

Diseño de estrategias que permitan el mejoramiento del sistema eléctrico en el Hospital Universitario de Santander, mediante el estudio al comportamiento de las cargas instaladas

David de Jesús Echeverría Osorno

Jesús Daniel García Manzano

Nathalia Gómez Chinchilla

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Gabriel Ordóñez Plata

Profesor Titular UIS

Codirector

Manuel José Ortiz Rangel

Profesor Cátedra E3T UIS



Bucaramanga, octubre 2022

A mis profesores Silvio, Delma, Gloria, Sheilly, Pablo y Laura.

A mis ingenieros Gloria y Luis.

A mis doctores Henry y Clara.

Ustedes hicieron posible este sueño, su sueño.

David de Jesús Echeverría Osorno

A Isidro García Angarita y Emilce Isabel Manzano Velásquez mis papás dedico este proyecto de grado, ya que ellos con su gran amor y esfuerzo, fueron mi apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi vida universitaria.

A Tania Isabel García mi hermana, por sus consejos los cuales me ayudaron a sacar adelante esta etapa de mi vida y a su vez a ser una buena y mejor persona.

A mis abuelos, pero principalmente a Hida María Velázquez por encomendarme a DIOS, y por creer en mi capacidad.

A Nathalia Gómez, por estar en las buenas y en las malas, por ser mi soporte en todo el transcurso de esta carrera.

A todos mis amigos de la carrera, que con tanto esfuerzo y dedicación han caminado junto conmigo en esta decisión de ser Ingenieros Electricistas UIS.

Y por último, a mí, porque sin importar las adversidades y lo difícil que a veces llega a ser el camino, estudié, me esforcé y llegue a en la recta final de mi carrera.

Jesús Daniel García Manzano

A mis padres, Raúl y Aracely; el mejor ingeniero electricista, porque ama lo que hace, y la mejor psicóloga, porque siempre escucha con su corazón. Su ejemplo de que todo se puede lograr con amor, dedicación y esfuerzo me llevo más allá de lo que hubiese podido imaginar; por ellos y para ellos este logro.

A mi persona favorita, Isabela, quien creyendo en mi me hace sentir invencible.

A Ramiro, José Gabriel, Yurlei, María y Thomas, por acompañarme y enseñarme lo valioso de la vida, por su apoyo y amor.

A Jesús, por llegar hasta el final a mi lado.

A David, por seguirme aun cuando ni yo sabía para dónde íbamos.

A Nathalia, por cumplir el sueño.

Nathalia Gómez Chinchilla

Agradecimientos

El interés social nos motivó desde un principio a lograr un producto final que contribuya a mejorar un pedacito de esta sociedad, lo logramos al enfocarnos en un ente tan importante como lo es el Hospital Universitario de Santander, esto no hubiera sido posible sin la ayuda de cada persona y entidades involucradas en este trabajo de grado.

A Dios, su bondad es gigante, su amor inconfundible, su mano nos guio hasta el final.

A nuestro director, el profesor Gabriel Ordóñez Plata, por perseverar a nuestro lado, confiar en nosotros, siempre estar al pendiente de nuestras dudas, compartir sus conocimientos y por sus sabios consejos que llevaremos con nosotros siendo cada vez mejores profesionales y personas.

A nuestro co-director, el profesor Manuel José Ortiz Rangel, por clarificar nuestras ideas, estar siempre dispuesto a brindarnos herramientas y conocimientos, por su calidad humana y su gran apoyo a lo largo de cada paso de este proyecto de grado.

A nuestra alma mater, la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, a cada profesor y administrativo que en cada enseñanza y proceso nos permitió forjarnos profesional y personalmente.

Al Hospital Universitario de Santander, por abrirnos las puertas y entender junto a nosotros la importancia del campo de la Ingeniería Eléctrica en la salud, esperamos ser el inicio de una serie de trabajos UIS E3T – HUS que beneficien a la región. En especial, agradecemos al profesional Jorge Rodríguez, la subgerente de servicios-enfermería Marisela Márquez Herrera y al equipo de Mantenimiento HUS por brindarnos apoyo y gestión a cada una de nuestras ideas.

A todas las personas que contribuyeron a la culminación de nuestra carrera, las llevamos en nuestro corazón.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	11
Abstract.....	12
Introducción	14
1. Generalidades del trabajo de grado.....	18
1.1 Alcance	18
1.2 Objetivo general.....	19
1.3 Objetivos específicos	19
2. Antecedentes y marco teórico.....	20
3. Análisis y resumen del estudio previo realizado al HUS.....	26
3.1 Diagrama unifilar y puntos de medición.....	27
3.1 Tablero hemocentro	31
3.1.1 Aspectos identificados	31
3.1.2 Soluciones propuestas.....	33
3.2 Tablero oncología	33
3.2.1 Aspectos identificados	33
3.2.2 Soluciones propuestas.....	34
3.3 Tablero de carpintería	34
3.3.1 Aspectos identificados	35
3.3.2 Soluciones propuestas.....	36
3.4 Tablero subestación 1250 kVA.....	36
3.4.1 Aspectos identificados	37

3.4.2 Soluciones propuestas.....	38
3.5 Angiógrafo y Resonador.....	38
3.5.1 Aspectos identificados.....	39
3.5.2 Soluciones propuestas.....	39
4. Identificación de las zonas y cargas de mayor importancia para el servicio de salud.	41
4.1 Urgencias.....	42
4.2 Pediatría y maternidad.....	42
4.3 Enfermedades infecciosas.....	43
4.4 Unidad de cuidados intensivos.....	43
4.5 Quirófanos.....	43
5. Propuesta de medición para monitorizar los parámetros eléctricos de las zonas y cargas críticas.	52
5.1 ¿Por qué medir?.....	53
5.2 Recursos.....	54
5.3 Dónde medir.....	56
5.4 Cómo medir.....	61
5.4.1 Valores a medir.....	61
5.4.2 Agregación.....	63
5.4.3 Frecuencia de muestreo.....	64
5.5 ¿Qué se busca?.....	64
5.5.1 Frecuencia industrial.....	65
5.5.2 Magnitud del valor eficaz la tensión.....	65
5.5.3 Hundimientos de tensión.....	65

5.5.4 Elevaciones de tensión.....	66
5.5.5 Interrupciones de la tensión	66
5.5.6 Sobretensión.....	66
5.5.7 Subtensión.....	67
5.5.8 Desbalance de tensión.....	67
5.5.9 Componentes armónicas e interarmónicas.....	67
5.6 Propuesta alternativa al plan de medición, aplicando gestión energética	68
6. Plan de recolección de información eléctrica importante de los equipos existentes y recién adquiridos.....	70
6.1 Etapa 1. Digitalización de manuales	71
6.2 Etapa 2. Extracción de datos	72
7. Sugerencias para futuros cambios en la disposición de los pisos del HUS	74
8. Conclusiones.....	77
Referencias.....	79
Apéndices.....	85

Lista de Figuras

Figura 1. Vista general diagrama unifilar del HUS	28
Figura 2. Vista Resumida del diagrama unifilar del HUS.	28
Figura 3. Tablero Hemocentro.....	29
Figura 4. Tablero Oncología.....	29
Figura 5. Tablero Carpintería.....	30
Figura 6. Tablero Subestación	30
Figura 7. Tablero Angiógrafo y Resonador	30
Figura 8. Vista unifilar barraje general del HUS	57
Figura 9. Medición pisos 4, 5, 6 y 7	57
Figura 10. Medición pisos 9 y 10	57
Figura 11. Medición piso 11	58
Figura 12. Vista unifilar barraje crítico	58
Figura 13. Medición pisos 4, 5 y 7	59
Figura 14. Medición pisos 3, 4 y 11	59
Figura 15. Punto de medida para diagnóstico general	59

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores nominales de los equipos biomédicos conectados a las zonas críticas del HUS	44
Tabla 2. Tabla Resumen estrategia 1	51
Tabla 3. Tiempos típicos de muestreo según el tipo de cliente.....	63
Tabla 4. Tabla resumen estrategia 2.....	69
Tabla 5. Formato para la extracción de los valores nominales de los equipos biomédicos.....	73
Tabla 6. Tabla resumen estrategia 3.....	74

Resumen

TÍTULO: DISEÑO DE ESTRATEGIAS QUE PERMITAN EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL HOSPITAL UNIVERSITARIO DE SANTANDER, MEDIANTE EL ESTUDIO AL COMPORTAMIENTO DE LAS CARGAS INSTALADAS. *

PALABRAS CLAVE: Diagnóstico, Calidad, Medición, Estrategias.

AUTORES: David de Jesús Echeverría Osorno – Jesús Daniel García Manzano – Nathalia Gómez Chinchilla. **

DESCRIPCIÓN: Este trabajo de grado presenta la aplicación de la Ingeniería Eléctrica en el campo de la salud a través de estrategias para resolver problemas del sistema eléctrico del Hospital Universitario de Santander. Con este trabajo se propondrán mejoras en la calidad del servicio de energía eléctrica que presta el Hospital Universitario de Santander, siendo así cada vez mejor.

Tras una serie de visitas al Hospital Universitario de Santander, se pudieron identificar algunos problemas en el sistema eléctrico de este complejo hospitalario. El grupo de trabajo por parte de la UIS propone en este documento una serie de estrategias enfocadas a los problemas identificados, que permitirán una mejora continua del rendimiento del sistema eléctrico del hospital.

En primer lugar, se resume un estudio de calidad eléctrica realizado en el HUS en 2019. Posteriormente, se realiza una revisión de los servicios que presta el HUS, lo que permitió clasificar ciertas áreas del hospital como áreas críticas, y a partir de la base de datos del HUS se pudieron identificar las cargas o equipos biomédicos que operan en estas áreas con sus valores nominales de tensión y corriente.

Una vez conocidas estas cargas y sus valores nominales, se propone una propuesta de medición para monitorizar las señales eléctricas que reciben estos equipos biomédicos en las áreas identificadas como críticas. Dada la poca información disponible sobre los parámetros eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento de estos equipos, se propone un plan de recogida de datos eléctricos de estas cargas y, finalmente, se realizan sugerencias en caso de que se modifique la disposición de las plantas del HUS.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisiomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Director: PhD. Gabriel Ordóñez Plata. Codirector: MIE. Manuel José Ortiz Rangel

Abstract

TITLE: DESIGN OF STRATEGIES THAT ALLOW THE IMPROVEMENT OF THE ELECTRICAL SYSTEM AT THE SANTANDER UNIVERSITY HOSPITAL, THROUGH THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE INSTALLED LOADS. *

KEY WORDS: Diagnosis, Quality, Measurement, Strategies.

AUTHORS: David de Jesús Echeverría Osorno – Jesús Daniel García Manzano – Nathalia Gómez Chinchilla. **

DESCRIPTION: This degree work presents the application of Electrical Engineering in the field of health through strategies to solve problems of the electrical system of the Hospital Universitario de Santander. With this work, improvements will be proposed in the quality of the electrical energy service provided by the Hospital Universitario de Santander, thus being better and better.

After a series of visits to the Hospital Universitario de Santander, it was possible to identify some problems in the electrical system of this hospital complex. The working group on behalf of the UIS proposes in this document a series of strategies focused on the problems identified, which will allow a continuous improvement of the performance of the hospital's electrical system.

First, a summary of a power quality study conducted at HUS in 2019 is summarized. Subsequently, a review of the services provided by the HUS is performed, which allowed classifying certain areas of the hospital as critical areas, and from the HUS database it was possible to identify the loads or biomedical equipment operating in these areas with their nominal voltage and current values.

Once these loads and their nominal values are known, a measurement proposal is proposed to monitor the electrical signals received by this biomedical equipment in the areas identified as critical. Given the little information available on the electrical parameters necessary for the proper functioning of this equipment, a plan is proposed to collect electrical data from these loads and finally, suggestions are made in case the layout of the floors of the HUS is changed.

* Degree Work

** Faculty of Physiomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electrical Engineering. Director: PhD. Gabriel Ordóñez Plata. Co-director: MIE. Manuel José Ortiz Rangel

Glosario

Angiógrafo: Equipo médico que utiliza rayos X y sistemas digitales para sustraer las estructuras que no son de interés dejando visibles los vasos sanguíneos (arterias y venas) del organismo.

Calidad de energía eléctrica: Características de la electricidad en un punto dado del sistema eléctrico, evaluado contra un conjunto de parámetros eléctricos de referencia.

Componente armónica: Señal sinusoidal cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas.

Desbalance de tensión: Condición de un sistema polifásico en la cual los valores eficaces de las tensiones de línea no son todos iguales o sus ángulos de fase no están a 120 grados entre sí.

Elevación: Incremento temporal de la magnitud de la tensión en un punto del sistema.

Forma de onda: Forma en el tiempo de una señal (tensión o corriente).

Hundimiento: Reducción temporal de la magnitud de tensión en un punto del sistema.

Interrupción: Reducción de la magnitud de la tensión en un punto del sistema.

Medición eléctrica: Métodos, dispositivos y cálculos utilizados para medir variables eléctricas como la tensión, corriente, frecuencia, resistencia, entre otras.

NFPA: National Fire Protection Association.

Parpadeo: Impresión de inestabilidad de la sensación visual debido a un estímulo luminoso cuya luminancia o distribución espectral fluctúa en el tiempo.

Punto de medición: Punto eléctrico en el cual se miden los parámetros técnicos de referencia de calidad de la potencia eléctrica.

Resonador: Equipo que utiliza campos magnéticos para construir imágenes que ayuden a detectar alteraciones en cualquier parte del cuerpo.

Introducción

La salud de las personas que hacen parte de una comunidad, es un pilar fundamental para el desarrollo de la misma. Una persona sana y saludable se destaca por su rendimiento en el momento de llevar a cabo cualquier actividad, y con ello asegura el éxito y los logros en todos los ámbitos de su vida. En pocas palabras una persona saludable tiene un gran valor para la sociedad. Además, una sociedad cuyos habitantes tengan la calidad de vida suficiente para vivir muchos años, es más seguro que su economía, sus costumbres y su cultura prevalezcan a lo largo del tiempo.

Por esta razón existen las instituciones prestadoras del servicio de salud y su trabajo es de gran importancia siempre y cuando se brinde un servicio de calidad. Cuando se habla de un servicio de calidad se hace referencia a contar con los espacios adecuados, con profesionales íntegros que lleven a cabo procesos seguros y con las herramientas en buen estado que cumplan con su función.

Según el Hospital Universitario de Santander (HUS, S.f), esta es una institución pública departamental que brinda los servicios de salud de mediana y alta complejidad. Esta institución cuenta con altas tecnologías y equipos especializados que lo categorizan como un hospital de nivel III. El HUS funciona desde el año 1973 cuando fue inaugurado por el presidente Misael Pastrana Borrero con el nombre de Hospital Ramón González Valencia. Desde 2005, cuando fue liquidado, nace la institución Hospital Universitario de Santander y desde entonces ha ido en crecimiento y desarrollo para prestar un servicio de calidad a la comunidad del nororiente colombiano que lo necesite.

La edificación tiene 11 pisos y una capacidad de 384 camas para prestar los servicios de salud de alta y mediana complejidad que representan al HUS: hospitalización, observación,

consulta externa, servicio de urgencias, quirófanos, partos y el diagnóstico y tratamiento de especialidades entre las que se destacan oncología, infectología, neurología y además cuenta con un hemocentro.

El servicio que presta el HUS es valioso para el departamento pues representa el trabajo y la entrega de los santandereanos, y también es muy importante para la Universidad Industrial de Santander (UIS) porque la comunidad estudiantil se prepara y pone en práctica los conocimientos en este lugar, gracias a una serie de convenios que a lo largo de los años se han llevado a cabo.

Como se mencionó anteriormente, un servicio de salud de calidad implica el buen desempeño de las herramientas utilizadas para llevar a cabo distintos procedimientos. Muchas de estas herramientas funcionan con electricidad, por lo tanto, contar con un sistema eléctrico que trabaje adecuadamente es crucial para lograr la calidad requerida en la prestación del servicio. El uso racional de la energía eléctrica, la calidad de la misma, la confiabilidad de los sistemas eléctricos, y la introducción de nuevas tecnologías han significado grandes retos para el campo de la Ingeniería Eléctrica. El Hospital Universitario de Santander requiere un sistema eléctrico eficiente, sostenible y confiable, por lo tanto, existe la necesidad de la colaboración entre la ingeniería y el campo de la salud.

El Hospital Universitario de Santander cuenta con aproximadamente 4000 equipos especializados utilizados para diagnosticar y tratar a los pacientes. La mayor parte de estos equipos necesitan de un flujo de energía eléctrica permanente para su funcionamiento, lo que hace indispensable tener un adecuado servicio de esta energía para que esté disponible todo el tiempo dentro de estos establecimientos. Además de la disponibilidad es necesario garantizar también: la calidad de la energía eléctrica, la optimización del uso de las cargas eléctricas, y la distribución adecuada del flujo de energía eléctrica.

El sistema eléctrico del HUS está conformado por un barraje general dividido en tres módulos, los módulos 2, 6 y 3. En este barraje se encuentran conectadas cargas como ascensores, luminarias, oficinas de mantenimiento y parqueaderos. De estos módulos se derivan las conexiones de otros tableros del hospital como los tableros auxiliares de subestaciones, transformadores y lavandería. Del barraje general también se deriva una conexión hacia el barraje crítico, que a su vez se conecta mediante un módulo de transferencia a la subestación para asegurar que no se interrumpa nunca el fluido eléctrico para las cargas que lo componen. Las cargas que componen el barraje crítico son: salas de cirugía, sala de partos, urgencias, covid, iluminación de los pasillos y laboratorios. Todo esto se puede observar a detalle en las figuras 1 y 2, y con más detalle en los apéndices que se encuentran al final de este documento.

