

## REINGENIERÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EQUIPOS BIOMÉDICOS DEL HOSPITAL MATERNO INFANTIL DEL NORTE

### BIOMEDICAL EQUIPMENT ELECTRICAL SYSTEM REENGINEERING AT NORTHERN MATERNAL CHILD HOSPITAL

Valeria Alejandra Aguilar Verdún 1  
Victor Hugo Córdova 2  
Rodrigo Salinas Bloch 3  
Isabel Morales Ledezma 4

#### RESUMEN

El presente proyecto propuso la reingeniería del sistema eléctrico para equipos biomédicos del Hospital Materno Infantil del Norte de la ciudad de Cochabamba. A través de una investigación descriptiva se analizó la potencia eléctrica consumida por los equipos biomédicos, los planos y las planillas de carga actuales de la infraestructura.

Así también, se estudió el diseño de los sistemas de emergencia, aterramiento y aislamiento. La propuesta del rediseño del sistema eléctrico se basó en Normas Nacionales e Internacionales (NB777, NEC, NFPA, AEA) destinadas a recintos hospitalarios. Los sistemas de protección propuestos en las áreas de mayor relevancia se formaron por tableros independientes que logran un mayor control y cuidado. Por otro lado, en las áreas de cuidado crítico se identificó la necesidad de implementar transformadores de aislamiento.

Finalmente, para la continuidad del servicio eléctrico, se calculó un generador eléctrico y la incorporación de un sistema de alimentación ininterrumpida en línea con el generador.

**Palabras Clave:** Sistema eléctrico – Reingeniería. Instalaciones eléctricas. Rediseño sistema eléctrico.

#### ABSTRACT

The present project proposed the biomedical equipment electrical system reengineering at the Northern

Maternal Child Hospital in the city of Cochabamba. Through a descriptive investigation the biomedical equipment electrical power consumed, the planes and the load charts of the infrastructure were analyzed.

Also, the design of the emergency, grounding and isolation systems was studied. The proposal for the redesign of the electrical system was based on National and International Standards (NB777, NEC, NFPA, AEA) for hospital premises. The protection systems proposed in the most relevant areas were formed by independent panels that achieve greater control and care. On the other hand, in the areas of critical care the need to implement isolation transformers was identified.

Finally, for the continuity of the electric service, an electric generator was calculated and the incorporation of an uninterruptible power system in line with the generator.

**Keywords:** Electrical system – Reengineering. Electrical installations. Electrical system redesign.

#### INTRODUCCIÓN

Bolivia es un país comprometido con la salud de sus ciudadanos, actualmente se avanza considerablemente en la construcción de centros de atención al paciente y hospitales (1). No obstante, de alguna forma estos aún carecen de equipamiento, de construcciones arquitectónicas acordes a las norma-

Páginas 32 a 40

Fecha de Recepción: 30/11/16

Fecha de Aprobación: 07/12/16

1) Estudiante de ingeniería biomédica. Univalle Cochabamba. vale.aguilar.v@gmail.com

2) Ingeniero eléctrico. Córdova Construcciones y Consultoría. vhcordovat@gmail.com

3) Ingeniero biomédico. Docente Univalle Cochabamba. rsalinasbloch@gmail.com

4) Ingeniera biomédica. Directora Académica Departamento de Ingeniería Biomédica. Univalle Cochabamba. imoralesl@univalle.edu

tivas y que respondan a las necesidades de la población. Siendo así que la seguridad y eficacia en un hospital dependen de factores como: la infraestructura arquitectónica, equipamiento médico, sistemas eléctricos, instrumentos y preparación del personal.

El Hospital Materno Infantil del Norte fue construido por la Gobernación de Cochabamba el año 2012, se encuentra en la Comuna Tunari. En la actualidad, las instalaciones del Hospital se encuentran cerradas al público, debido sobre todo a la ausencia de ambientes funcionales para su operación (2). Además, el Hospital carece de áreas de Laboratorio, sala de Esterilización, así como de un espacio de Cuidado Intensivo; recursos básicos para la atención de cuadros

de complicación durante la gestación y niños menores.

