



**TRABAJO FINAL DE EXAMEN COMPLEXIVO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE “MAGÍSTER EN INGENIERÍA  
BIOMÉDICA”**

**Título:**

Análisis de los factores asociados al ruido presentado en ecógrafos durante una eco endoscopía digestiva, estrategias de encaminamiento a su disminución: observaciones en un centro referente en enfermedades digestivas.

**Presentado por:**

Carlos Alberto Bolaños Toro

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023 - 2024

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Carlos Alberto Bolaños Toro* y doy mi consentimiento para que la UNIVERSIDAD realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Carlos Alberto Bolaños Toro

# COMITÉ EVALUADOR

---

**PhD. Ángel Recalde**

PROFESOR TUTOR

---

**MSc. Miguel Yapur**

PROFESOR EVALUADOR

## RESUMEN

En este estudio se presentan los efectos relacionados con la interferencia electromagnética radiada, y la calidad de energía en un consultorio de endoscopia digestiva, producidas mediante equipos de comunicación inalámbrica, y también por equipos utilizados para monitorear el estado de salud del paciente durante la prueba.

Se evaluó el comportamiento de la interferencia electromagnética producida por los equipos médicos alrededor, los resultados de dichas pruebas presentaron alteraciones debido a las ondas radiadas que producen, distorsionando la imagen del ecógrafo durante la evaluación del paciente. Para el análisis de dicho comportamiento se hizo uso de dos equipos de medición tales como: un analizador de energía de la marca Fluke y un medidor de ondas electromagnéticas marca CQ. Las normas aplicadas para este estudio fueron el IEC 60601 que garantiza la seguridad y rendimiento de equipos médicos relacionados con ondas electromagnéticas, y el IEC 61000-4-30 que identifica los parámetros de calidad de energía en un centro médico.

Finalmente, en las conclusiones se ofrecen recomendaciones para futuros mejoramientos en áreas de esta índole, usando las normas para el buen uso de los equipos y el mejoramiento en los estudios médicos y evaluaciones del paciente puesto a prueba.

**Palabras clave:** ondas electromagnéticas, ecógrafo, equipos médicos, campos electromagnéticos.

## **ABSTRACT**

*The present study presents the various effects related to radiated electromagnetic interference and power quality in a digestive endoscopy office, which are produced by wireless communication equipment, as well as by equipment used to monitor the patient's state of health during the test.*

*The behavior of the electromagnetic interference produced by the medical equipment around was evaluated, the results of such tests presented alterations due to the radiated waves they produce, distorting the ultrasound image during the patient's evaluation. For the analysis of such behavior, two measuring devices were used: a fluke energy analyzer and a CQ electromagnetic wave meter. The standards applied for this study were the IEC 60601 standard, which guarantees the safety and performance of medical equipment in relation to electromagnetic waves, and the IEC 61000-4-30 standard, which identifies the power quality parameters in a medical environment.*

*Finally, the conclusions provide several recommendations for future improvements in areas of the same nature, making use of the respective standards for the proper use of the equipment, improving the conditions under the patient experiences medical tests.*

*Key words: electromagnetic waves, ultrasound, medical equipment, electromagnetic fields.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
ÍNDICE DE figuras .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
CAPÍTULO 1 .....	9
1.    Introducción.....	9
1.1    Descripción del problema .....	10
1.2    Justificación del problema.....	10
1.3    Objetivos.....	11
1.3.1    Objetivo General .....	11
1.3.2    Objetivos Específicos .....	11
1.4    Marco teórico .....	12
1.4.1    La norma IEC 60601 .....	12
1.4.2    La norma IEC 61000 .....	12
1.4.3    Normativa de ARCONEL ARCERNNR-002 - 20 .....	13
1.4.4    Equipos inalámbricos en área de ensayos.....	13
1.4.5    La descarga electrostática .....	14
1.4.6    El sistema eléctrico en un centro clínico .....	15
1.4.7    Los armónicos.....	16
1.5    Interferencia electromagnética.....	17
1.5.1    Fuentes de interferencia.....	18
1.6    Diferencia entre ruido e interferencia.....	21
1.7    Compatibilidad electromagnética.....	21

1.8	Diseño de laboratorios certificados.....	22
1.9	Eficiencia energética aplicada al sector de la salud.....	25
1.9.1	Beneficios ante la aplicación de propuestas de eficiencia energética ....	26
1.10	Problemas de la calidad de energía eléctrica .....	27
1.11	Factor de Potencia.....	27
CAPÍTULO 2.....		28
2.	Metodología .....	28
2.1	Enfoque .....	28
2.2	Población y Muestra .....	28
	Población.....	28
2.3	Levantamiento de la Información.....	28
2.3.1	Análisis del entorno .....	28
2.3.2	Análisis de las Redes de Comunicación y Eléctrica .....	28
2.3.3	Análisis de la Calidad de Energía.....	29
2.3.4	Dispositivos de medición estandarizados.....	29
2.3.5	Indicadores de análisis en Ruidos Electromagnéticos .....	30
2.3.6	Equipos de Medición .....	31
CAPÍTULO 3.....		33
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	33
3.1	Normas .....	33
3.2	Mediciones tomadas.....	34
3.3	Distorsión armónica total del voltaje (THDv).....	36
3.4	Perturbación rápida de voltaje, Flicker (parpadeo). .....	37
3.5	Registro de corrientes.....	38
3.6	Distorsión armónica total de corriente (TDDi) .....	39
3.7	Registros de Potencia.....	41

3.8	Factor de Potencia.....	43
3.9	Resultados obtenidos del estudio realizado.....	45
3.10	Acciones correctivas.....	45
	Conclusiones .....	48
	Recomendaciones .....	48
	BIBLIOGRAFÍA.....	49



## ABREVIATURAS

ESD	Descarga electroestática
IEC	Comisión electrotécnica internacional
EMI	Interferencia electromagnética
CEM	Compatibilidad electromagnética
EM	Equipos electromédicos
ESD	Descarga electroestática
IT	Aislamiento a tierra
UPS	Unidad de aislamiento ininterrumpida
DTH	Distorsión armónica
MRI	Resonancia electromagnética
CT	Tomografía computarizada
ECG	Electrocardiógrafo
T	Tesla
TDHV	Distorsión armónica total del voltaje
TDD	Distorsión de la corriente
mGy	miliGray
μGy	microGray
V/m	Voltios por metro
Vrms	Voltaje eficaz

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de ruidos electromagnéticos naturales.....	18
Figura 2. Ciclo básico para el desarrollo de un laboratorio .....	23
Figura 3. Beneficios de la eficiencia energética .....	25
Figura 4. Beneficios por la implementación de medidas de eficiencia energética .....	26
Figura 5. Diagrama eléctrico con punto de medición y ecógrafo .....	34
Figura 6. Registros de voltajes de línea a línea en la instalación .....	35
Figura 7. Registros de nivel de distorsión armónica de tensión .....	37
Figura 8. Registros de la perturbación rápida de voltaje .....	38
Figura 9. Registros de la corriente por fase .....	39
Figura 10. Registros de distorsión de armónicos en la corriente .....	40
Figura 11. Registros de potencia activa .....	41
Figura 12. Registros de potencia reactiva.....	42
Figura 13. Registro de potencia aparente .....	42
Figura 14. Resumen del registro de potencias.....	43
Figura 15.Registro del factor de potencia .....	44
Figura 16. Diseño original del centro digestivo .....	46
Figura 17. Diseño optimo propuesto para el centro digestivo .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructurada detallada de IEC 61000 .....	13
Tabla 2. Descripción de alteraciones por uso de equipos inalámbricos.....	14
Tabla 3. Requisitos mínimos para un centro clínico.....	16
Tabla 4. Implicaciones de los armónicos en equipos médicos .....	17
Tabla 5. Definiciones y características de ruidos electromagnéticos naturales .....	19
Tabla 6. Niveles de intensidad de campo eléctrico en equipos médicos .....	20
Tabla 7. Normas de certificación y acreditación .....	24
Tabla 8. Normativas estándares para calidad de energía.....	29
Tabla 9. Límites para el índice de nivel de voltaje de acuerdo con la normativa .....	36
Tabla 10. Valores de THD para distintos niveles de voltaje .....	36
Tabla 11. Niveles de THD por fase .....	36
Tabla 12. Coeficiente de Flicker.....	37
Tabla 13. Corrientes por fase.....	38
Tabla 14. Valores límites de distorsión armónica de corriente.....	39
Tabla 15. TDD en cada fase .....	40
Tabla 16. Registro de potencias .....	41
Tabla 17. Factor de potencia medio por fase.....	43
Tabla 18. Límites de distorsión en voltaje.....	46

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace años existe una constante preocupación por las interferencias electromagnéticas en centros médicos, existen estudios relacionados que, según ensayos, han determinado la influencia de equipos electromagnéticos por comunicación inalámbrica, generando insatisfacción del personal capacitado, ya que disminuye la probabilidad de ser más preciso. Por ejemplo, los autores en (Calvo et al., 2008a) evaluaron el impacto de los equipos de radiocomunicación, así como el de equipos médicos aledaños, mediante ensayos en centros hospitalarios. Es por ello por lo que en el trabajo de (David et al., 2020) se presentaron protocolos de aplicación en las mediciones en entornos médicos haciendo uso del estándar IEC 60601-1-2, como norma aplicable para los equipos médicos.

En los últimos años, investigadores como (Calvo et al., 2008b) ha puesto en manifiesto los problemas presentes en equipos médicos ante la influencia de nuevas tecnologías. En (Tremola et al., 2022) se presenta un estudio cronológico acerca de la EMI en equipos médicos. EMI son las siglas en inglés para Interferencia Electromagnética. Es inevitable tener en cuenta lo mencionado, realizar un estudio que evalúe la EMI en un centro médico, por lo que el trabajo de Tremola et al. se planteó para el estudio y análisis del comportamiento de ruidos en ensayos médicos, y el análisis de energía para un correcto funcionamiento de los equipos durante las diversas evaluaciones. La metodología utilizada para la obtención orientada a resultados fue:

1. Realizar análisis de las redes eléctricas en el ecógrafo,
2. Realizar mediciones de ondas en equipos médicos cercanos, y
3. Realizar el seguimiento de la calidad de la energía en el centro durante 7 días.

La metodología mencionada se adoptó en este estudio para validar las condiciones EMI de un centro médico. Igualmente, para este estudio se usaron equipos calibrados bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:201 que permitirán determinar con mayor eficacia los efectos producidos por interferencia, se evidencia que un porcentaje de (valor) presentan rangos fuera de lo establecido en la

Normativa de ARCONEL ARCERNNR-002 - 20. De acuerdo con los tipos de fallas identificados, se concluye que los equipos interferidos podrían causar un deterioro en la salud del paciente, al no estar siendo monitoreado de la manera correcta.

### **1.1 Descripción del problema**

En un centro médico privado dedicado al tratamiento de enfermedades digestivas, en Guayaquil. Se evidencia interferencia en el área de endoscopia digestiva el cual involucra el ecógrafo, el equipo ya mencionado presenta ruido en la visualización de imagen en tiempo real, durante los ensayos médicos.

El centro médico ha tenido un crecimiento exponencial lo que ha derivado en la falta de capacitación para que el personal técnico que labora en este lugar pueda identificar las diversas interferencias que pueden afectar a los ecógrafos como en este caso lo es la Interferencia Electromagnética (EMI) , esto ocasiona que el personal médico presente dificultad al momento de observar las imágenes ecográficas cuando se ejecutan los procedimientos, debido a que no pueden identificar si las imágenes ha sido alteradas por EMI y pueda llegar a afectar el analizar estas imágenes para poder emitir un diagnóstico médico.

En el presente proyecto se plantea un estudio que,

1. Permita encontrar patrones de ruido asociados en la sala de ensayos que puedan estar ocasionando interferencia afectando la sensibilidad del ecógrafo provocándole ruido.
2. Permita, a su vez, la ejecución de un análisis de energía eléctrica, el cual se realizará durante una semana completa.

El planteamiento se realizar para mejorar el rendimiento y precisión de la actividad médica en el centro médico referido.

### **1.2 Justificación del problema**

Con los años, la eco endoscopia digestiva se ha convertido en una herramienta indispensable para el diagnóstico de enfermedades gastrointestinales. Sin embargo, su eficacia se ve amenazada por interferencias visuales conocidas como ruidos, afectando la precisión de los diagnósticos que se realizan. Ante el inminente desafío, este proyecto

analiza con detalle los factores asociados a estas interferencias, ofreciendo una evaluación detallada y específica en un centro reconocido de gastroenterología en Guayaquil.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de optimizar el área de endoscopia digestiva, necesaria para detectar y manejar patologías gastrointestinales, aunque todos los beneficios representados se ven limitados por las interferencias de ciertos equipos, decreciendo la eficacia del análisis y la calidad de atención del paciente puesto a prueba.

Al elegir un centro de enfermedades digestiva como escenario principal de este estudio, añade más validez, ya que ofrece oportunidad para identificar patrones o fuentes de ruido y desafíos que podrían llevar a más investigaciones en otros entornos clínicos. El comprender los factores que afectan la optimización correcta del entorno médico, y proponer estrategias de mejora para la disminución, genera un gran beneficio con respecto a la práctica diaria, sino que además contribuye al avance de más aplicaciones en el área de eco endoscopia digestiva.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un entorno adecuado para la neutralización de interferencias electromagnéticas en el ecógrafo y alcanzar condiciones de trabajo óptimas, en el centro médico dedicado a enfermedades digestivas.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar las diversas conexiones de red y corriente existentes en la sala de procedimientos.
2. Establecer procedimientos necesarios para la corrección de escenarios de ruido que puedan reducir negativamente la eficiencia en las consultas médicas.
3. Identificar las interferencias causadas por el electromagnetismo, producidas por equipos en el entorno de la sala médica.
4. Validar con una entidad certificada el estado y funcionamiento del ecógrafo, para determinar si se encuentra en óptimas condiciones y sin desperfectos.

