía mujeres, neurocirugía adultos y cirugía especializada), tiene un tiempo de recuperación (egreso) de 16 días, esto indica que en promedio el hospital invierte Q10 182,88 por paciente egresado y que fue operado en los quirófanos de adultos de este hospital. De estos pacientes, el 1,3 %, se le suspenden los procedimientos debido a algún desperfecto en los equipos de electromedicina o equipo que se encuentra en reparación. Esto quiere decir que de un total de 4 500 pacientes operados y que fueron egresados (recibieron el alta médico) en todo el 2012, alrededor de 58 pacientes estuvieron en promedio 16 días internos en el hospital después de ser operados y tuvieron atraso en egresar,

debido a que algún equipo médico quirúrgico tubo desperfectos en el funcionamiento o estaba en reparación, se ilustra esto en la figura 13.

Figura 13. **Pacientes egresados después de cirugía electiva**



Fuente: elaboración propia.

Esto indica que mejorando la calidad de energía de los quirófanos de adultos y reducir al menos un día en el tiempo promedio de espera de estos 58 pacientes ya que el equipo de electromedicina por el cual se atraso la operación no falló, se estará ahorrando 58 días al hospital del costo día cama ocupada en paciente pendiente de cirugía electiva esto da un monto total de Q37 000,00 anuales de ahorro al evitar desperfectos en los equipos de Electromedicina por mala calidad del servicio de energía eléctrica que los alimenta, se puede ver como se obtiene este monto de la relación:

$$AAP = CDC \left[ \frac{Q}{\text{día}} \right] \times \text{DíasH}[\text{días}] = Q636,43 \times 58\text{días} \approx Q37\ 000,00$$

Donde:

- AAP = ahorro anual por el proyecto [Quetzales]
- CDC = costo día cama ocupada cirugía electiva [Quetzales / día]
- DíasH = días ahorrados por el equipo que no falló [días]

#### 2.4.6. Relación beneficio / costo del proyecto

Recordemos que podemos ahorrarle Q1 500,00 mensuales al hospital por la instalación del banco de capacitores, esto haciende a Q18 000,00 anuales, a esto hay que sumar los Q37 000,00 que ahorraremos por los pacientes a los que no se reprogramaran la operación por desperfectos en equipo biomédico, esto da un beneficio económico total de Q55 000,00, los que se distribuyen por 15 años de vida útil del equipo, según especificaciones del fabricante.

Tabla XIV. **Beneficios y costos económicos del proyecto**

<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/ ahorros (anuales)</b>	<b>Costo de Mantenimiento (anuales)</b>	<b>Total</b>
0	-295,000.00	0.00	0.00	-295,000.00
1	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
2	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
3	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
4	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
5	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
6	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
7	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
8	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
9	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
10	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
11	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
12	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
13	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
14	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00
15	0.00	55,000.00	-10,000.00	45,000.00

Fuente: elaboración propia.

Considerando una tasa para créditos empresariales menores (considerados así cuando el capital prestado es menor a Q5 millones, definido

por el Banco de Guatemala), del 10,39 %, las que ofrecen algunos bancos del sistema, obtenemos los datos de la tabla XV, se puede observar que el proyecto produce beneficios por Q36 041,94, recuperando la inversión en un poco mas de 11 años de los 15 años de vida del proyecto, puede que este tiempo de recuperación de la inversión, no sea muy aconsejable en proyectos lucrativos, pero en proyectos que buscan un beneficio social es aceptable.

Tabla XV. **Beneficios del proyecto**

Tasa de Interés	Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Tiempo de recuperación de la inversión (años)
10,39%	Q36 041,94	12,72%	11,5625

Fuente: elaboración propia.

Para obtener la relación beneficio costo, debemos calcular el Valor presente Beneficios (VPB) y el Valor Presente Costos (VPC) de los valores de la tabla XIV y los sustituimos en la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{VPB}{VPC} = \frac{(Q370\ 671,02)}{(Q334\ 629,8)} = 1,11$$

El valor es mayor a uno, de este indicador se puede concluir que el proyecto es rentable y tiene beneficios para la institución, cabe mencionar que estos valores no se toman en cuenta los ahorros en reparación del equipo biomédico ya que se prevé que se reduzcan los desperfectos en estos equipos al mejorar la calidad de la energía que los alimenta.

## **2.5. Beneficios del proyecto**

Con los datos proporcionados en este documento se comprueba la factibilidad del proyecto, debido a que son más los beneficios para los usuarios, que los costos económicos para desarrollarlo, esencialmente mejorar la calidad de energía de los quirófanos de adultos del hospital, busca beneficiar a los pacientes, que son intervenidos quirúrgicamente en estos quirófanos, haciendo que el sistema que alimenta los equipos que se utilizan antes durante y después de una intervención quirúrgica, sea más robusto y confiable, reduciendo el tiempo de espera por paciente, para la operación que se le va a practicar, ya que el reprogramar por mucho tiempo una operación a un paciente, puede llegar a complicar el tratamiento y por consiguiente demorar más el tiempo de recuperación dentro del hospital, este círculo vicioso, implica un costo económico alto para la institución.

Un beneficio adicional del proyecto es la eficiencia del sistema, ya que se mejorarán los parámetros que están fuera de los rangos normales de funcionamiento, esto evita que los equipos sufran esfuerzos dieléctricos en componentes y alarguen la vida útil de estos, recordando que un alto porcentaje del equipo médico quirúrgico depende de una conexión eléctrica.

Ciertamente es muy difícil determinar el valor real que tiene este proyecto, tomando en cuenta que las vidas humanas que dependen de estos equipos y del sistema eléctrico que los alimenta, no son cuantificables, mencionando también que muchos de los pacientes que acuden a este hospital son de recursos económicos limitados y muy difícilmente podrían costear el tratamiento que se les brinda en esta noble institución.



### **3. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

#### **3.1. Capacitación propuesta**

El programa de capacitación está enfocado en mejorar las deficiencias que se presentan en las áreas técnicas de la subdirección de mantenimiento del Hospital General San Juan de Dios, esta subdirección es única, ya que ningún otro Hospital del Ministerio de Salud, cuenta con una dependencia de este tipo, con la independencia de funciones y nivel organizacional como las que se tienen en esta.

Actualmente este departamento no tiene ningún programa de mejora continua, siendo un área técnica donde se maneja una diversidad de equipos, se tiene una gran cantidad de temas por tratar.

##### **3.1.1. Detección de las necesidades de capacitación**

Una breve inspección a las instalaciones y pláticas sostenidas con el personal, se pudo detectar los temas por capacitar.

- Seguridad Industrial y Seguridad Eléctrica en equipos médicos
- Medición Eléctrica y uso del multímetro
- Clasificación y Nuevas Tecnologías en mantenimiento
- Cálculo de Sistemas de Compensación Reactiva, cálculo de UPS y métodos de regulación de voltaje

La mayoría de los temas anteriores, son de dominio del personal, pero debido a la poca capacitación que reciben, es necesario reforzarlos y actualizarlos, debido a que estos son cambiantes, ya sea porque existen nuevas técnicas o porque se tiene nueva tecnología y principalmente esta última, resulta ser complicada en el entendimiento y aplicación.

### **3.1.2. Definición de los objetivos de la capacitación**

Con el desarrollo de la capacitación buscamos esencialmente tres cosas:

- Mejorar la productividad y el desempeño de los diferentes talleres, como grupo e individualmente.
- Aumentar las habilidades y destrezas de todo el personal técnico de mantenimiento.
- Trasladar toda la información para desarrollar rutinas de mantenimiento eficiente que prolonguen la vida útil de los equipos que se instalen en el proyecto.

Estas capacitaciones se impartirán durante se desarrolle el proyecto, así se puede asesorar al personal en cada paso de la instalación y para que conozcan cada una de las partes de los equipos instalados, y después de finalizado el proyecto, para asesorar al personal resolviendo algún cuestionamiento del funcionamiento.

### **3.2. Material elaborado**

El material que será elaborado, se dará con la finalidad de que sirva al Departamento de Mantenimiento del Hospital General San Juan de Dios, como una guía permanente; que permita consultar rápidamente la correcta operación

y mantenimiento de los sistemas instalados en la acometida que alimenta el circuito SM2-376.

El manual tiene una explicación breve de los parámetros comunes, un listado de fallas frecuentes y recomendaciones para el cuidado de los sistemas instalados.

El manual tendrá los siguientes temas:

- Seguridad en equipo eléctrico
- Conceptos generales de los sistemas instalados
  - Funcionamiento de un Banco de Compensación Reactiva
  - Funcionamiento de un sistema de Potencia Ininterrumpido (UPS)
- Balance de cargas en sistemas desbalanceados
- Recomendaciones a realizar para los cuidados de los equipos

### **3.2.1. Manual de Operación y Mantenimiento**

Seguridad en equipo eléctrico: la seguridad en equipo eléctrico, se define como la reducción del riesgo de los efectos dañinos que puedan darse por la aplicación de una determinada técnica que involucre la utilización de equipo eléctrico.