El año 2014, se publicó una convocatoria para la ampliación de ambientes con el fin de incluir los servicios faltantes del Hospital Materno Infantil del Norte (Figura Nº 1), dicha convocatoria fue licitada por la Empresa Constructora ECOWAZ Ltda., y actualmente se encuentra ejecutando la obra. En ese sentido, el presente estudio busca realizar el rediseño de las instalaciones eléctricas del Hospital que respondan a disminuir los riesgos eléctricos y garanticen el correcto funcionamiento del equipamiento médico destinado a la atención de madres gestantes, en parto y post parto; y niños menores de dos años.

Figura Nº 1. Hospital Materno Infantil, 2ª fase



Fuente: Elaboración propia. 2015.

La clasificación de las áreas por servicios, así como sus unidades son: Diagnóstico (Rayos X, Consultorio Ecografía, Consultorio de Odontología, Laboratorios Clínico y Microbiología); Tratamiento (Emergencias, Quirófano, Sala de Partos Naturales); Cuidado (Unidad de Terapia Intermedia Adultos, Sala Cuna); Apoyo (CEYE) (3). Los equipos médicos de estas áreas requieren de instalaciones eléctricas (iluminación, protección, continuidad, circuitos de emergencia) que permitan el correcto funcionamiento del mismo; fac-

tor que ha sido encontrado deficiente dentro el Hospital (4).

#### MATERIALES Y METÓDOS

El estudio inicia con la identificación de factores de riesgo de quemadura eléctrica en el paciente; un conteo detallado de cargas eléctricas para evaluar el estado en el que se encuentra el sistema eléctrico actual, así como la aplicación normas Nacionales (NB777) e Internacionales (NEC, NFPA, AEA, etc.); el cálculo para

circuitos especiales: sistema eléctrico esencial, circuitos de emergencia, circuito de aterramiento, sistemas de aislamiento para el área de Quirófano y Cuidado Intensivo. Entonces, mediante este estudio se obtiene: seguridad de los pacientes y personal médico, continuidad del servicio, eficacia del personal médico y a futuro un análisis costo beneficio (5).

**a. Riesgo eléctrico y el efecto fisiológico de la corriente eléctrica en el cuerpo humano**

El cuerpo humano es directamente afectado por la corriente eléctrica, cuando es parte del circuito eléctrico por medio de dos o más puntos de contacto. De-

bido a que la mayor parte de los tejidos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de agua, la resistencia eléctrica es baja. Por otra parte, la impedancia de la piel (epidermis) es bastante elevada (200-500 KΩ), haciendo del cuerpo humano un conductor volumétrico no homogéneo, en la que la distribución del flujo de la corriente eléctrica viene determinada por la conductividad local del tejido (Tabla Nº 1) (5).

**Tabla Nº 1. Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano**

EFEECTO	UMBRAL
Umbral o nivel de percepción.	10µA – 0,5 mA
Corriente de pérdida del control motor.	6 mA – 16 mA.
Parálisis respiratoria, dolor y fatiga.	18 mA – 22 mA.
Fibrilación ventricular.	75 mA. – 400 mA.
Contracción del miocardio sostenida.	1 A – 6 A
Daños físicos y quemaduras.	10 A en Adelante.
Muerte.	

Fuente: (6).

**b. Corriente de fuga**

Pequeña corriente (µA) que fluye entre cualquier par de conductores aislados y adyacentes que están a potenciales diferentes (7).