5. Determinar las condiciones de infraestructura más óptimas, para el correcto funcionamiento del ecógrafo en el área de eco endoscopia digestiva.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 La norma IEC 60601**

Esta norma forma parte de la IEC 60601-1 la cual engloba lo mencionado a continuación: “Requisitos generales para la seguridad básica y el funcionamiento esencial de equipos médicos”, su objetivo es especificar todos los requisitos generales y de ensayos de Compatibilidad Electromagnética (CEM) de equipos electromédicos (EM). Todo esto representa una adición a los requerimientos de norma general.

Según la norma mencionada anteriormente, el documento acompañante debe formar parte de un informe el cual debe poseer cada uno de los equipos electromédicos, en el cual se agreguen las diversas precauciones y advertencias con respecto a CEM que posee el equipo, al igual que ensayos incluyendo emisiones e inmunidad al cual haya sido expuesto, entre otras. Es un requisito primordial el cual deben cumplir los organismos regulatorios nacionales para la correcta homologación de equipos electromédicos o importador pueda presentar su documentación ante los entes competentes.

### **1.4.2 La norma IEC 61000**

Para esta norma aborda temas directamente relacionados con la compatibilidad electromagnética (CEM), permite la evaluación de calidad de energía eléctrica, proporcionando directrices claras y uniformes que facilitan la interpretación y comparación de datos medidos en entornos eléctricos.

La creación de esta norma es solo para establecer métodos uniformes y procedimientos para evaluar la variabilidad temporal, fluctuaciones de tensión y corriente y otros eventos relacionados con la calidad de energía eléctrica. Con el paso de los años, la norma ha incluido mejoras de categorías, proporcionando métodos detallados de medición, estableciendo criterios para presentar resultados, que asegura la evaluación de sistemas eléctricos y facilitando la interpretación y comparación de datos medidos en distintos entornos. En la tabla 1 se presenta una estructura detallada sobre la norma IEC 61000.

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nombre de la Norma</b>	IEC 61000-4-30: medición de los parámetros de calidad de la energía eléctrica en sistemas de suministro que no son de potencia.
<b>Ámbito de Aplicación</b>	Se aplica a la medición de parámetros de calidad de energía en sistemas de suministro que no son de potencia, considerando la variabilidad temporal y las fluctuaciones de tensión y corriente.
<b>Objetivo Principal</b>	Establecer métodos y procedimientos uniformes para la medición de parámetros de calidad de la energía eléctrica, garantizando la consistencia en la evaluación de diferentes sistemas.
<b>Parámetros Medidos</b>	Incluye medidas de variabilidad de tensión, fluctuaciones, interrupciones, así como registros de eventos relacionados con la calidad de la energía eléctrica.
<b>Clasificación de Eventos</b>	Define categorías y clasificación de eventos, como cortes de energía, sobretensiones, desequilibrios de tensión, armónicos, entre otros, para facilitar la interpretación de los resultados.
<b>Métodos de Medición</b>	Establece procedimientos detallados para la medición de parámetros, especificando equipos de medición, intervalos de muestreo, y criterios de representación y evaluación de datos.
<b>Informes de Resultados</b>	Proporciona pautas sobre la presentación de resultados, incluyendo formatos de informes y documentación para asegurar la transparencia y la comprensión de los datos medidos.
<b>Cumplimiento Normativo</b>	Asegura que los sistemas de medición implementen estándares reconocidos internacionalmente, permitiendo la comparabilidad de resultados entre diferentes sistemas y ubicaciones.

**Tabla 1. Estructurada detallada de IEC 61000**

**Fuente:** (Chauvin, 2016)

### **1.4.3 Normativa de ARCONEL ARCERNR-002 - 20**

Esta normativa se centra en la Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica regida por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad que es el ente encargado de regular y controlar las actividades relacionadas con los Servicios Públicos de Energía Eléctrica. Su finalidad es establecer los indicadores, índices y límites de calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica; y, definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución y consumidores, según corresponda.

### **1.4.4 Equipos inalámbricos en área de ensayos**

Los sistemas de comunicación inalámbrica han contribuido en varios beneficios los cuales mejoran la eficiencia, movilidad y la calidad de la atención médica y diversas investigaciones. Esta adopción ha permite una mejora significativa en la eficiencia



operativa, estos equipos abarcan un papel fundamental en la transformación y avance continuo de la práctica médica y la investigación biomédica (Rubén & Sánchez, 2017). El uso de esta tecnología ha contribuido en el aumento de interferencias electromagnéticas (EMI) en equipos médicos, por lo que la constante reduce la eficiencia en los ensayos. Para este caso en específico se debe abordar mediante una planificación cuidadosa, la implementación de medidas de seguridad, y a la adhesión de las normativas de compatibilidad.

La efectiva gestión garantiza que los beneficios superen cualquier alteración potencial, contribuyendo con la mejorar y calidad de atención médica. En la tabla 2 abordamos las alteraciones más potenciales por el uso de equipos inalámbricos.

<b>Alteraciones</b>	<b>Descripción</b>
<b>Interferencias Electromagnéticas</b>	La presencia de múltiples dispositivos inalámbricos puede generar interferencias electromagnéticas, afectando el monitoreo y la adquisición de datos médicos.
<b>Seguridad de Datos</b>	La transmisión inalámbrica de datos puede plantear preocupaciones de seguridad y privacidad, especialmente si no se implementan medidas adecuadas de protección de datos.
<b>Conectividad Interrumpida</b>	Las áreas congestionadas con múltiples dispositivos inalámbricos pueden experimentar problemas de conectividad, lo que podría afectar la comunicación en tiempo real y la transmisión de datos críticos.
<b>Compatibilidad Electromagnética (CEM)</b>	La coexistencia de varios equipos inalámbricos debe gestionarse para cumplir con las normativas de compatibilidad electromagnética y evitar interferencias no deseadas.
<b>Limitaciones de ancho de banda</b>	La saturación del ancho de banda inalámbrico puede limitar la velocidad de transmisión de datos, afectando la eficiencia en la captura y transferencia de información.
<b>Seguridad de Red</b>	La presencia de dispositivos inalámbricos podría aumentar el riesgo de vulnerabilidades de seguridad en las redes, lo que requiere la implementación de medidas de seguridad robustas.
<b>Gestión de Dispositivos Móviles</b>	La proliferación de dispositivos móviles inalámbricos puede plantear desafíos en la gestión y control de estos dispositivos para garantizar su uso adecuado en el entorno clínico.

**Tabla 2. Descripción de alteraciones por uso de equipos inalámbricos**

**Fuente:** (Rubén & Sánchez, 2017)

#### **1.4.5 La descarga electrostática**

Una descarga electrostática (ESD) ocurre cuando se produce una transferencia repentina de carga eléctrica entre dos objetos potenciales eléctricos diferentes. Es un fenómeno que puede ocurrir en un entorno rodeado por dispositivos electrónicos sensibles.

Una de las principales causas que provoca este fenómeno es la fricción entre materiales, contacto en diferentes materiales, representa un potencial riesgo ya que puede degradar a los componentes electrónicos como circuitos integrados, conductores, etc. Para estos casos en específico se deben adecuar a normativas y estándares las cuales establecen prácticas y requisitos para la gestión de la ESD, como lo es la norma 61340, que aborda los temas de protección electroestática.

La humedad es un factor influyente, dado que esta favorece la transferencia de cargas evitando así su acumulación en la superficie del material. Todo de acuerdo con las normas (Rodríguez Quiroz, 2015) y (Comisión Electrotécnica Internacional, 2002) lo más recomendable será que la sala o en el cuarto en donde se encuentre el equipo sea antiestático, y que presente una humedad relativa que puede variar entre el 30% y el 60% controlada.

#### 1.4.6 El sistema eléctrico en un centro clínico

Según las normas técnicas el sistema eléctrico debe adecuarse de acuerdo con los equipos electromédicos que se dispongan. Por ejemplo, en las salas que son de tipo 0 poseen equipos que no van conectados al paciente, otro caso sería el grupo 1 el cual posee equipos que se conectan al paciente, pero no son invasivos, sala de tomografía, ecografía, rayos X, etc. Para dichos escenarios lo más recomendable es siempre contar con un sistema de aterrizamiento aislado a tierra (IT), el cual comprende: de un transformador de aislamiento, medidores, monitorización de sobrecargas y temperatura. Es importante que estos requerimientos estén ajustados a las necesidades del centro, a continuación, en tabla 3, se presenta un resumen de los requerimientos necesarios:

Aspectos	Descripción
<b>Suministro confiable</b>	Suministro continuo para asegurar el funcionamiento ininterrumpido de equipos y sistemas de soporte vital.
<b>Redundancia y Respaldo</b>	Generadores de emergencia y sistemas UPS, es esencial para asegurar continuidad en caso de cortes de energía.
<b>Compatibilidad Electromagnética</b>	Evitar interferencias electromagnéticas que podrían afectar el funcionamiento de equipos médicos sensibles.
<b>Normativas y Estándares</b>	Establecidas por la IEC y otras autoridades reguladoras locales, para garantizar la seguridad y la calidad del sistema.

<b>Descargas Electroestáticas</b>	Medidas para proteger contra descargas electrostáticas que podrían dañar equipos médicos sensibles.
<b>Distribución Eficiente de Energía</b>	Asegurar una carga equilibrada y evitar caídas de voltaje que puedan afectar la operación de los equipos.
<b>Sistemas de Tierra</b>	Diseño y mantenimiento de sistemas de tierra eficientes para asegurar una conexión segura a tierra y minimizar el riesgo.
<b>Monitoreo y Diagnóstico</b>	Diagnosticar y abordar problemas potenciales antes de que afecten la operación del sistema eléctrico.
<b>Cumplimiento de Requisitos Locales</b>	Establecidos por autoridades y regulaciones nacionales en materia de seguridad eléctrica y construcción

**Tabla 3. Requisitos mínimos para un centro clínico**

**Fuente:** (Flores Víctor Germán, 2016)

La resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra deberá ser inferior a 20 ohmios para inmuebles con demandas de hasta 250 kVA y de 10 ohmios para inmuebles con demandas superiores a 250 kVA y menores a 1000 kW; si fuera mayor, deberá utilizarse un sistema de puesta a tierra adecuado.

En resumen, un sistema eléctrico hospitalario debe ser confiable, seguro y cumplir con normativas específicas para garantizar un suministro de energía continuo y de alta calidad en entornos médicos críticos. La implementación y el mantenimiento cuidadoso (que implica que se hagan termografías para constatar que no existen puntos calientes y, si se conocen qué es lo que causa este problema, reajuste y lubricación de piezas) de estos requisitos son esenciales para proporcionar un entorno eléctrico seguro y efectivo en el ámbito hospitalario.

#### **1.4.7 Los armónicos**

Estos se definen como una señal sinusoidal que se presenta en frecuencia de múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Para plantear un ejemplo tendríamos lo siguiente: si la frecuencia normal es a 60 Hz, su tercer armónico se representa a 180 Hz y el quinto a 300 Hz. Los componentes mencionados anteriormente se pueden identificar cuando se realiza la transformación de Fourier de la señal periódica medida en el tiempo. Los principales generadores de armónicos son las fuentes de alimentación del tipo conmutada, dispositivos de iluminación conmutada y las unidades de alimentación ininterrumpida (UPS). Los efectos vienen desde la distorsión armónica (DTH) en la alimentación eléctrica.

Es inevitable pensar que estas distorsiones provocan una baja eficiencia en los estudios médicos que se realicen, por lo que en la tabla 4, se detallan los puntos relevantes para considerar los armónicos.

<b>Aspectos</b>	<b>Descripción</b>
<b>Generación de Armónicos</b>	Los equipos electrónicos no lineales, como aquellos utilizados en centros médicos, pueden generar armónicos al modificar la forma de onda de la corriente eléctrica.
<b>Impacto en Equipos Médicos</b>	Los armónicos pueden causar interferencias en equipos médicos, afectando su rendimiento y precisión. Esto es crítico en entornos donde la precisión de la información es esencial para diagnósticos y tratamientos.
<b>Cumplimiento con Normativas</b>	Los centros médicos deben cumplir con normativas, como la norma IEC 61000-2-4, que establece límites para las emisiones de armónicos, garantizando la compatibilidad electromagnética.
<b>Dispositivos de Mitigación</b>	Se pueden utilizar dispositivos de mitigación, como filtros activos y pasivos, para reducir la presencia de armónicos y minimizar su impacto en los equipos médicos.
<b>Evaluación y Monitoreo Continuo</b>	Es esencial llevar a cabo evaluaciones periódicas y monitoreo continuo de la calidad de la energía para identificar la presencia de armónicos y tomar medidas correctivas.
<b>Seguridad del Paciente</b>	La presencia de armónicos puede afectar la seguridad del paciente al comprometer la precisión de los equipos utilizados en procedimientos médicos críticos.

**Tabla 4. Implicaciones de los armónicos en equipos médicos**

**Fuente:** (Medina Parra & Ramírez Araújo, 2005)

En resumen, la presencia de armónicos en centros médicos puede tener consecuencias significativas en la operación de equipos médicos. La adopción de medidas preventivas, el cumplimiento de normativas y la concientización del personal son esenciales para mitigar los riesgos y asegurar un entorno eléctrico seguro y eficiente en el ámbito médico, sobre todo teniendo en cuenta las alteraciones que provocan los armónicos en equipos de evaluación, el no tener presente dichas indicaciones puede resultar un peligro para el paciente (Norma Española, 2009).