Los principales motivos de accidentes en hospitales debido al equipo de electromedicina son:

- Equipos en mal estado
  - Cableado defectuoso
  - Corrientes de fuga (corriente a tierra)
- } Problemas en el equipo

- Una falsa maniobra
  - Error en la manipulación de los contactos
  - Mala protección de los equipos
- } Fallas humanas

Los problemas más frecuentes relacionados con la seguridad eléctrica en los equipos de electromedicina son:

- Choque eléctrico (*shock* eléctrico)
- Corriente de fuga
- Sobre voltaje o sobre corriente excesiva
- Interferencia con otro equipo
- Distorsión
- Interrupción de energía.

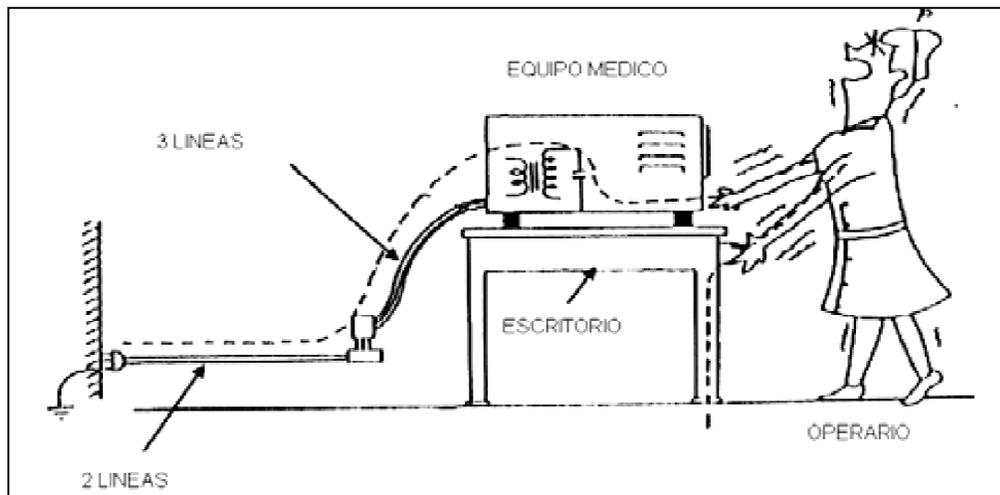
El *Shock* eléctrico puede producirse de dos maneras:

- Por medio de intercambios de carga electrostáticas, esto debido a que por medio de fricción las personas se cargan eléctricamente, produciendo una descarga al tocar un objeto con distinto potencial. Puede provocar una mala práctica médica, ya que se corre el riesgo estimular una contracción muscular no deseada.
- Por medio de la circulación de corriente, que se puede producir por medio de una fuente generadora de corriente, y como consecuencia de pérdida de aislamiento del conductor, cuando en dos puntos de contacto se produce una corriente que entra en contacto con la superficie interna o externa del cuerpo humano.

El *shock* eléctrico se puede dar de dos formas:

EL Macroshock: son producidos por el paso de corrientes relativamente grandes a través del cuerpo humano. Pueden provocar quemaduras eléctricas, espasmos musculares, parálisis y problemas respiratorios.

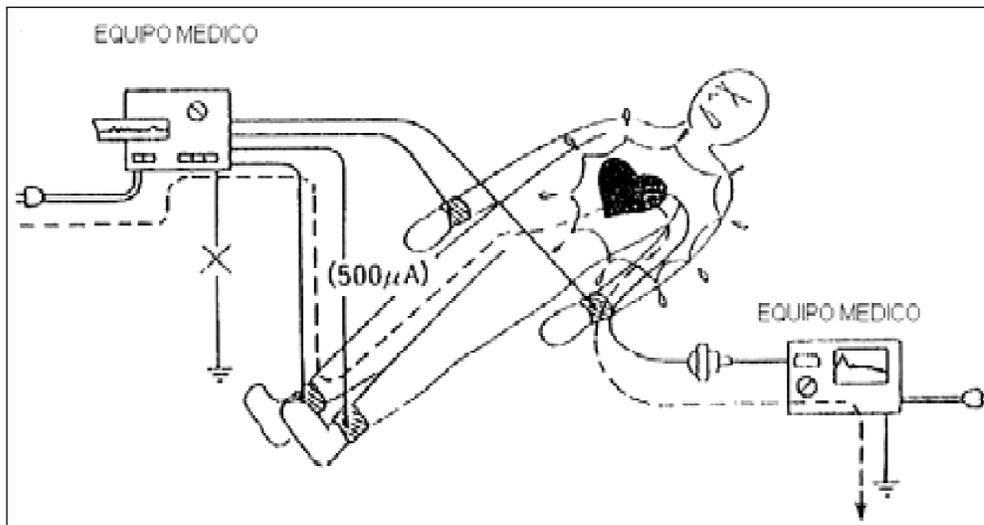
Figura 14. **Ilustración de macroshock**



Fuente: AJANEL LEÓN, Julio Edgardo. Manual de seguridad eléctrica y metrología para equipos médicos, usados en los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios. p. 128.

Microshock: se produce cuando una pequeña corriente es aplicada o pasa cerca del corazón. Esta corriente puede producir fibrilación ventricular y como consecuencia puede causa la muerte o daños cerebrales. Tiene contacto con los tejidos internos del cuerpo humano.

Figura 15. **Ilustración de microshock**



Fuente: AJANEL LEÓN, Julio Edgardo. Manual de seguridad eléctrica y metrología para equipos médicos, usados en los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios. p. 128.

Corriente de fuga: la corriente de fuga es la que se forma normalmente en los chasis conductivos por efectos capacitivos de los componentes electrónicos, en condiciones normales esta corriente se drena a través de la tierra física.

Al hablar de equipo médicos, estas corrientes pueden circular a través del paciente, como consecuencia de una pérdida de aislamiento de los conductores, la conexión eléctrica, por fallo de un conductor activo y el chasis del equipo, o por no estar aterrizado a tierra de manera efectiva.

Tipos de corriente de fuga: en general, para identificar de modo práctico las corrientes de fuga, podemos definirlas de la siguiente manera:

- Corriente de fuga a tierra: aquella que se mide a través del conductor de protección de tierra desde la red de alimentación.
- Corriente de fuga a chasis: fluye del chasis, a través de un camino conductor a tierra, conectado en cualquier parte del chasis, y no a través del preceptivo conductor de protección.
- Corriente de fuga de paciente: la que fluye a través de una parte aplicada a través del paciente a masa, o bien de otro conductor a través del paciente a un equipo flotante.
- Corriente auxiliar del paciente: aquella que fluye a través del paciente entre aparatos aplicados en funcionamiento normal, sin intento de producir efectos fisiológicos.
- Corriente funcional del paciente: corriente que fluye a través del paciente, al aplicar uno o más aparatos con intención de producir efectos fisiológicos.

Conceptos generales de los sistemas instalados.

#### Funcionamiento de un Banco de Compensación Reactiva

Naturaleza de la energía reactiva: todas las máquinas eléctricas (motores, transformadores, etc) alimentadas en corriente alterna necesitan para funcionar, dos tipos de energía:

- Energía activa: es la que se transforma íntegramente en trabajo o en calor (pérdidas). se mide en kWh.
- Energía reactiva: se pone de manifiesto cuando existe un trasiego de energía activa entre la fuente y la carga. Generalmente está asociada a los campos magnéticos internos de los motores (inducción) y transformadores (autoinducción), etc. Se mide en KVArh. Como esta energía provoca sobrecarga en las líneas transformadoras y

generadoras, sin producir un trabajo útil, es necesario neutralizarla o compensarla.

Los capacitores generan energía reactiva de sentido inverso a la consumida en la instalación. La aplicación de éstos neutraliza el efecto de las pérdidas por campos magnéticos.

Al instalar condensadores, se reduce el consumo total de energía (activa + reactiva), de lo cual se obtienen varias ventajas.

- Reducción de los recargos: las compañías eléctricas aplican recargos o penalizaciones al consumo de energía reactiva con el objeto de incentivar la corrección.
- Reducción de las caídas de tensión: la instalación de condensadores permite reducir la energía reactiva transportada disminuyendo las caídas de tensión en la línea.
- Reducción del tamaño de los conductores: al igual que en el caso anterior, la instalación de condensadores permite la reducción de la energía reactiva transportada, y en consecuencia es posible, a nivel de proyecto, disminuir la sección de los conductores a instalar.
- Disminución de las pérdidas: al igual que en el caso anterior, la instalación de condensadores permite reducir las pérdidas por efecto Joule que se producen en los conductores y transformadores.
- Aumento de la potencia disponible en la instalación: la instalación de condensadores permite aumentar la potencia disponible en una instalación sin necesidad de ampliar los equipos como cables, aparatos y transformadores. Esto es consecuencia de la reducción de la intensidad de corriente que se produce al mejorar el factor de potencia.