**c. Puntos de entrada de la corriente eléctrica**

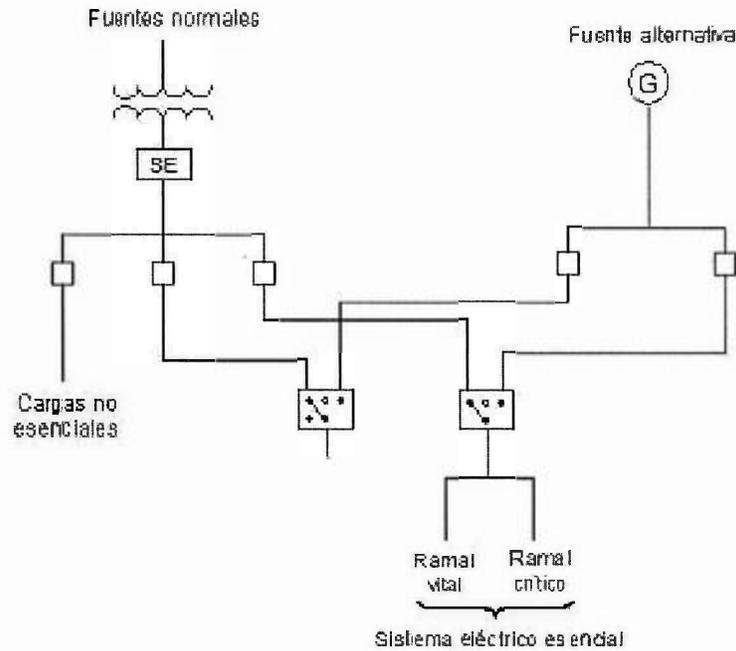
Cuando la corriente se aplica entre dos puntos del cuerpo humano, sólo un pequeño porcentaje de la corriente circula a través del corazón de esta forma. Pueden darse básicamente dos tipos de situaciones: el macroshock (circulación de corriente en la superfi-

cie corporal), y el microshock (cuando, al tener un catéter conectado al corazón, una pequeña corriente puede ocasionar grandes daños al paciente e incluso la muerte) (7).

**d. Sistema de distribución de energía eléctrica**

Se trata del sistema eléctrico esencial y su objetivo es restaurar y sostener el suministro de energía eléctrica. El sistema eléctrico de los hospitales debe constar de dos sistemas independientes para equipos y emergencia (Figura Nº 2) (8).

Figura N°2. Sistema eléctrico ampliado típico de hospitales



Fuente: (8).

#### e. Sistemas de potencia aislados

Son transformadores de aislamiento que permiten detectar cambios aparentemente despreciables, debido a que poseen una relación 1:1 de aislamiento galvánico entre sus devanados en conjunto y un monitor de aislamiento de línea. El sistema debe cumplir con 4 demandas esenciales (8):

1. No interrumpir el suministro en caso de una primera falta de aislamiento por el disparo del dispositivo de protección.
2. Que el equipamiento electro médico continúe funcionando.
3. La corriente de fallo se reduce a niveles no críticos.
4. No ocurren escenas de pánico en el quirófano por falta de suministro.

#### f. Protección contra sobretensiones

Los supresores de transitorios son dispositivos que reducen en magnitud los sobrevoltajes transitorios de corta duración causados por descargas atmosféricas. Estos picos de voltaje de alta energía pueden dañar

los equipos electrónicos sensibles tales como: computadoras, instrumentación, equipamiento médico y controladores de los procesos, así como el aislamiento de equipos como por ejemplo motores (8).

#### DIAGNÓSTICO

Dentro del diagnóstico del sistema eléctrico, se evaluó el estado, la señalización y la conformidad de los diferentes elementos y equipos dentro las instalaciones eléctricas ya existentes. Como se menciona, el diagnóstico se realizó en las áreas de: diagnóstico, tratamiento, cuidado y apoyo.

Para la elaboración del diagnóstico del sistema eléctrico se consideraron los siguientes factores:

- **Iluminación:** La cantidad de luz de cada luminaria en lumen, según normativa nacional NB777, cantidad en unidades por área. La Iluminación se plantea según niveles de Luxes por áreas.
- **Tomas:** Se identifica el número de tomas que hay por espacio físico donde se debió distinguir entre: toma normal, toma de grado hospitalario y las diferentes tensiones que pueden suministrar. También

se observó la conexión, la posición, la altura y las características, además del dimensionamiento correcto de conductores.