Este trabajo de grado propone estrategias que permitan solucionar problemas de tipo eléctrico que se presentan en el Hospital Universitario de Santander, para mejorar la calidad del servicio que el HUS le presta al departamento. Estas estrategias están enfocadas en el comportamiento de las cargas instaladas en el sistema eléctrico. En primera instancia se presenta un análisis del estudio a la calidad de la energía realizado previamente por el HUS (Capítulo 3) donde se resume los aspectos identificados y las soluciones propuestas por el autor del estudio, este primer estudio es un punto de partida para conocer el estado del sistema eléctrico del hospital y fue un primer intento en analizar el comportamiento de las señales eléctricas que reciben los equipos conectados al sistema eléctrico del HUS. Luego el documento se enfoca en las estrategias propuestas por parte del equipo de trabajo para darle solución a problemáticas puntuales encontradas en el HUS, las estrategias son: identificación de las zonas y cargas de mayor importancia (Capítulo 4), para establecer qué equipos o cargas son las que requieren una monitorización debido a su importancia en el servicio de salud; plan de medición (Capítulo 5) para

poder tener claro el proceso a seguir que permita monitorizar el comportamiento de las señales eléctricas que reciben las cargas identificadas como importantes; y plan de recolección de información (Capítulo 6), para poder contrastar los valores obtenidos en la medición con los datos nominales de los equipos. Finalmente, se plantean sugerencias futuras teniendo en cuenta que el complejo se encuentra en proceso de cambio (Capítulo 7).

1. Generalidades del trabajo de grado

En este capítulo se presenta el alcance del trabajo de grado, así como los objetivos generales y específicos. Esto sirve de guía para la realización del documento, el cual debe presentar un desarrollo de estos objetivos y lograr el alcance propuesto.

1.1 Alcance

En este trabajo de grado, inicialmente se realiza un resumen del estudio de calidad de la potencia eléctrica realizado al HUS en el año 2019. En este resumen se presentan los principales hallazgos del estudio y las soluciones propuestas luego de realizar un análisis de los problemas encontrados.

Además, se hace un diagnóstico de los problemas actuales del sistema eléctrico a partir de consultas al personal de mantenimiento, visitas en campo y revisión de las bases de datos del hospital, para proponer estrategias de solución a las problemáticas encontradas.

La idea principal del trabajo de grado es dejarle al hospital la información necesaria para que sirva de guía en el proceso de mejoramiento del sistema eléctrico. A partir de las ideas planteadas en el presente trabajo de grado se pueden llevar a cabo diferentes acciones de mejora que aporten en la consolidación de un servicio de salud de calidad en la región.

También se quiere que este sea el reinicio de una serie de colaboraciones entre el HUS y la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la UIS, que permitan seguir trabajando en el mejoramiento del servicio de calidad a través de la aplicación de la Ingeniería.

1.2 Objetivo general

Diseñar estrategias para el mejoramiento del sistema eléctrico del Hospital Universitario de Santander a partir del estudio al comportamiento de las cargas instaladas.

1.3 Objetivos específicos

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Identificar las problemáticas del sistema eléctrico del Hospital Universitario de Santander.
- Diseñar estrategias de solución para las problemáticas de carácter eléctrico identificadas en las cargas vitales y críticas.
- Estimar la viabilidad de las soluciones propuestas mediante criterios de alcance, innovación e impacto.

2. Antecedentes y marco teórico

Actualmente varios hospitales son centros con equipos desarrollados con tecnologías modernas, debido a que los equipos con los que se atienden las necesidades de salud de los pacientes son, en su mayoría, de alta complejidad eléctrica y electrónica. Estos equipos son cargas eléctricas que requieren ciertas condiciones para asegurar que el funcionamiento sea adecuado.

En la instalación de estos equipos algunas veces los requerimientos eléctricos de estos no se cumplen en su totalidad, lo cual es contraproducente debido a que puede desencadenar un mal rendimiento del sistema eléctrico que podría ocasionar daños en los equipos y, por supuesto posibles afectaciones a quienes lo utilizan.

Rubén Darío Cárdenas (2010) expone que:

Generalmente la gestión de tecnología en la mayoría de hospitales del país está en manos de personal con escasa o ninguna formación en tecnología (médicos, odontólogos, fisioterapeutas, administradores, abogados), quienes únicamente se limitan a comprar equipos biomédicos y de alta tecnología a precios que se ajusten al presupuesto de la organización, sin tener en cuenta los parámetros técnicos y condiciones reales de operación (p.2).

Con el paso del tiempo y el desarrollo de las ingenierías eléctrica y electrónica, las empresas han entendido que este tipo de acciones y decisiones se deben dejar en manos de profesionales de estas disciplinas. Por consiguiente, la ingeniería y la salud han estado trabajando mancomunadamente con el fin de mejorar al máximo el servicio prestado en hospitales y clínicas.

Esta colaboración entre la ingeniería y la salud se nota cuando al visitar un centro hospitalario de alta complejidad, se encuentra un Ingeniero Electricista encargado de supervisar la

parte eléctrica del hospital, pero también se puede evidenciar en la gran cantidad de trabajos de investigación y aplicación de la Ingeniería Eléctrica en centros hospitalarios, enfocados en la medición y monitorización de variables. Esta colaboración asegura el cumplimiento de la misión de los centros hospitalarios de brindar atención humanizada, segura y eficiente utilizando tecnología adecuada y basada en criterios éticos y científicos con talento humano calificado. (HUS, s.f)

Un ejemplo claro de esto es el documento “Técnicas de análisis para el sistema de monitoreo de la energía eléctrica en hospital de Thailandia” escrito en 2017 por Piampoom Sarikprueck y otros, en el cual se propone un método de agrupamiento de datos para la caracterización del perfil de cargas que permite observar anomalías en el comportamiento de estas cargas en varios escenarios de operación del hospital. (Sarikprueck et al., 2017).

En este mismo año, Pietro Antonio Scarpino y Grancesco Grasso publican “Análisis de sistemas eléctricos complejos en hospitales”, un documento en el que se plantea que para proveer un servicio ininterrumpido de energía y prevenir variaciones de frecuencia y tensión que puedan afectar los equipos de un hospital, se debe tener una buena distribución de las potencias tanto activa como reactiva. Para esto propone un método de diseño de sistemas eléctricos hospitalarios basado en la clasificación de las cargas para determinar el flujo de potencia adecuado (Scarpino y Grasso, 2017).

Los documentos mencionados anteriormente son prueba de la preocupación que existe en el campo de la Ingeniería Eléctrica sobre el desempeño del sistema eléctrico de los hospitales, entendiendo la complejidad del caso en que cualquier falla del sistema pueda, por ejemplo, desconectar un equipo del cual dependa la vida de algún paciente.

Cuando la energía eléctrica suministrada a un equipo tiene las características y condiciones adecuadas para que este funcione continuamente y no se vea afectado en su desempeño, se dice que hay una buena calidad de la energía eléctrica, dado que el entorno electromagnético es compatible. Es un indicador de qué tan adecuada es la instalación para el buen funcionamiento de las cargas y asegura que las perturbaciones en la tensión, en la corriente o en la frecuencia del sistema eléctrico cumple con las exigencias de compatibilidad electromagnética requerida. Se dice que existe un problema de calidad de energía eléctrica cuando se presenta una desviación o perturbación en las variables: amplitud, frecuencia, forma de onda, balance del sistema trifásico o continuidad del suministro que afecte el funcionamiento de las cargas eléctricas conectadas al sistema.

Por otro lado, un sistema eléctrico que sea seguro y confiable desde el punto de vista operacional también refleja buena calidad de la energía eléctrica. La mayoría de las empresas buscan que su sistema eléctrico se mantenga continuamente operando. Para esto se instalan sistemas de respaldo que suministran la energía eléctrica a los equipos eléctricos que son fundamentales para los procesos.

En la actualidad, se busca una mayor productividad y competitividad de los encargados de prestar el servicio de la energía eléctrica. Pero la responsabilidad no es solo de los prestadores del servicio, sino de las empresas en su red interna. Estos deben garantizar conexiones adecuadas, buena distribución de la carga, instalación de sistemas de respaldo, protecciones y por supuesto, equipos que compensen aquellas desviaciones de la línea base de funcionamiento debidas a los reactivos requeridos por las cargas, las distorsiones de las señales de tensión y corriente y los desbalances que se puedan presentar durante el funcionamiento del sistema eléctrico.

En el área de la salud es crucial contar con un servicio de calidad de la energía eléctrica adecuado, principalmente por la susceptibilidad que tienen ciertos equipos electro médicos ante las perturbaciones que se presentan en el sistema eléctrico. Dicho de otro modo, la calidad de la energía eléctrica en centros de salud como clínicas y hospitales es de vital importancia para garantizar el adecuado funcionamiento de los equipos que se instalan.

Existen normas y reglamentaciones que se enfocan en el desempeño y los parámetros eléctricos de los equipos médicos y en general, de todo el sistema de atención médica. Por otra parte, también hay normativas y reglamentación relacionadas con la calidad de la energía eléctrica. Las principales normativas y reglamentaciones relacionadas con estos temas se resumen a continuación.

NTC 2050

El código eléctrico colombiano (NTC 2050) establece los requisitos de las instalaciones eléctricas. En este documento, en su Sección 517. INSTITUCIONES DE ASISTENCIA MÉDICA, se proponen las pautas para el montaje del sistema eléctrico de una institución de asistencia médica, basado en la norma NFPA 99.

A partir de esta norma se puede evaluar si las instalaciones de hospitales, clínicas o centros de salud cumplen con los requisitos para no poner en riesgo la vida de los pacientes, que son la parte más importante del servicio de salud.

NFPA 99-2021

Este código de instalaciones de asistencia médica, es de las pocas normas de la NFPA que no se enfoca en la protección contra incendios y abarca un campo más amplio sobre las instituciones prestadoras del servicio de salud.

Esta norma propone medidas de protección para mitigar los riesgos al ocurrir una falla en los sistemas de las instituciones de asistencia médica y establece varias categorías para la evaluación de riesgos dependiendo del posible daño o impacto que pueda tener la falla en los pacientes.

NTC 5000 de 2002

Esta Norma Técnica Colombiana presenta una serie de definiciones y términos fundamentales para entender los fenómenos que afectan la calidad de las señales eléctricas. Aborda una definición clara de lo que se entiende por calidad de potencia. Según la norma NTC 5000, la calidad de potencia se define como las características físicas de las señales eléctricas de un sistema. Su enfoque está en las perturbaciones que puedan presentarse en las ondas de tensión y corriente, la duración y características de las mismas. Presenta una caracterización desglosada de estos fenómenos.

IEEE 1159-1995

Este estándar clasifica los fenómenos electromagnéticos que describen los problemas de calidad de energía eléctrica. Define siete categorías distintas de estos fenómenos en redes: transitorios, variaciones de larga duración, desequilibrio de la tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de frecuencia.

Según el estándar IEEE 1159, la calidad de energía es la variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan una señal de corriente y tensión en un instante determinado en un punto determinado de una red eléctrica.

CREG 065 de 2012

Esta propuesta de resolución establece normas de calidad de potencia eléctrica aplicables al Sistema Interconectado Nacional. Busca asegurar la operación eficiente, segura y confiable del sistema a partir de la calidad de la energía eléctrica, fijando las normas a las que deben ceñirse los operadores de red en la prestación del servicio de energía eléctrica.

Define la calidad de la energía eléctrica como las características de la electricidad en un punto dado del sistema eléctrico, evaluado contra un conjunto de parámetros eléctricos de referencia.

Para el diagnóstico y la identificación de estos fenómenos en las señales eléctricas se debe realizar un proceso de medición de dichas señales. La medición consiste en un muestreo en distintos instantes de tiempo para obtener la mayor información posible de la forma de la onda y luego reconstruirla lo cual permite obtener los parámetros que se requieren.

Las señales de tensión y de corriente son señales continuas, es decir que toman todos los valores posibles en una condición finita o infinita. Al muestrear se convierten en señales discretas, que son señales que toman valores dentro de un conjunto finito de posibles valores. La señal se digitaliza para que pueda ser procesada (Celis y Cruz, 2013).

Para la digitalización de la señal (convertirla en señal discreta) se requiere determinar la velocidad o frecuencia con la que se va a realizar el muestreo. La frecuencia de muestreo está determinada por el ancho de banda del equipo de medida utilizado el cual debe ser mayor al ancho de banda de las señales del sistema eléctrico que se muestrean.

En el marco del proceso de mejoramiento de la planta física, a finales del año 2015 el HUS informa a la comunidad sobre la convocatoria pública para la CONSTRUCCIÓN DE LA

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ACOMETIDA DE 13,2 KV A 34,5 KV PARA LA E.S.E HOSPITAL UNIVERSITARIO DE SANTANDER teniendo en cuenta la gran cantidad de servicios de salud que presta para el departamento de Santander y el oriente colombiano. De igual forma, con la construcción de esta subestación busca ubicarse en un nivel 3 de servicio eléctrico reduciendo la tarifa, evitando cortes de energía y sobretensiones que afectan la vida útil de los equipos.

Desde el inicio del año 2016 hasta finales del 2019 el proyecto ha sido afectado por varios factores internos y externos que no han permitido llevar a cabo su objetivo principal, encontrándose actualmente totalmente detenido. Entre los factores problemáticos de la planeación del contrato resalta la no contemplación del acondicionamiento de los espacios del nuevo cableado, necesidad de coordinación con el personal del HUS para cortes de energía y cambios, aprobaciones de permisos por parte de la Electrificadora de Santander ESSA y planeación municipal de la alcaldía de Bucaramanga. En la actualidad, el contratista detuvo el proyecto dejando solo algunos circuitos conectados al sistema eléctrico de 34,5 kV.

Es importante resaltar que debido a la pandemia COVID-19 el HUS tuvo que actuar sobre la marcha y reordenar sus zonas de atención de manera urgente para atender a la mayor cantidad de la población. Esto causó la sobrecarga de muchos circuitos, así como sus traslados abruptos afectando significativamente el sistema eléctrico.

3. Análisis y resumen del estudio previo realizado al HUS

A finales del año 2019 se realizó un estudio de la calidad de la energía eléctrica en el Hospital Universitario de Santander. El estudio se enfocó en seis puntos que se consideraron

estratégicos del HUS: Hemocentro, Oncología, Carpintería, Subestación, Angiógrafo y Resonador; y consistió en la medición de valores de tensión, corriente, ángulos de fase, componentes armónicas de las señales de tensión y corriente y factor de potencia en estos sectores. Para la medición se utilizó un analizador de energía Fluke 435 S/N 22063110, el tiempo de medición para cada sector fue de una semana y las mediciones no se hicieron simultáneamente. Finalizado el estudio, se le entregó al HUS un informe en el cual se exponían los resultados que entregó el equipo de medición y las principales conclusiones de cada aspecto medido.

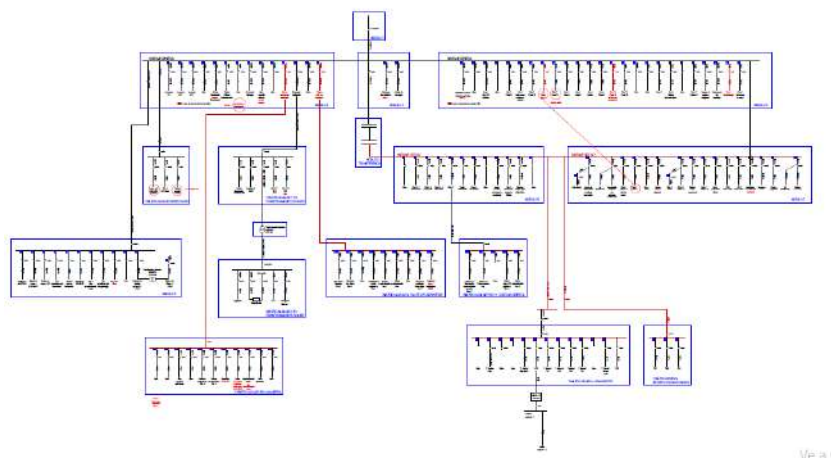
En los primeros acercamientos con el personal del hospital para la realización del trabajo de grado, se recibió la solicitud por parte del área de mantenimiento de realizar y presentar un resumen de los resultados obtenidos en el estudio de calidad de la energía eléctrica.

Atendiendo esta solicitud y entendiendo que a partir de este informe se puede iniciar con el proceso de diagnóstico de los problemas del sistema eléctrico del hospital, se presentan a continuación un resumen de las diferentes mediciones realizadas.

3.1 Diagrama unifilar y puntos de medición

Para comprender mejor el estudio realizado, a continuación, se presentan los diagramas unifilares de cada módulo o barraje en los que se realizaron las mediciones. La Figura 1 muestra la vista general del diagrama unifilar y todas las cargas que están conectadas al sistema eléctrico del HUS. La Figura 2 muestra una vista resumida de la conexión del HUS. Se aprecia el orden de los módulos y las conexiones entre ellos. Adicionalmente, las figura 3 a 7 muestran los diagramas unifilares de los diferentes tableros donde se instaló el equipo de medida: el tablero general del hemocentro, el tablero de la unidad de oncología, el tablero del taller de carpintería, el tablero de la subestación y el tablero auxiliar 2 donde se encuentran conectados el resonador y el angiógrafo.