## Funcionamiento de Un sistema de Potencia Ininterrumpido (UPS)

Un Sistema de Potencia Ininterrumpida es un equipo cuya función principal es evitar una interrupción de voltaje en la carga a proteger, los UPS pueden hacer el funcionamiento de servidores inmune a apagones espontáneos y proteger contra muchos otros tipos de perturbaciones repentinas de la red eléctrica.

El UPS permite que los equipos reciban alimentación de una batería de emergencia durante varios minutos en caso de que se produzcan problemas eléctricos, en especial durante:

- Interferencias en la red eléctrica
- Cortes de electricidad
- Sobrevoltaje
- Baja tensión
- Picos de voltaje
- Descargas de rayos

Tipos de UPS: para implementar sistemas UPS se utilizan una variedad de diseños, cada uno con distintas características de desempeño.

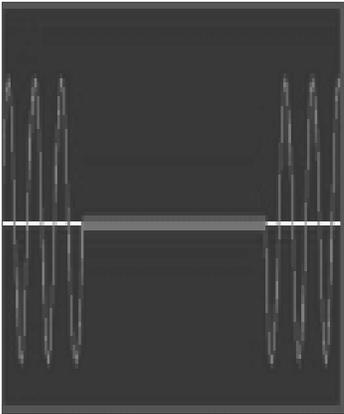
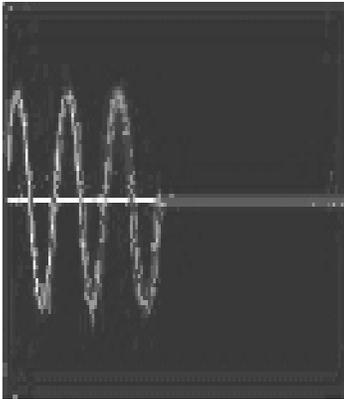
Los diseños más usuales son los siguientes:

- *Standby*: el UPS *standby* es el tipo más utilizado para Computadoras Personales. El interruptor (*switch*) de transferencia está regulado para elegir entre la entrada AC filtrada, la cual es la fuente de energía primaria y alternar con la batería/conversor (inversor), siempre que la fuente de energía primaria falle, el conversor solo se enciende cuando la energía

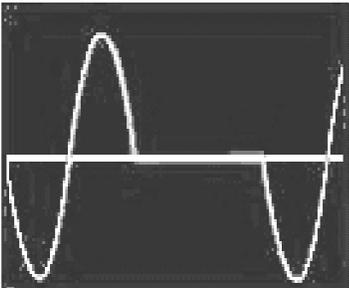
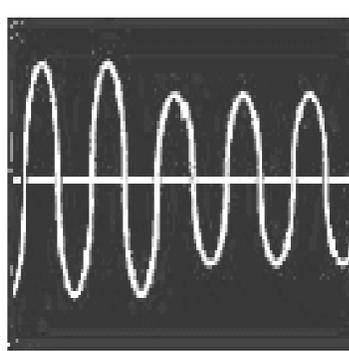
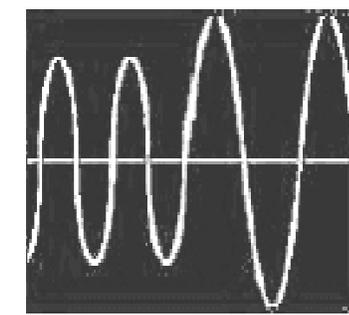
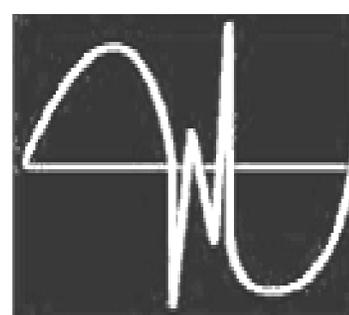
falla, por eso el nombre *standby*. Los principales beneficios de este diseño son: alta eficiencia, pequeño tamaño y bajo costo.

- Línea Interactiva: El UPS de línea interactiva, es el diseño más comúnmente utilizado para pequeños negocios, web y servidores departamentales. En este diseño, el convertidor (inversor) de la batería a energía AC siempre está conectado a la salida del UPS. Si se mantiene el convertidor operando al revés de tanto en tanto, cuando la entrada de energía AC es normal provee carga de batería, cuando la entrada de energía falla, el interruptor de transferencia se abre y la energía fluye desde la batería a la salida de la UPS. Alta eficiencia, pequeño tamaño, bajo costo y alta confiabilidad junto con la habilidad de corregir condiciones de voltaje de líneas bajas o altas.
- Doble conversión on-line: Este es el UPS más usualmente utilizado sobre 10 kVA, en un diseño de doble conversión on-line, la falla de entrada AC no activa el interruptor de transferencia debido a que la entrada AC está cargando la fuente de batería, la cual provee energía al convertidor de salida. Por lo tanto, durante una falla de la energía AC de entrada, la operación on-line no tiene tiempo de transferencia.

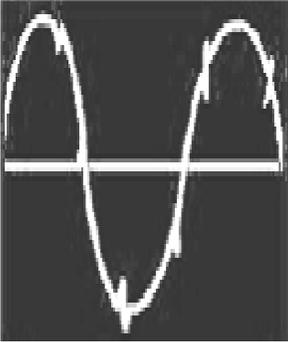
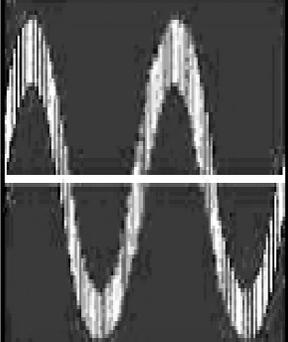
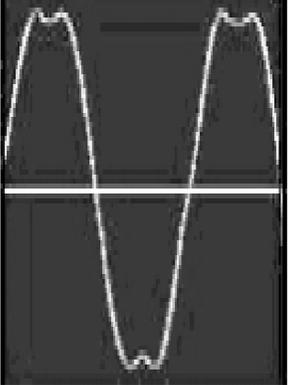
Tabla XVI. **Problemas de calidad típicamente encontrados en la red eléctrica, señalándose la relación del tipo de problema con el UPS que lo soporta**

Problema de Calidad del suministro	<i>Tipo de Onda</i>	Descripción	<i>Efecto</i>	<i>Lo soporta:</i>
Interrupción Temporal		<p>Pérdida total, planeada (por reparación) o accidental, del suministro utilizado en un área localizada de una comunidad. Segundos a minutos.</p>	<p>Los equipos se apagan, pérdida de trabajo y datos, corrupción de archivos del disco duro y sistema operativo, pérdida conexiones de fibra óptica, T1 e ISDN.</p>	<p><i>Standby:</i> SI <i>Line-Interactive:</i> SI on-line: SI</p>
Interrupción Prolongada		<p>Pérdida total, planeada (por reparación) o accidental, del suministro utilizado en un área localizada de una comunidad. Minutos a Horas.</p>	<p>Los equipos se apagan, pérdida de trabajo y datos, archivos del HDD y SO corruptos, pérdida conexiones de fibra óptica, T1 e ISDN</p>	<p><i>Standby:</i> NO <i>Line-Interactive:</i> 95% NO on-line: SI</p>

Continuación de la tabla XVI.

<p>Interrupción Momentánea</p>		<p>Muy corta pérdida del suministro (planeada o accidental). Milisegundos a segundos.</p>	<p>Los PC se cuelgan (pantalla azul!) o se resetean, así como también equipos de red. Pérdida de datos y trabajo, corrupción de archivos HDD.</p>	<p><i>Standby:</i> Puede Ser <i>Line-Interactive:</i> Puede Ser on-line: SI</p>
<p>Baja de Tensión (Sag)</p>		<p>Disminución en tensión de entrada. "Pandeos": Milisegundos a unos pocos segundos Bajo voltaje: Más largo que unos segundos</p>	<p>Se encogen las pantallas, el equipo se cuelga o reinicia, daño de fuentes de poder de los equipos, los equipos de red se cuelgan o se resetean. Pérdida de datos trabajo.</p>	<p><i>Standby:</i> NO <i>Line-Interactive:</i> SI on-line: SI</p>
<p>Sobretensión (Swell)</p>		<p>Un incremento en el voltaje. Elevaciones: Milisegundos a unos segundos Sobretensión: Más largo que unos segundos</p>	<p>Equipos se dañan permanentemente, equipos se cuelgan o reinician. Pérdida de datos y trabajo, corrupción de archivos del HDD y SO.</p>	<p><i>Standby:</i> NO <i>Line-Interactive:</i> SI on-line: SI</p>
<p>Transitorio Impulso o Pulso (Spike)</p>		<p>Un cambio repentino de voltaje hasta varios cientos a miles de volts Microsegundos.</p>	<p>Errores de red, equipos se dañan o quema de circuitos, equipos dañados permanentemente, computadores que reinician operación.</p>	<p><i>Standby:</i> SI <i>Line-Interactive:</i> SI on-line: SI, Alto Nivel de Protección</p>

Continuación de la tabla XVI.