En el caso de Tomacorrientes, existen varias áreas como ser las de Tratamiento y Apoyo, que no cuentan con el número requerido según el equipamiento médico necesario para brindar atención de calidad y de apoyo vital.

• **Tableros:** las condiciones de los tableros las partes energizadas peligrosas no deben ser accesibles y las partes energizadas accesibles no deben ser peligrosas, tanto en operación normal como en caso de falla, las cuales son las condiciones mínimas que debe cumplir un tablero.

La mayoría de estas áreas carece de Tableros Independientes con los mismos se lograría contar con un mayor control eléctrico en caso de falla o, en tiempo

de mantenimiento, se podría realizar el trabajo de forma independiente por áreas y no perjudicar a áreas paralelas.

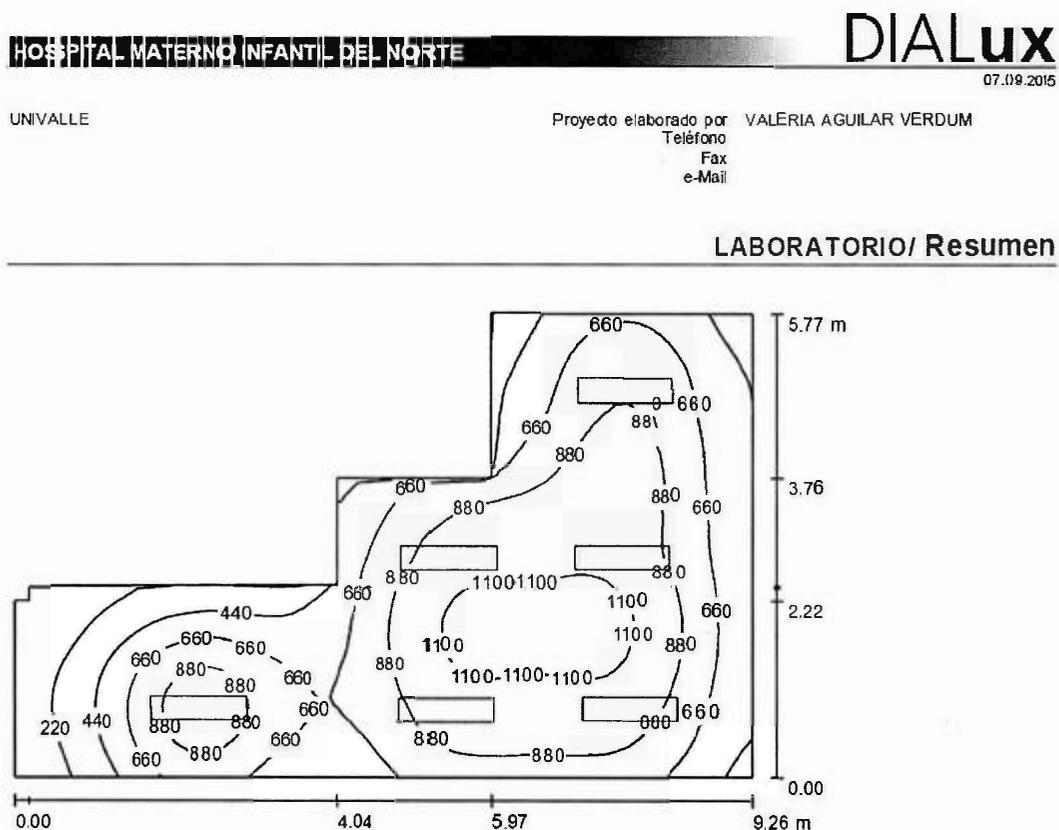
### RESULTADOS REINGENIERIA

Las normas que se utilizan para el rediseño y construcción de las instalaciones eléctricas están basadas enteramente en la Normas Bolivianas NB 777, y recomendaciones de la NEC. Los criterios considerados para la reingeniería son:

#### a. Sistema De Iluminación

El diseño de iluminación se realizó con la herramienta DIALux (Figura Nº 3), debido a su facilidad de empleo para la definición de la cantidad y posición de luminarias según los niveles de iluminación requeridos por las áreas seleccionadas de estudio (9). La iluminación empleada fue tipo led.