### **1.5 Interferencia electromagnética**

La interferencia electromagnética o conocida por sus siglas (EMI) es una situación en la que se emite energía electromagnética ya que puede estar radiada o conducida, provocando el mal funcionamiento en componentes y equipos.

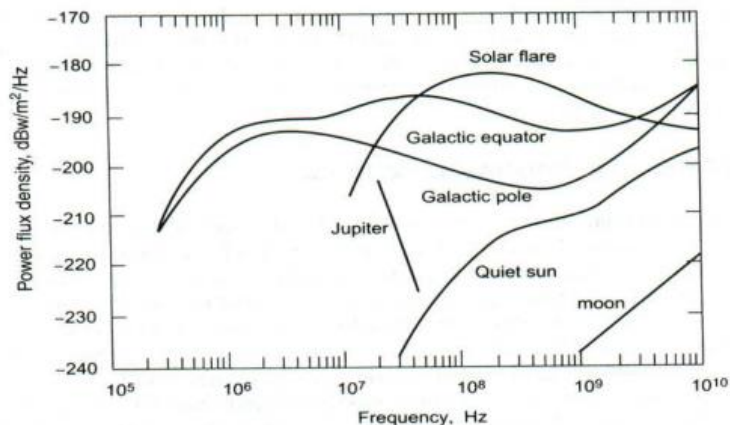
### 1.5.1 Fuentes de interferencia

Las interferencias electromagnéticas pueden provenir de dos clases de fuentes: las que son de tipo natural y humanas. Las fuentes más comunes del tipo natural incluyen el sol y estrellas al igual que fenómenos como tormentas, truenos, rayos y descargas electrostáticas. Las generadas por el humano pueden originarse con aparatos electromecánicos, electrónicos o eléctricos.

#### 1.5.1.1 Fuentes naturales

Las radiaciones que generan cuerpos celestes como el sol, estrellas y galaxias pueden atribuirse al movimiento aleatorio de iones resultantes de la ionización. Las partes calientes de estos cuerpos, las que están expuestas al sol, emiten ruido térmico.

La radiación del sol cambia drásticamente durante las llamaradas solares y actividades de explosiones solares. Para comprender mucho mejor sobre este tipo de ruidos en la Figura 1, se presenta los tipos de emisiones celestiales.



**Figura 1. Distribución de ruidos electromagnéticos naturales**

**Fuente:** (Pernía & De Oviedo, 2009)

Este tipo de ruidos no varían significativamente con el tiempo. Pero si representan cambios en el ruido recibidos en un punto específico de la tierra durante el día, debido a los movimientos de traslación y rotación de la tierra.

Existen varios tipos de fuentes de ruido electromagnético como las descargas eléctricas en la atmosfera, de este tipo las más poderosas pueden ser los rayos y descargas electrostáticas, y en la tabla 5 hay varios subtipos de radiación electromagnéticas naturales.

<b>Ruidos electromagnéticos</b>	<b>Definiciones y principales características</b>
<b>Espectro electromagnético</b>	Las radiaciones naturales se extienden a lo largo del espectro electromagnético, desde ondas de radio con baja energía hasta rayos gamma con alta energía.
<b>Radiación Ionizante y No Ionizante</b>	Algunas radiaciones naturales son ionizantes, como los rayos gamma y los rayos cósmicos, capaces de liberar electrones de átomos. Otras, como la luz visible, son no ionizantes y no tienen la energía suficiente para ionizar átomos.
<b>Impacto en la Biología</b>	Esencial para la fotosíntesis en plantas y la producción de vitamina D en la piel humana. Sin embargo, la exposición excesiva a la radiación ultravioleta (UV) puede ser perjudicial y aumentar el riesgo de cáncer de piel.
<b>Fenómenos Atmosféricos</b>	Las radiaciones naturales se ven afectadas por fenómenos atmosféricos. Por ejemplo, las tormentas eléctricas generan radiación electromagnética, incluidos los rayos X.
<b>Radiación del espacio</b>	La radiación cósmica, procedente del espacio exterior, se compone de partículas subatómicas de alta energía y es una fuente constante de radiación natural.
<b>Efectos en la Salud Humana</b>	Aunque la mayoría de las radiaciones naturales son inofensivas o beneficiosas en cantidades normales, la exposición excesiva a ciertos tipos, como la radiación ultravioleta, puede tener efectos negativos en la salud humana.
<b>Monitoreo y Protección</b>	Monitorear y comprender las radiaciones naturales, y se establecen límites y recomendaciones para proteger la salud humana y el medio ambiente.
<b>Investigación y Aplicaciones</b>	Radiaciones electromagnéticas naturales contribuye a una mejor comprensión de fenómenos cósmicos, climatológicos y biológicos. Además, se utilizan en diversas aplicaciones, como la datación por carbono y la investigación astronómica.

**Tabla 5. Definiciones y características de ruidos electromagnéticos naturales**

**Fuente:** (Pernía & De Oviedo, 2014)

De cualquier de los fenómenos presentados anteriormente, es muy complejo evaluar la intensidad exacta del campo. Los modelos se basan simplemente en aproximaciones matemáticas y no pueden ser usados con exactitud los efectos producidos, pero podemos definir que las descargas electrostáticas se producen por la frotación de dos elementos con baja resistencia a tierra (Pernía & De Oviedo, 2009).

En resumen, las radiaciones electromagnéticas naturales son esenciales para la vida en la Tierra y desempeñan un papel crítico en procesos biológicos y geofísicos. Sin embargo, es crucial comprender y monitorear su impacto para mitigar posibles riesgos para la salud y el medio ambiente.

Los Hospitales pueden ser afectados por muchos fenómenos electromagnéticos que se presentan de forma natural en el medio ambiente, tales como. Tormentas eléctricas y rayos, Interferencia Electromagnética (EMI), Geomagnetismo y fluctuaciones magnéticas terrestres, para los que se instalan protecciones dependiendo de si el

hospital funcionará más propenso a afectar estos fenómenos. En el monitoreo de estos fenómenos utilizamos una variedad de tecnologías tales como: Detectores de rayos, radar meteorológico, Satélites de observación solar, observatorios terrestres, observatorios magnéticos.

### 1.5.1.2 Fuentes artificiales

Este tipo de ruidos o interferencias generadas por los aparatos electrónicos, eléctrico y electromecánicos, es el resultado de interacciones dentro de circuitos y sistemas inalámbricos y eléctricos. En la tabla 6 se detalla a continuación los datos representativos de diversas intensidades en equipos médicos. Existen también otros tipos de intensidades de campo eléctrico ya sean estas de tipo industrial o residencial.

Equipo Médico	Intensidad de Campo Eléctrico
Resonancia Magnética (MRI)	0.1 T a 3 T (Tesla)
Tomografía Computarizada (CT)	50 mGy a 300 mGy (miliGray)
Radiografía Digital	20 $\mu$ Gy a 500 $\mu$ Gy (microGray)
Electrocardiógrafo (ECG)	Menos de 10 V/m (Voltios por metro)
Monitores de Pacientes	Menos de 5 V/m
Ultrasonido Diagnóstico	Menos de 1 V/m
Desfibrilador	Hasta 10 V/m

**Tabla 6. Niveles de intensidad de campo eléctrico en equipos médicos**

**Fuente:** (Calvo et al., 2008a)

El problema al estructurar un análisis de este tipo de interferencia es que el modelo del circuito para cada ítem o situación no se puede generalizar. Es prácticamente imposible hacerlo en este tipo de situaciones. Por eso no se hará una modelación generalizada, sino también se estudian las causas y extensiones de interferencia electromagnética.

Algunos ejemplos prácticos que podemos plantear y emisores de señales electromagnéticas fuertes durante su operación, son los radares, equipos de comunicación, transmisores de televisión y radio. Sin embargo, en la vida real emiten mucha más energía sobre un rango de frecuencia centradas alrededor de la frecuencia deseada, a esto es lo que se conoce como ruido en la vecindad de la portadora. El proceso de la modulación es intermitente un fenómeno de generación de ruido electromagnético.



Finalmente, los relays e interruptores podrían destruir componentes electrónicos como circuitos integrados, el transiente causa interferencias los cuales pueden llevar a un mal funcionamiento de circuitos electrónicos, especialmente los que son de tipo digital.

## **1.6 Diferencia entre ruido e interferencia**

Ahora se trataron dos aspectos fundamentales para realizar un estudio como el ruido y la interferencia, es necesario aclarar que la diferencia entre ambos para que no se produzcan confusiones al analizar los resultados.

Tenemos que el ruido es una condición que en la mayor parte es propio de los materiales, esto nos lleva a la conclusión que la presencia del ruido no implica necesariamente un mal funcionamiento del equipo, dados que este es un factor que el fabricante toma al momento de elaborar los dispositivos (María & Moyano, 2005).

Con respecto a la interferencia, implica un funcionamiento anormal del sistema, pues al ser las fuentes de interferencia tan variadas y de comportamiento diferente, están poco o nada previstas en el diseño del equipo.

## **1.7 Compatibilidad electromagnética**

La (CEM) es una cualidad que presenta los equipos cuando operan satisfactoriamente es un ambiente electromagnético sin introducir ni recibir perturbaciones, este abarca el estudio de varias problemáticas de generación, propagación e influencia sobre otros circuitos y medidas de corrección de la EMI (Linares & Bonilla, 2012).

Los equipos electrónicos son bastante propensos a ser afectados por este tipo de interferencia si los niveles de energía sobrepasan la inmunidad electromagnética para la cual estos fueron diseñados. Existen procedimientos para pruebas EMC/EMI que dependen de otras cosas como el tamaño del equipo puesto bajo a prueba.

No podemos excluir ninguno al considerar los conceptos de interferencia y compatibilidad, ya que ambos se encuentran ligados entre sí, por lo que en este estudio se plantean estudios basados en mediciones sobre las interferencias y, a su vez,



presentar un ambiente adecuado para optimizar la computabilidad de los equipos médicos, sin causar interferencias al momento de su interferencia.

## **1.8 Diseño de laboratorios certificados**

El planteamiento de proyectos relacionados a centros médicos debe garantizar la seguridad y el funcionamiento de equipos, para ello hay que investigar, analizar y garantizar el cumplimiento de la norma 60601. Orientada principalmente a la seguridad de equipos médicos y como segunda parte abarca los temas relacionados con la compatibilidad electromagnética de estos equipos.

También debemos considerar el diseño y establecer bases necesarias para un laboratorio certificado, por lo que también se debe considerar la norma ISO 17025 que permite asegurar los resultados de pruebas y avalar los resultados antes clientes y administradores, además de obtener el reconocimiento internacional de los resultados.

En el proceso del desarrollo se realizar la investigación con respecto a la norma ISO 9001, la cual nos permite establecer requisitos que una entidad debe cumplir para garantizar un correcto sistema de gestión de calidad en el proceso de producción. Dicha norma se enfoca en la comodidad y satisfacción del cliente ya que es el centro del negocio, se encuentra ligada a el cumplimiento de los objetivos de la empresa, productos o servicios que son derivados de los requerimientos del usuario.

Esta normativa puede ayudar a la identificación del ruido electromagnético y EMI mediante la Gestión de Riesgos, Control de procesos, entre otros. Para mitigar estos fenómenos de acuerdo con la Normativa ISO existen métodos que nos ayudan con esto, como lo es: Evaluación del Entorno, Diseño de Productos, Blindaje, Filtrado y Aislamiento de vibraciones.

Para la implementación del laboratorio, debe tomarse en cuenta que,

1. Se evalúan los materiales para el diseño del laboratorio,
2. Se consideran características de estructura que permitan el óptimo funcionamiento.

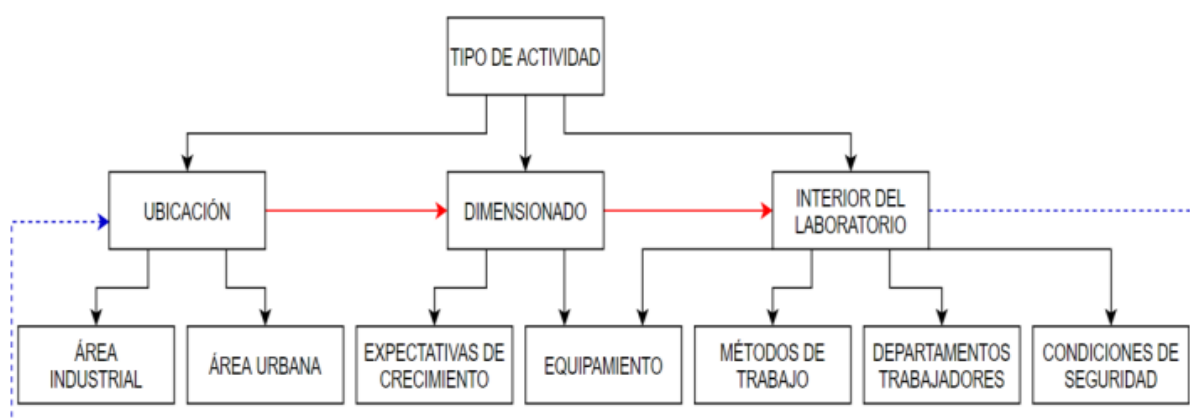
3. Para crear espacios se deberá considerar la división de salas especializadas para cada área, ya que es fundamental la elección de materiales para prevenir emergencias en el centro médico.

Finalmente, se evalúan todos los errores y cambios que puedas tener los resultados antes la modificación.