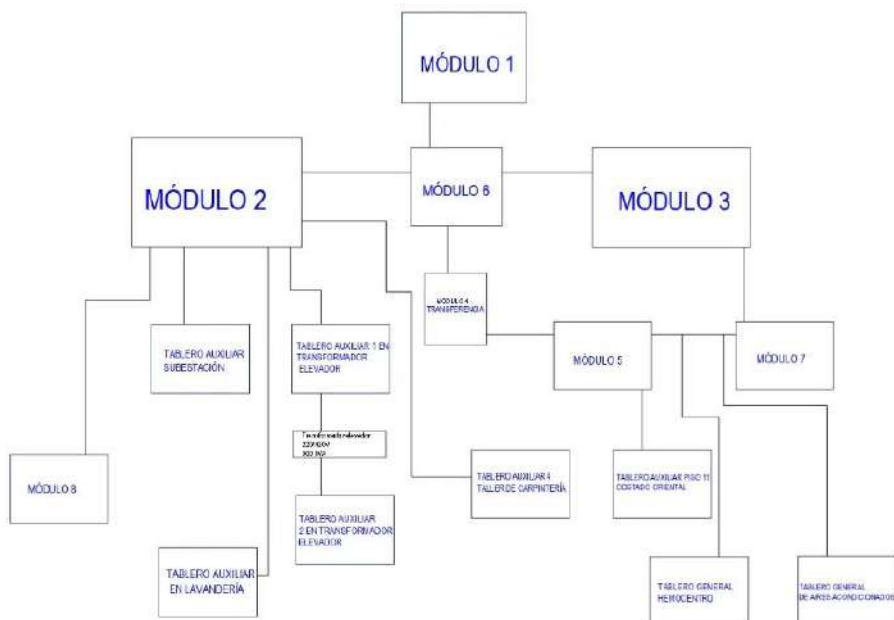
Figura 1. Vista general diagrama unifilar del HUS



Nota. La figura muestra la vista general del diagrama unifilar y todas las cargas que están conectadas al sistema eléctrico del HUS.

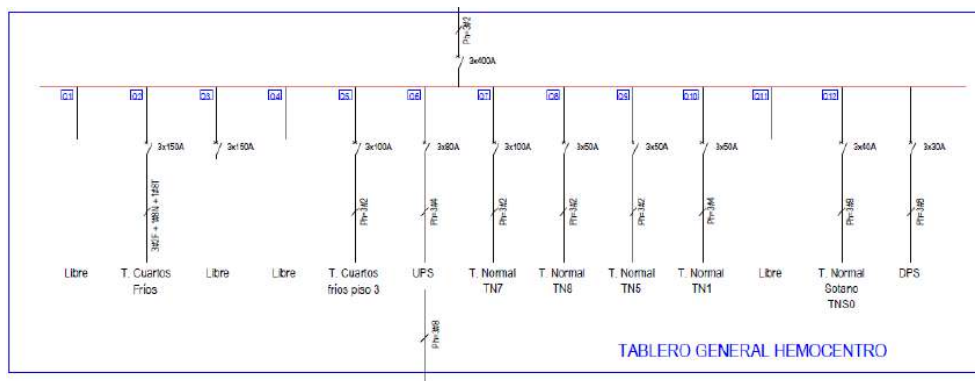
En los Apéndices A a la N se encuentra el detalle cada módulo y las cargas que se encuentran conectadas.

Figura 2. Vista resumida del diagrama unifilar del HUS.



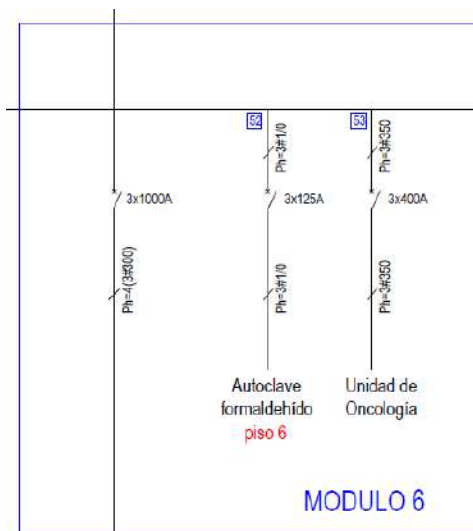
Nota. La figura muestra una vista resumida de la conexión del HUS. Se aprecia el orden de los módulos y las conexiones entre ellos.

Figura 3. *Tablero hemocentro*



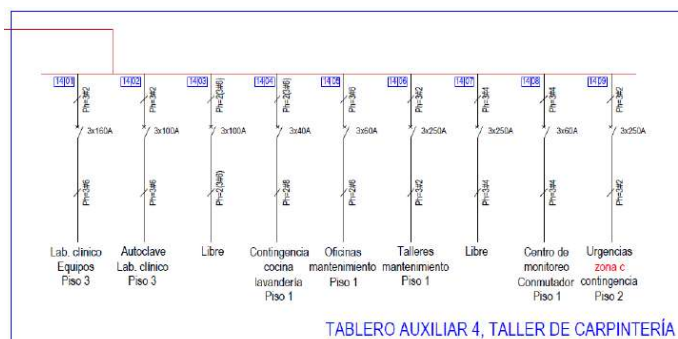
Nota. La figura muestra el tablero general del Hemocentro, punto en el cual se realizaron mediciones para el estudio de la calidad de energía del HUS.

Figura 4. *Tablero oncología*



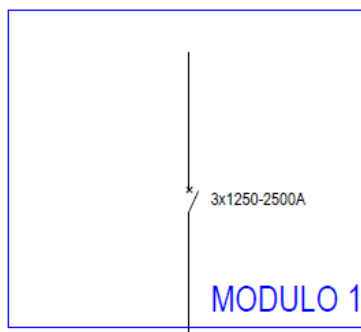
Nota. La figura muestra el módulo 6, donde se encuentra el tablero de la unidad de oncología, punto en el cual se realizaron mediciones para el estudio de la calidad de energía del HUS.

Figura 5. Tablero carpintería



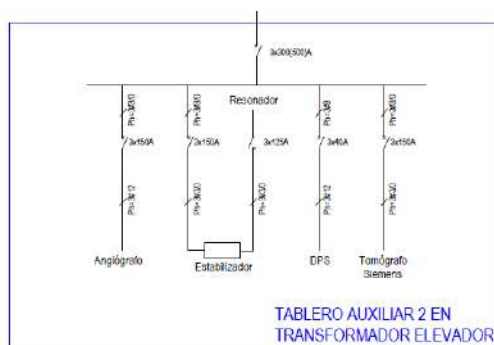
Nota. La figura muestra el tablero del taller de carpintería, punto en el cual se realizaron mediciones para el estudio de la calidad de energía del HUS.

Figura 6. Tablero subestación



Nota. La figura muestra el módulo 1 o tablero de la subestación, punto en el cual se realizaron mediciones para el estudio de la calidad de energía del HUS.

Figura 7. Tablero angiógrafo y resonador



Nota. La figura muestra el tablero auxiliar 2 donde se encuentran conectados el resonador y el angiógrafo, punto en el cual se realizaron mediciones para el estudio de la calidad de energía del HUS.

A continuación, se realiza un resumen del informe presentado para cada uno de los puntos de medición

3.1 Tablero hemocentro

Fecha de Inicio: 25/11/2019 a las 2:39:28 *p.m.*

Fecha de Finalización: 02/12/2019 a las 2:38:28 *p.m.*

El hemocentro de Santander ubicado en el HUS, cumple con la función de almacenar sangre y/o hemocomponentes, los cuales deben mantenerse en perfecto estado para posteriormente suministrarlos a los pacientes intra y extra hospitalarios de la región, por tanto, debe contar con una instalación eléctrica confiable, segura, y eficiente, que tenga la capacidad de tener un flujo constante de energía eléctrica con alta calidad.

La calidad de la energía eléctrica juega un rol determinante al momento de contar con sistemas eléctricos específicos y especiales como los que se encuentran instalados en el hemocentro.

3.1.1 Aspectos identificados

Con el fin de realizar un estudio adecuado se toma un margen de tolerancia para hundimientos y elevaciones del 10% inferior y superior de la tensión nominal.

Durante el análisis se hacen evidentes dos eventos importantes, un hundimiento, ocurrido el 26 de noviembre de 2019 a las 2:20 *p.m.* y una interrupción de corta duración, ocurrida el 26 de noviembre de 2019 a las 6:20 *p.m.* durante la medición. El hundimiento fue justificado en el

estudio con el arranque de un motor, sin embargo, no se cuenta con los datos necesarios para asumir que así fue, principalmente debido a que las mediciones no fueron simultáneas y no hay prueba de que a esa hora en la que el medidor del tablero del hemocentro identificó el hundimiento, se haya conectado un motor en otra área del HUS.

Al revisar los ángulos de las tensiones de fase se encuentran pequeñas variaciones que indican un sistema trifásico desequilibrado. Para corroborar esto se analizan los valores de desbalance de corriente y tensión en secuencia cero y negativa obteniendo los siguientes resultados:

$$\text{Desbalance de corriente de secuencia cero promedio } Az (\%)_{\text{prom}} = 9,67$$

$$\text{Desbalance de corriente de secuencia negativa promedio } An (\%)_{\text{prom}} = 13,95$$

$$\text{Desbalance de tensión de secuencia cero promedio } Vz (\%)_{\text{prom}} = 0,65$$

$$\text{Desbalance de tensión de secuencia negativa promedio } Vn (\%)_{\text{prom}} = 0,25$$

Los valores de desbalance de la tensión cumplen con los recomendados por la norma IEEE 1159, que recomienda un desbalance de tensión no mayor al 2%. Los desbalances en las señales de corriente indican que hay cargas monofásicas y/o bifásicas instaladas en el sistema, que hacen que se presente un desbalance en estas señales.

Al comparar los valores de tensión eficaz y fundamental se encontró una diferencia que señala la presencia de componentes armónicas en corriente y en tensión. Al analizar los valores de distorsión armónica total por fase se encontraron los siguientes valores:

$$\text{THDv}(\%)_{\text{VAN}} = 0,88 \quad \text{THDv}(\%)_{\text{VBN}} = 0,84 \quad \text{THDv}(\%)_{\text{VCN}} = 0,82$$

$$\text{THDi}(\%)_{\text{IA}} = 6,58 \quad \text{THDi}(\%)_{\text{IB}} = 10,24 \quad \text{THDi}(\%)_{\text{IC}} = 7,75$$

Los valores de distorsión están por debajo de lo que recomienda la norma IEEE: 8% para la tensión y 20% para la corriente.

3.1.2 Soluciones propuestas

El principal problema evidenciado al estudiar las señales de tensión y corriente y sus parámetros asociados fue el desbalance de las cargas conectadas a cada fase. Se propone solucionar este problema redistribuyendo las cargas monofásicas y bifásicas presentes en los circuitos teniendo en cuenta sus características y consumos.

3.2 Tablero oncología

Fecha de Inicio: 05/12/2019 a las 10:21:04 a.m.

Fecha de Finalización: 12/12/2019 a las 10:20:01 a.m.

La unidad de oncología del Hospital Universitario de Santander se encarga de ofrecer las mejores soluciones a los pacientes pediátricos y adultos con cáncer, desde su diagnóstico, tratamiento, seguimiento y apoyo.

Oncología ofrece servicios de internación, ambulatorios, urgencias, cuidados intensivos, quirúrgicos y de apoyo diagnóstico.

3.2.1 Aspectos identificados

Se evidencian dos hundimientos que afectaron a las fases B y C; uno a las 00:07 a.m. y otro a las 00:38 a.m. del 09 de diciembre de 2019; y otro hundimiento que afectó a todas las fases a la 1:19 p.m. del mismo día. Este evento fue justificado en el documento como producto de “factores externos al circuito”.

También se presenta una interrupción de corta duración el 8 de diciembre de 2019 a las 07:54 a.m.

Al revisar los ángulos de las tensiones de fase se encuentran pequeñas variaciones que indican un sistema trifásico desequilibrado. Para corroborar esto se analizan los valores de desbalance de corriente y tensión en secuencia cero y negativa obteniendo los siguientes resultados:

Desbalance de corriente de secuencia cero promedio $Az (\%)_{prom} = 21,06$

Desbalance de corriente de secuencia negativa promedio $An (\%)_{prom} = 38,85$

Desbalance de tensión de secuencia cero promedio $Vz (\%)_{prom} = 0,29$

Desbalance de tensión de secuencia negativa promedio $Vn (\%)_{prom} = 0,24$

Los valores de desbalance de la tensión cumplen con los recomendados por la norma IEEE 1159, que recomienda un desbalance de tensión no mayor al 2%. Los desbalances en las señales de corriente indican que hay cargas monofásicas y/o bifásicas instaladas en el sistema, que hacen que se presente un desbalance en estas señales.

El estudio explica que en las horas nocturnas el sistema presenta mayores valores de desbalance, sin embargo, esta información no es de gran utilidad para realizar una conclusión precisa del sistema porque se está teniendo en cuenta solo lo que ocurre en este tablero y no en el sistema eléctrico en simultáneo.

3.2.2 Soluciones propuestas

Se propone la redistribución de las cargas por fase conectadas al tablero de Oncología teniendo en cuenta su consumo y tiempo de uso, al igual que una revisión general a los circuitos adyacentes a la zona.

3.3 Tablero de carpintería

Fecha de Inicio: 07/11/2019 a las 4:59:50 p.m.

Fecha de Finalización: 14/11/2019 a las 1:59:50 p.m.

En esta zona del hospital se almacenan repuestos, herramientas y se realizan trabajos de mantenimiento de determinados equipos, objetos o piezas. Esta zona se mantiene en funcionamiento durante todo el día y se presenta constantemente la entrada y salida de cargas de distinta naturaleza lo cual lo hace un sector de interés para el estudio eléctrico. Al tablero de carpintería del HUS se encuentran conectados otras zonas importantes como las oficinas y talleres de mantenimiento, el centro de monitorización, autoclave del laboratorio clínico y la zona de urgencia contingencia.

3.3.1 Aspectos identificados

Los valores máximos y mínimos de las tensiones de línea y fase se encuentran dentro de los valores aceptados (entre 114,3V y 139,7V para tensión de fase y entre 198V y 242V para tensión de línea). No se presentaron variaciones de tensión de estado estable, lo cual es un buen indicador del desempeño del sistema. Durante la medición se evidenció un hundimiento de tensión y se llegó a la conclusión, por el comportamiento de la corriente y la potencia en ese momento, que fue debido al arranque de un motor. El estudio no es claro de cómo se llegó a esta conclusión, teniendo en cuenta que en el área de carpintería hay varias cargas tipo motor, puede estar acertada.

Un aspecto importante a tener en cuenta en el estudio es el valor de la tensión Neutro-Tierra. Esta es una caída de tensión (también llamada caída IR) causada por la corriente de carga que fluye a través de la impedancia del cable de neutro. Según Fluke Corporation (2012), se aconseja un valor de tensión neutro-tierra menor o igual a 2 volts, como límite máximo evitando corrientes de retorno parásitas al sistema. El desbalance en un sistema puede causar valores altos de tensión Neutro-Tierra, y al observar los valores de fase medidos existe un desbalance evidente,

especialmente en la corriente donde se encontró un valor de desbalance en secuencia cero de 8% y de 12,19% en secuencia negativa.

Los valores máximos y mínimos de las corrientes se encuentran dentro de los valores estimados y aceptados según las protecciones existentes. Según lo evidenciado en la medición en el momento de arranque del motor se presentan corrientes altas.

El estudio muestra la presencia de componentes armónicas de tensión y corriente, más evidentes en la corriente que en la tensión, pero estos valores no afectan el funcionamiento normal del sistema. El factor de potencia es mayor a 0,9.

3.3.2 Soluciones propuestas

El problema más evidente encontrado en este análisis es el desbalance en el sistema. Se hace necesaria una distribución equilibrada de las cargas monofásicas y bifásicas. Para esto, se debe realizar un estudio de las cargas a partir del cual se puedan tomar decisiones.

El estudio realizado concluye que es necesario realizar medidas y ajustes en el sistema de puesta a tierra lo cual permitiría disminuir el valor de la tensión Neutro-Tierra.

Es necesario crear un protocolo de arranque de motores de manera que arranquen alternadamente. Así se evitan valores elevados de corriente.

3.4 Tablero subestación 1250 kVA

Fecha de Inicio: 15/11/2019 a las 10:43:42 a.m.

Fecha de Finalización: 22/11/2019 a las 10:42:42 a.m.

La subestación de 1,25 MVA del Hospital Universitario de Santander tiene los circuitos más importantes. El buen funcionamiento de la subestación asegura un buen desempeño en las diversas labores que se realizan en el HUS. Cualquier problema de calidad de energía eléctrica que

se presente en la subestación, se reflejará en los equipos médicos que tienen requerimientos específicos en las ondas de corriente y tensión con las que funcionan.

3.4.1 Aspectos identificados

No se presentaron variaciones de tensión de estado estable, lo cual es un buen indicador del desempeño del sistema. Durante la medición se evidenció un hundimiento de tensión y se llegó a la conclusión, por el comportamiento de la corriente y la potencia en ese momento, que fue debido a una causa externa.