<p>Muesca (<i>Notch</i>)</p>		<p>Una perturbación de polaridad opuesta a la forma de onda. Microsegundos</p>	<p>Transmisión en LAN (Local Area Network) lenta debido a errores excesivos, ruido audible en el teléfono de audio.</p>	<p><i>Standby:</i> NO <i>Line-Interactive:</i> NO on-line: SI</p>
<p>Ruido (<i>Noise</i>)</p>		<p>Una señal eléctrica no deseada de alta frecuencia de otro equipo. Esporádico</p>	<p>Transmisión en LAN (Local Area Network) lenta debido a errores excesivos, ruido audible en el teléfono y sistemas de audio.</p>	<p><i>Standby:</i> NO <i>Line-Interactive:</i> NO on-line: SI</p>
<p>Distorsión Armónica (<i>Harmonic Distortion</i>)</p>		<p>Una alteración de la forma de onda pura (<i>sinewave distortion</i>), debido a cargas no lineales, como computadores con fuentes de poder conmutadas</p>	<p>Provoca recalentamiento de alambres en motores y transformadores, baja la eficiencia operativa de equipos de oficina.</p>	<p><i>Standby:</i> NO <i>Line-Interactive:</i> NO on-line: SI</p>

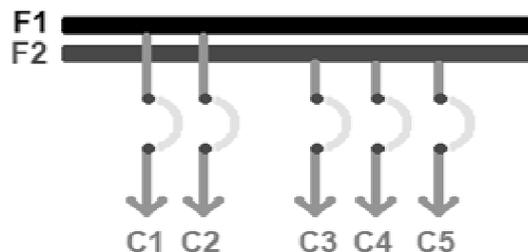
Fuente: [www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes\\_de\\_Banda\\_Ancha/Tarea\\_1/Luis\\_Pe%C3%B1ailillo\\_-\\_UPS\\_\(Presentacion\).ppt](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes_de_Banda_Ancha/Tarea_1/Luis_Pe%C3%B1ailillo_-_UPS_(Presentacion).ppt) UPS. Consulta: agosto de 2012.

## Balance de cargas en sistemas desbalanceados:

Balance, balanceo o equilibrio de cargas se refiere a lo mismo, es la distribución que debe hacer todo técnico o ingeniero electricista de las cargas existentes en una instalación eléctrica, de tal manera que las fases que la alimentan lo hagan más o menos en la misma proporción para todas. Si la instalación es monofásica es obvio que no se requerirá ningún balance. Si la instalación es bifásica o trifásica por norma se realiza.

El equilibrio de las cargas tanto en anteproyectos como físicamente (midiendo las corrientes que circulan por los conductores alimentadores) siempre es una estimación, es sumamente complicado balancearlas y que se mantengan en constante equilibrio a lo largo de las 24 horas del día, es prácticamente imposible dado que la naturaleza de estas es variable tanto en residencias, comercios o industrias, pero debe hacerse y debe buscarse que sea lo más cercano posible al equilibrio ideal en donde circularía exactamente la misma cantidad de corriente en las dos o en las tres fases requeridas para alimentarlas.

Figura 16. **Ilustración de una distribución de cargas en una instalación eléctrica**



Fuente: <http://iguerrero.wordpress.com/2009/05/08/anteproyectos-de-instal-electricas-3/>.

Consulta: agosto de 2012.

El desbalance permitido no debe exceder al 5 %, lo que quiere decir que las cargas totales conectadas a cada Fase de un sistema bifásico o trifásico no deben ser diferentes una de la otra en un porcentaje mayor al 5 %, la fórmula para determinar el desbalance es el siguiente:

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \frac{[(\text{CargaMayor}-\text{CargaMenor})\times(100)]}{\text{CargaMayor}}$$

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \frac{(\text{CM}-\text{cm}) \times 100}{\text{CM}}$$

Se desarrolla un caso, donde se tiene el siguiente cuadro de carga:

Tabla XVII. **Ejemplo de un cuadro de carga**

Cuadro de Cargas

C1		19	180 W	3420 W	3420W
C2		7	75 W	525 W	2,105W
		6	180 W	1,080 W	
		2	60 W	120 W	
		3	60 W	180 W	
		1	200 W	200 W	
C3		6	75 W	450 W	1,010W
		1	200 W	200 W	
		2	180 W	360 W	
C4		9	75 W	675 W	1,775W
		1	200 W	200 W	
		5	180 W	900 W	
C5		1	373 W	373 W	373W
8,683 Watts					

Fuente: <http://iguerrero.files.wordpress.com/2009/05/ccargas.png>. Consulta: agosto de 2012.

Observar que la instalación tiene varios circuitos (C1, C2, C3, C4 y C5), cada uno controlado por un interruptor termo magnético ubicado en el centro de carga.

Puesto que la carga total es de 8 683 Watts entonces son dos fases las que alimentarán a dicha instalación (acometida bifásica 2F-1N, o también se le llama monofásica a 3 hilos).

Resulta obvio que uno o más circuitos deben estar conectados a cada fase (dos fases en este caso). Por ejemplo: C1 y C2 podrían alimentarse/conectarse por/en la Fase 1 mientras que C3, C4 y C5 por/en la Fase 2, resultando el arreglo de la primera figura.

Aplicando la fórmula para saberlo.

C1+C2, que están conectadas a la fase 1 suman 5 525 W

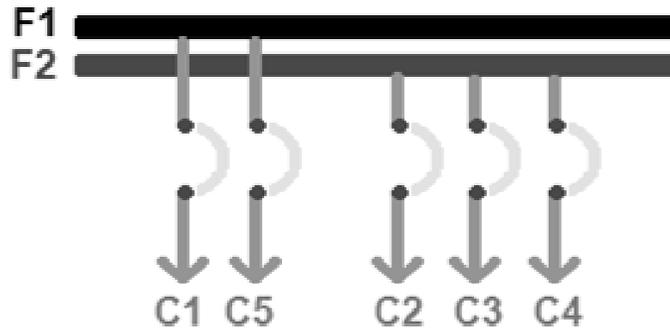
C3+C4+C5, que están conectadas a la fase 2 suman 3 158 W

Resultando: Carga Mayor = 5 525 W, y carga menor = 3 158 W, sustituyendo en la fórmula:

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \left[ \frac{(5\,525 - 3\,158) \times (100)}{5\,525} \right] = 42,84 \%$$

Se necesita reacomodar las cargas; por ejemplo podría hacer el siguiente arreglo, debe observar cómo cambió la colocación de los circuitos en las fases.

Figura 17. **Ilustración del ejemplo para reacondicionamiento de cargas para balancear el sistema**



Fuente: <http://iguerrero.wordpress.com/2009/05/08/anteproyectos-de-instal-electricas-3/>.

Consulta: agosto de 2012.

$$C1 + C5 = 3\,420 + 373 = 3\,793 \text{ W}$$

$$C2+C3+C4 = 2\,105 + 1\,010 + 1\,775 = 4\,890 \text{ W}$$

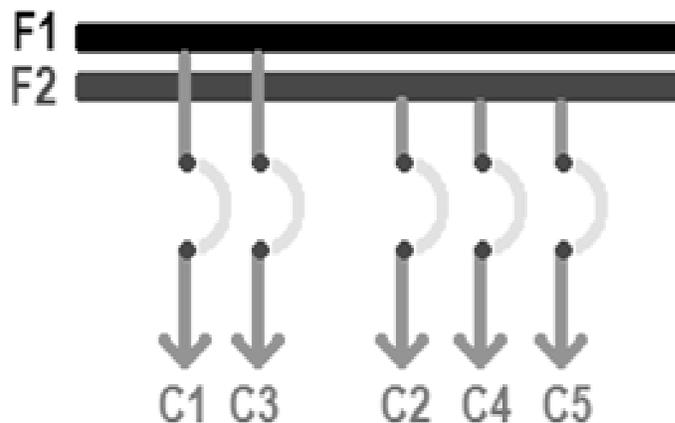
Por lo tanto  $CM = 4\,890 \text{ W}$  y  $cm = 3\,793 \text{ W}$ , aplicando la fórmula:

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \frac{[(4\,890-3\,793) \times (100)]}{(4\,890)} = 22,43 \%$$

$$\text{Porcentaje Desbalance} = 22,43 \%$$

El porcentaje bajó del 42,84 % al 22,43 % pero todavía está arriba del 5 % permitido, así que nuevamente se procede a reacomodar cargas, probando el siguiente arreglo:

Figura 18. **Ilustración del ejemplo para reacondicionamiento de cargas para balancear el sistema, logrando reducción menor al 5 % según norma**



Fuente: <http://iguerrero.wordpress.com/2009/05/08/anteproyectos-de-instal-electricas-3/>.