Lo anterior, se ejecuta con el fin de analizar el comportamiento de estos sistemas electromédicos ante posibles variaciones en el ambiente, y garantizar la estabilidad y bienestar de los pacientes.

Según (David et al., 2020), en la Universidad de los Andes en Colombia, se han realizado diversos ensayos de seguridad eléctrica y electromagnética a diversos equipos médicos, sin embargo, dichos laboratorios no se encuentran ni certificados y acreditados para ensayos. Se ha presentado como solución principal reestructurar el centro médico para que cumpla las normativas internacionales.

La estructura del procedimiento es importante para desarrollar laboratorios con certificación y acreditación, ya que una excelente coordinación facilita a prevenir errores futuros. Además, el diseño inicial deberá contar con tres pasos básicos: ubicación, dimensionamiento y la distribución. A continuación, se presenta la estructura que debe de seguirse para la metodología.



**Figura 2. Ciclo básico para el desarrollo de un laboratorio**

**Fuente:** (David et al., 2020)

Además, el laboratorio deberá contar con los sistemas de seguridad adecuados para aumentar la respuesta en caso de emergencias. Por lo cual, el centro deberá contar con los requerimientos y especificaciones que faciliten la evasión del personal y fácil acceso al personal autorizado para mitigar la emergencia. Además, el laboratorio deberá tener toda la disposición del personal de emergencias, personal, equipos y dispositivos necesarios y en un buen estado.

Así como se planteó una estructura referente a la metodología que se debe aplicar para el correcto funcionamiento de un laboratorio, se expresa a su vez un resumen detallado de las normas aplicables para este tipo de proyectos de implementación, el cual se expresa en la tabla 7:

Norma	Descripción
IEC 60601	Establece requisitos para garantizar la seguridad, fiabilidad y prestaciones.
	Define equipos eléctricos destinados al diagnóstico, tratamiento, vigilancia, etc.
	Se aplica a dispositivos con una conexión a red de suministro, y diseño de uso médico.
ISO 17025	Orientada a laboratorios de ensayo y calibración, certificando
	Acredita la competencia técnica, con requisitos más estrictos que otras normas. Importante para garantizar la calidad y seguridad de ensayos y servicios.
ISO 9001	Establece requisitos para un sistema de gestión de calidad, satisfacción del cliente.
	Busca satisfacer expectativas de calidad, planificar y controlar actividades.
	Ventajas competitivas, mejora de calidad y eficiencia, y aumento de la satisfacción del cliente.

**Tabla 7. Normas de certificación y acreditación**

**Fuente:** (Correa et al., 2017)

Para el proyecto mencionado se han identificado las deficiencias de laboratorio, por lo que ahora cuenta con los certificados de organismos internacionales para el pleno funcionamiento de estos, ofreciendo confiabilidad y seguridad al paciente y personal.

Por otro lado, se ejecutó el diseño en la Universidad de los Andes, lo que permitió mejorar las estructuras, entre otras características, por lo que, el análisis previo de la edificación permitió identificar las necesidades del laboratorio mencionado.

En el trabajo expuesto por David et al., (2020) se comprendió la importancia y afectaciones de los cambios físicos de los equipos del laboratorio, gracias a las evaluaciones se encontraron los factores que permitieron determinar porque el

laboratorio no se encontraba certificado, corrigiendo exitosamente con la implementación de nuevos equipos y elementos, claves para cumplir los estándares internacionales.

## 1.9 Eficiencia energética aplicada al sector de la salud

En países desarrollados y en vías de desarrollo, el sector de la salud utiliza energía, pero aún carece de estudios que analicen específicamente este consumo. Es crucial medir y comparar estos niveles con estándares de referencia para entender su impacto en el cambio climático.

Como lo menciona (Crawford, 2014) “La eficiencia energética debería recibir una mayor prioridad en el diseño, planificación y gestión de las instalaciones para permitir que los servicios de salud en los países pobres en energía puedan mover la escala de energía más económica y eficientemente.” p.29.

Por este motivo, el principal objetivo de la eficiencia energética es promover la eficiencia económica, considerando las condiciones necesarias para usar y generar energía de manera eficiente (Almeida, 2016). Los beneficios mencionados se derivan de la aplicación de un Sistema de Gestión Energética, el cual establece requisitos para su implementación, mantenimiento y mejora continua, buscando maximizar la eficacia con la menor inversión de recursos y en el menor tiempo posible (Cañizares-Pentón, 2014). En la Figura 1 se pueden apreciar los beneficios potenciales de implementar acciones que fomenten la eficiencia energética.



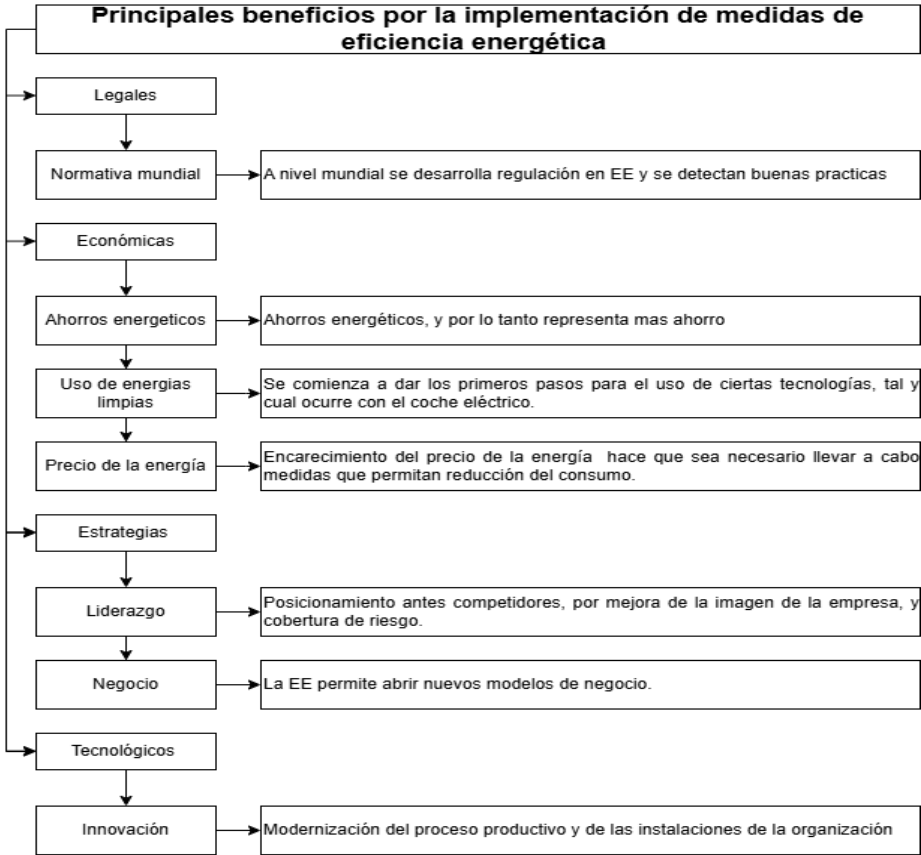
Figura 3. Beneficios de la eficiencia energética

Fuente: [www.garperenergy.com](http://www.garperenergy.com)

Según (Brems et al., 2015), la eficiencia energética se considera una de las estrategias más rentables para mejorar la seguridad del suministro, reducir las emisiones asociadas al efecto invernadero, disminuir el consumo de energía a costos accesibles y fortalecer las competencias económicas.

**1.9.1 Beneficios ante la aplicación de propuestas de eficiencia energética**

La implementación de medidas de eficiencia energética podría resultar en un ahorro superior al 28% en los costos de energía en edificaciones. Por eso, la mejora de la eficiencia energética se considera uno de los pilares fundamentales en las estrategias nacionales e internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, con costos económicos aceptables (de la Cruz-Lovera et al., 2017). Las acciones para mejorar la eficiencia energética en industrias o empresas pueden acarrear beneficios, como se ilustra en la Figura 2.



**Figura 4. Beneficios por la implementación de medidas de eficiencia energética**

**Fuente:** Eficiencia energética en Ecuador: identificación de oportunidades. Pg.43.

### **1.10 Problemas de la calidad de energía eléctrica**

La calidad de la energía se refiere a un estado de la red eléctrica bajos niveles de perturbaciones, con mínimas distorsiones armónicas, variaciones de voltaje, interrupciones y sobretensiones en el suministro y en la recepción (Esparza González, Mata Guerrero, & Castañeda Ramos, 2006). Una baja calidad de energía puede resultar en distorsiones o alteraciones de la forma de onda sinusoidal pura, lo que puede provocar fallas inesperadas o repentinas en los dispositivos eléctricos, además de afectar negativamente el funcionamiento de equipos electrónicos sensibles (Freire & Vergara, 2010).

### **1.11 Factor de Potencia**

Es una medida de la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica. Se define como la relación entre la potencia activa (real) que realiza trabajo útil y la potencia aparente (total) que es suministrada a un circuito. Matemáticamente, el factor de potencia (FP) se expresa como:

$$FP = \frac{\text{Potencia activa (kW)}}{\text{Potencia aparente (kVA)}}$$

Este Factor puede variar entre 0 a 1, donde 1 nos indicaría una utilización óptima de energía y un valor más cercano a 0 nos indica que existe ineficiencia debido a potencias reactivas que no realizan un trabajo útil. Entre las principales Importancias de un factor de potencia que sirve en una Área de Endoscopia es la eficiencia energética, reducción de costos, estabilidad del sistema eléctrico y su capacidad (Dugan et al., 2004).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Enfoque

Con el propósito de cumplir con los objetivos descritos de la presente investigación se seleccionó la metodología cuantitativa la cual cuenta con un enfoque descriptivo. Esta metodología nos ayuda a obtener una información más precisa sobre el estado actual de la sala de procedimientos y del desempeño del ecógrafo, dado que nos indica de qué manera se está presentando un fenómeno o evento y nos permite medir y evaluar con mayor eficacia componentes del fenómeno a estudiar.

### 2.2 Población y Muestra

#### **Población**

La investigación se realizó en el área de endoscopia, del centro médico privado de gastroenterología, ubicado en la ciudad de Guayaquil.

#### **Muestra**

Redes de Distribución del Área de Endoscopia Digestiva Condiciones de la Sala.

### 2.3 Levantamiento de la Información

#### 2.3.1 Análisis del entorno

Primero se levantó información sobre el estado en que estaba la sala de operaciones para conocer las condiciones técnicas y ambientales operaba el ecógrafo; en el que se incluía luminarias, temperatura, dimensiones, número y disposición física de equipos.

#### 2.3.2 Análisis de las Redes de Comunicación y Eléctrica

Después se realizó un análisis de la Red Eléctrica de la Sala para conocer el estado de la Red que alimenta a los equipos que funcionan dentro de la sala, incluido el ecógrafo.

Este análisis permitió identificar la calidad y estabilidad de la energía con la cual se alimentan los distintos equipos, además se realizó un análisis de la conexión de red la cual facilita el traslado de información y la cuál también suele contribuir con la generación interferencias que afectan a algunos equipos.

### 2.3.3 Análisis de la Calidad de Energía

Además de la verificación de la *red eléctrica de la sala*, se realizó el respectivo Análisis de la *calidad de energía* para recolectar datos con parámetros eléctricos, identificar problemas anomalías o deficiencias en la calidad de energía suministrada a las fuentes de alimentación de la Sala, que afecta al rendimiento de los equipos que funcionan allí. Esta medición se la hace con dispositivos especializados en detectar la calidad de la energía.

### 2.3.4 Dispositivos de medición estandarizados

Es importante resaltar el hecho de hacer uso de equipos, que cumplan con normativas internacionales, dado que esto es un factor que nos permite realizar un estudio más preciso en cuanto a medición, a continuación, se describe las normas internacionales que un equipo de medición debe cumplir:

Norma	Descripción
IEC 61000-4-11	Norma que especifica técnicas de prueba y medición para evaluar la inmunidad a caídas de voltaje, interrupciones cortas y variaciones de voltaje.
IEC 61000-4-15	Norma que establece especificaciones funcionales y de diseño para los flickermeters utilizados en la medición y evaluación de fluctuaciones de voltaje.
IEC 61000-4-7	Norma que proporciona una guía general sobre técnicas de medición de armónicos e interarmónicos para sistemas de suministro de energía y equipos conectados.
IEC 61000-4-30	Norma que define métodos de medición de la calidad de la energía eléctrica, incluyendo sus reformas y actualizaciones.

**Tabla 8. Normativas estándares para calidad de energía**

**Fuente:** Elaborado por el autor

Estas normas son fundamentales para asegurar que los equipos y procedimientos cumplan con estándares internacionales en la evaluación y medición de la calidad de la energía eléctrica, abordando aspectos como inmunidad a perturbaciones de voltaje, fluctuaciones, flicker y armónicos.



### **2.3.5 Indicadores de análisis en Ruidos Electromagnéticos**

El análisis de ruido electromagnético (EMI) implica la identificación y evaluación de varios indicadores clave para comprender y mitigar la interferencia electromagnética en sistemas y dispositivos. A continuación, se presentan algunos de los indicadores más comunes utilizados en el análisis de EMI:

#### **Nivel de Intensidad de Campo (Field Strength):**

Descripción: Mide la intensidad del campo electromagnético en un punto específico.

Unidad de Medida: Microvoltios por metro ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ), milivoltios por metro ( $\text{mV}/\text{m}$ ) o decibelios microvoltios por metro ( $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ).

#### **Espectro de Frecuencia (Frequency Spectrum):**

Descripción: Análisis de la distribución de la energía del ruido a lo largo del espectro de frecuencias.

Herramientas: Analizadores de espectro.

Unidad de Medida: Hertz (Hz) para frecuencia, dBm o  $\text{dB}\mu\text{V}$  para niveles de señal.