Figura Nº 3. Disposición de luminarias según DIALux, área Laboratorio



Fuente: Elaboración propia en base a herramienta DIALux4.12. 2015.

**b. Tableros, sistema de tomacorrientes y tomas de fuerza**

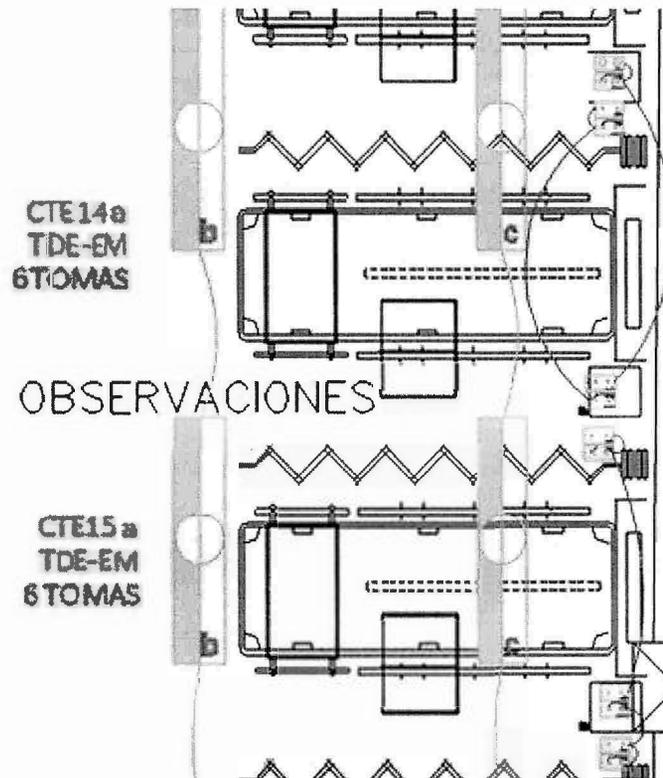
Los circuitos de tomacorrientes han sido diseñados con una potencia instalada que no exceda los 3500 VA. Todos los tomacorrientes empleados en el rediseño son de tipo grado médico.

Para el sistema de tomas de fuerza se consideró aquellas tomas o suministros de energía a cargas que están

por encima de los 2000 W, para el proyecto se calculó este tipo de tomas para los equipos médicos que lo requieran.

Según normativa vigente, se emplea en salas para pacientes críticos (cirugía, terapia y neonatología), y en cada cama se divide los tomacorrientes por lo menos en dos circuitos. En cada panel, un circuito no debe tener más de seis tomacorrientes (Figura Nº 4).

**Figura Nº 4. Rediseño Eléctrico Tomacorrientes, area Observaciones**



Fuente: Elaboración Propia, 2015.

Figura N° 5. Rediseño eléctrico tomacorrientes, área Incubadoras



Fuente: Elaboración Propia, 2015.

Para los tableros soportados por el generador eléctrico, llevarán el prefijo TDE, es decir, que estarán en emergencia. Los tableros normales, sin conexión al generador, el prefijo TDN.

Al momento de realizar las planillas se tienen los siguientes factores a considerar:

- **Número de Circuito:** detalla el número de circuito al que pertenece.
- **Descripción:** puede ser de 3 tipos, iluminación, tomacorrientes, tomacorrientes fuerza, y por último tomas para aire acondicionado.
- **Ambientes:** detalla los ambientes a los que pertenece el circuito eléctrico.
- **Número de Puntos:** indica el número de puntos de conexión existentes en el circuito.
- **Potencia unitaria en watts:** potencia consumida por punto
- **Factor de potencia (Fp):** se denomina factor de potencia a la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S (9). Para el caso de tableros en emergencia tomaremos el valor de 1, para el caso de tableros normales según la Norma NB777 usaremos el valor de 0,90 (9).