Teniendo en cuenta que esta subestación tiene conectado los barrajes principales del HUS como se observa en el diagrama unifilar, es importante analizar si los valores de tensión son similares a los valores nominales de los equipos más sensibles que se encuentren conectados. Con este análisis se asegura que los valores máximos de tensión no representen un problema para los equipos médicos instalados en el hospital.

El valor de la tensión Neutro-Tierra se encuentra dentro de los valores normales (entre 0V y 2V). Se evidencia la presencia de componentes armónicas con valores bajos que no representan un problema para el funcionamiento normal del sistema.

Los valores máximos y mínimos de las corrientes se encuentran dentro de los valores estimados y aceptados según las protecciones existentes. La presencia de componentes armónicas se observa más en la corriente que en la tensión, pero estos valores no superan el 8% recomendado para la tensión y el 20% recomendado por la norma IEEE.

El factor de potencia es mayor a 0,9.

3.4.2 Soluciones propuestas

El problema más evidente encontrado en este análisis es el desbalance en el sistema. Se hace necesaria una distribución equilibrada de las cargas monofásicas y bifásicas. Para esto, se debe realizar un estudio de las cargas a partir del cual se puedan tomar decisiones.

En el estudio se realizó también una revisión de la infraestructura de la subestación, de la cual se concluyó que se debe instalar una puerta contrafuegos en el cuarto del transformador. Esta es una exigencia del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.

Se deja claro en el estudio que el tablero requiere mantenimiento, pero en caso de que se haga el cambio a la nueva subestación, ni el mantenimiento ni los cambios a la infraestructura serán necesarios.

3.5 Angiógrafo y Resonador

Fecha de Inicio: 12/12/2019 a las 4:37:33 p.m.

Fecha de Finalización: 19/12/2019 a las 2:27:03 p.m.

Fecha de Inicio: 23/12/2019 a las 2:49:30 p.m.

Fecha de Finalización: 30/12/2019 a las 2:26:00 p.m.

Un resonador es un equipo que permite obtener una imagen bidimensional y tridimensional de un tejido. El resonador utiliza un campo electromagnético e impulsos de energía de ondas de radio para inducir al movimiento los núcleos de átomos de hidrógeno, luego recepta las energías sobresalientes de los momentos de relajación y recuperación de los átomos y construye una imagen a partir de estas señales (Fundativa, 2016).

Por su parte, según el Hospital Naval Almirante NEF (S.f), el angiógrafo es un equipo médico utilizado para observar los vasos sanguíneos (arterias y venas) del organismo. El equipo

realiza este proceso al emitir rayos X y utilizando sistemas digitales que permiten observar únicamente los vasos sanguíneos que deben ser inyectados con una sustancia llamada “medio de contraste” para hacer visible su anatomía vascular.

3.5.1 Aspectos identificados

Al analizar el comportamiento de la tensión en el circuito, no se evidenciaron variaciones de tensión de estado estable. Sin embargo, se presentó un hundimiento que luego sería atribuido a factores externos.

El valor de la tensión Neutro-Tierra se encuentra dentro de los valores normales (entre 0V y 2V). Se evidencia la presencia de componentes armónicas que se refleja en la diferencia entre los valores eficaces de la señal y los valores fundamentales de la misma, pero al revisar los valores de distorsión se encontró que no superan el 8% recomendado para tensión, pero en la corriente se tienen valores de 40,69% y 31,88% en las fases A y B. Lo cual supera el 20% propuesto por la IEEE. Sin embargo, al hacer el análisis de las tablas de corriente del estudio se encontró que la corriente promedio medida fue de 0, lo cual es probablemente un error en la medición, teniendo en cuenta que en las componentes armónicas 3 y 6 son mayores a 0 A.

Existe desbalance entre las fases, debido principalmente a la conexión de cargas monofásicas y bifásicas. Esto se pudo concluir al analizar los valores de desbalance en corriente en secuencia cero y secuencia negativa que tienen valores de 72,16% y 54,36% respectivamente.

3.5.2 Soluciones propuestas

El problema más evidente encontrado en este análisis es el desbalance en el sistema. Se hace necesaria una distribución equilibrada de las cargas monofásicas y bifásicas. Para esto, se debe realizar un estudio de las cargas a partir del cual se puedan tomar decisiones.

Teniendo en cuenta los valores de las componentes armónicas en el estudio, y la naturaleza inductiva de las máquinas en cuestión, se recomienda la instalación de un filtro de armónicos pasivo para eliminar o disminuir la afectación de la distorsión de la corriente. Esta propuesta está basada en los requerimientos técnicos para el funcionamiento de las máquinas, y se encuentra como una observación del informe entregado al HUS.

El estudio recomienda realizar un mantenimiento al transformador del cual se deriva la acometida del equipo, con el fin de tener un espacio de trabajo óptimo y poder identificar el nivel de tensión del equipo para corroborar su correcto funcionamiento. Esta propuesta se encuentra como una observación del informe entregado al HUS.

El estudio llegó a conclusiones interesantes con respecto al comportamiento de estas zonas específicas del HUS. Sin embargo, como se puede evidenciar en los diagramas unifilares, estas zonas no son las más importantes del hospital. Otro aspecto a resaltar con respecto a este estudio es que las mediciones no fueron hechas de manera simultánea por lo que no es acertado realizar conclusiones del sistema eléctrico en general a partir del estudio.

Al realizar consultas al personal del HUS, se concluyó que este estudio fue llevado a cabo sin el conocimiento e identificación de las cargas de mayor importancia y que requieren una atención especial ante su comportamiento eléctrico. Ante esta situación se plantea la primera estrategia de mejoramiento.

4. Identificación de las zonas y cargas de mayor importancia para el servicio de salud.

En la búsqueda de un mejoramiento del sistema eléctrico del HUS, se deben proponer estrategias que estén relacionadas con los equipos, teniendo en cuenta que, en muchas de las zonas del HUS, las labores de los equipos biomédicos se reflejan en el buen o mal servicio que se le preste a la comunidad. La primera estrategia propuesta en este trabajo de grado se desarrolla en este capítulo y está relacionada con la identificación de las zonas y equipos de mayor importancia para garantizar un servicio de salud adecuado.

Al tratarse de un centro hospitalario de nivel III que presta servicios tan esenciales como hospitalización, observación, consulta externa y servicio de urgencias; los equipos utilizados tienen un alto costo, realizan acciones muy importantes, pero también requieren un cuidado especial. Desde el punto de vista eléctrico, es necesario que tanto la tensión como la corriente del sistema eléctrico sea la apropiada para que no reste años de la vida útil de los equipos conectados, así como un mantenimiento adecuado que prolongue el tiempo en el que se puedan usar sin inconvenientes estos equipos biomédicos.

Al realizar consultas al personal encargado de la parte eléctrica del HUS, se evidencia que, debido a los constantes cambios de la disposición de determinadas zonas y pisos del hospital, no se tienen identificados las zonas y las cargas importantes que requieren de una mayor atención en cuanto a su funcionamiento y desempeño. La consecuencia principal de esta problemática es el desconocimiento de los circuitos críticos cuyo comportamiento eléctrico debería ser monitorizado para asegurar el buen funcionamiento de los equipos y, con ello la buena prestación del servicio de salud.

Con el fin de conocer qué cargas (equipos) requieren especial atención, se realizó una investigación en la base de datos del HUS ePlux, en la cual se extrajeron los parámetros eléctricos disponibles en la hoja de datos de cada uno de los equipos biomédicos de ciertas zonas que se consideraron “Zonas Especiales”.

La categorización de las zonas se realizó basándose en los siguientes documentos:

- Norma NTC 2050 Sección 517. INSTITUCIONES DE ASISTENCIA MÉDICA, Apartado C. Sistema eléctrico esencial.

- Norma FPPA 99-2021 Chapter 6 Electrical Systems, 6.4 Category 1 Spaces, 6.5 Category 2 Spaces, 6.7 Category 3 and 4 Spaces, 6.8 Essential Electrical Systems.

- Planificación y Administración de Hospitales por R. Llewelyn-Davies, H.M.C Macaulay, Capítulo 9 Los servicios médicos especiales.

A partir de esta revisión se establecieron las zonas que a continuación se describen.

4.1 Urgencias

Zona del hospital que cuenta con herramientas complejas y tecnologías avanzadas, así como un personal clasificado para suplir con la necesidad de atención inmediata a problemas que comprometen o pueden comprometer la vida. Su nombre se debe a que en este lugar se atienden casos que requieren actuación médica de carácter urgente, y el objetivo es recibir, estabilizar y atender al paciente, para proteger su vida y la función de sus órganos vitales.

4.2 Pediatría y maternidad

Según la Asociación Española de Pediatría (2010), es el área que responde a las necesidades de la población pediátrica, brinda asistencia médica integral, total y continuada en el niño y adolescente en estado de enfermedad o sano. También se encarga del cuidado y la atención

del recién nacido sano, brindándole una estrecha vigilancia en las primeras horas de vida. En esta área, la madre también recibe atención por parte del personal médico.

4.3 Enfermedades infecciosas

Zona en la cual se admiten pacientes que presentan infecciones específicas agudas, y se mantienen en unidades de aislamiento dentro del hospital. La desafortunada aparición de la pandemia por COVID-19, obligó a los hospitales a adecuar ciertas zonas para la atención de pacientes infectados con este virus. El HUS no es una excepción, instaló una zona de carpas donde se monitorean los pacientes de COVID-19 cuyo estado de salud no los obligue a mantenerlos en unidad de cuidados intensivos.

4.4 Unidad de cuidados intensivos

Sección del hospital que brinda atención médica a pacientes con problemas de salud que pueden ser mortales. Estos pacientes reciben tratamiento y monitorización permanente, incluso soporte para las funciones vitales.

4.5 Quirófanos

Zona del hospital que está acondicionada para realizar intervenciones quirúrgicas y actuaciones de anestesia-reanimación para luego realizar las intervenciones mencionadas.

Se realizó una consulta en las bases de datos del HUS, con el fin de obtener un listado de los equipos biomédicos que funcionan en cada una de las áreas anteriormente mencionadas. El objetivo principal era recolectar información sobre los valores nominales de los equipos, basado en su hoja de datos. Si bien se logró recolectar información importante, se concluyó que se desconocen los valores nominales de corriente de muchos equipos del HUS y tampoco se registran

los valores nominales de potencia. Existen equipos de los cuales no se tienen hojas de datos, por lo que sus valores de operación son prácticamente desconocidos.

La información recolectada se muestra en la tabla 1, las zonas serán nombradas tal como se pueden encontrar en la base de datos del HUS.

Tabla 1. *Valores nominales de los equipos biomédicos conectados a las zonas críticas del HUS*

ZONA	Equipo Biomédico	Vmax [V]	Vmin [V]	Imax [A]	Imin [A]
1. URGENCIAS					
Urgencia Adulto	Bomba de Infusión	110	35	No	No
	Ventilador Mecánico	120	110	3,5	No
	Succionador	120	No	No	No
	Monitor de Signos Vitales	120	110	2	2
	Lámpara de Procedimientos	110	No	No	No
	Electrocardiógrafo	115	100	No	No
	Equipo de Órganos de Pared	120	No	0,8	No
	Calentador de Fluidos	115	100	No	3
Urgencias Pediátricas	Desfibrilador	240	110	7,5	No
	Lámpara de Calor Radiante	110	No	No	No

Urgencias Piso 3	Bomba de Infusión	110	35	No	No
	Monitor de Signos Vitales	120	110	2	2
	Electrocardiógrafo	240	100	No	No
Urgencias Carpas	Electrocardiógrafo	240	100	No	No
Urgencias Gineco- Obstétricas	Ecógrafo	120	110	No	No
	Succionador	120	No	No	No
	Calentador de Fluidos	115	100	No	3
	Bomba de Infusión	110	35	No	No
	Monitor de Signos Vitales	120	110	2	2
	Monitor Fetal	240	100	No	No
	Lámpara de Calor Radiante	120	110	No	No
	Lámpara Cuello de Cisne	110	No	No	No
	Neopuff	110	No	No	No
	Incubadora	120	100	No	No
	Máquina de Anestesia	125	110	No	No
URGENCIAS PEDIÁTRICAS	Bomba de Infusión	110	35	No	No
	Succionador	115	No	No	No

 2. PEDIATRÍA

Y

MATERNIDAD

Pediatría	Ventilador Mecánico	240	110	No	No
	Monitor de Signos Vitales	120	110	2	2
	Electrocardiógrafo	120	100	No	No
	Negatosopio	110	No	No	No
	Calentador de Sangre	240	100	No	No
	Lámpara Pielítica	240	100	1	No
	Succionador	115	No	No	No
	Torre CPAP	115	110	No	No
	Detector de Venas	240	100	0,6	0,6
	Desfibrilador	240	110	7,5	No
	Pulsioxímetro	125	90	No	No
UNIDAD MATERNOFETAL	Succionador	115	No	No	No
	Ecógrafo	230	220	4,5	4,2
	Monitor Fetal	240	100	No	No

 3. ENFERMEDAD

ES INFECCIOSAS

(COVID)

HOSPITALIZACIÓN COVID	Monitor de Signos Vitales	120	110	No	No
	Bomba de Alimentación	230	100	No	No

	Bomba de Infusión	110	35	No	No
PEDIATRÍA					
	Bomba de Infusión	110	35	No	No
COVID					
<hr/>					
4. UNIDAD DE					
CUIDADOS					
INTENSIVOS					
<hr/>					
UCI Adulto Piso					
1	Monitor de Signos Vitales	120	110	2	No
	Electrocardiógrafo	120	100	No	No
	Succionador	115	No	2,9	No
UCI Adulto Piso					
3	Ventilador Mecánico	240	110	3,4	3,4
	Monitor de Signos Vitales	120	110	2	No
	Ecógrafo	240	120	5,1	1,7
	Ventilador Adulto	240	110	3,4	No
	Desfibrilador	240	120	0,2	0,08
UCI Adulto Piso					
9	Equipo de Alto Flujo	115	110	2,2	No
	Desfibrilador	240	120	0,2	0,08
	Succionador	120	No	No	No
	Calentador de Fluidos	115	100	3	No
	Monitor de Signos Vitales	120	110	No	No
	Lámpara Pielítica	220	100	1	No

	Equipo de Gases	120	110	No	No
	Central de Monitoreo	240	100	No	No
	Electrocardiógrafo	115	100	No	No
	Monitor Fetal	240	110	8	No
	Ecógrafo	240	100	No	No
	Ventilador Adulto	240	110	3,2	1,3
	Unidad de Calentamiento de Pacientes	240	100	8	5
	Bomba de Infusión	110	35	No	No
UCI NEONATAL	Torre CPAP	115	110	No	No
	Ventilador Neonatal	110	100	No	No
	Incubadora de Doble Pared	120	100	5,6	No
	Desfibrilador	240	120	0,2	0,08
	Lámpara de Procedimientos	110	No	No	No
	Ventilador Mecánico	240	110	3,4	No
	Lámpara Fototerapia	110	No	No	No
	Monitor de Signos Vitales	240	100	No	No
	Ventilador Neonatal	110	100	No	No
UCI PEDIÁTRICA	Cuna Eléctrica	120	110	No	No
	Ventilador Mecánico	240	110	3,4	No
	Torre CPAP	115	110	No	No

	Monitor de Signos Vitales	240	100	No	No
	Succionador	120	No	No	No
	Lámpara Fototerapia	110	No	0,37	No
	Lámpara de Calor Radiante	120	No	No	No
	Central de Monitoreo	240	100	No	No
	Ventilador Adulto	240	100	No	No
	Calentador de Pacientes	230	No	No	No
	Incubadora de Transporte	110	No	No	No
	Electrocardiógrafo	115	100	6	No
	Ventilador Neonatal	110	100	No	No
	Incubadora de Doble Pared	120	100	5,6	No
	Desfibrilador	240	120	0,2	0,08
	Ecógrafo	120	100	No	No
UCI Adulto	Fotóforo	120	100	No	No
	Bomba de Infusión	110	No	No	No
	Central de Monitoreo	240	120	2	2
UCIADULTO4	Cama hospitalaria	120	110	No	No
	Lámpara de Procedimientos	110	No	No	No
	Central de Monitoreo	240	120	2	2
	Ventilador Mecánico	240	110	3,4	3,4
	Desfibrilador	240	120	0,2	0,08
	Electrocardiógrafo	115	100	No	No
	Monitor de Signos Vitales	240	100	No	No

	Ventilador Adulto	240	110	3,4	No
	Equipo de Alto Flujo	115	110	2,2	No
	Ecógrafo	240	120	5,1	1,7
UCICOVID	Ventilador Mecánico	240	110	3,4	3,4
	Monitor de Signos Vitales	120	110	1,4	0,7
	Bomba de Infusión	110	No	No	No
	Cama hospitalaria	115	110	No	No
UCIPEDIÁTRICA	Torre CPAP	115	110	No	No
	Lámpara de Exámen	200	100	No	No
	Ventilador Neonatal	110	100	No	No
	Calentador de Pacientes	230	No	No	No
	Detector de Venas	240	100	0,6	No
<hr/>					
5. QUIRÓFANOS					
	Electrobisturí	120	110	8	4
	Ventilador Mecánico	240	110	3,4	3,4
	Desfibrilador	240	120	0,2	0,08
	Torniquete	240	100	No	No
	Succionador	115	110	No	No
	Procesadora	240	120	No	No
	Intensificador de Imágenes	240	100	20	15
	Máquina de Anestesia	125	110	No	No
	Calentador de Pacientes	240	100	8	5
	Microscópio Quirúrgico	125	110	No	No

Nota. Esta tabla muestra el listado de cargas o equipos biomédicos conectados a las zonas consideradas como críticas en el Hospital Universitario de Santander.