#### **Densidad de Potencia (Power Density):**

Descripción: Potencia transmitida a través de una unidad de área en un campo electromagnético.

Unidad de Medida: Watts por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) o miliwatts por centímetro cuadrado ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ).

#### **Impedancia del Sistema (System Impedance):**

Descripción: Relación entre el voltaje y la corriente en un punto de un sistema.

Unidad de Medida: Ohmios ( $\Omega$ ).

#### **Relación Señal/Ruido (Signal-to-Noise Ratio, SNR):**

Descripción: Relación entre el nivel de la señal deseada y el nivel del ruido.

Unidad de Medida: Decibelios (dB).

#### **Margen de Inmunidad (Immunity Margin):**

Descripción: Sistema para funcionar correctamente en presencia de ruido electromagnético.

Unidad de Medida: Decibelios (dB).

#### **Ancho de Banda del Ruido (Noise Bandwidth):**

Descripción: Rango de frecuencias en el que el ruido está presente.

Unidad de Medida: Hertz (Hz).

#### **Tiempo de Transición y Retardo (Transition Time and Delay):**

Descripción: Medida de la rapidez con que una señal puede cambiar de un estado a otro y el tiempo de retardo en la transmisión.

Unidad de Medida: Nanosegundos (ns) o microsegundos ( $\mu$ s).

#### **Temperatura de Ruido (Noise Temperature):**

Descripción: Representa el ruido en términos de temperatura, útil en sistemas de radiofrecuencia y microondas.

Unidad de Medida: Kelvin (K).

#### **Tasa de Error de Bit (Bit Error Rate, BER):**

Descripción: Proporción de bits erróneos respecto al total de bits transmitidos en un sistema de comunicación.

Unidad de Medida: Adimensional (normalmente se expresa como un valor decimal, e.g.,  $10^{-6}$ ).

### **2.3.6 Equipos de Medición**

Los analizadores de calidad eléctrica son equipos multifunción que nos permiten hacer una medición y análisis de múltiples parámetros tanto a nivel de medida de potencias y reparto de cargas, con medidas de:

- Medida de tensiones.
- Medida de corrientes.
- Potencia activa, reactiva, aparente.

- Factor de potencia.
- Consumo.

Como análisis de los parámetros que afectan a la calidad de la energía eléctrica, así analizan:

- Armónicos e interarmónicos.
- Flicker.
- Desequilibrios entre fases.
- Huecos de tensión.
- Transitorios.

Los analizadores de calidad eléctrica son una de las herramientas más indispensables para mejorar la eficiencia energética de nuestra instalación.

Para los fines del presente proyecto se realizaron los estudios de: Registro de voltaje (Voltios), Registro de Frecuencia (Herzios), Distorsión armónica total del voltaje tHDv.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La información recopilada en el Área de Endoscopia Digestiva el cual involucra el ecógrafo perteneciente a un centro medido dedicado al área de gastroenterología, que se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil ha sido evaluada siguiendo las normas que se nombran a continuación:

### 3.1 Normas

Para el siguiente informe se realizó la medición, registro y almacenamiento de los valores en los puntos seleccionados durante un periodo de evaluación de 7 días continuos, en intervalos de 10 minutos.

Para los equipos se evaluará el cumplimiento de lo establecido respecto al nivel de voltaje con la norma:

- IEC 61000-4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity test.

- IEC 61000-4-30: Power quality measurement methods; o sus reformas.

Se evaluará el cumplimiento respecto a las perturbaciones rápidas de voltaje y los equipos y procedimientos deben cumplir con la norma:

- IEC 61000-4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter – Functional and design specifications.

- IEC 61000-4-30: Power quality measurement methods; o sus reformas.

Para los equipos y procedimientos se evaluará el cumplimiento de lo establecido respecto a los armónicos de voltaje con la norma:

- IEC 61000-4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics Measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.

- IEC 61000-4-30: Power quality measurement methods; o sus reformas.

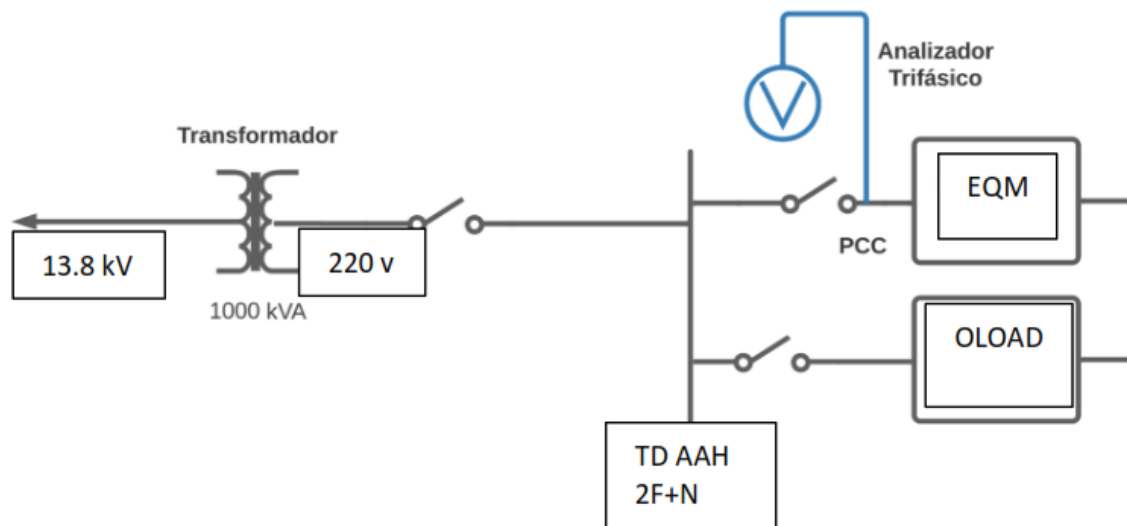
Con respecto a lo establecido sobre el desequilibrio de voltaje para los equipos y procedimientos se evaluará bajo la norma:

- IEC 61000-4-30: Power quality measurement methods.

- Norma IEEE-519-2014. (IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems).
- Regulación No. ARCERNNR 002/20 “CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACION DE ENERGIA ELECTRICA”.

### 3.2 Mediciones tomadas

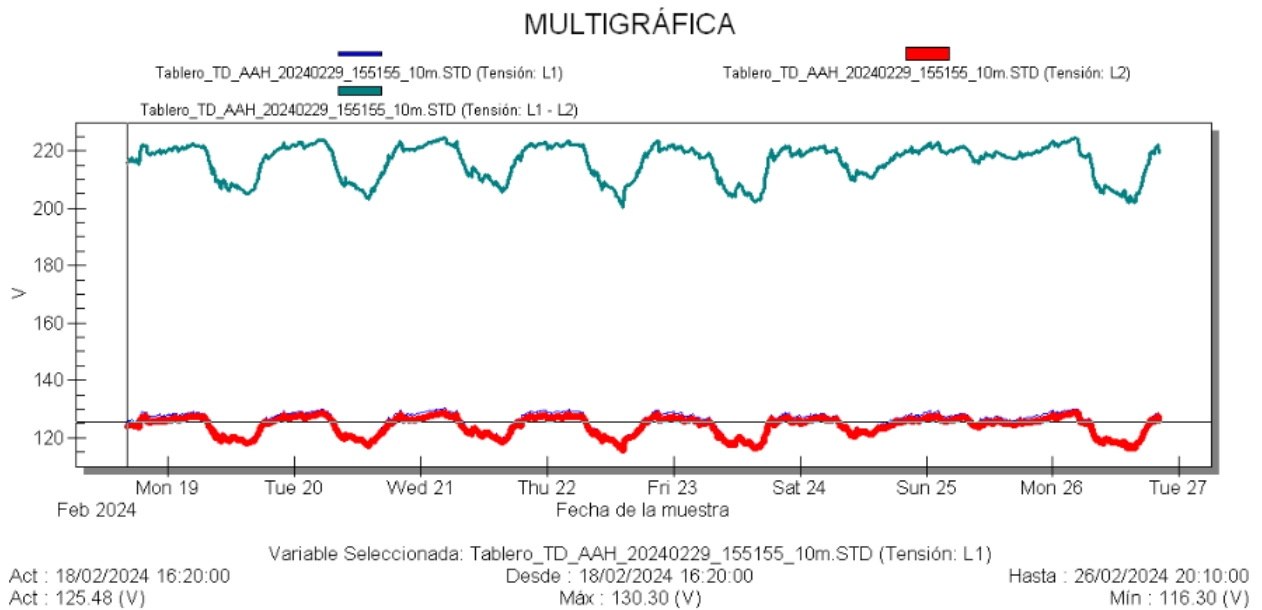
Se realiza un diagrama del sistema eléctrico, donde se muestran los puntos para la instalación del equipo analizador trifásico, o punto común de conexión (PCC). Tal como se muestra:



**Figura 5. Diagrama eléctrico con punto de medición y ecógrafo**

**Fuente:** Elaborado por el autor

Se muestra el punto común de conexión del equipo analizador, a continuación, se muestra la instalación física del equipo en la salida del disyuntor hacia la carga. En la recolección de datos necesarios para conocer las principales causas de las interferencias que afectan el ecógrafo se realizó el Registro de los Valores de Voltaje de Línea a Línea de la instalación eléctrica, los resultados de la medición se pueden apreciar en la gráfica que se muestra a continuación:



**Figura 6. Registros de voltajes de línea a línea en la instalación**

**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

El voltaje promedio que presenta la instalación es de 216 (VRMS), para calcular la variación de tensión se usó la siguiente formula:

$$\Delta V = \frac{V_k - V_N}{V_N}$$

Donde:

$V_k$ =Voltaje registrado.

$V_N$ =Voltaje nominal de la máquina 220 V.

$\Delta V$ =Variación de tensión.

Por consiguiente, la variación de tensión que presenta es del 1.74% lo cual está dentro del rango para instalaciones de bajo voltaje que permite hasta el +-8% (Según ARCERNR-002 - 20) como se muestra en la siguiente tabla:

Nivel de voltaje	Rango Admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y 2)	± 5.0
Medio Voltaje	± 6.0
Bajo Voltaje	± 8.0

**Tabla 9. Límites para el índice de nivel de voltaje de acuerdo con la normativa**

**Fuente:** ARCONEL 002/20

### **3.3 Distorsión armónica total del voltaje (THDv)**

La distorsión armónica total de voltaje para sistemas en bajo voltaje, menos de 1000 voltios, debe ser de máximo un 8%. En este caso el voltaje nominal es de 220 voltios, por tanto, cae en el rango del máximo admisible del 8%, tal como se muestra en la siguiente tabla:

<b>Nivel de voltaje</b>	<b>Armónica Individual</b>	<b>Armónica Individual</b>
Bajo voltaje	5.0	8.0
Medio voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

**Tabla 10. Valores de THD para distintos niveles de voltaje**

**Fuente:** ARCONEL 002/20

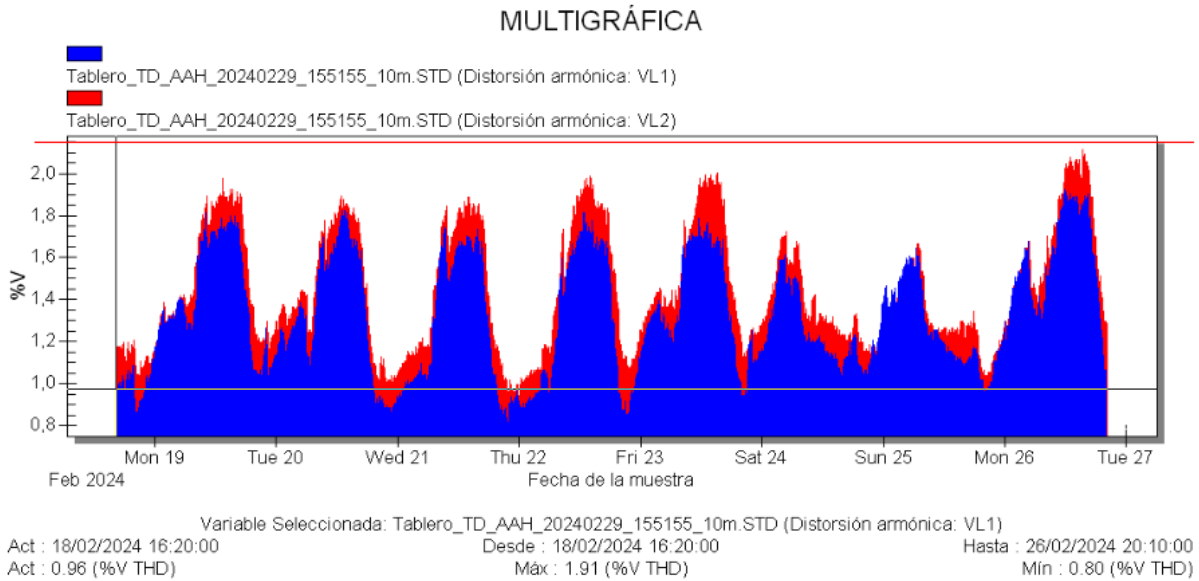
De acuerdo con los datos registrados, se cumple con el factor de distorsión armónica de voltaje dado que presenta un valor promedio del 1,43%, además la mayoría de los valores registrados están dentro del límite exigido por la norma ARCONEL ARCERNNR-002 - 20.

