



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

“Análisis técnico económico para mejorar la calidad, seguridad y eficiencia del consumo de energía eléctrica en zonas críticas del Hospital Regional Docente de Trujillo”

### **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTOR:**

Américo Roncal Saráchaga

**ASESOR:**

Mg. Raúl Paredes Rosario

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, transmisión y distribución de energía

Trujillo – Perú

Año 2018

## DEDICATORIA

**La presente tesis la dedico a Dios,** por darme oportunidad de vivir y por estar siempre presente a mi lado y en cada instante, por darme voluntad, fortaleza y sabiduría suficiente para luchar logrando los objetivos trazados.

**A mis padres,** por darme la vida, la formación de hogar, la educación, el cariño, y la confianza mientras estaban a mi lado. Hoy en honor a ellos dedico este esfuerzo y sacrificio.

**A mis hermanos,** Zoila, Gladis, Roger, José y Nelly (QEDS). Por el apoyo moral y los ánimos constantes para no desmallar en el propósito trazado, por creer en mí en todo momento cuando las cosas estaban difíciles.

**A mi familia,** que en un principio tenían dudas por la travesía que empecé en la Universidad, sin embargo, hoy se sienten orgullosos de saber que terminé con éxito. El esfuerzo y sacrificio también lo dedico a ellos para que de una u otra manera sirva como ejemplo para los sobrinos, primos, etc. a pesar de los años que actualmente tengo.

**A los compañeros de trabajo,** por darme las facilidades de poder cursar la carrera de ingeniería mecánica eléctrica en universidad privada “Cesar vallejo”,  
Y así poder volcar los conocimientos alcanzados en beneficio del Hospital Regional Docente de Trujillo.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, el agradecimiento a Jehová por la luz y la sabiduría suficiente para llegar a cumplir el anhelo y objetivo trazado, a la UNIVERSIDAD PRIVADA “CESAR VALLEJO” por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional, a todos mis profesores de toda la carrera por su esfuerzo y dedicación quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También agradecer al asesor Dr. Luján López Jorge, por saber guiarme tecnológicamente en los pasos a seguir en la elaboración de la tesis. De igual forma para el docente y asesor de Investigación y de Tesis de Grado, Ingeniero Raúl Paredes Rosario, por su visión crítica en muchos aspectos técnicos en el desarrollo del mismo, por su dedicación como guía, por sus consejos, quienes supieron formarme como persona e ingeniero, a toda mi familia y amistades que creyeron en mí.

Agradezco de todas las amistades, familiares, docentes, compañeros de trabajo. Que de uno u otra manera me apoyaron, dándome consejos, aliento en los momentos que más lo necesitaba, ruego a Jehová que los colme de bendiciones hoy y siempre. Esperando que se sientan orgullosos por el éxito alcanzado.

## Presentación

Inicia con la realidad problemática, en donde la mala calidad de energía eléctrica produce reducción de capacidad, eficiencia y seguridad. Se presentan los Trabajos previos, a nivel local, nacional e internacional, para discusión de resultados.

Se presentan las Teorías relacionadas, se presentan los conceptos y ecuaciones necesarias para el desarrollo. Se presenta, luego, la Formulación del problema de investigación, se cuestiona si el estudio de calidad de energía permitirá mejorar capacidad, eficiencia y seguridad en el sistema eléctrico del HRDT. Se realiza la Justificación del estudio de investigación, desde el punto de vista técnico, social, económico y laboral, que justifican la realización del mismo.

En Hipótesis de estudio: el estudio de calidad de energía permitirá mejorar la calidad, eficiencia y seguridad en el HRDT. Los Objetivos de estudio, el objetivo General y los objetivos específicos, permitiendo aclarar la factibilidad técnico y económico.