Consulta: agosto de 2012.

$$C1+C3 = 3\ 420 + 1\ 010 = 4\ 430 \text{ Watts}$$

$$C2+C4+C5 = 2\ 105 + 1\ 775 + 373 = 4\ 253 \text{ Watts}$$

$$\text{Porcentaje Desbalance} = \frac{[(4\ 430 - 4\ 253) \times (100)]}{(4\ 430)} = 3,99 \%$$

El resultado es menor del 5 %, por lo tanto este es el arreglo que se debe elegir (a menos que existiera una mejor alternativa). Ahora bien, ¿todo lo anterior qué representaría?, es decir, ¿qué es lo que tendrías que hacer en la instalación para conseguirlo? físicamente implicaría que en el centro de carga se movieran los circuitos (o los interruptores termo magnéticos los cuales protegen a cada circuito) intercambiándolos de una fase a otra hasta que queden igual que en el arreglo anterior.

## CONCLUSIONES

1. Con el estudio de calidad de energía del circuito SM2-376, se detectaron perturbaciones que afectan a los equipos que están conectados a dicho circuito, las que deben corregirse.
2. En la figura 8 se puede observar que la mayor carga se conecta en horas de la mañana, lo que hace que el factor de potencia suba hasta 0,91, pero en horas de la noche el factor de potencia es muy bajo llegando hasta 0,46.
3. La carga del circuito SM2-376, opera con un factor de potencia de 0,61, ocasionando una penalización del 29 % adicional en la factura.
4. Los transformadores están sobredimensionados en capacidad, reduciendo considerablemente la eficiencia del sistema, provocando pérdidas de potencia y mala regulación de voltaje.
5. Las mayores perturbaciones suceden entre las 10:00 y 14:00 horas, un transitorio de voltaje mayor al 11 % que sucede todos los días alrededor de las 10 de la mañana.
6. Existe un alto desbalance de cargas entre las fases del circuito bajo estudio, superando 7 veces el valor recomendado por la norma.

7. La mayoría de protecciones obsoletas, inadecuadas y en algunos casos inexistentes, es necesario el cambio de estos equipos urgentemente.

## RECOMENDACIONES

1. Mejorar con urgencia el factor de potencia del circuito, instalando un banco de compensación reactiva de 25 KVAR; de no mejorar los valores que actualmente se tienen en el circuito SM2-376 estos parámetros dañaran los equipos conectados a este circuito.
2. Como se ve en la figura 11, se necesita balancear la carga de la fase A y fase B, la que se encuentra desbalanceadas arriba de 35 %, la norma IEEE 1159 establece que no debe existir un desbalance mayor al 5 % entre fases.
3. Cambiar los tableros que se alimentan con el circuito SM2-376 ya que estos son obsoletos y carecen de repuestos en los cortacircuitos.
4. Reubicar los tres transformadores que se alimentan del circuito SM2-376, con la intención de sacar del sistema los que se encuentren sobredimensionados, dando como resultado un sistema más eficiente, con menores perdidas y mejor regulación de voltaje, mejorando con esto el factor de carga de cada transformador que quede conectado al sistema.
5. Instalar un UPS de Doble Conversión en Línea de 40 KVA, para darle respaldo a la carga del circuito SM2-376, durante el tiempo que le toma a la transferencia conectar las plantas de emergencia, interrupciones sostenidas, *sag*, *swell* y para regular el voltaje del circuito.

6. Contratar personal de mantenimiento para que realicen específicamente la supervisión que se tiene de los sistemas eléctricos ya que las protecciones son obsoletas, inadecuadas y en algunos casos fueron eliminadas, aumentando el riesgo de accidentes, esto puede hacerse hasta que se cambien las protecciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AJANEL LEÓN, Julio Edgardo. *Manual de seguridad eléctrica y metrología para equipos médicos, usados en los quirófanos de adultos del Hospital General San Juan de Dios*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2009. 128 p.
2. BREA, Ebert. *Optimización de balance de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica* [en línea]: Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 24, N° 3, pp. 59–73, 2009. [http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/84/1/INFORME\\_GESTION\\_2005\\_2006.pdf](http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/84/1/INFORME_GESTION_2005_2006.pdf). [Consulta: 24 abril 2013].
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución -NTSD-* resolución CNEE No. 09-99, Guatemala: CNEE, 1999. 23 p.
4. DRANETZ-BMI. *PowerVisa™ user's guide* New Jersey, USA: DRANETZ-BMI. 2005, 274 p.
5. DRANETZ-BMI. *user's guide AC power analysis software*, New Jersey, USA: DRANETZ-BMI. 2005, 240 p.
6. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. *Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas*. México: Grupo Noriega Editores, 1993. 468 p. ISBN: 968-18-4919-1

7. ELGUETA RUIZ, Gustavo Adolfo. *Determinación de factores que causan caídas de tensión en el Hospital General San Juan de Dios*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 96 p.
8. Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, Std 1159*. New York: IEEE 1995. 76 p.
9. \_\_\_\_\_. *Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities, Std 602*. New York: IEEE, 1997. 445 p.