<b>Descripción</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>
THD promedio %	1.31	1.43
THD máximo %	1.91	2.10
THD mínimo %	0.80	0.93

**Tabla 11. Niveles de THD por fase**

**Fuente:** ARCONEL 002/20

Se muestran los registros del nivel de distorsión armónica de voltaje. Se observa que la mayoría de los valores están por debajo del límite del 8% como podemos apreciar en la gráfica que se muestra a continuación:



**Figura 7. Registros de nivel de distorsión armónica de tensión**

**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

Como se puede apreciar en la gráfica los valores que tenemos en los distintos días la distorsión armónica no supera el valor recomendado por la Normativa de Arconel (ARCERNNR/002/20), lo cual nos dice que se está trabajando en valores estables, si excediera el valor del 8% que es el límite se tendría que tomar las correcciones necesarias.

### 3.4 Perturbación rápida de voltaje, Flicker (parpadeo).

En este tipo de perturbación, el valor límite para el índice de severidad de corta duración en promedio es de 0.39, dicho valor no debe de superar la unidad (no debe ser mayor a 1, Según la Normativa de Arconel ARCERNNR/002/20).

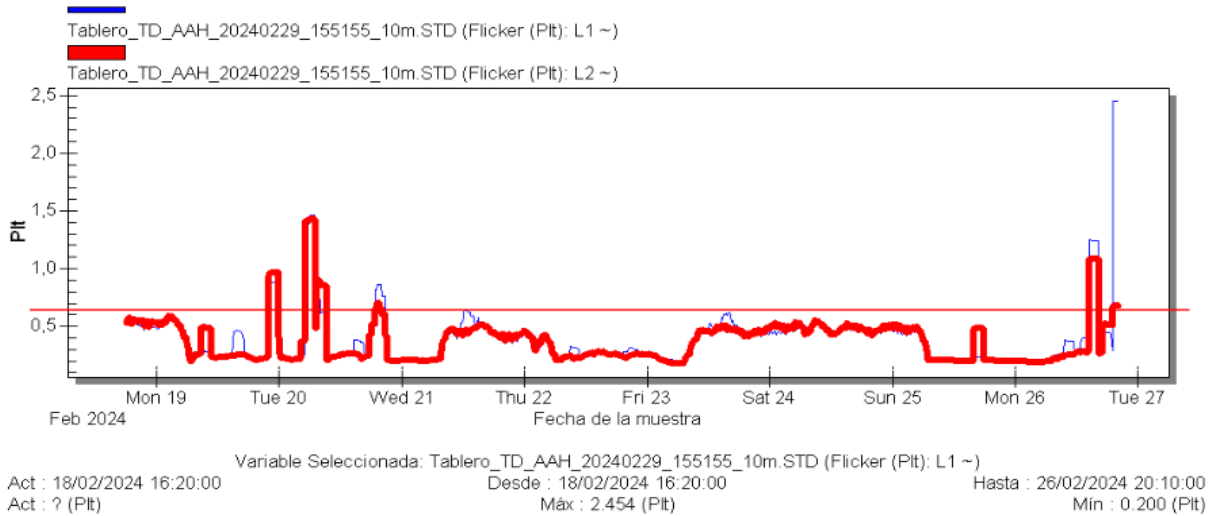
Flicker (%)	Fase A	Fase B
Promedio	0.3955	0.3795
Máximo	2.4540	1.4320
Mínimo	0.2000	0.1760

**Tabla 12. Coeficiente de Flicker**

**Fuente:** ARCONEL 002/20



## MULTIGRÁFICA



**Figura 8. Registros de la perturbación rápida de voltaje**

**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

Como podemos apreciar en la gráfica tenemos un valor nominal de 0.39 en la Fase A y de 0.37 en la Fase B. lo cual no supera el valor límite establecido por la Normativa de Arconel ARCERNNR/002/20), lo cual no nos da indicios que presente algún problema o perturbación que este afectando al Ecógrafo.

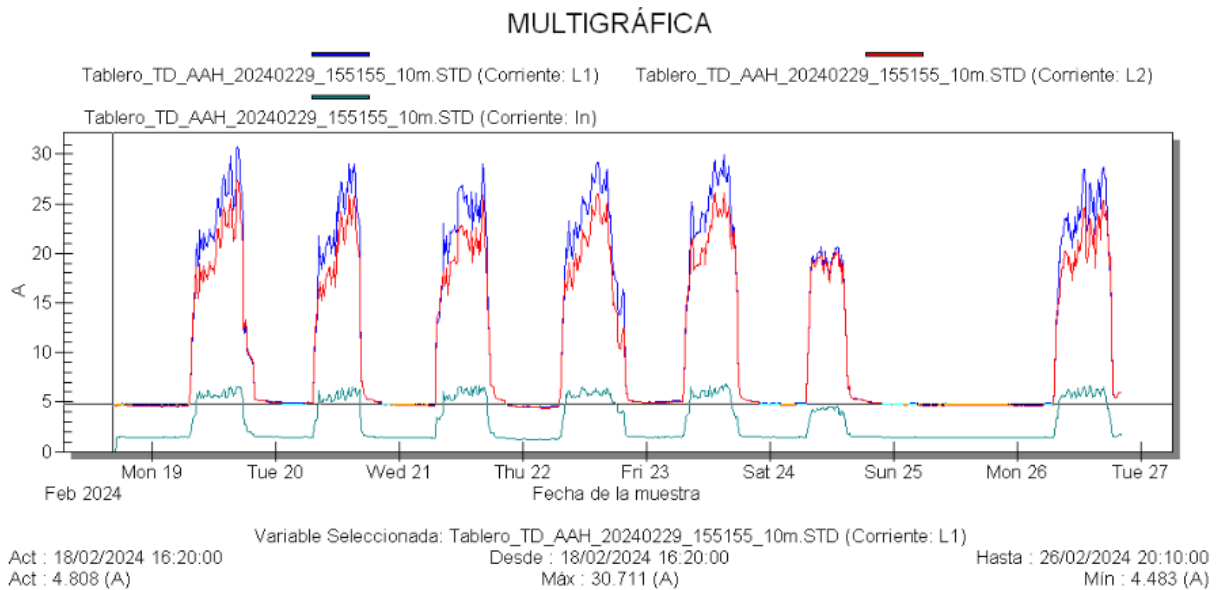
### 3.5 Registro de corrientes.

Se realizó la medición diaria de las corrientes consumidas, cuyos valores nos dan como resultado una corriente promedio entre las dos fases de 10,80 Amperios.

Corriente (Amperios)	Fase A	Fase B	Neutro
Promedio	11.312	10.327	2.857
Máximo	30.711	27.341	6.829
Mínimo	4.483	4.409	0

**Tabla 13. Corrientes por fase**

**Fuente:** Elaborado por el autor



**Figura 9. Registros de la corriente por fase**

**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

### 3.6 Distorsión armónica total de corriente (TDDi)

De acuerdo con la Norma IEEE 519, los límites de distorsión armónica de corriente (TDD, Total Demand Distortion) para sistemas eléctricos, oscilan entre un 5% a un 20%, dependiendo de las relaciones de corrientes de corto para corriente nominal ( $I^{SC}/I_L$ ), como se puede apreciar en la siguiente tabla:

<b>Orden Individual de los Armónicos (Armónicos impares)</b>						
$I^{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^\circ$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

**Tabla 14. Valores límites de distorsión armónica de corriente**

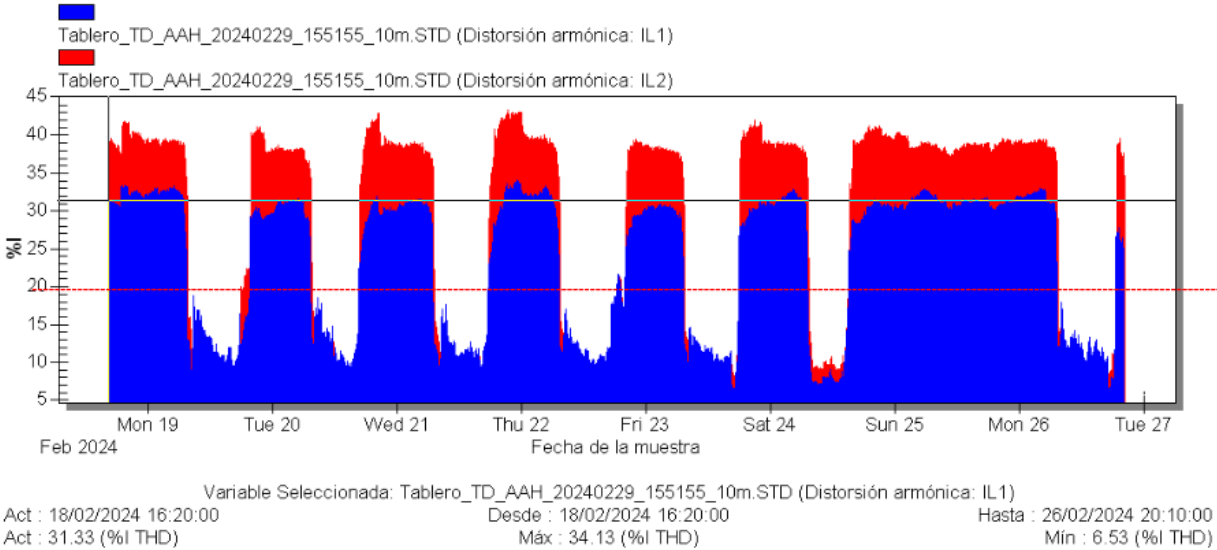
**Fuente:** Tomada de IEEE Std. 519

Por tanto, según las características del sistema eléctrico, se estima una relación de cortocircuito menor que 50, que además es un nivel típico para instalaciones en baja y media tensión. El TDD que servirá de límite será del 8%.

En la siguiente tabla se muestran los registros de distorsión armónica en el punto de medición, para cada fase en el intervalo de medición. El valor promedio por fases es de 26,06 %, alcanzando valores máximos de 43,39 %.

Descripción	Fase A	Fase B
TDD promedio %	23.66	28.47
TDD máximo %	34.13	43.39
TDD mínimo %	6.53	7.63

**Tabla 15. TDD en cada fase**  
**Fuente:** Elaborado por el autor



**Figura 10. Registros de distorsión de armónicos en la corriente**  
**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

Los registros obtenidos en los 7 días de medición, en los que se distingue que durante los periodos de operación el valor de TDD de corriente supera el umbral del 8% establecido por la norma. La electrónica de potencia asociada al ecógrafo está inyectando corrientes armónicas que deben ser filtradas, para que no afecten otro punto en la red.

En conclusión, tenemos que los niveles de distorsión armónica NO cumplen con lo requerido por la Norma IEEE-519-2014. (IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems).

### 3.7 Registros de Potencia

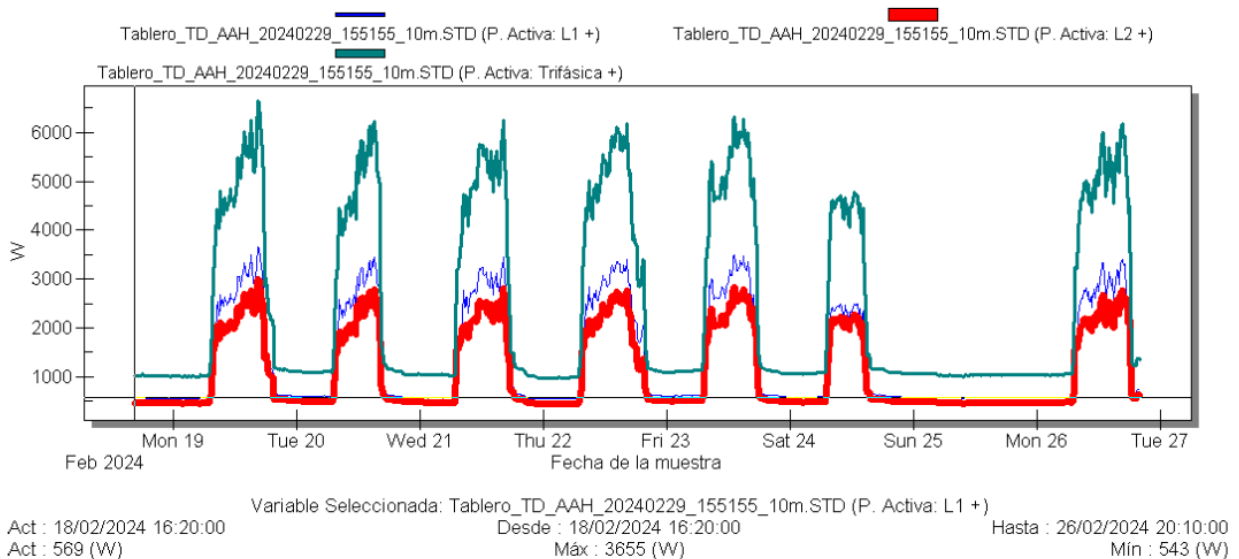
En la tabla que se muestra a continuación tenemos los valores promedio de la Potencia Activa (P), Reactiva (Q) y Aparente (S).