En la tabla 2 se muestra un resumen de la Estrategia 1. Adicionalmente, se realiza un análisis cualitativo de su alcance, debilidades, fortalezas, riesgo y agentes interesados para determinar su viabilidad.

Tabla 2. *Tabla Resumen estrategia 1*

<i>Problemática</i>	<i>Estrategia</i>	<i>Viabilidad</i>
Desconocimiento de las zonas y las cargas importantes que requieren de una mayor atención en cuanto a su funcionamiento y desempeño.	Identificación de las zonas y cargas de mayor importancia para el servicio de salud.	<p>Alcance: El HUS podrá acceder a un listado de zonas y cargas consideradas como importantes y que requieren monitorización permanente de su comportamiento eléctrico.</p> <p>Debilidades: Movimiento o cambio de ubicación de los equipos a distintas áreas o pisos del HUS.</p> <p>Fortalezas: Se mitiga el riesgo de errores como la desconexión de equipos de los cuales depende la vida de los pacientes.</p> <p>Riesgo: Que no se haga uso correcto de esta información o no se almacene adecuadamente.</p> <p>Interesados: HUS y los pacientes.</p> <p>Conclusión: Desde un punto de vista cualitativo, las fortalezas y ventajas que aporta al HUS esta estrategia, son más determinantes que cualquier riesgo. Lo cual la hace una estrategia viable.</p>

Nota. Esta tabla muestra un resumen de la estrategia 1, además se realiza determina la viabilidad a partir de un análisis cualitativo de su alcance, debilidades, fortalezas, riesgo y agentes interesados.

5. Propuesta de medición para monitorizar los parámetros eléctricos de las zonas y cargas críticas.

El estudio previamente realizado al sistema eléctrico del HUS, consistió en utilizar un medidor Fluke 435 para analizar la calidad de la energía de ciertas zonas del hospital. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron no permiten diagnosticar el sistema en general, y no se relaciona con varias de las zonas críticas que necesitan ser monitorizadas para asegurar el correcto funcionamiento de sus equipos médicos. Esto es un problema porque no se tiene todo el conocimiento de cómo está funcionando el sistema eléctrico en las zonas más importantes y si el comportamiento de este está afectando los equipos biomédicos.

Definidas las zonas críticas en la sección anterior de este documento, y conociendo los valores de tensión y corriente que exigen estos equipos, es necesario que se realice una monitorización de las señales de tensión y corriente que alimentan estas cargas para determinar si se está cumpliendo con los parámetros establecidos en sus valores nominales de operación. También se podrá concluir si la calidad de las ondas de tensión y corriente es adecuada o, por el contrario, su distorsión podría afectar el funcionamiento normal y la vida útil de los equipos biomédicos. Con este estudio se podrá identificar perturbaciones, que pueden representar un riesgo para el buen funcionamiento de los equipos conectados.

Para realizar esta medición y que los resultados que se obtengan sean útiles para un posterior análisis, se debe seguir lo expuesto en las normas:

- NTC 5001

- IEC 61000-4-30

A continuación, se presenta una propuesta de medición para monitorizar las señales de tensión y corriente en las zonas críticas del Hospital Universitario de Santander como la segunda estrategia propuesta en este trabajo de grado.:

NOTA: Al momento de la realización de este documento, el HUS se encuentra en un proceso de cambio de la subestación principal. El equipo de trabajo cuenta con los diagramas unifilares actuales y proyectados. Sin embargo, para hacer más preciso el análisis, se optó por utilizar el diagrama unifilar proyectado pero basado en la organización actual de los pisos, conociendo dónde se ubica cada zona crítica que se clasificó en la sección anterior y teniendo en cuenta que el cambio de subestación no tiene programado un cambio de la organización de los pisos del hospital.

5.1 ¿Por qué medir?

Para que el proceso de medición sea efectivo, se debe establecer objetivos de monitorización u objetivos de estudio. En este caso se quiere monitorizar las señales que reciben los equipos médicos considerados como vitales. Estos equipos presentan ciertas características que los hacen sensibles ante ciertas perturbaciones electromagnéticas. La finalidad de la medición será identificar dichas perturbaciones y determinar si se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma o si se presentan en valores que pueden representar un riesgo para la vida útil de los equipos médicos de las áreas claves del hospital.

La presencia de estas perturbaciones representa también un riesgo para la vida de los pacientes, teniendo en cuenta que en estas zonas se atienden casos críticos o población vulnerable. Además, hay un factor económico de fondo, debido a que las cargas afectadas tienden a sufrir daños y condiciones anómalas de operación que representan un costo para el HUS. El constante mantenimiento o cambio de los equipos es un gasto considerable, por lo que la medición podría

ser una salida más económica. Los resultados obtenidos se pueden almacenar en una base de datos en la que se lleve el control de estos equipos.

Monitorizar efectivamente estas perturbaciones electromagnéticas, permite al analista realizar predicciones acertadas sobre el funcionamiento de los equipos a corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, para una monitorización efectiva se requiere recolectar la cantidad suficiente de datos de las señales de tensión y corriente para sacar conclusiones sobre la calidad de la energía eléctrica.

Las perturbaciones electromagnéticas que se busca encontrar en la medición, se presentan en el dominio tanto del tiempo como de la frecuencia, y en la operación se pueden representar como parpadeos, hundimientos y elevaciones de tensión, interrupciones, desbalances, distorsiones armónicas en las señales de tensión y corriente, entre otras.

5.2 Recursos

En Colombia existen una serie de normas que se relacionan con la calidad de potencia eléctrica. Este ha sido un tema de interés que tanto el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) así como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (Creg) se han encargado de ir normalizando y regulando.

El proceso de medición que se plantea en este apartado, requiere el entendimiento de los conceptos relacionados con la calidad de la energía eléctrica, por esto a continuación se citan algunas normas y regulaciones que deben ser revisadas para esclarecer conceptos y definiciones previo a la medición:

- NTC 5000 de 2002: Esta norma aborda definiciones y términos fundamentales además de características típicas de los fenómenos electromagnéticos.

- NTC 1340 de 2004: Esta norma define los valores de frecuencias y tensiones aceptables.

- CREG 024 de 2005 y CREG 016 de 2007: Estas regulaciones establecen las definiciones para interpretar y aplicar las normas del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado nacional. En esta se puede encontrar definiciones como Parpadeo, Flicker, entre otras. Igualmente, la norma describe los Límites de PST, THDV y límites de tensión. También realiza una breve descripción de los equipos de medición a usar, basada en la Resolución CREG 082 de 2002.

- CREG 065 de 2012: Este proyecto de regulación propone las políticas de calidad de potencia eléctrica (CPE), ajustándolas con la norma NTC – 2001. Realiza un complemento a las definiciones de desviaciones de frecuencia y tensión, flicker, distorsiones armónicas de tensión y corriente.

Las siguientes normas son de gran utilidad para el proceso de medición:

- NTC 5001-2008: Esta norma expone la metodología de evaluación en un punto de conexión común, y aborda temas de calidad de energía similares a la norma IEEE 1159. Esta Norma Técnica Colombiana clasifica las diferentes perturbaciones explicando cada una de ellas.

- NTC-IEC-61000-4-30: Esta norma establece las técnicas de ensayo y de medida, así como métodos de medida de los parámetros utilizados para valorar la calidad de la potencia eléctrica.

Para el proceso de medición se necesitará seleccionar equipos de medida que cumplan con las pautas establecidas por las normas. En este caso se sugiere utilizar equipos de medida con características similares al equipo con el cual se realizó el primer estudio de la calidad de potencia eléctrica del HUS. Se trata del medidor Fluke 435 S/N 22063110 que según Fluke Corporation (2012), cuenta con las siguientes características:

Resolución: Convertidor de analógico a digital de 16 bits en 8 canales.

Velocidad máxima de muestreo: 200 kS/s en cada canal simultáneamente.

Muestreo RMS: 5000 muestras en 10/12 ciclos conforme a la norma IEC-61000-4-30.

Sincronización PLL: 40096 muestras en 10/12 ciclos conforme a la norma IEC61000-4-7.

Clase del equipo: A.

5.3 Dónde medir

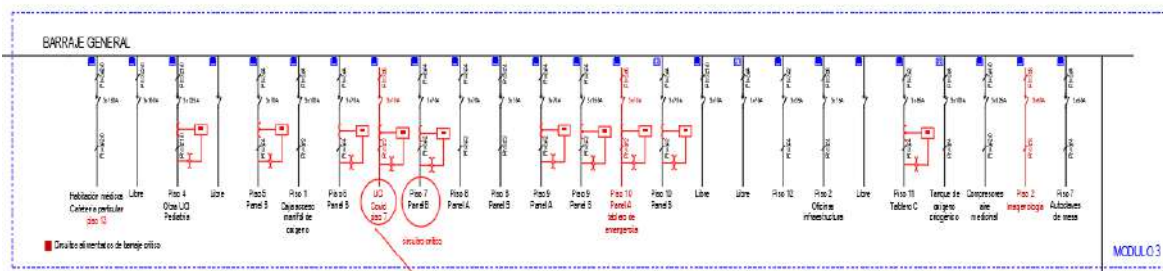
Para realizar una monitorización adecuada de las señales de tensión y corriente del sistema eléctrico del HUS, se deben establecer puntos de medición que logren obtener información relevante y que se enfoquen precisamente en los equipos y zonas establecidas en el Capítulo 4. En este punto es necesario conocer la ubicación de las zonas caracterizadas como críticas, y también conocer cómo están conectadas en el sistema eléctrico del Hospital Universitario de Santander.

Para obtener esta información se consultó al personal del HUS la ubicación de ciertas zonas y se corroboró la información que se obtuvo en la base de datos del HUS ePlux. Además, se solicitaron los diagramas unifilares del hospital. De esta manera se pueden ubicar puntos clave para obtener la información necesaria. Los resultados y conclusiones obtenidas se muestran a continuación:

- URGENCIAS: Piso 1, Piso 3, Piso 5, Piso 6.
- PEDIATRÍA Y MATERNIDAD: Piso 10, Piso 11.
- ENFERMEDADES INFECCIOSAS: Piso 1, Piso 4, Piso 7.
- UCI: Piso 1, Piso 3, Piso 7, Piso 9.
- QUIRÓFANOS: Piso 7.

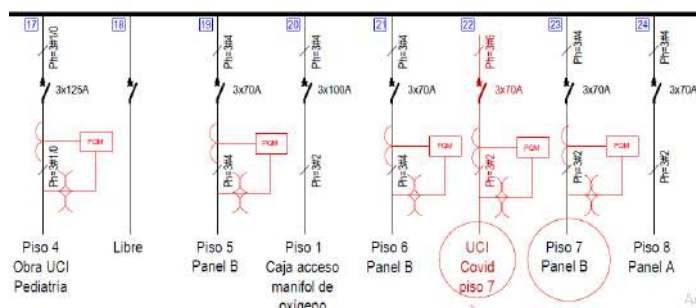
Estos son los pisos en los cuales se ubican los equipos biomédicos de interés, y en los cuales se debe hacer la medición simultanea para monitorizar los parámetros eléctricos de sus circuitos. A partir de esto, se establecieron los puntos de medición que se muestran en la Figura 8 del diagrama unifilar del HUS, los cuales se muestran con más detalle en las figuras 9 a 14.

Figura 8. Vista unifilar barraje general del HUS



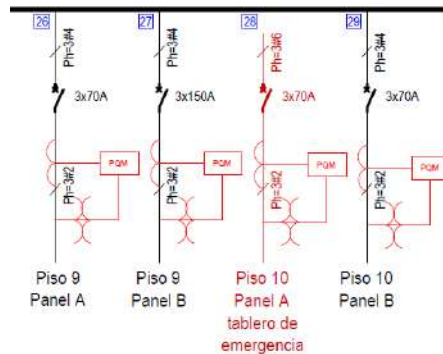
Nota. La figura muestra el barraje general del HUS indicando los puntos donde se debe realizar la medición.

Figura 9. Medición pisos 4, 5, 6 y 7



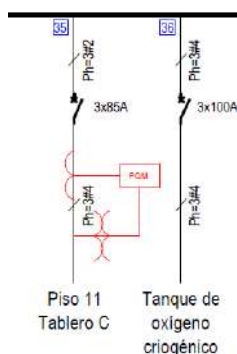
Nota. La figura muestra los puntos en los que se debe realizar la medición para monitorear los parámetros eléctricos de los pisos 4, 5, 6 y 7.

Figura 10. Medición pisos 9 y 10



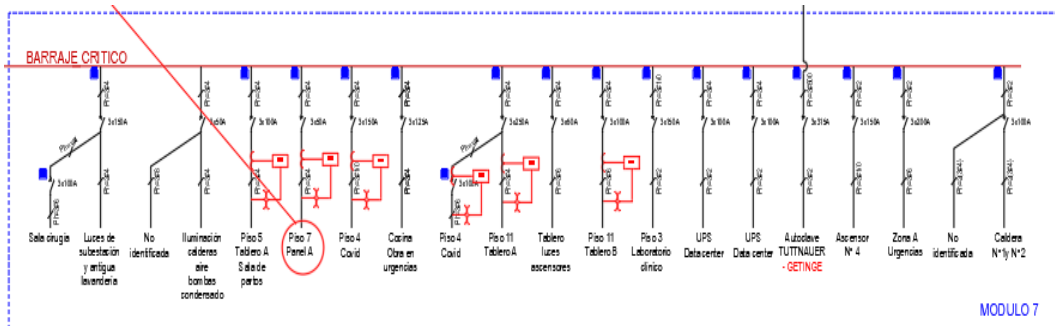
Nota. La figura muestra los puntos en los que se debe realizar la medición para monitorear los parámetros eléctricos de los pisos 9 y 10.

Figura 11. Medición piso 11



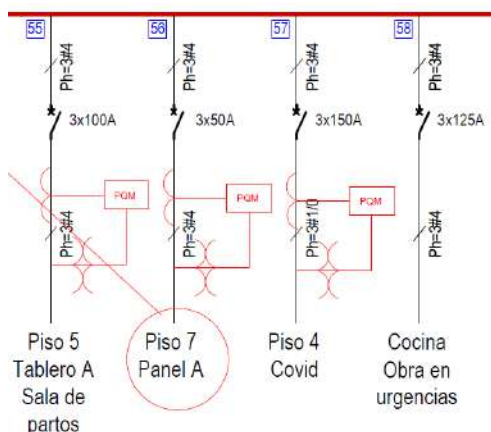
Nota. La figura muestra los puntos en los que se debe realizar la medición para monitorear los parámetros eléctricos del piso 11.

Figura 12. Vista unifilar barraje crítico



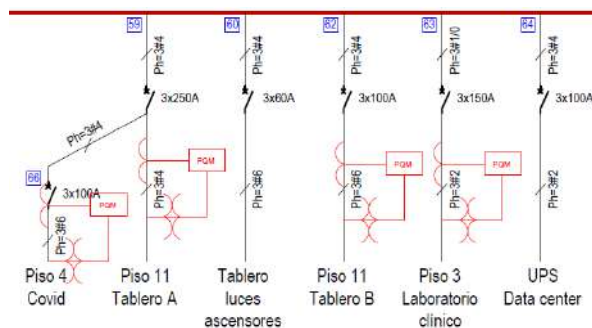
Nota. La figura muestra el barraje crítico del HUS indicando los puntos donde se debe realizar la medición.

Figura 13. Medición pisos 4, 5 y 7



Nota. La figura muestra los puntos en los que se debe realizar la medición para monitorear los parámetros eléctricos de los pisos 4,5 y 7.

Figura 14. Medición pisos 3, 4 y 11



Nota. La figura muestra los puntos en los que se debe realizar la medición para monitorear los parámetros eléctricos de los pisos 3, 4 y 11.

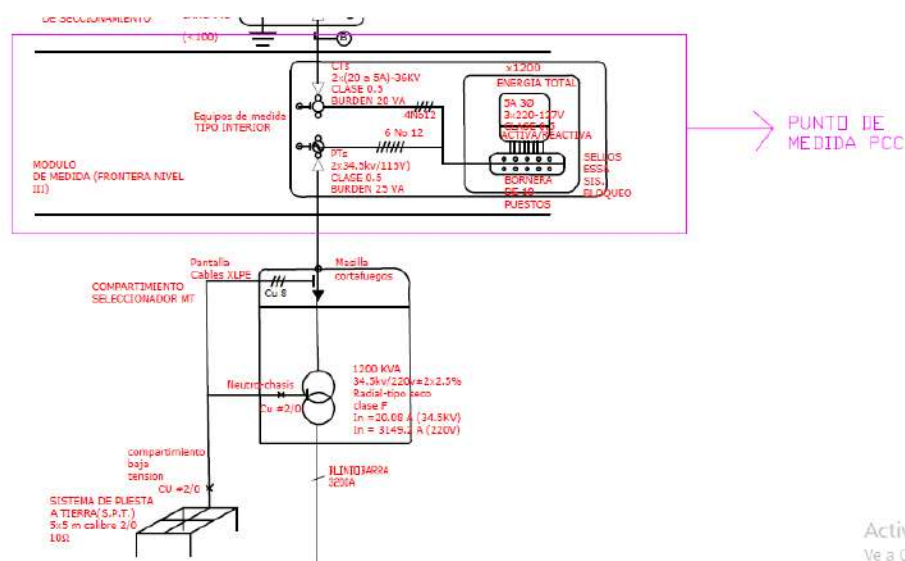
La norma NTC 1340 presenta la definición de Punto de Conexión o Punto de Acople Común (PCC), establece que es el punto ubicado entre el sistema de alimentación y el usuario final (punto

de medida de energía). La norma además sugiere que para mediciones en el PCC en lo posible se realicen en el lado de alta tensión del transformador.