También el Método de estudio, es el Diseño de investigación, siendo el producto el conjunto lógico y racional de los pasos a seguir para desarrollar los objetivos específicos. las Variables de estudio, dependientes, independientes la Operacionalización de las variables, su definición teórica, conceptual, unidades de medida y escala de medición. Se determina que la población es el conjunto todas las zonas críticas del Hospital Regional y a la muestra es todos los componentes que tiene las zonas críticas del HRDT. Se presenta las Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Los Métodos de análisis de datos son del tipo analítico. En los Aspectos éticos, el estudio es se caracteriza por ser inédito, no cuenta con copias o estudio similar

Los Resultados son los cálculos realizados. En Discusión se hace un análisis comparativo. En Conclusión, se demuestra que se han cumplido los objetivos específicos. Se hacen Recomendaciones por método e inversión. En Referencias se da la bibliografía utilizada. En Anexos se muestra hojas técnicas de equipos. Se dan los Instrumentos, Validación de los instrumentos y Matriz de consistencia

## Índice

Página de Jurado .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Declaración Jurada .....	v
Presentación .....	vi
Índice .....	vii
Índice de Tablas .....	ix
Índice de Figuras .....	x
Resumen .....	xi
Abstract .....	xii
I. Introducción.....	14
1.1 Realidad Problemática .....	14
1.2 Trabajos previos .....	27
1.3 Teorías relacionadas al tema .....	32
1.4 Formulación del problema .....	48
1.5 Justificación del estudio.....	48
1.6 Hipótesis .....	49
1.7 Objetivos. ....	49
II. Método .....	51
2.1 Diseño de investigación.....	51
2.2 Variables, Operacionalización .....	53
2.3 Población y muestra .....	55
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .	55
2.5 Métodos de análisis de datos .....	56
2.6 Aspectos éticos .....	56
III. Resultados .....	58
IV. Discusión .....	87
V. Conclusión .....	91
VI. Recomendaciones .....	95

VII. Referencias .....	97
VIII. Anexos .....	99
Anexo 1: Ficha técnica de interruptor automático de 100 A.....	100
Ficha técnica de interruptor automático de 250 A .....	101
Anexo 2: Filtro híbrido de armónicos .....	102
Anexo 3: Gabinete con filtro de armónicos .....	102
Anexo 4: Filtro pasivo de armónicos .....	102
Anexo 5: Instalación de filtros de armónicos en líneas trifásicas .....	105
Anexo 6: Filtros en sistemas de potencia eléctricos .....	105
Anexo 7: Instrumentos .....	104
Anexo 8: Matriz de consistencia .....	112

## Índice de tablas

Tabla 1: Unidad de cuidados especiales pediátricos – UCEP.....	18
Tabla 2: Equipos en unidad de emergencia.....	19
Tabla 3: Equipos en unidad de emergencia.....	20
Tabla 4: Equipos en neonatología - NEO.....	21
Tabla 5: Neonatología – NEO.....	22
Tabla 6: Equipos críticos de Sala de operaciones.....	23
Tabla 7: Unidad de cuidados intensivos (UCI).....	25
Tabla 8: Equipos críticos en cirugía de día.....	26
Tabla 9. Clases y Características de Fenómenos Electromagnéticos.....	33
Tabla 10: Análisis del Sistema Eléctrico del HRDT en Base a Energías.....	58
Tabla 11 Máxima demanda actual de energía eléctrica HRDT.....	58
Tabla 12: Análisis del Sistema Eléctrico del HRDT en base a Potencias.....	59
Tabla 13: Parámetros de operación actuales de conductor de alimentación.....	62
Tabla 14: Máxima demanda de Potencia en HRDT, con estimación de incremento en 10 años.....	63
Tabla 15: Parámetros de operación proyectados, con compensación del factor de potencia en conductores alimentadores a cargas críticas HRDT.....	66
Tabla 16 Identificación previa de síntomas de baja calidad de energía en HRDT	70
Tabla 17: Selección del filtro AccuSine® PCS.....	72
Tabla 18: Selección de transformadores de corriente.....	72
Tabla 19: Pago promedio por consumo de energía reactiva, en HRDT: 1159.25 soles/mes.....	76
Tabla 20: Bancos de condensadores para equipos críticos.....	77
Tabla 21: Interruptores trifásicos automáticos de caja moldeada para tableros de distribución de equipos críticos en HRDT.....	79
Tabla 22: Inversiones en activos, MO, Obras civiles y accesorios eléctricos para mejorar eficiencia, calidad de energía y seguridad eléctrica en HRDT.....	82
Tabla 23: Inversión y términos de financiamiento bancario.....	83
Tabla 24: Plan de pagos mensuales del préstamo bancario.....	83
Tabla 25: Flujo de caja inversión en mejora calidad de energía del HRDT.....	84
Tabla 26: Indicadores financieros de la inversión en mejora de calidad de energía en HRDT.....	84
Tabla 27: Resumen condensadores para compensar el factor de potencia.....	92