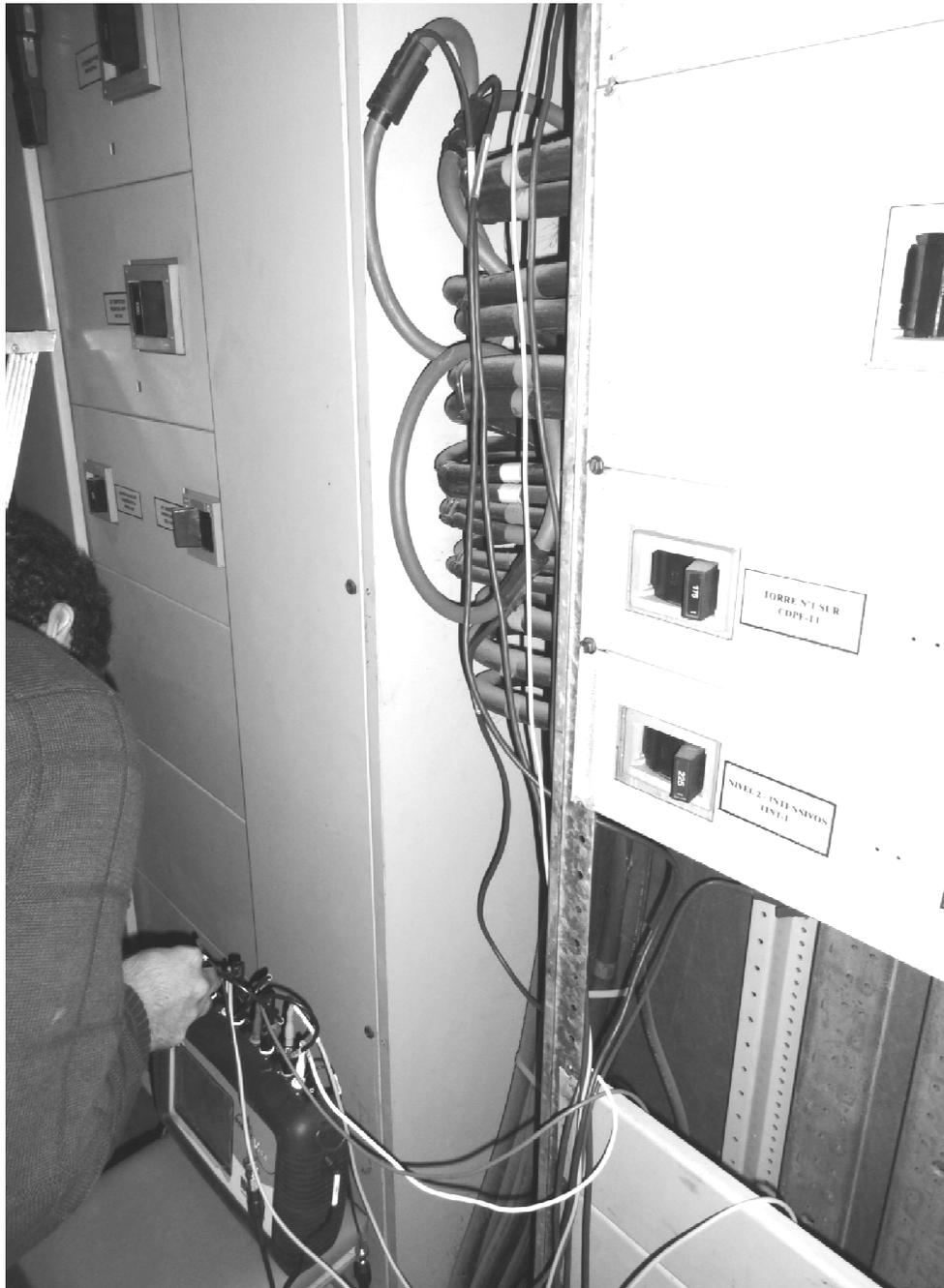
## APÉNDICES

Figura A. Interruptor principal del circuito SM2-376



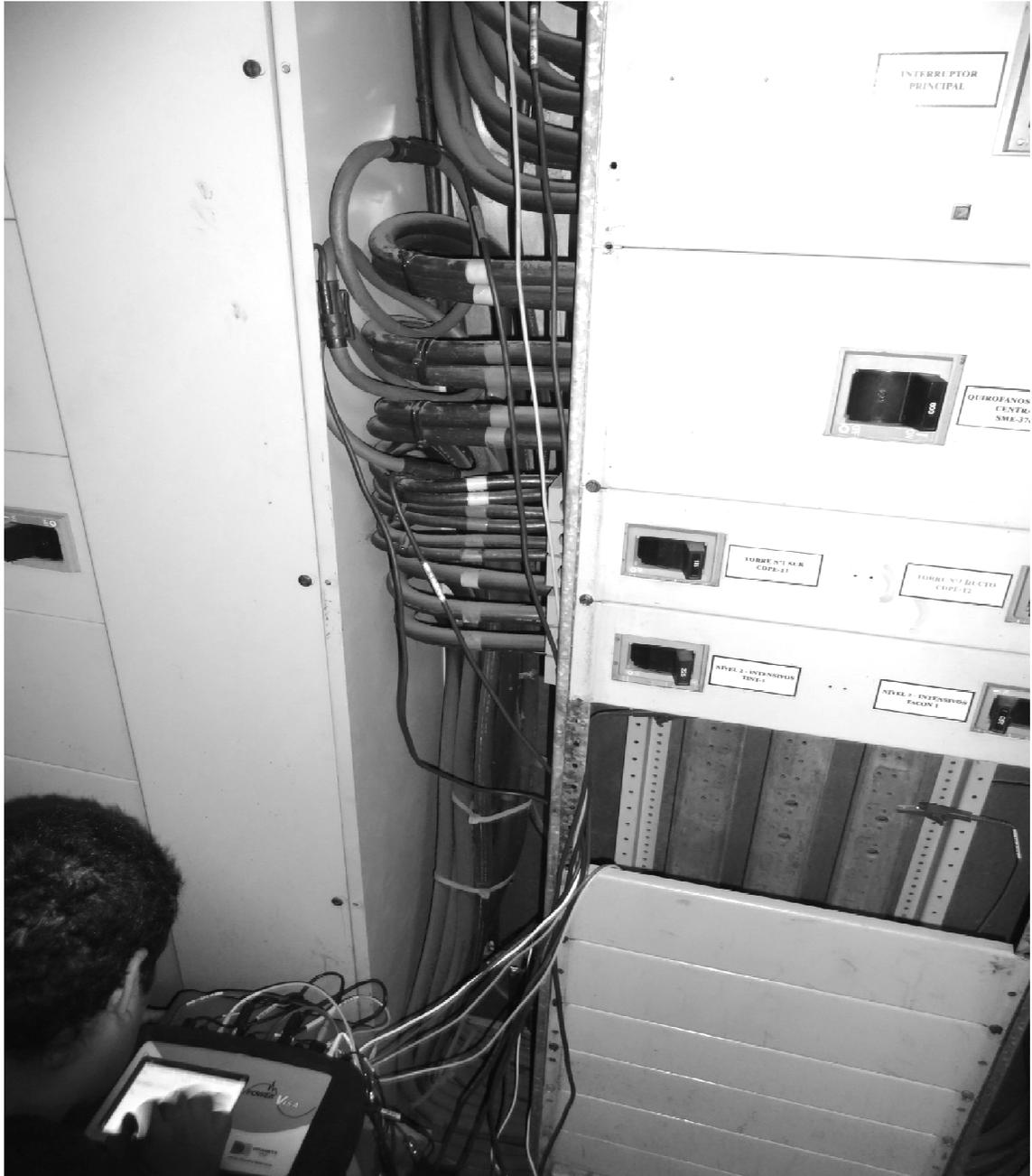
Fuente: Área de Plantas eléctricas, HOSPIGEN.

Figura B. **Cableado del medidor a las puntas de prueba de corriente y voltaje**



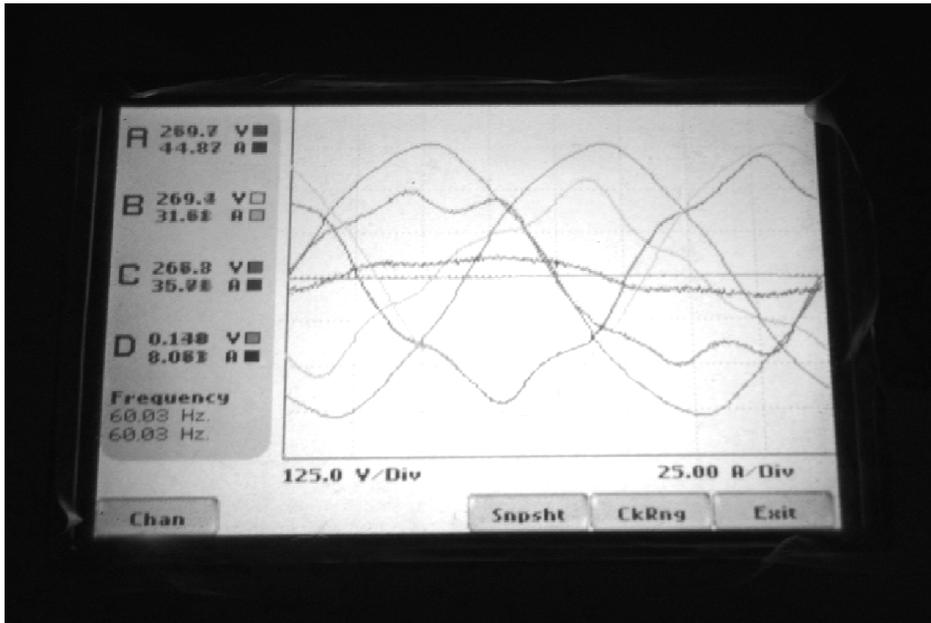
Fuente: Área de Plantas eléctricas, HOSPIGEN.

Figura C. **Parametrización del medidor DRANETZ–BMI, conectado al circuito SM2-376**



Fuente: Área de Plantas eléctricas, HOSPIGEN.

Figura D. **Primeras datos y curvas desplegadas por el medidor DRANETZ-BMI**



**Standard Distortion Unbalance**

Basic		Volts	Amps
Comp Basic	A	270.4	45.06
	B	270.4	32.09
	C	267.5	36.21
	D	0.151	8.372
Power Demand	A-B		469.5 *
	B-C		466.5 *
	C-A		463.9 *

\* Derived values

Exit

Fuente: Área de Plantas eléctricas, HOSPIGEN.

# ANEXOS

## 1. Tabla costos directos del Hospital General San Juan de Dios 2012

DEPARTAMENTO DE INFORMATICA

COSTO DIRECTO DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS (REFERENCIA INFORMES DE COSTOS DEL AÑO 2012)