La norma también menciona que, aunque se puede seleccionar cualquier punto para la monitorización del comportamiento de cargas puntuales, esta medida no puede usarse como definitiva para la evaluación de la distorsión armónica. Para este caso sí se hace necesario medir en el PCC por lo que se propone otro punto de medición para diagnosticar la energía eléctrica del HUS y en general, realizar un diagnóstico del sistema eléctrico. Por la existencia de cargas como el angiógrafo y el resonador que ya se comprobó en estudios anteriores que tienen alta distorsión armónica en las señales de corriente, se recomienda que la medición sea en el lado de alta tensión del transformador (Rojas, et al., 2014).

La Figura 15 muestra el PCC que menciona la norma NTC 1340 para tener un diagnóstico general del sistema eléctrico del HUS.

Figura 15. Punto de medida para diagnóstico general



Activa
Ve a Cor

Nota. La figura muestra el PCC que menciona la norma NTC 1340 para tener un panorama general del sistema eléctrico.

5.4 Cómo medir

Para asegurar la precisión de las mediciones se recomienda utilizar métodos de medida clase A, esta clase trabaja con los valores de referencia de reglamentos y normas internacionales, lo cual la hace conveniente para casos en los que se requiere mayor exactitud, y teniendo en cuenta que se está evaluando el funcionamiento de áreas claves del Hospital Universitario de Santander, la exactitud es una necesidad. El medidor Fluke 435, utilizado en el primer estudio realizado al hospital y recomendado en este documento para realizar las mediciones, es clase A (Fluke Corporation, 2012).

A continuación, se describe una guía de cómo y qué se debe medir, basándose en la norma NTC-IEC-61000-4-30.

5.4.1 Valores a medir

La norma aclara que no busca imponer los parámetros que se deben medir en el momento de hacer el estudio de calidad de energía eléctrica. Sin embargo, sugiere que se tomen inicialmente los valores de tensión fase-neutro y los valores de las corrientes que circulan por los conductores de la red de potencia, incluyendo el neutro.

A partir de estos valores es sencillo encontrar los valores instantáneos fase-fase con lo cual se tendrían las muestras de todas las señales de tensión y corriente que interesan para que el estudio sea concluyente.

Para realizar un análisis que permita obtener conclusiones acerca de las señales y parámetros eléctricos, y que permitan proyectar el comportamiento de los equipos biomédicos, se requiere:

- Magnitud y fase de las componentes armónicas de la tensión y la corriente desde la componente continua hasta la máxima componente armónica que permita tanto el medidor utilizado como la norma con la cual se esté trabajando, para el caso colombiano el armónico 50 es el tope, pero se sugiere un armónico máximo del orden 31 Sin embargo lo más probable es que las magnitudes de los armónicos de orden superior al 15 sean bajas lo cual podría no almacenarse con el fin de no saturar de información poco útil el estudio (Rojas, et al., 2014).

- Valores RMS de las señales de tensión y de corriente. Este valor se puede obtener a partir de las muestras de un ciclo, incluso con la ventana de observación completa que se obtiene según la agregación que esté usando al realizar la medición.

- Los valores de distorsión armónica para la tensión y corriente tanto individual como total. Estos valores se deben analizar para el caso del último punto de medición expuesto en la Sección 5.3. A partir de estos, se podrá encontrar problemas de distorsión armónica en el sistema eléctrico del Hospital Universitario de Santander.

- Los valores de potencia instantánea, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia. Este dato tiene además un trasfondo económico pues son los que representan un gasto mensual del hospital por su consumo de energía. Igual que los valores de distorsión, la potencia se debe analizar en el PCC que sugiere la norma y que se definió como último punto de medición en la sección 5.3.

5.4.2 Agregación

La norma IEC 61000-4-30 (2021), sugiere un intervalo de 12 ciclos para una red de 60Hz, con la condición de que se debe re-sincronizar en todos los impulsos de 10 min del reloj del tiempo real. Con esta medida se asegura una mayor resolución de la señal, logrando obtener información de frecuencias que no son múltiplo de la frecuencia nominal de la señal. Estas frecuencias son conocidas como interarmónicos y requieren ser estudiadas porque en ciertos casos presentan información importante que puede afectar el funcionamiento del sistema eléctrico.

Para el caso del último punto de medida que se determinó, y para que la medición cumpla con el mínimo recomendado de 1000 datos de base que recomienda la norma IEC, se sugiere una tasa de almacenamiento de valores de THD y de las magnitudes de las componentes armónicas de 0.1%. También se puede guiar por la Tabla 3.

Tabla 3. *Tiempos típicos de muestreo según el tipo de cliente*

Tipo de cliente	Periodo de medida óptimo	Tiempo de muestreo típico (s)	Tiempo de muestreo óptimo (s)
Residencial	24 Horas	90	30
Comercial	48 Horas	180	60
Industrial	72 Horas	270	90

Nota. La tabla muestra los tiempos de muestreo típicos y óptimos dependiendo del tipo de cliente, sea residencial, comercial o industrial.

5.4.3 Frecuencia de muestreo

Un aspecto fundamental del proceso de muestreo es establecer la frecuencia con la cual se tomarán las muestras de la señal analógica para poder digitalizarla. La frecuencia de muestreo se define como la cantidad de muestras de la señal por cada unidad de tiempo.

Para elegir la frecuencia de muestreo adecuada, basta con revisar lo expuesto en el teorema de Nyquist, el cual establece que, para digitalizar una señal analógica con la fidelidad máxima posible, se requiere muestrear la señal con una frecuencia de al menos dos veces su frecuencia máxima.

Para realizar un correcto análisis de las componentes armónicas en estado estacionario se recomienda obtener las componentes de frecuencia de la señal hasta el armónico 50, esto equivale a 3000 Hz para la frecuencia fundamental de 60Hz de Colombia. La mayoría de los equipos utilizados en Colombia para medir utilizan una frecuencia de muestreo de 7,68 kHz y toman 128 muestras por ciclo. El manual del Fluke 435 (medidor sugerido para la medición y utilizado en estudios anteriores al HUS) explica que para el cálculo de valores RMS se toman mediciones de 500/416 muestras por ciclo.

En cuanto al intervalo o periodo de medición, se recomienda tomar como referencia el primer estudio realizado a la calidad de la energía del HUS. En ese caso se tomaron medidas durante una semana. Con este periodo se asegura que se analiza el comportamiento de un ciclo de trabajo completo.

5.5 ¿Qué se busca?

El objetivo principal de la medición propuesta en esta sección es realizar un diagnóstico del sistema eléctrico del hospital. De esta manera se puede concluir si son adecuadas las condiciones de las señales eléctricas que reciben los equipos de las zonas importantes o críticas.

Con el fin de cerrar la propuesta de medición, a continuación, se realiza un resumen de los parámetros que se deben obtener para garantizar un buen análisis de la calidad de energía eléctrica según la norma IEC-61000-4-30.

5.5.1 Frecuencia industrial

Se busca analizar si la frecuencia de las señales de tensión y corriente se mantiene en el valor esperado 60 Hz o si, por el contrario, varía mucho en el tiempo, lo cual podría representar un problema en el funcionamiento de ciertos equipos. La norma define la medida de frecuencia industrial como la relación del número de ciclos enteros, contados durante el intervalo de tiempo de reloj de 10s, dividido por el tiempo acumulado de los ciclos enteros.

5.5.2 Magnitud del valor eficaz la tensión

Con esta medida se evalúa si el valor eficaz de la tensión de fase y de línea se encuentra entre los valores adecuados para el funcionamiento de los equipos. Para realizar una evaluación correcta se debe tener en cuenta las condiciones nominales de tensión de los equipos médicos. De igual manera, se sugiere aplicar el criterio utilizado en el primer estudio de calidad de potencia, en el cual se establecieron límites mínimos y máximos de 114,3V y 139,7V respectivamente para las tensiones de fase y 198 V y 242V para las tensiones de línea. Estos valores equivalen a un rango del 10% de variación.

5.5.3 Hundimientos de tensión

La norma NTC 5000 define hundimientos de tensión como una reducción súbita del valor eficaz de la tensión de menos de 10% del valor nominal, seguido por un retorno a un valor más alto de ese 0.9 pu de la tensión nominal en un tiempo que puede variar entre 0.33 ms y 1 minuto.

La norma IEC-61000-4-30 establece que, para detectar un hundimiento de tensión se debe identificar momentos en los que la tensión cae por debajo del umbral determinado por el usuario,

y luego sube a un valor que se encuentre entre los límites aceptados de magnitud de tensión. Para el caso del Hospital Universitario de Santander se podrá usar el umbral definido por la norma técnica.

5.5.4 Elevaciones de tensión

La norma NTC 5000 define elevación de tensión o swell, como un aumento súbito del valor eficaz de la tensión de 10% del valor nominal que puede variar entre 0,33 ms y 1 minuto.

La norma IEC-61000-4-30 establece que para detectar una elevación se debe identificar momentos en los que la tensión sobrepasa el umbral determinado por el usuario. Para el caso del Hospital Universitario de Santander se podrá usar el umbral definido por la norma técnica.

5.5.5 Interrupciones de la tensión

La norma NTC 5000 considera interrupción de tensión de larga duración cuando el valor eficaz de la tensión cae por debajo del 10% del valor nominal en todas las fases (en caso trifásico) por más de 1 minuto.

Su detección es igual a la de un hundimiento, sin embargo, en este caso es el tiempo de duración el que determina si definitivamente se trata de una interrupción. De una u otra forma ya se tiene un umbral para el cual se puede asegurar que ocurrió un problema con la señal de tensión.

5.5.6 Sobretensión

La norma NTC 5000 define sobretensión como el incremento del valor eficaz de tensión entre 10% y 20% por encima de su valor nominal con una duración de más de 1 minuto.

Su detección es igual a la de una elevación de tensión. Se recomienda utilizar el umbral que define la norma técnica e identificar si estos valores anormales de tensión se presentan por más de 1 minuto, para diferenciarla de las elevaciones de tensión (Swells).

5.5.7 Subtensión

La norma NTC 5000 define subtensión como la disminución del valor eficaz de tensión entre 10% y 20% por debajo de su valor nominal con una duración de más de 1 minuto.

Su detección es igual a la de un hundimiento. Se recomienda utilizar el umbral que define la norma técnica e identificar si estos valores anormales de tensión se presentan por más de 1 minuto.

5.5.8 Desbalance de tensión

La norma NTC 5000 y la IEC 61000-4-30 definen desbalance de tensión como la condición en sistemas polifásicos en los valores eficaces de la componente fundamental de las fases o sus ángulos de desfase no son iguales.

Para la detección del desbalance, la norma IEC-61000-4-30 propone medir la componente fundamental de la tensión de cada fase en un intervalo de tiempo de 12 ciclos para la frecuencia fundamental de los 60 Hz con la que se trabaja en Colombia.

5.5.9 Componentes armónicas e interarmónicas

Las componentes armónicas son señales senoidales de tensión y corriente con una frecuencia que es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de un sistema. Cuando estas señales se combinan con las demás componentes de distintas frecuencias generan distorsión en la onda de la señal original.

Las componentes interarmónicas, al igual que las componentes armónicas, son señales senoidales de tensión y corriente sin embargo estos presentan una frecuencia que no es múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema. Las componentes interarmónicas también generan distorsión, lo cual los convierte en un parámetro de gran interés en el proceso de medición.

Anteriormente se mencionó que para el proceso de medición se espera, por lo menos, encontrar información hasta la componente armónica de orden 50, con lo cual se identificarían las componentes armónicas importantes de la señal. En el caso de las componentes interarmónicas el hecho de procesar más de un ciclo de señal asegura tener la resolución suficiente para observar frecuencias no múltiplos de la frecuencia fundamental, con lo cual también se tendrá información importante sobre las componentes interarmónicas de gran protagonismo en caso de que existan.

5.6 Propuesta alternativa al plan de medición, aplicando gestión energética

Una alternativa al plan de medición propuesto es realizar una monitorización permanente en todos los puntos de medición establecidos en la sección 5.3, con las indicaciones de la sección 5.4 utilizando un sistema de gestión de energía (SGE), el cual trae consigo beneficios al HUS como mayor control del sistema eléctrico, una revisión constante de la calidad del servicio y una toma más eficiente de decisiones con respecto a las necesidades eléctricas del HUS, lo que lleva consigo un sistema de mejoramiento continuo de la gestión energética.

Implementar un sistema de medición avanzada permitirá contar con los valores de parámetros de interés en cualquier momento pues la medición será permanente en todos los puntos propuestos. Además, estos sistemas permiten ingresar a una interfaz que se puede programar al gusto del cliente. De esta manera, ante cualquier anomalía de tipo eléctrica podría realizar una advertencia o aviso para que el personal revise qué está sucediendo con algún equipo, grupo de equipos o conexiones.

Con un sistema de medición avanzada se puede conocer el estado del sistema eléctrico en cualquier instante, pero también se pueden hacer predicciones de comportamientos futuros. Será más sencillo saber, por ejemplo, si un grupo de equipos requieren mantenimiento.

Como complemento a esta propuesta, se sugiere aprovechar la información que brindaría el sistema para realizar gestión energética al sistema eléctrico del HUS. Con los puntos de medición establecidos se tendrá información del comportamiento de la potencia del sistema eléctrico del hospital. A partir de este comportamiento se podrá tomar decisiones importantes en busca del ahorro energético como reducir el consumo de energía activa y reactiva e identificar las cargas que más inciden en el gasto energético.

Esta sección se deja como una propuesta a desarrollar en futuras colaboraciones entre el HUS y la UIS, para que se profundice y se aplique de la manera más viable posible.

En la tabla 4 se resumirá lo abordado en este capítulo.

Tabla 4. *Tabla resumen estrategia 2*

<i>Problemática</i>	<i>Estrategia</i>	<i>Viabilidad</i>
<p>Desconocimiento del comportamiento de los parámetros eléctricos de las cargas críticas del HUS.</p>	<p>Plan de medición y monitorización de los parámetros eléctricos de las zonas y cargas críticas del HUS.</p>	<p>Alcance: El HUS tendrá a su disposición un plan de medición que permitirá reconocer el funcionamiento del sistema eléctrico, lo que permite una profundización en la toma de decisiones con respecto a la calidad del servicio eléctrico.</p> <p>Debilidades: Cambios de tipo logístico (ubicación de equipos y zonas) no previstos en el sistema eléctrico.</p> <p>Fortalezas: asegura la identificación de fallas, distorsiones y desbalance que puede tener el sistema eléctrico.</p> <p>Riesgos: Errores humanos en la medición de las señales.</p> <p>Interesados: personas relacionadas con la supervisión del sistema eléctrico HUS.</p> <p>Conclusión: Desde un punto de vista cualitativo, las fortalezas y ventajas que aporta al HUS esta estrategia, son más determinantes que cualquier riesgo. Lo cual la hace una estrategia viable.</p>

Nota. Esta tabla muestra un resumen de la estrategia 2, además se realiza determina la viabilidad a partir de un análisis cualitativo de su alcance, debilidades, fortalezas, riesgo y agentes interesados.

6. Plan de recolección de información eléctrica importante de los equipos existentes y recién adquiridos.

Una de las dificultades con las que encontró el equipo que realizó el presente trabajo de grado, es la falta de información relevante con respecto a los valores nominales de los equipos biomédicos. Si bien el HUS cuenta con una base de datos en las cuales se listan los equipos por área, de la mayoría de estos equipos solo se conoce su tensión nominal y en algunos casos la corriente nominal. Esta es una limitante en caso de que se requiera sacar alguna conclusión importante sobre su comportamiento, pues se desconocen los valores de referencia para comparar los resultados de una eventual medición.

Se entiende que lo más importante para el HUS es el aporte de cada equipo en la prestación del servicio de salud, por esta razón se han enfocado en los parámetros que son útiles en este campo y han dejado de lado ciertos valores eléctricos. Sin embargo, es necesario conocer en general el equipo, porque ante cualquier eventualidad que se presente se puede contar con más herramientas y conocimientos para encontrar una rápida solución. Además, si se requiere, por ejemplo, aplicar gestión energética al hospital con el fin de ahorrar energía y con ello recursos, se debe modelar el comportamiento eléctrico del HUS, para lo cual sería necesario tener información adecuada sobre las cargas o equipos que están conectados al sistema. Para mejorar este aspecto el grupo de trabajo propone como estrategia 3 el siguiente plan de recolección de información.

El enfoque de esta estrategia está principalmente en las nuevas adquisiciones del hospital. La propuesta es que siempre que se compre un nuevo equipo biomédico se extraiga la información que se considera relevante de sus características eléctricas, y así se pueda tener una base de datos con la información que en el momento no se tiene en el complejo hospitalario.

Se recomienda que se utilice la base de datos ePlux para mayor facilidad, ya que en el formato de hojas de vida de equipos que se tiene en esta plataforma, están establecidos los parámetros que se necesitan. Sin embargo, la mayoría de los equipos tienen estos espacios en blanco.