• **Potencia total en (Kw):** Es el valor total de la potencia unitaria en watts y el número de puntos.

• **Carga (A):** Para poder determinar la carga usaremos la Ley de Ohm. Para circuitos:  
Monofásicos (10):

$$I_{total} = \frac{P}{U * \cos\phi}$$

Trifásicos (10):

$$I_{total} = \frac{P}{\sqrt{3} * \cos\phi * U}$$

Donde:

Itotal= Corriente Total que circula a través del circuito.

P= Potencia Total

U= Tensión en Voltios

Cos φ = Factor de Potencia

Se determinó el número de conductor según la corriente consumida, según la NB777, además de incluir protección termomagnética apropiada para este tipo de consumo, se implementó termomagnéticos tipo diferencial. A continuación, como ejemplo se muestra en la Tabla N° 2 el rediseño de la planilla de cargas del área de Neonatología; esta área es de im-

portancia vital. Es por eso que además de aplicar normativa para número de tomacorrientes se incluyó además un subtablero que será soportado por un UPS en línea, al mismo (Tabla N° 3) se incluyeron los circuitos de tomacorrientes.

**Tabla N° 2. Planilla de Cargas, Área Incubadoras TDE-NEO**

TDE-NEO TENSION: 380 v/220v.															
Nº DE CTO.	DESCRIPCIÓN	AMBIENTES	Nº Pts.	Pot. Unit. (W)	Fact. Pot. (Fp)	Pot. Tot. KW	Pot. Tot. (VA)	Carga (A)	Cond AWG	Prot (A)	FASE	Cond.	Equilibrio de Cargas		
	Tablero Secundario												R	S	T
CIE-13	Luminaria Tipo Led de 77 Watts	Área Cunas	8	77	1	0.6	616	2.80	14	16	1	3			2.80
CFE-15	Tomacorriente Fuerza	Área Incubadoras (Rx portátiles)	1	3500	1	3.5	3500	15.91	10	20	1	3	15.91		
CFE-16	Tomacorriente Fuerza	Área Incubadoras (Rx portátiles)	1	3500	1	3.5	3500	15.91	10	20	1	3		15.91	
CFE-17	Tomacorriente Fuerza	Área Incubadoras (Rx portátiles)	1	3500	1	3.5	3500	15.91	10	20	1	3			15.91
CTE-37	Tomacorriente	Preparación Alimentos	4	350	1	1.4	1400	6.36	10	20	1	3			6.36
	UPS(TDE-NEO) 32KVA	Sub tablero UPS Neo		32	1	32.0		48.68	8	50	3	5	54.55	54.55	36.36
<b>POTENCIA</b>						44.5									
<b>DEMANDA</b>	Factor de Demanda: 1						44.5	67.72	6	80	3	5	70.45	70.45	61.44

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 3. Planilla de Cargas Sub- Tablero UPS (TDE-NEO)**

SUB-TABLERO	SISTEMA REGULADO		Nº Pts.	Pot. Unit. (W)	Fact. Pot. (Fp)	Pot. Total KW	Pot. Tot. (VA)	Carga (A)	Cond AWG	Prot. (A)	FASE	Cond.	Equilibrio de Cargas		
UPS(TDE-NEO)		UPS 32000 VA											R	S	T
CTE-29	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras (1, 2)	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3	18.18		
CTE-30	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras (1, 2)	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3		18.18	
CTE-31	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras (3, 4)	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3			18.18
CTE-32	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras (3,4)	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3	18.18		
CTE-33	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras (5,6)	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3		18.18	
CTE-34	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras (5,6)	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3			18.18
CTE-35	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras Servocuna	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3	18.18		
CTE-36	Tomacorriente e/sist regulado	Área Incubadoras Servocuna	8	500	1	4.0	4000	18.18	10	20	1	3		18.18	
<b>POTENCIA</b>						32.0									
<b>DEMANDA</b>	Factor de Demanda: 1						32.0	48.68	8	50	3	5	54.55	54.55	36.36

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De la misma manera se empleó para las áreas de cuidado intermedio adultos, quirófano; incluyendo también transformadores de aislamiento para así evitar accidentes por corrientes de fuga (11).