SERVICIOS	U.Medida	EGRESOS	Costo Egreso Q.	DCO	Costo DCO Q.	211 prop	COSTOS DIRECTOS	
								Total Directo
MEDICINA HOMBRES		1,443	5,564.91	25,720	312.21	696,146.08	Q	8,030,165.91
MEDICINA MUJERES		1,483	4,994.93	26,986	274.49	730,412.06	Q	7,407,484.76
<b>CIRUGIA HOMBRES</b>		1,076	3,948.23	20,939	<b>Q 202.89</b>	566,741.94	Q	4,248,297.24
<b>CIRUGIA MUJERES</b>		1,340	2,788.23	20,508	<b>Q 182.18</b>	555,076.35	Q	3,736,221.98
CIRUGIA EMERGENCIA		1,756	875.44	9,115	168.65	246,709.62	Q	1,537,268.49
UROLOGIA		650	2,026.64	9,238	142.60	250,038.78	Q	1,317,318.61
TRAUMA/ORTO ADUL		1,129	2,615.70	22,662	130.31	613,377.24	Q	2,953,123.23
<b>NEUROCIROGIA ADUL</b>		373	4,645.71	11,185	<b>Q 154.93</b>	302,736.93	Q	1,732,851.14
NEFRO AD. Y T. RENAL		255	8,594.30	3,140	697.94	84,988.29	Q	2,191,547.23
NEFROLOGIA PED		1,004	1,312.11	2,362	557.73	63,930.68	Q	1,317,353.73
<b>CIRUGIA ESPE.</b>		1,425	423.96	6,265	<b>Q 96.43</b>	169,570.58	Q	604,137.78
GINECOLOGIA		702	570.24	3,723	107.52	100,787.96	Q	400,305.30
OBSTETRICIA		11,239	155.47	23,563	74.16	637,764.00	Q	1,747,339.42
PEDIATRIA		2,821	1,148.41	16,282	198.97	440,694.03	Q	3,239,667.37
HOSP. NUTRICION		553	1,251.13	5,237	132.11	141,746.39	Q	691,873.89
HEMATOLOGIA PED		477	6,028.43	3,729	771.13	100,930.36	Q	2,875,559.72
CIRUGIA PEDIATRICA		1,384	739.40	9,209	111.12	249,253.86	Q	1,023,326.72
TRAUMA/ORTO PEDIA		734	556.83	4,095	99.77	110,836.63	Q	408,568.21
CARDIOLOGIA		595	3,109.30	7,074	261.53	191,467.24	Q	1,850,035.03
NEUROCIROGIA PEDIA		96	1,895.11	1,626	111.09	44,009.86	Q	181,930.66
OBSER. EMER. ADUL		4,656	727.09	12,540	269.96	339,411.81	Q	3,385,338.60
OBSER. EMER PEDIA		1,589	604.09	3,944	243.38	106,749.62	Q	959,896.77
INTENSIVO ADULTO		921	17,308.06	7,488	2,128.84	202,672.70	Q	15,940,727.65
INTENSIVO PEDIA		698	10,983.55	5,569	1,376.64	150,732.41	Q	7,666,518.06
RECIEIN NACIDOS		2,199	3,045.23	17,313	386.79	468,599.42	Q	6,696,458.32
CONS. EXT. ADUL		201,823	31.39				Q	6,335,650.28
CONS. EXT. GINECO		29,255	1.07				Q	31,161.54
CONS. EXT. PEDIA		64,259	8.88				Q	570,607.09
EMERGENCIA ADULT.		64,386	161.05				Q	10,369,482.27
EMERGENCIA PEDIA		22,788	197.39				Q	4,498,063.78
EMERGENCIA GINECO		22,090	16.03				Q	354,111.26
ODONTOLOGIA		23,179	4.37				Q	101,249.25
QUIROFANO		16,748	336.71				Q	5,639,238.01
ANESTESIA		16,986	132.36				Q	2,248,311.52
LABOR Y PARTOS	Parto	5,919	194.72				Q	1,152,549.40
FISIOTERAPIA	Tratamiento	40,439	0.88				Q	35,543.04
HEMODIALISIS	Tratamiento	6,898	43.33				Q	298,868.19
ENDOSCOPIA	Estudio	1,751	566.47				Q	991,882.62
LABORATORIO	Examen	1,594,453	3.05				Q	4,860,915.36
BCC. DE SANGRE	Unidad Ad	29,510	164.39				Q	4,851,179.19
PATOLOGIA	Estudio	14,370	33.44				Q	480,589.07
RAYOS X	Placa	133,702	4.11				Q	549,481.78
FARMACIA	Receta	3,484,149	0.16				Q	554,522.28
CENTRAL EQUIPO	Paquete	668,851	7.12				Q	4,761,272.40
TRABAJO SOCIAL	Caso	2,136					Q	
NUTRICION	Racion	325,180	27.07				Q	8,801,430.13
LAVANDERIA	Libras	2,402,996	0.83				Q	1,522,767.08
COSTURERIA	P.Elaborada	83,431	10.59				Q	565,734.44
MANTENIMIENTO	Sol.cumplida	1,932	8.46				Q	12,473.73
TRANSPORTES	Km.	95,744	1.24				Q	119,003.96
ADMINISTRACION							Q	422,498.71
OTROS							Q	-
						<b>Q 7,565,364.84</b>	<b>Q</b>	<b>142,271,903.17</b>

Fuente: Departamento de Informática, HOSPIGEN, enero 2013.

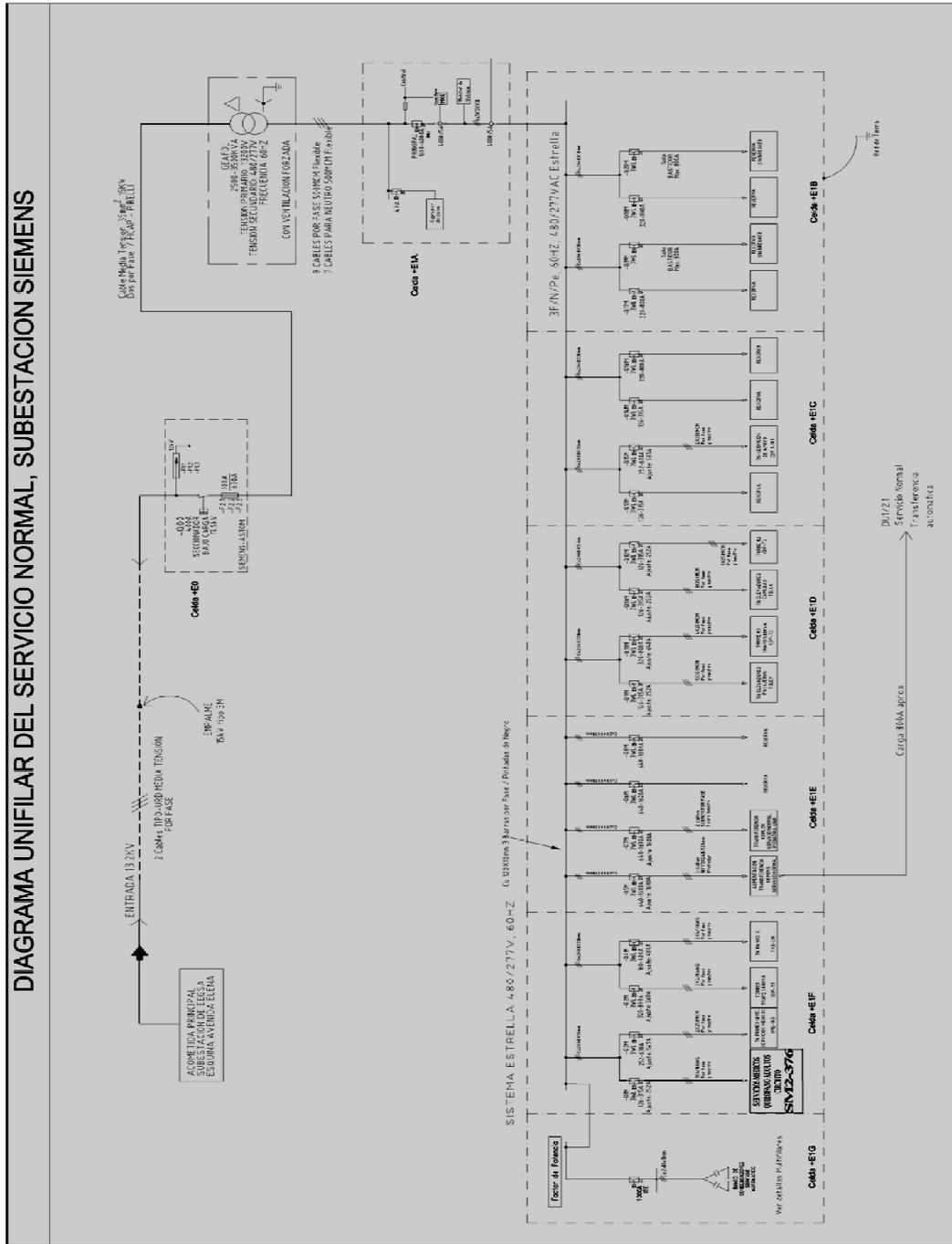
## 2. Tabla producción del Hospital General San Juan de Dios para 2012

PRODUCCIÓN DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS  
CONSOLIDADA DEL AÑO 2012