Este plan puede ser aplicado para los equipos antiguos también, pero se entiende que ya no se cuenta con las herramientas suficientes para extraer la información necesaria, esto principalmente debido a que no se tienen los manuales de la mayoría de estos equipos y las etiquetas o placas de algunos de ellos están deterioradas o borrosas. Se recomienda que siempre que se encuentre información relevante de equipos, será aplicado este plan.

El plan cuenta de 2 etapas principales la digitalización de manuales y la extracción de datos, a continuación, se expone cada una de ellas:

6.1 Etapa 1. Digitalización de manuales

Cuando se realice la compra de un nuevo equipo biomédico se recomienda utilizar alguna herramienta de escaneo para digitalizar el manual de operación del mismo. De esta manera se tendrá la información lista para guardar en una base de datos del HUS y no es necesario guardar el documento en físico.

Teniendo en cuenta que la compra de ciertos equipos biomédicos se realiza por lotes, con solo guardar un manual de la referencia de un lote de equipos, se tendrá la información del

funcionamiento de todos los equipos. Esto se traduce en un ahorro de espacio tanto físico como digital, y el hecho de caracterizarlo por referencia de equipo facilitará su búsqueda en caso de que se necesite.

Para el caso en que no se cuente con el manual físico o, el caso mencionado anteriormente de los equipos antiguos cuyo manual ya no se encuentre en las instalaciones del hospital, se propone realizar una búsqueda virtual del manual, según la marca y la referencia en el sitio web del distribuidor, o en general en internet. Este caso es más complicado que el anterior y requiere de tiempo, por lo tanto, se recomienda realizarlo para equipos que se encuentren en las zonas enumeradas en la Sección 5.3 del presente trabajo de grado, que se consideran cargas muy importantes para el servicio que presta el hospital.

6.2 Etapa 2. Extracción de datos

Esta segunda etapa consiste en consultar en el manual de los equipos o en la placa, los valores nominales de los mismos los parámetros que se consideran necesario conocer para tener una identificación plena del comportamiento eléctrico ideal para los equipos biomédicos.

Para este caso se recomienda llenar la siguiente tabla, donde se sugiere un formato para extraer la información relevante de los equipos biomédicos.

Tabla 5. *Formato para la extracción de los valores nominales de los equipos biomédicos*

Equipo	Referencia	Zona	Ubicación	Frecuencia [Hz]	Tensión de entrada [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
--------	------------	------	-----------	--------------------	------------------------------	------------------	-----------------

Nota. La tabla muestra una sugerencia de formato para extraer la información importante de los equipos biomédicos.

Con esta estrategia se asegura que se tengan las especificaciones eléctricas básicas del nuevo inventario y parte del existente. Es de gran utilidad para el HUS, ya que enriquecerá la base de datos con información que puede llegar a ser útil en muchos casos. El formato sirve como prueba de la extracción de dicha información, pero lo principal es que esta sea subida a la plataforma ePlux, donde se encuentran las hojas de vida de los equipos biomédicos.

En la tabla 6 se presenta un resumen de la estrategia 3 donde se determina la viabilidad a partir de un análisis cualitativo de su alcance, debilidades, fortalezas, riesgo y agentes interesados.

Tabla 6. *Tabla resumen estrategia 3*

<i>Problemática</i>	<i>Estrategia</i>	<i>Viabilidad</i>
<p>Poca información acerca de los valores nominales de funcionamiento de los equipos que imposibilita la toma de decisiones y afecta la correcta instalación y utilización del equipo.</p>	<p>Plan de recolección de información eléctrica importante de los equipos existentes y recién adquiridos.</p>	<p>Alcance: El HUS podrá aplicar este plan para la correcta identificación de valores de tensión, corriente, potencia y frecuencia a la que deberían funcionar de los equipos biomédicos instalados en el HUS.</p> <p>Debilidades: filtraciones en el software ePlux. Pérdida total de información de los equipos antiguos que impida obtener los valores requeridos</p> <p>Fortalezas: Conocer los equipos instalados y sus requerimientos técnicos.</p> <p>Riesgo: Incorrecta digitación de la información.</p> <p>Interesados: Área de equipos biomédicos del HUS, y personal relacionado con el sistema eléctrico.</p> <p>Conclusión: Desde un punto de vista cualitativo, las fortalezas y ventajas que aporta al HUS esta estrategia, son más determinantes que cualquier riesgo. Lo cual la hace una estrategia viable.</p>

Nota. Esta tabla muestra un resumen de la estrategia 3, además se realiza determina la viabilidad a partir de un análisis cualitativo de su alcance, debilidades, fortalezas, riesgo y agentes interesados.

7. Sugerencias para futuros cambios en la disposición de los pisos del HUS

El HUS realizó la compra de una nueva subestación para llevar a cabo el cambio de la antigua subestación que funcionaba a 13.2 kV por una de 34.5 kV. Con este cambio se aseguraba la reorganización de los circuitos importantes, la renovación de los conductores y las conexiones

de las cargas vitales y demás tableros del HUS. Este proceso aseguraría una mayor confiabilidad en el sistema eléctrico del HUS.

La empresa contratada para realizar el cambio de subestación (instalación, conexión y mudanza de los circuitos) no cumplió con el contrato lo cual ocasionó una suspensión de la obra. Esta situación dejó al HUS con una parte conectada a la vieja subestación y otra conectada a la nueva subestación, lo cual genera problemas de confiabilidad en el sistema eléctrico. Además, se presenta una gran incertidumbre en el momento de realizar estudios al sistema, ya que no se tiene la certeza de cómo quedarán finalmente conectados los circuitos o cuándo se hará el cambio, por lo que establecer un plan, trabajo o diseño a implementar se hace complicado.

La falta de planeación para la organización de los pisos del HUS al no prever un posible crecimiento de ciertas zonas y por tanto la necesidad de un espacio más grande, sumado a la repentina aparición de la pandemia obligaron al HUS a mover ciertas zonas de algunos pisos hacia otros. Esto obligó a trasladar ciertos equipos, como ventiladores y equipos de alto flujo, de un circuito a otro y no se ha evaluado qué repercusiones eléctricas han tenido estos cambios. En un estudio anterior se encontraron altos niveles de desbalance en las fases, lo cual puede ser una causa directa.

Además de las afectaciones mencionadas, los problemas de planeación pueden afectar futuros estudios que se quieran realizar al HUS, podría afectar incluso el plan de medición propuesto en este documento, porque existe la incertidumbre de que en cualquier momento cambie la manera en la que está conectado el sistema eléctrico del hospital y las zonas caracterizadas cambien de lugar, por tanto, los puntos de medición.

Para solucionar esta situación, el HUS en el momento se encuentra siguiendo los procesos legales que permitan obtener una pronta respuesta por parte de la empresa responsable de la obra

y así poder replantearse qué se hará al respecto. En el caso de posibles cambios futuros de los pisos se aconseja lo siguiente:

- Realizar reuniones de consulta y retroalimentación de posibles cambios con el ingeniero encargado de la parte eléctrica del HUS en las cuales el ingeniero pueda exponer las consecuencias de cada cambio desde un punto de vista técnico, las zonas que no se deben mover, cuáles y cuántos son los equipos que se ven afectados y de esta manera este puede ayudar a tomar una mejor decisión. Además, se asegura que el personal se encuentre al tanto de los cambios.

- Para estudios futuros, tener en cuenta que este trabajo de grado enumeró y clasificó las áreas que se consideran importantes. En caso de un cambio de ubicación, el plan se puede seguir aplicando a las áreas en cuestión sin importar donde se encuentren, pues basta simplemente con identificar a qué circuito y/o tablero están conectadas luego del cambio.

- A partir del listado de cargas y zonas importantes del HUS presentados en la tabla 1, se puede proceder a conectar temporalmente a las UPS los equipos de gran importancia, así como al sistema de respaldo para asegurar que no haya errores o fallos que afecten el funcionamiento normal de los equipos mientras se conecta definitivamente el hospital a la nueva subestación.

- Cuando ya se tenga definida la manera cómo quedará conectado definitivamente el HUS, realizar una distribución de cargas con el fin de reducir los valores de desbalance que tiene el sistema eléctrico. Esto se puede lograr una vez se tenga identificado los valores nominales de los equipos biomédicos conectados y la cantidad. A partir de esta información se debe distribuir de manera uniforme los equipos en las tres fases de manera que la sumatoria de las potencias sea similar en cada una de ellas.

- Una vez se realice el cambio de subestación se debe revisar el medidor de energía que se encuentra en la frontera comercial. En los planos que se tiene hasta el momento, se evidencia que la medición se hace con dos elementos, esta conclusión se obtiene al contar el número de CT's y PT's conectados: dos. Para el nuevo nivel de tensión de la subestación se debe trabajar con un sistema de medida de tres elementos, como lo recomienda la CREG 038 de 2014, con el fin de asegurar la calidad de la medición y por ende, de la energía eléctrica.

8. Conclusiones

Las conclusiones del trabajo de grado realizado, son las siguientes:

- El sistema eléctrico del HUS, actualmente tiene un problema de desbalance debido a la inadecuada distribución de las cargas conectadas a cada fase. Este problema se agrava cuando el proceso de mudarse a una subestación más grande se ve interrumpido por problemas contractuales.

- La base de datos del HUS no cuenta con la información requerida sobre los valores nominales de los equipos biomédicos. Desde el punto de vista de la monitorización y gestión de la energía eléctrica es un problema, porque esta información es relevante para la toma de decisiones.

- Proponer un plan de medición para monitorizar los parámetros eléctricos del HUS es complicado debido a que se desconoce la disposición final de las cargas una vez se complete el proceso de cambio de subestación. Sin embargo, se trabajó con el diagrama unifilar proyectado que entregó el Ingeniero Electricista del hospital y se logra proponer un plan de medición y monitorización con una propuesta de mejora al mismo.

- El estudio de calidad de energía realizado al HUS en el año 2019 no analiza muchas zonas que son importantes para el hospital, por esta razón se plantea otro proceso de medición y estudio de calidad de energía eléctrica.

- Las decisiones que se tomen en el HUS con respecto a la disposición de los pisos, zonas y equipos deben ser comunicadas, revisadas y aprobadas por el personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema eléctrico del hospital para mitigar problemas en el sistema al realizar cambios de conexiones.

- La mala planificación sumado a la emergencia por pandemia y el inconveniente contractual que hubo en el proceso de cambio de subestación, han ocasionado problemas de logística en la conexión de ciertas zonas. Pero estas situaciones se están resolviendo en primera instancia por la vía legal para que los encargados del proceso culminen la tarea inicial.

- Este trabajo de grado ha aportado en gran medida al crecimiento profesional y personal de cada uno de los integrantes del grupo. El hecho de estar trabajando con una entidad tan importante para la comunidad, animó al grupo a dar lo mejor de sí mismos para lograr mejorar la calidad del servicio. A medida que se estudiaban las problemáticas del sistema eléctrico se hacía evidente la necesidad de aplicar la ingeniería de manera íntegra, con profesionalismo y preocupación por dejar siempre un buen producto, entendiendo que en nuestras manos estaba la salud de miles de personas. La experiencia adquirida realizando este proyecto se verá reflejada en futuros proyectos en los cuales muy seguramente se tomarán las decisiones que beneficien a la comunidad, lo cual está por encima del beneficio propio.

Referencias

Agencia Sanitaria Costa del Sol (S.f). *Áreas clínicas*. Servicio Andaluz de Salud.

<https://hcs.es/web/page.cfm?id=599#.YyTlmHbMLIW>

Agencia Sanitaria Costa del Sol (S.f). Cartera de servicios urgencias Hospital Costa del Sol.

<https://www.consumoteca.com/bienestar-y-salud/quirofano/>

Asociación Española de Pediatría. (2010). *Pediatría y sus Áreas Específicas, una especialidad*

troncal. Asociación Española de Pediatría. [https://www.aeped.es/noticias/pediatria-y-sus-](https://www.aeped.es/noticias/pediatria-y-sus-areas-especificas-una-especialidad-troncal#:~:text=A%20la%20Pediatr%C3%ADa%20le%20incumbe,sano%20y%20enfermo%20en%20sus)

[areas-especificas-una-especialidad-](https://www.aeped.es/noticias/pediatria-y-sus-areas-especificas-una-especialidad-troncal#:~:text=A%20la%20Pediatr%C3%ADa%20le%20incumbe,sano%20y%20enfermo%20en%20sus)

[troncal#:~:text=A%20la%20Pediatr%C3%ADa%20le%20incumbe,sano%20y%20enfermo](https://www.aeped.es/noticias/pediatria-y-sus-areas-especificas-una-especialidad-troncal#:~:text=A%20la%20Pediatr%C3%ADa%20le%20incumbe,sano%20y%20enfermo%20en%20sus)

[%20en%20sus](https://www.aeped.es/noticias/pediatria-y-sus-areas-especificas-una-especialidad-troncal#:~:text=A%20la%20Pediatr%C3%ADa%20le%20incumbe,sano%20y%20enfermo%20en%20sus)

Cárdenas, R. (2010). El rol del ingeniero electrónico en el sector salud y en las mipymes.

EUMED.NET. <https://www.eumed.net/rev/cccss/07/rdce.htm>

Celis, M. Cruz, A. (2013). *Desarrollo y aplicación de algoritmos para procesamiento digital de*

señales en ca en un sistema portátil de adquisición de datos. [Tesis de grado, Instituto

Politécnico Nacional] [https://1library.co/document/oy86dm5q-desarrollo-aplicacion-](https://1library.co/document/oy86dm5q-desarrollo-aplicacion-algoritmos-procesamiento-digital-senales-portatil-adquisicion.html)

[algoritmos-procesamiento-digital-senales-portatil-adquisicion.html](https://1library.co/document/oy86dm5q-desarrollo-aplicacion-algoritmos-procesamiento-digital-senales-portatil-adquisicion.html)

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2005). Resolución CREG 024-2005. (CREG 024).

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2005-CREG024-2005>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2014). Resolución CREG 038-2014. (CREG 038).

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/0131f0642192a5a205257cd800728c5e/\\$FILE/Creg038-2014.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/0131f0642192a5a205257cd800728c5e/$FILE/Creg038-2014.pdf)

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2012). Resolución CREG 065-2012. (CREG 065).

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2007-CREG016-2007>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2007). Resolución CREG N° 016. (CREG 016).

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/0131f0642192a5a205257cd800728c5e/\\$FILE/Creg038-2014.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/0131f0642192a5a205257cd800728c5e/$FILE/Creg038-2014.pdf)

Fluke Corporation (2012). Fluke 434-II/435-II/437-II Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica. Manual de uso. <https://docs.rs-online.com/9151/0900766b815db110.pdf>

Fundativa, (2016). ¿Qué es un Resonador Magnético?

<http://www.fundavita.org.ar/prendetuestrella/2016/12/08/que-es-un-resonador-magnetico/>

Hospital Naval Almirante NEF (S.f). ANGIÓGRAFO, UNO DE LOS MÁS MODERNOS DE LA REGIÓN. <https://www.hospitalnaval.cl/angiografo-uno-de-los-mas-modernos-de-la-region/>

Hospital Universitario de la Princesa. (2020). Documento de acogida y normativa de urgencias. file:///D:/DOWNLOADS/documento_de_acogida_2020_maquetacion_0.pdf

Hospital Universitario de Santander (HUS, S.f). Reseña Histórica. <http://www.hus.gov.co/nuestra-institucion/resena-historica/>
<https://hcs.es/web/page.cfm?id=838&title=cuidados-intensivos#.YyTkfnbMLIU>

IEEE Power & Energy Society (2009). Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. (Estandar IEEE 1159). <https://standards.ieee.org/ieee/1159/6124/>

IEEE Power & Energy Society (2010). Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. (Estándar IEEE 1459).
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589271/mod_resource/content/1/IEEE%20Std%201459-2010.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2008). Limites y metodologia de evaluacion en punto de conexion comun. (Norma NTC 5001). <https://ecollection-icontec->

[org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=74D3E85A81AA4A1D400355B6CB60ED9F96DF3D9C2A164539&Req=](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=74D3E85A81AA4A1D400355B6CB60ED9F96DF3D9C2A164539&Req=)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2012). Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-30: técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de potencia. (IEC 61000-4-30). <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=3048AD34E56E5EE428202191C1A009EF96DF3D9C2A164539&Req=>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2013). *Calidad de la potencia eléctrica (CPE). Definiciones y términos fundamentales.* (Norma NTC 5000). <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=74D3E85A81AA4A1D808AEEEB7AB03BB796DF3D9C2A164539&Req=>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.* (Norma NTC 519). <https://ieeexplore-ieee-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6826459>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2013). Tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. (Norma NTC 1340).

<https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=3048AD34E56E5EE48E1B2440E9C948FE2B1DA961E0A07526&Req=>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2019). *Código Eléctrico Colombiano*. (Norma NTC 2050) <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?ID=1292>

Llewelyn-Davies, R., & Macaulay, H. M. (1969). Planificación y administración de hospitales. *Publicación Científica*; 191. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/1239/40223.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

National Fire Protection Association. (2021). Healthcare Facilities Code. (NFPA 99) https://link.nfpa.org/free-access/publications/99/2021?_ga=2.253116352.891499872.1663556588-246619495.1657808913

Pérez Fernández, E. (2006). *Nuevo método de detección y análisis en tiempo real de eventos en la tensión de suministro de energía eléctrica empleando un modelo combinado wavelets-filtro de Kalman extendido*. Universidad de Cantabria. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10634/2de5.EPFcap2.pdf>

Rojas Cubides, H. E., Rivas Trujillo, E., & Jaramillo Matta, A. A. (2014). Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos. *Ingeniería*, 19(2), 129-146.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2014000200008

Sarikprueck, P., Attaphong, C., Lumyong, P., & Ngamwatthanasilpa, B. (2017, June). Analyzing technique for electrical energy monitoring system in Thailand hospital. In *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)* (pp. 1-4). IEEE.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7977465/>

Scarpino, P. A., & Grasso, F. (2017, September). Analisis of complex hospital electrical systems. In *2017 AEIT International Annual Conference* (pp. 1-4). IEEE.