Potencia Total	Activa (W)	Reactiva (VAR) - L	Reactiva (VAR) - C	Aparente (VA)
<b>Promedio</b>	2462.72	56.75	576.09	2647.75
<b>Promedio (08h00 - 17h30)</b>	4280.01	126.54	830.80	4493.74

**Tabla 16. Registro de potencias**

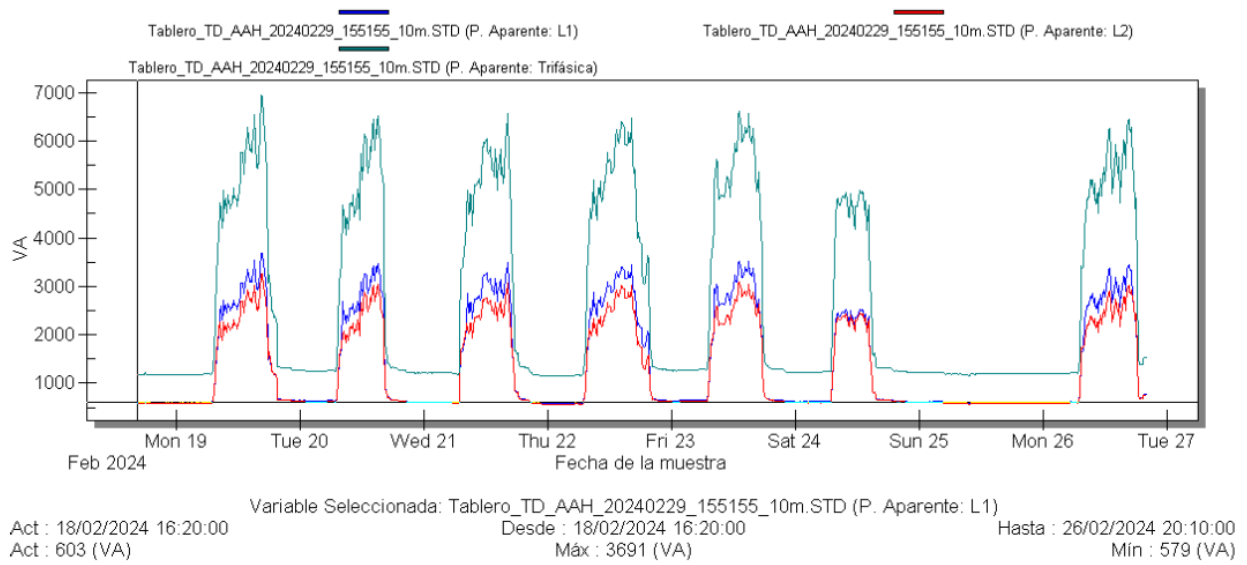
Fuente: Elaborado por el autor

Los registros diarios de potencia activa, reactiva y aparente de todo el intervalo de medición se muestran en las siguientes gráficas:



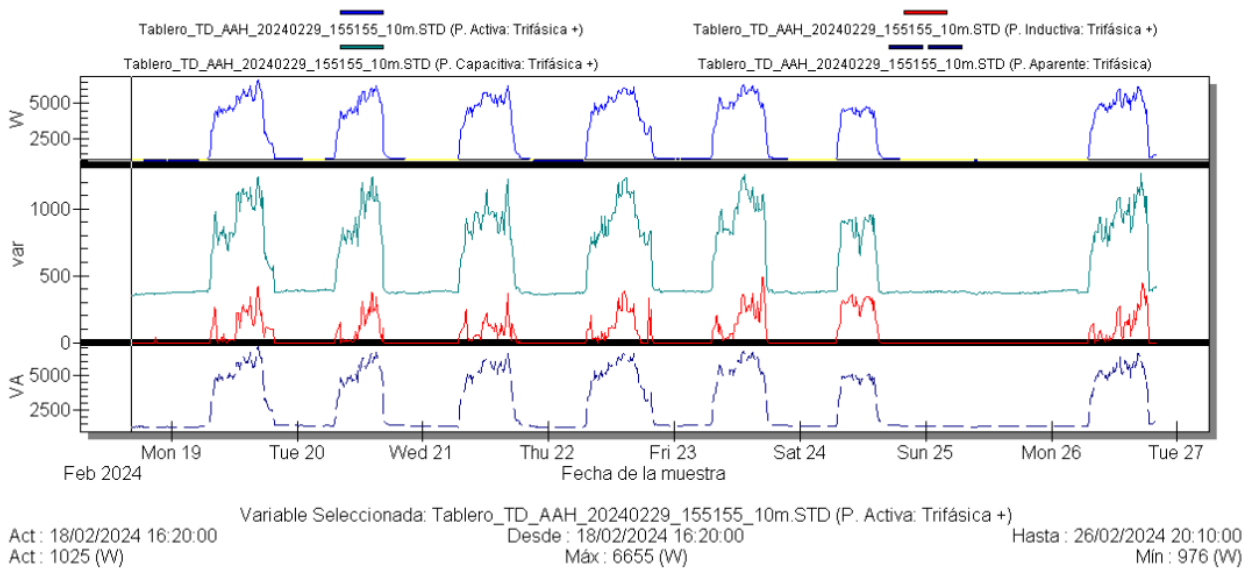
**Figura 11. Registros de potencia activa**

Fuente: T Tomado de Analizador de energía Fluke 434



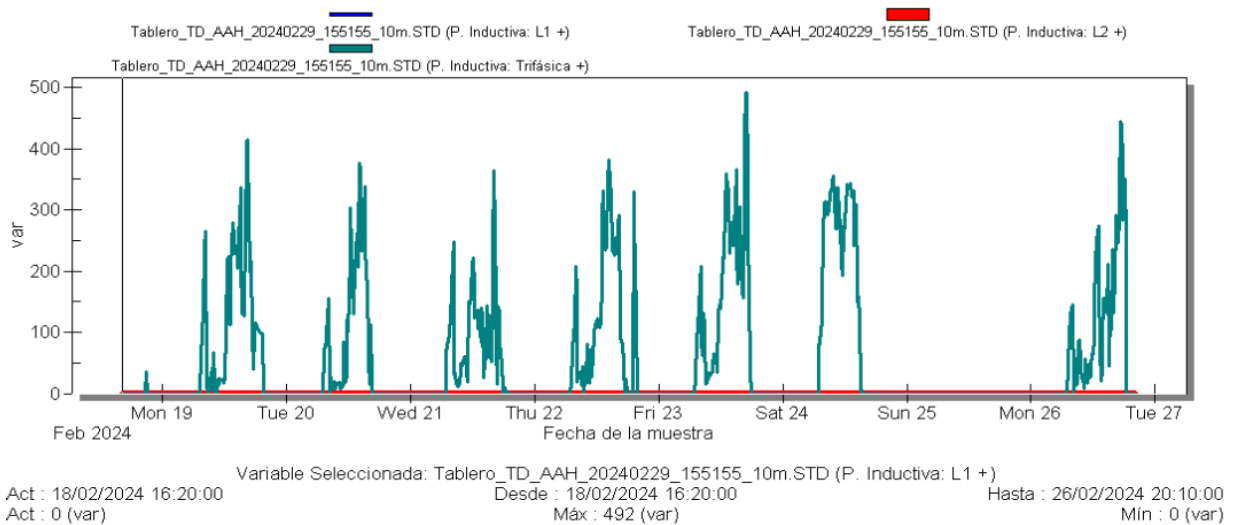
**Figura 12. Registros de potencia reactiva**

Fuente: Tomado de Analizador de energía Fluke 434



**Figura 13. Registro de potencia aparente**

Fuente: Tomado de Analizador de energía Fluke 434



**Figura 14. Resumen del registro de potencias**

**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

En las distintas gráficas que cada una representa una potencia podemos apreciar que existen ciertos picos en cada una, porque opera simultáneamente algunos de los equipos existentes en el Cuarto de Ecografía, lo que hace que se dispare en ciertos momentos ocasionando estos picos en las distintas potencias, pero no afecta a los equipos que funcionan en esa región.

### 3.8 Factor de Potencia

El factor de potencia promedio está en adelanto, es decir que la potencia reactiva capacitiva es predominante. A continuación, se muestra el factor de potencia medido por cada fase, siendo un factor promedio de 0.90 (-). En las gráficas se muestra con signo negativo por la convención de cuatro cuadrantes, donde el signo es como sigue:

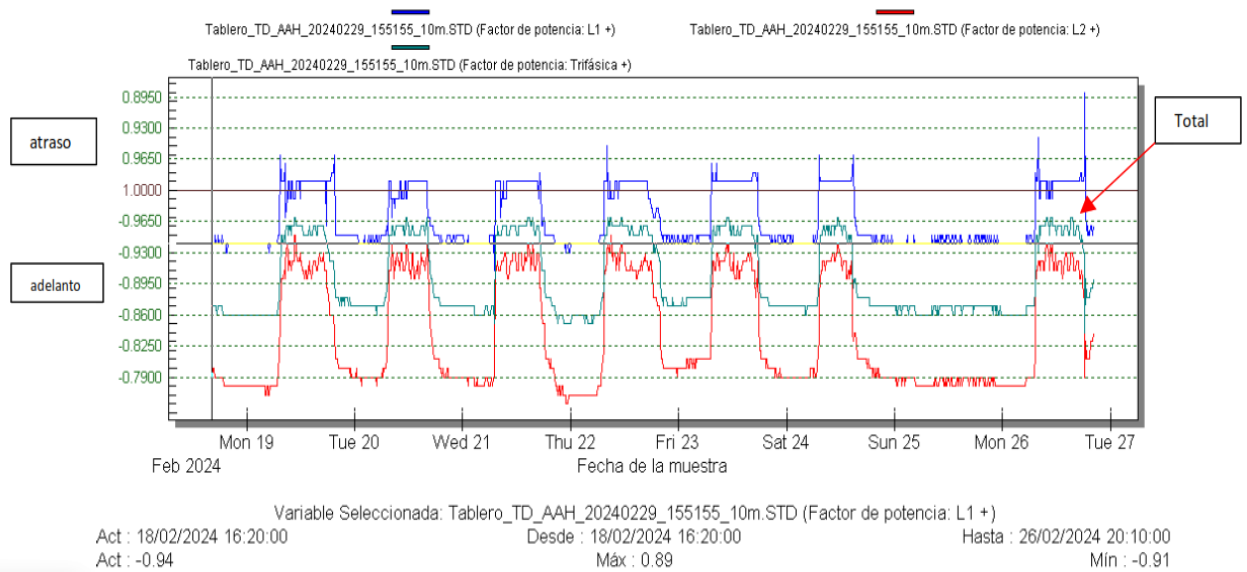
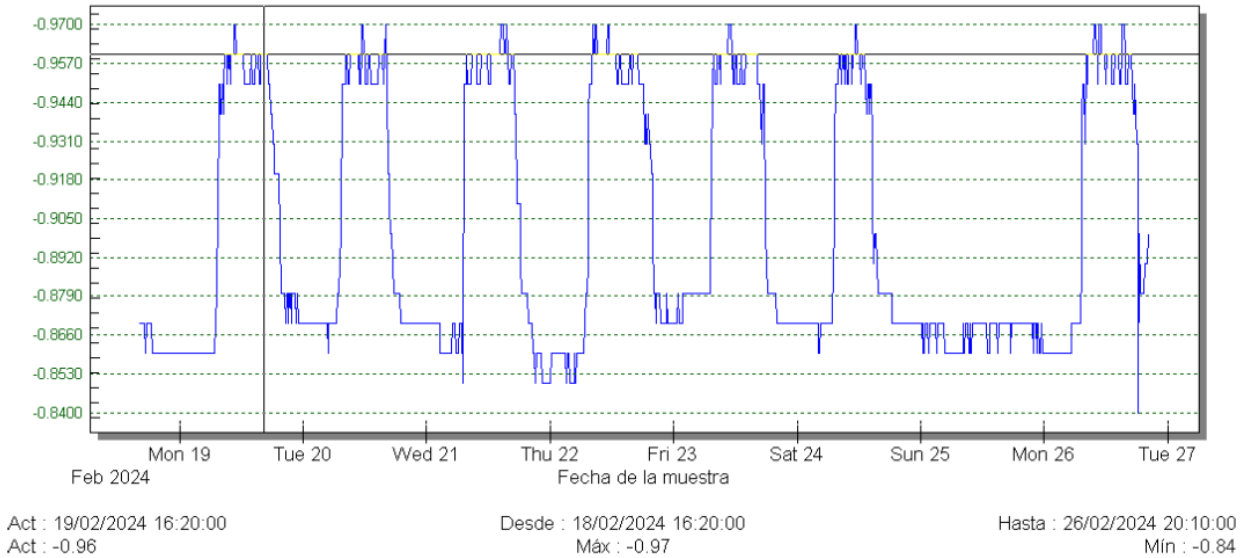
kW+	KVARL+	fp + (adelanto)
kW+	KVARC+	fp - (atraso)

Factor de potencia	fp A	fp B	fp Total
Media	-0,96	-0,84	-0,9

**Tabla 17. Factor de potencia medio por fase**

**Fuente:** Elaborado por el autor

Tablero\_TD\_AAH\_20240229\_155155\_10m.STD (Factor de potencia: Trifásica +)



**Figura 15.Registro del factor de potencia**

**Fuente:** Tomado de Analizador de energía Fluke 434

De acuerdo con la gráfica mostrada anteriormente los registros del factor de potencia durante todo el intervalo de medición, donde se ha marcado con una línea el valor factor de potencia unitario, lo que está por encima está en atraso y lo que está por debajo indica adelanto. Como indica la gráfica mayoritariamente opera en adelanto, lo que quiere decir que está operando en óptimas condiciones para cualquier clase de ecógrafo por más económico que este sea.

### 3.9 Resultados obtenidos del estudio realizado

La información recopilada en el Área de Endoscopia Digestiva donde está ubicado el Ecógrafo ha sido evaluada según los parámetros que plantea la Normativa de Arconel ARCERNNR/002/20, este análisis que se realizó tuvo la finalidad de conocer las principales causas de las interferencias que afectan el ecógrafo, el análisis realizado presenta los siguientes resultados:

- La variación de voltaje con respecto al voltaje nominal de la máquina arrojó resultados que al ser comparados son valores normales. Se concluye que la magnitud de voltaje es de buena calidad durante el tiempo que se realizó la medición. En cuanto a la normativa de ARCONEL, que indica que el nivel de distorsión armónica no debe superar el 8% y en el estudio realizado el valor obtenido fue del 2%, operando dentro del rango dictado por la normativa. De los análisis realizados el nivel de distorsión de la corriente (TDD) está sobrepasando el 8% que es el valor límite que dictamina la normativa. Sin embargo, no afecta la calidad de tensión porque su significancia con respecto a la potencia de la red es mucho menor.
- El factor de potencia está dentro de los límites normales, con la singularidad de que las máquinas conectadas tienden a operar con una predominancia capacitiva, razón por la cual en las gráficas mostradas anteriormente el Factor de Potencia tiene ligeros picos que están dentro del rango permisible; si se incrementa la carga que ya mantiene el área de Endoscopia Digestivo se recomienda realizar los cambios necesarios, tales como Instalar un Banco de Capacitores para corregir el Factor de Potencia.