Servicios	Unidad Producción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
Cirugía de Hombres:	EGRESOS	74	101	94	88	99	100	98	78	84	92	75	102	<b>1,080</b>
Cirugía de Hombres:	DOO	1,206	1,501	1,488	1,215	1,973	1,849	1,565	1,723	1,924	1,708	1,533	2,354	19,830
Cirugía de Hombres:	INDICE OCUP.	63.30%	78.00%	78.00%	63.00%	100.00%	86.00%	82.00%	90.00%	100.00%	89%	79.00%	122.00%	85.42%
Cirugía de Hombres:	CAMAS	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Cirugía de Hombres:	ESTANCIA PROM	16.00	15.00	16.00	15.00	20.00	16.00	16.00	22.00	23.00	19.00	20.00	23.00	<b>18.42</b>
Cirugía de Hombres:	INDICE DE ROTACIÓN	1.16	1.38	1.47	1.30	1.55	1.56	1.53	1.22	1.31	1.44	1.17	1.59	1.41
Cirugía de Mujeres:	EGRESOS	88	128	116	125	222	140	140	128	112	127	109	157	<b>1,492</b>
Cirugía de Mujeres:	DOO	1,798	2,067	2,075	1,787	2,388	1,638	1,960	1,654	1,944	1,784	1,662	2,467	23,224
Cirugía de Mujeres:	INDICE OCUP.	94.30%	103.00%	103.00%	93.00%	100.00%	85.00%	100.00%	86.00%	101.00%	99%	87.00%	126.00%	98.58%
Cirugía de Mujeres:	CAMAS	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Cirugía de Mujeres:	ESTANCIA PROM	26.00	16.00	18.00	14.00	20.00	12.00	14.00	13.00	17.00	14.00	15.00	16.00	<b>15.75</b>
Cirugía de Mujeres:	INDICE DE ROTACIÓN	1.38	2.20	1.81	1.95	1.91	2.19	2.19	2.00	1.75	1.98	1.70	2.45	1.94
Neurocirugía Adultos	EGRESOS	41	45	55	37	31	37	44	39	54	46	45	48	<b>518</b>
Neurocirugía Adultos	DOO	1,177	1,046	946	864	969	910	940	1,048	719	1,175	1,038	1,452	12,088
Neurocirugía Adultos	INDICE OCUP.	123.30%	103.00%	88.00%	90.00%	100.00%	95.00%	98.00%	100.00%	75.00%	123%	108.00%	151.00%	105.60%
Neurocirugía Adultos	CAMAS	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Neurocirugía Adultos	ESTANCIA PROM	25.00	23.00	16.00	25.00	31.00	25.00	21.00	27.00	13.00	26.00	23.00	30.00	<b>24.08</b>
Neurocirugía Adultos	INDICE DE ROTACIÓN	1.28	1.41	1.66	1.09	0.97	1.16	1.38	1.22	1.69	1.44	1.41	1.50	1.35
Cirugía Especializada	EGRESOS	111	139	128	114	225	122	122	132	112	121	95	88	<b>1,410</b>
Cirugía Especializada	DOO	423	640	543	569	701	528	771	680	586	575	537	426	7,079
Cirugía Especializada	INDICE OCUP.	44.30%	67.00%	67.00%	59.00%	73.00%	55.00%	80.00%	71.00%	52.00%	80%	55.00%	44.00%	61.42%
Cirugía Especializada	CAMAS	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Cirugía Especializada	ESTANCIA PROM	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	4.00	6.00	5.00	5.00	5.00	6.00	5.00	<b>5.08</b>
Cirugía Especializada	INDICE DE ROTACIÓN	3.47	4.34	4.00	3.56	3.91	3.81	3.81	4.13	3.50	3.78	2.97	3.78	3.67
TOTAL MENSUAL DE EGRESOS		3,208	3,693	3,425	3,411	3,467	3,949	3,689	3,589	3,580	3,665	3,429	3,561	42,176
TOTAL MENSUAL DE DOO		21,241	25,829	24,360	22,048	26,428	25,441	25,080	25,555	26,194	26,439	25,763	28,898	303,070
PROMEDIO MENSUAL DE INDICE OCUP.		67.88%	83.64%	80.00%	74.03%	83.32%	82.48%	80.76%	82.36%	101.28%	109.60%	98.13%	117.64%	100.38%
TOTAL MENSUAL DE CAMAS		926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926
PROMEDIO MENSUAL DE ESTANCIA PROM		9.76	10.48	10.32	10.24	11.24	11.08	9.92	10.92	11.48	11.32	11.36	12.12	10.85
PROMEDIO MENSUAL DE INDICE DE ROTACIÓN		5.07	5.70	5.29	5.29	5.50	5.43	5.73	5.56	5.33	5.68	4.70	5.62	5.42
TOTAL MENSUAL DE Consultas Externas		26,012	29,295	27,306	26,940	28,561	28,388	29,462	27,862	27,636	28,420	27,689	20,737	328,088
TOTAL MENSUAL DE Atendidos en Emergencia		8,357	9,389	11,099	11,793	12,962	12,223	12,488	9,869	10,236	10,321	9,225	8,884	126,676

Fuente: Departamento de Informática, HOSPIGEN, enero 2013.

### 3. Subestación eléctrica principal, Hospital General San Juan de Dios



Fuente: SIEMENS Electrotecnia Guatemala.

#### 4. Facturación EEGSA mayo 2012, contador L-95761 que alimenta subestación principal de 13.2KV/480-277V, 2.5MVA



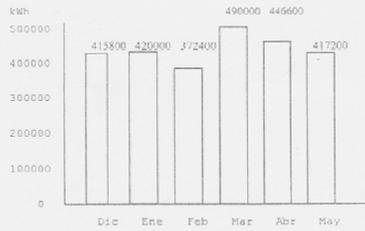
**Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.**  
6a. Avenida 8-14, Zona 1 NIT: 32644-5  
Teleservicio 2277-7000

#### Historial de Consumo

Dirección del servicio: AVENIDA ELENA 9-00 GUATEMALA-01 Zona 1  
Municipio: Guatemala  
Departamento: Guatemala

#### Datos del Cliente

Nombre: HOSPITAL GRAL. SN. JUAN DE DIOS  
Dirección de Cobro: GUATEMALA-01, AVENIDA ELENA 9-00 Zona 01  
Municipio: Guatemala  
Departamento: GUATEMALA  
Ruta: 605-32120-000 8424  
NIT: 662747-1



Su Consumo promedio por día durante los últimos 6 meses ha sido de \*233.33 kWh/día.

#### Datos de Factura y Tarifas

Factura Electrónica CFACE-1-BE-001-120010368127  
Referencia bancos: BZ-010368127  
Fecha de emisión: 10/05/12  
Contador: J-39500  
Correlativo: 673375  
Tarifa: Demanda mayor en punta  
Tarifa vigente: Mayo - Julio 2012

#### Datos de Lecturas

Fecha de Lectura	Lectura kWh	Lectura KVARh	Potencia Máxima del Mes kW
Actual 09/05/12	2226000	1142400	1022.0
Anterior 10/04/12	1808800	928200	

Factor de Potencia 0.8996  
Le hemos servido durante 29 días

Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)  
Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

#### Detalle de Cargos Q.

	Precios	Consumos	Importe Q.
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	717.796443 Q/usuario-mes		717.00
Cargo por Energía (Sin IVA)	1.489261 Q/kWh	417200 kWh	610902.49
Cargo por Potencia Máxima (Sin IVA)	46.387605 Q/kW	1022.0 kW	47408.13
Cargo por Potencia Contratada (Sin IVA)	20.684146 Q/kW	1078.0 kW	22297.51
Total Cargo (Sin IVA)			691325.93
Total Cargo Q. (Con IVA)			774285.04
Penalización por Incumplimiento a NTSD (Con IVA)			8044.20
Tasa Municipal (cobro por cuenta de terceros) (Sin IVA)	13.0% Municipalidad de Guatemala		90806.07
<b>TOTAL CARGOS DEL MES Q.</b>			<b>873135.31</b>
Cargos: Q.567619.32 GENERACIÓN Y TRANSPORTE; Q.174627.06 IMPUESTOS Y TASAS; Q.23706.61 DISTRIBUCIÓN			
Saldo Anterior de 01 mes(es)			208517.29
(+)Mora por Saldo Anterior (Con IVA)	1.06% Mensual		1254.44
Total Saldo Anterior			209771.73
(-)Indemnización por Incumplimiento a NTSD (Con IVA)			0.00
<b>TOTAL A PAGAR</b>			<b>1082907.04</b>

Si cancela esta factura después del 09/06/12 tendrá un recargo por mora de Q. 9547.13 .

GFACE: Megaprint, S.A. NIT 5051023-1  
CAEC: A3/1uoTYGoro/OfiteYAZTm1f8AQ3pseeCRl2e60v61L2wUg/1G1bR10vGrlMc1e17829eShv6Cw+nE2ByC61e  
06n341A71113B9B8E977rV5VtCCclnMqC9A71851wBacc6e76Av11g15NuJ2e8RF

Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. ----- CODO PARA BANCO -----

Referencia bancos: BZ-010368127  
Fecha de emisión: 10/05/12  
Correlativo: 673375

Detalle	Saldo Anterior	Cargos del Mes	Total a Pagar
Su Cuota Sin IVA	105663.81	698508.25	804172.06
IVA (12%)	12814.05	83820.99	96635.05
Tasa Municipal	90173.82	90806.07	180979.89
Mora	1120.04	0.00	1120.04
<b>Totales</b>	<b>209771.73</b>	<b>873135.31</b>	<b>1082907.04</b>

Fuente: Departamento de Compras, HOSPIGEN mayo 2012.

**5. Cotización de renovación y balance de cargas en tableros alimentados por el circuito SM2-376**



Guatemala 13 de Agosto del 2012

Señor:  
Hospital San Juan de Dios, Guatemala  
Cotización:120509

NIT:6380504-9

Reciba un cordial saludo de parte de corp. R&CH, deseándole bendiciones y éxitos en todas sus Actividades. A continuación sometemos a su criterio la siguiente cotización, según lo solicitado.

código	cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total
S-EX	1	*renovación y balance de cargas en tableros alimentados por el circuito SM2-376, Hospital General San Juan de Dios*	74,000.00	Q 74,000.00
Total				Q 74,000.00

Observaciones: La siguiente cotización tiene vigencia de 15 días Hábiles, para realizar este trabajo necesitamos coordinar con el departamento de mantenimiento en el momentos que se realice la orden de compra



Erik Manuel Rosales  
Consultor de Proyectos

---

11 avenida 31-47 zona 12, 2do nivel, local "C" Telefax: 2476 78000

Fuente: Electrónica R&CH, agosto 2012.