### CONCLUSIONES

Se concluye que las fugas eléctricas representan un potencial riesgo para el paciente, como es el caso de la infraestructura como la de Hospital Materno Infantil del Norte. De esta forma el presente estudio planteó el diseño de sistemas de aislamiento, sistemas de puesta a tierra y equipotenciabilidad, para evitar este riesgo.

Las fallencias detectadas en el sistema eléctrico actual son: en cuanto a la iluminación, la falta de un estudio a profundidad de la cantidad de lúmenes presentes debido a la ausencia de luminarias por la ampliación de áreas faltantes del hospital. Las tomas eléctricas presentan fallencias en el diseño según carga designada por la potencia consumida por el equipamiento médico para el correcto funcionamiento, el cual debe brindar seguridad (aterramiento y aislación) y continuidad de servicio (generador). Las áreas de cuidado (Unidad de Terapia Intermedia Adultos y Neonatal) no abastecen al número de equipos requeridos para poder dar un servicio de calidad.

Para las áreas más relevantes del proyecto, se propuso tableros independientes para lograr un mayor control y cuidado. Del mismo modo, se diseñó su respectiva planilla de cargas tomando en cuenta la cantidad de equipos requeridos, la potencia consumida y la iluminación necesaria según los niveles requeridos de iluminación (Lux) tomadas de normas nacionales.

Para la protección de estas áreas, se consideró que el Hospital está debidamente aterrado, además se incluyó al diseño de cada tablero la inclusión de Supresores de Sobretensiones y para las Áreas de Unidad de Cuidados Intermedios Adulto, Sala Cunas y Quirófano se sugiere la implementación de transformadores de aislamiento.

Para la continuidad de servicio eléctrico se realizó el cálculo del generador eléctrico necesario para el Hospital además de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS) en línea con el generador a las áreas que la precisan.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) KOCHALA, E. (18 de Junio de 2014). 28 Proyectos de Infraestructura son ejecutados por el municipio. El Kochala.
- (2) LÓPEZ, E. (22 de Julio de 2014). El Hospital del Norte carece de ambientes Funcionales. Los Tiempos, págs. s,p.
- (3) MALAGÓN LONDOÑO, G. (2007). Administración Hospitalaria 2da. Edición Editorial Panamericana.
- (4) BARREA NAVARRO, R. (2010). Seguridad Eléctrica. Argentina: Universidad De Alcalá.
- (5) MINISTERIO DE SALUD PERÚ. (2014). Norma Técnica de Salud "Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de Salud de Segundo Nivel de Atención". Perú.
- (6) WEBSTER, J. (2009). Medical Instrumentation Application and Desing. 4ta. Edición Estados Unidos: John Wiley
- (7) NAVARRO PALACIOS, C. B. (2006). Análisis de la Seguridad Eléctrica en las Áreas Críticas del Hospital Nacional Zacamil. San Salvador: Universidad Don Bosco.
- (8) GARNICA JIMÉNEZ, J. (2011). Guía para el Diseño de Instalaciones Eléctricas Hospitalarias. Colombia.
- (9) MINISTERIO DE SALUD Y PREVENCIÓN DE SOCIAL. (2012). Guía Nacional de Diseño y Construcción de Establecimientos de Salud de Primer y Segundo Nivel. Constructora Xperta.
- (10) GÓMEZ ECHEVERRI, M., & LEÓN MONTROYA, J. A. (2013). Guía de Diagnósticos en Instalaciones Eléctricas Hospitalarias en Áreas Críticas. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- (11) IBNORCA. (2007). Diseño y construcción de Establecimientos de Instalaciones Eléctricas Interiores en Baja Tensión NB777. La Paz – Bolivia.

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2016 Valeria Alejandra Aguilar Verdún; Victor Hugo Córdova; Rodrigo Salinas Bloch; Isabel Morales Ledezma



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)