### 3.10 Acciones correctivas

Como se pudo constatar con los análisis hechos previamente y sus respectivas gráficas se concluye que existe un nivel de distorsión de la corriente (TDD) que está sobrepasando el 8% que es el límite que dicta la norma IEEE-519-2014 (Ver Tabla 17); además contribuye a la generación de ruido electromagnético, lo cual puede afectar la operación y la integridad de los sistemas eléctricos y electrónicos.

Voltaje V a PCC	Armónico individual	Distorsión del armónico total THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0



$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

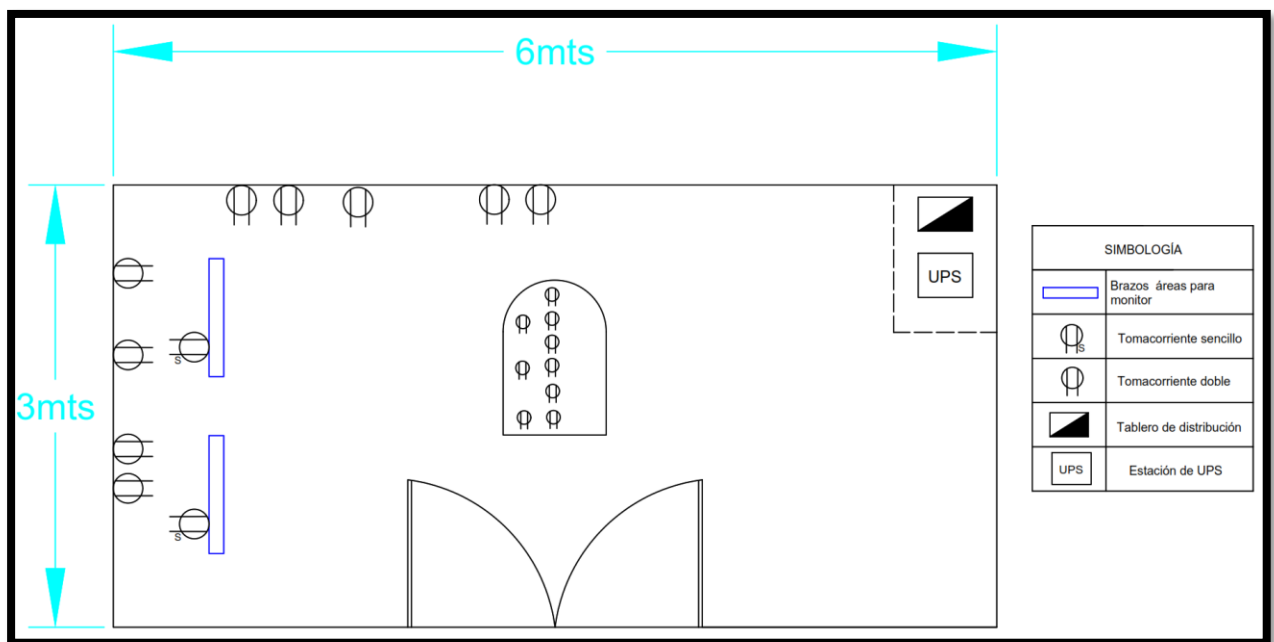
**Tabla 18. Límites de distorsión en voltaje**

**Fuente:** Tomado de IEEE Std 519

Para lo cual buscamos mejorar la calidad de corriente presente en este circuito mediante la eliminación de esta distorsión para lo cual se plantea.

- Mover los equipos y cambiar la línea a la cual están conectados dado que en la Fase B se encuentra una mayor concentración de carga.
- Equilibrar las cargas entre las fases para que este valor baje y esta anomalía se solucione.

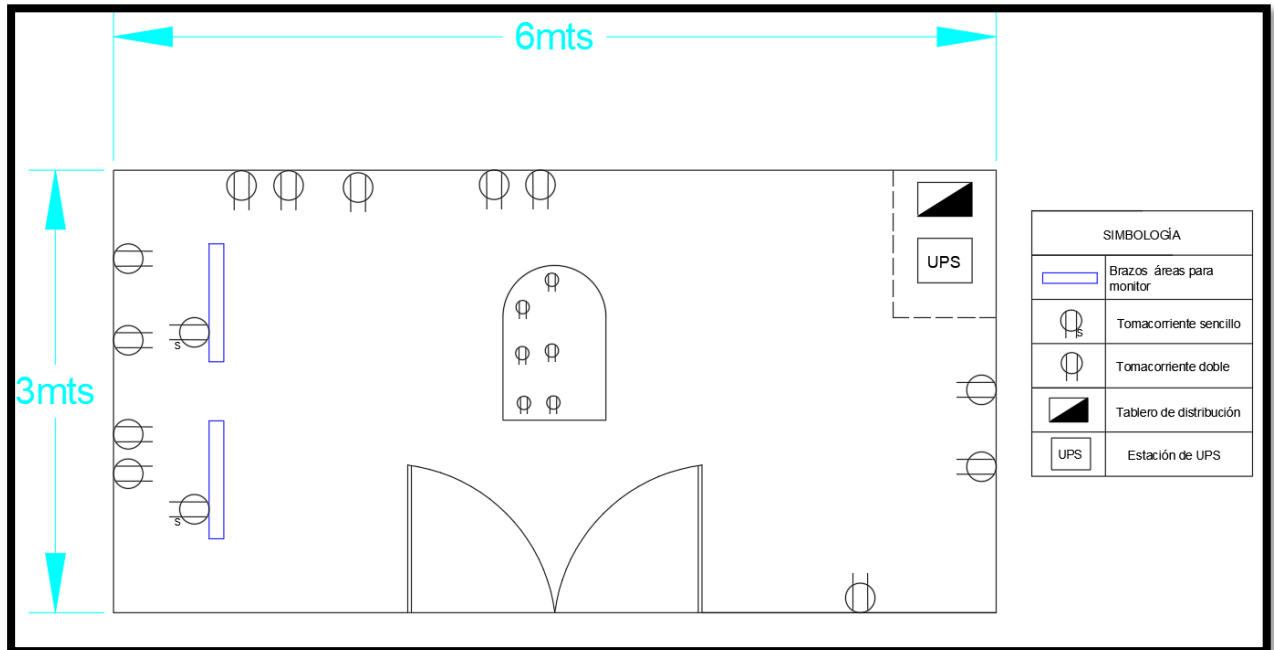
En el diseño original de la sala de ecografía tenemos lo siguiente:



**Figura 16. Diseño original del centro digestivo**

**Fuente:** Elaborado por el autor

En el diseño propuesto de la sala de ecografía tenemos lo siguiente:



**Figura 17. Diseño óptimo propuesto para el centro digestivo**

**Fuente:** Elaborado por el autor

La solución propuesta de cambiar los equipos es la más económica para abaratar costos, ya que diseñar un filtro de armónicos supondría un gasto fuerte en esta área y, al diseñarlo, tendremos que readecuar espacio para instalar el filtro. De tal manera de que en el costo que se contempla como posible solución solo sería cambiar los puntos a los que están conectados los equipos, lo cual sería un costo bajo en comparación a instalar un filtro de armónicos.

## **Conclusiones**

Al momento de realizar el Estudio de Calidad Energético para conocer cuál es el problema que estaba ocasionando el fenómeno de Ruido Electromagnético en el Ecógrafo se logró identificar que había una ligera elevación en la Distorsión armónica total de corriente (TDDi) que es lo que ocasionaba esta interferencia.

Otros equipos afectaron el ruido electromagnético del ecógrafo, que hacía que al realizar Ecografías las imágenes salieran con ligeras distorsiones, para lo que se trasladaron algunos equipos y sus puntos de energía a los que estaban conectados.

La Distribución de los Distintos Equipos en la Sala de Endoscopía estaba provocando que exista este Ruido Electromagnético en el Ecógrafo, para lo cual se hizo una redistribución de los equipos y sus tomacorrientes, lo cual resultará en que se disuelva la presencia de esta interferencia que afectaba al ecógrafo.

## **Recomendaciones**

Al tener equipos electrónicos, realizar un estudio de calidad de energía al menos una vez al año, provoca que haya perturbaciones, para lo que, si hay nuevas perturbaciones en un mes, se deberá tomar las acciones necesarias para corregir este problema.

Al ser un centro médico dedicado a enfermedades digestivas que es muy concurrido, al cabo de cierto tiempo para suplir la demanda de pacientes se comprará nuevos equipos médicos para lo cual se recomienda hacer un nuevo estudio de calidad de energía y diseñar un filtro de armónicos controlando de mejor manera las perturbaciones eléctricas.

Proyectarse en la instalación de un banco de capacitores, dado que presenta ciertas variaciones en el factor de potencia y con el tiempo genera el desgaste de los equipos, afectando aún más el factor de potencia, y evitar posibles penalizaciones por parte de CNEL.

# BIBLIOGRAFÍA

- Almeida. (2016). *GUÍA PRÁCTICA PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA*.
- Brems, A., Gl, D., Steele, E., & Papadamou, A. (2015). *European Commission Library of typical energy audit recommendations, costs and savings Prepared by*. <http://europa.eu>
- Calvo, P. C., Escobar, A., & Pinedo, C. (2008a). Interferencia electromagnética en equipos médicos debida a equipos de comunicación inalámbrica Electromagnetic interference on medical equipments due to wireless communication devices. In *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º* (Vol. 46). Diciembre.
- Calvo, P. C., Escobar, A., & Pinedo, C. (2008b). Interferencia electromagnética en equipos médicos debida a equipos de comunicación inalámbrica Electromagnetic interference on medical equipments due to wireless communication devices. In *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º* (Vol. 46). Diciembre.
- Cañizares-Pentón, G., R.-A. M. F., P.-B. R. A., & G.-S. E. (2014). *La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara, Cuba The Energetic Management and his Impact at Villa Clara's Industry, Cuba*.
- Chauvin, A. (2016). *LA NORMA IEC 61000-4-30*.
- Comisión Electrotécnica Internacional. (2002). *Installations électriques des bâtiments-Partie 7-710: Règles pour les installations ou emplacements spéciaux-Locaux à usages médicaux Electrical installations of buildings*. [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- Correa, M., Villalba, M. P., & García, J. H. (2017). Protocolos para evaluación de desempeño en equipos médicos. *Revista Ingeniería Biomédica*, 11(22). <https://doi.org/10.24050/19099762.n22.2017.1185>
- Crawford. (2014). *Modern Energy Services for Health Facilities in*. <https://123dok.net/document/qvl7g03l-modern-energy-services-health-facilities.html>

- David, C., Velandia, A., Antonio, A., & Salazar Gómez, J. (2020). *DISEÑO DE LABORATORIO CERTIFICADO PARA PRUEBAS ELÉCTRICAS EN EQUIPOS MÉDICOS ACORDES A LA NORMA IEC60601*.
- de la Cruz-Lovera, C., Perea-Moreno, A. J., de la Cruz-Fernández, J. L., Alvarez-Bermejo, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017). Worldwide research on energy efficiency and sustainability in public buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/su9081294>
- Dugan, R., Santoso, S., & McGranahan, M. (2004). *Electrical Power Systems Quality, Second Edition*.
- Flores Víctor Germán, S. (2016). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MÁSTER (MSc.) EN*.
- Freire, D., & Vergara, C. (2010). *Análisis de la calidad de energía en los edificios utilizados por el hospital León Becerra*.
- Linares, R., & Bonilla, J. (2012). *Compatibilidad electromagnética*. <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v20n1/art01.pdf>
- María, J., & Moyano, D. (2005). *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN UNIVERSIDAD DE CANTABRIA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES*. [https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_it/iec\\_4.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_4.pdf)
- Medina Parra, L. A., & Ramírez Araújo, E. F. (2005). *INTERFERENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DE UN HOSPITAL DE TERCER NIVEL*. 32–51.
- Norma Española. (2009). *Equipos electromédicos, ensayos recurrentes y ensayos después de reparación del equipo electromédico*.
- Pernía, A. M., & De Oviedo, U. (2009). *Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos*. [http://ieee-pels-ies.es/Pels/Pdf/Oviedo/Doctorado\\_EMI.pdf](http://ieee-pels-ies.es/Pels/Pdf/Oviedo/Doctorado_EMI.pdf)
- Pernía, A. M., & De Oviedo, U. (2014). *Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos CURSO DE DOCTORADO*.
- Rodríguez Quiroz, L. (2015). *La Interferencia Electromagnética en Centros de Salud – Fundación Instituto de Ingeniería para la Investigación y Desarrollo*. <http://www.fii.gob.ve/la-interferencia-electromagnetica-en-centros-de-salud/>

Rubén, A., & Sánchez, B. (2017). *Análisis de los campos electromagnéticos aplicados a la electromedicina para diagnosticar y tratar enfermedades.*

Tremola, C., Azpurúa, M., & Páez, E. (2022). *Evaluación de la Compatibilidad Electromagnética en Ambientes Hospitalarios* (Vol. 12, Issue 1).