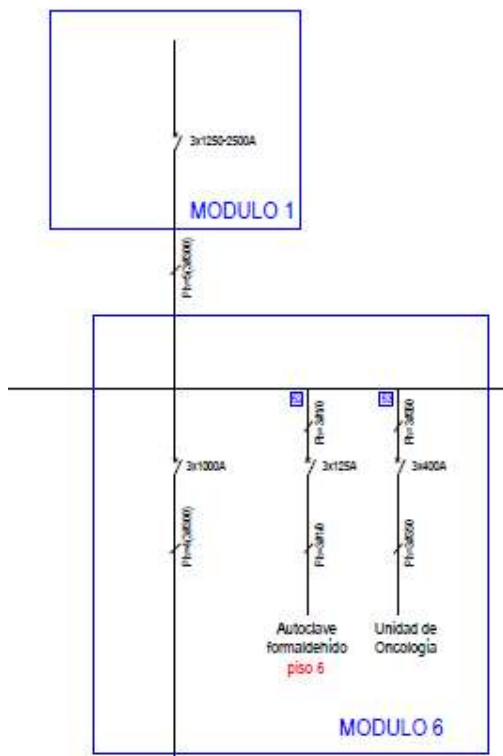
<https://ieeexplore-ieee-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8240571>

Vera, J. J., Santamaría, F., & Jaramillo, A. (2018). Análisis de calidad de potencia en un sistema industrial a partir de mediciones multipunto. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(32), 179-192.

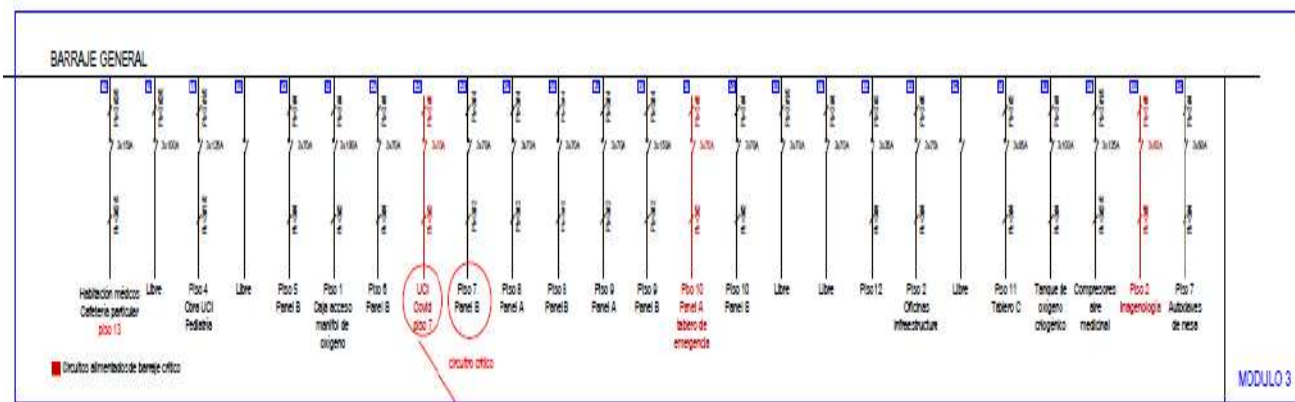
<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v17n32/1692-3324-rium-17-32-00179.pdf>

Apéndices

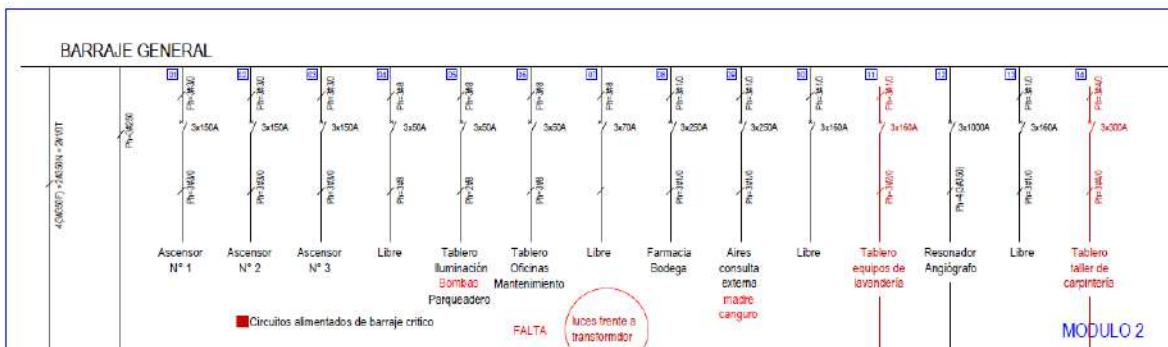
Apéndice A. Módulos 1 y 6



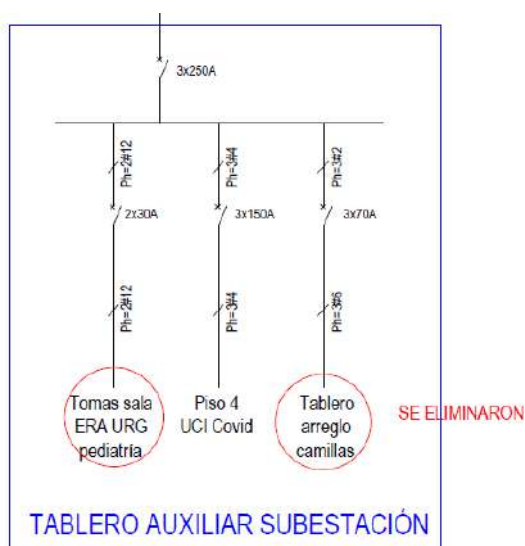
Apéndice B. Barraje general módulo 3



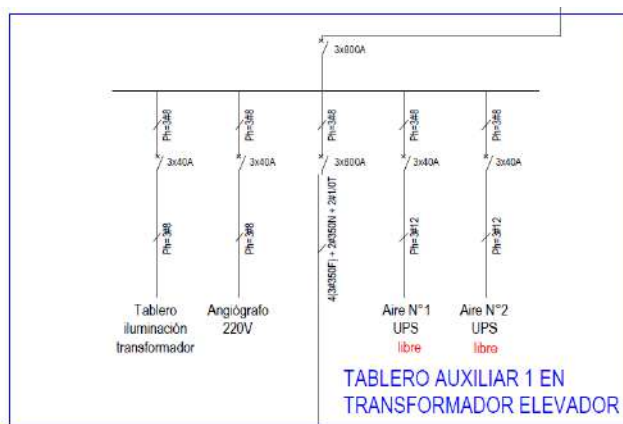
Apéndice C. Barraje general módulo 2



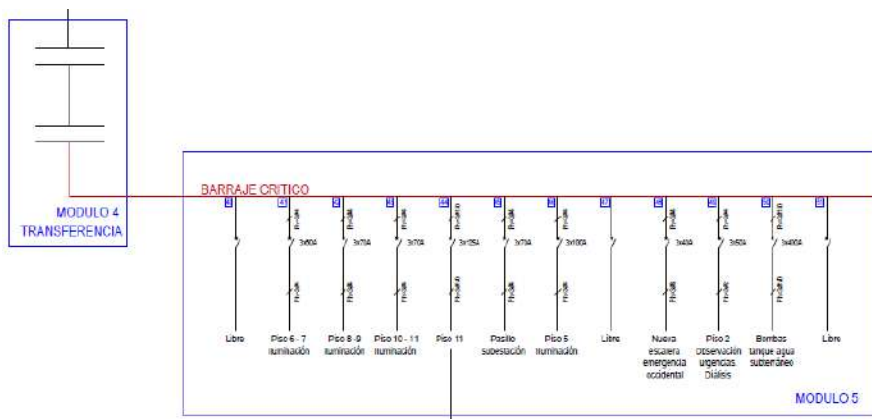
Apéndice D. Tablero auxiliar subestación



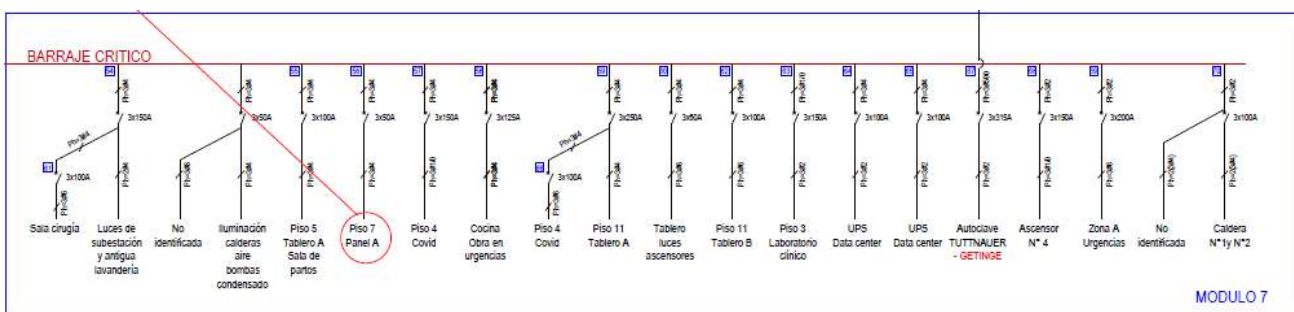
Apéndice E. Tablero auxiliar 1 en transformador elevador



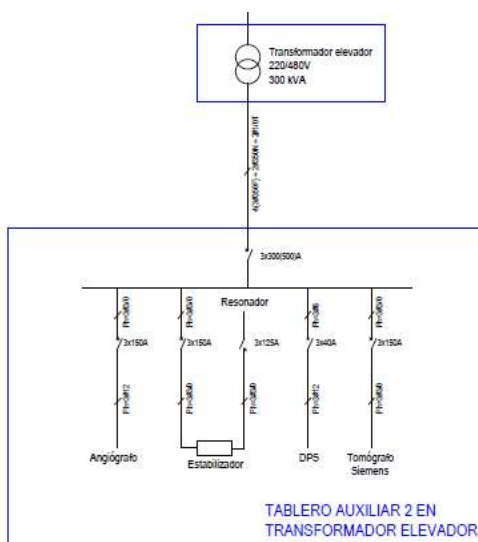
Apéndice F. Módulo 4 o de transferencias y módulo 5



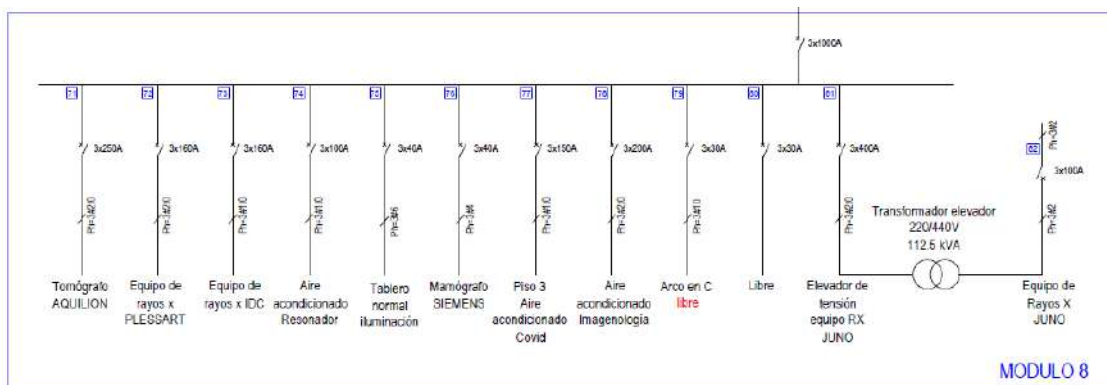
Apéndice G. Módulo 7



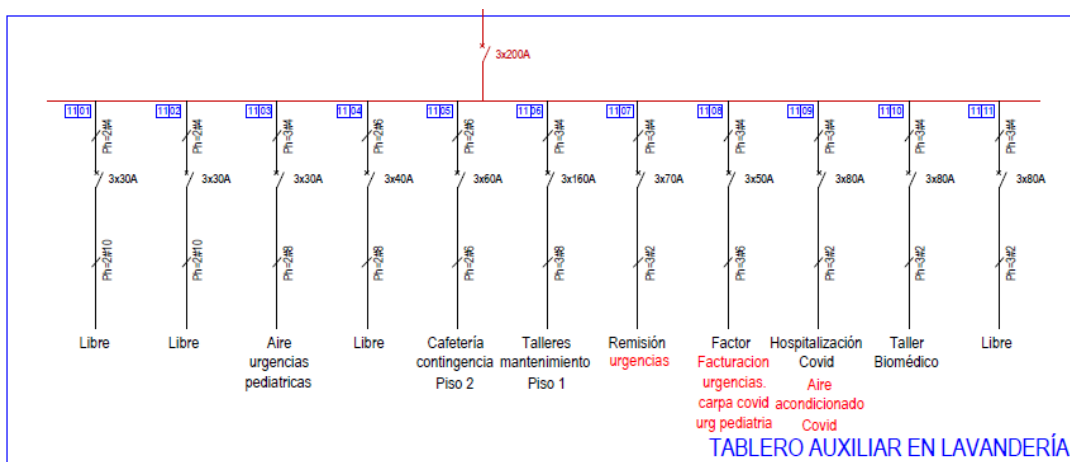
Apéndice H. Tablero auxiliar 2 en transformador elevador



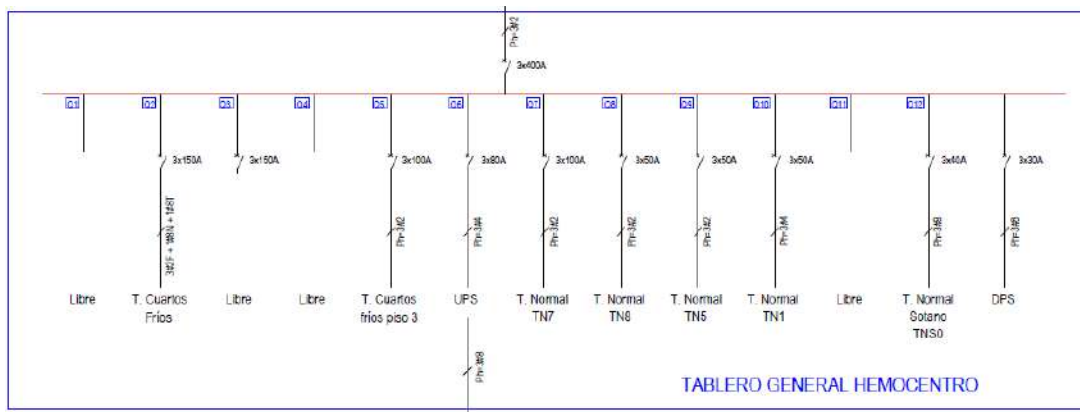
Apéndice I. Módulo 8



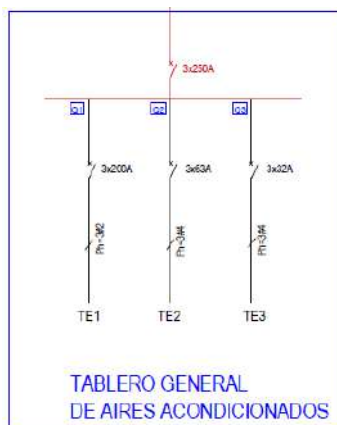
Apéndice J. Tablero auxiliar en lavandería



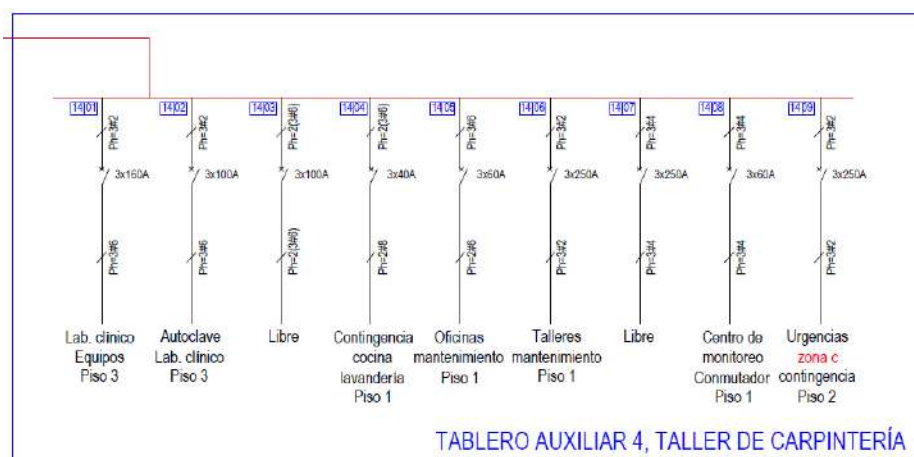
Apéndice K. Tablero general hemocentro



Apéndice L. Tablero general de aires acondicionados



Apéndice M. Tablero auxiliar 4, taller de carpintería



Apéndice N. Tablero auxiliar piso 11, costado oriental