## Índice de figuras

Figura 1. Consumo de energía activa en HRDT.....	15
Figura 2. Consumo de Energía reactiva HRDT .....	16
Figura 3. Factor de potencia en sistema eléctrico del HRDT .....	16
Figura 4. Potencia activa máxima en HRDT.....	17
Figura 5. Potencia reactiva inductiva absorbida de la red nacional HRDT .....	17
Figura 6. Transitorios Impulsivos.....	35
Figura 7. Transitorios Oscilatorios.....	36
Figura 8. Transitorios de Baja Frecuencia.....	36
Figura 9. Depresiones de Tensión .....	37
Figura 10. Cresta. ....	38
Figura 11. Interrupciones. ....	39
Figura 12. Sobretensiones. ....	40
Figura 13. Desequilibrio de Tensiones .....	41
Figura 14. Corriente Armónica .....	43
Figura 15. Muestras de Tensión (Notching). ....	45
Figura 16. Curva ITIC (Antigua CBEMA1 .....	46
Figura 17. Efecto de las Variaciones de Tensión en los Motores.....	46
Figura 18. Efecto de los Desequilibrios de Tensión en los Motores .....	47
Figura 19. Variables del proceso de estudio .....	53
Figura 20. Triángulo de potencias actual del sistema eléctrico del HRDT .....	59
Figura 21. Distribución equipos críticos HRDT.....	60
Figura 22: Parámetros actuales .....	65
Figura 23: Parámetros proyectados .....	65
Figura 24. Diagrama unifilar actual equipos críticos HRDT .....	67
Figura 25. Triángulo de potencias proyectado del sistema eléctrico de HRDT ....	76
Figura 26. Diagrama unifilar proyectado para equipos crítico del HRDT.....	85

## Resumen

Se presenta el análisis técnico económico para mejorar la calidad, seguridad y eficiencia del consumo de energía eléctrica en zonas críticas del hospital regional docente de Trujillo; Perú. Abarca desde la subestación y comprende los diferentes componentes como transformadores de tensión, conductores, dispositivos de protección y consumidores de energía, incluyendo las luminarias.

El sistema eléctrico analizado tiene una potencia instalada de 400 KVA, factor de potencia bajo, de solamente 0.825, un factor de utilización razonable, de 58%.

El sistema tiene un rendimiento de 83%, es relativamente antiguo, pasa de 15 años, en algunos casos, hay equipos con más de 30 años, se ha hecho renovaciones parciales.

Se establece que un factor fundamental que reduce la eficiencia de equipos, conductores y la seguridad operacional es la baja calidad de energía, debido a que el HRDT cuenta con una importante cantidad de cargas no lineales: equipos médicos especializados, fluorescentes de vapor de mercurio, PC, siendo los valores de distorsión armónica, tanto en tensión como en intensidad; mayores que los que indican la norma, de 5% y 15 %, respectivamente.

Se seleccionan, previo dimensionamiento, los equipos para filtrar los armónicos, compensar el factor de potencia y aumentar la protección, como son la renovación de pozos a tierra.

Al final se estima una importante reducción de la potencia activa, de 24 kw, de la reactiva, de 62 Kvar y la seguridad operacional, con la instalación de filtros activos de armónicos, tres, que inyectarán corriente para reducir las corrientes de distorsión armónica, lo que ocasionará obtener los objetivos previstos.

Desde el punto de vista económico, se recupera la inversión en 1.24 años

**Palabras clave:** Armónicos eléctricos - Analizador de red - Cel: Calidad de energía eléctrica -Flicker - Frecuencia -Punto de conexión común (PCC) – Perturbación - Recierre --Sistema eléctrico de potencia.

## **Abstract**

The economic technical analysis is presented to improve the quality, safety and efficiency of electric power consumption in critical areas of the regional teaching hospital of Trujillo; Peru. It covers from the substation and includes the different components such as voltage transformers, conductors, protection devices and energy consumers, including luminaires.

The electrical system analyzed has an installed power of 400 KVA, a low power factor of only 0.825, a reasonable utilization factor of 58%.

The system has a yield of 83%, it is relatively old, it goes from 15 years, in some cases, there are teams with more than 30 years, partial renovations have been made.

It is established that a fundamental factor that reduces the efficiency of equipment, drivers and safety is the low quality of energy, because the HRDT has a significant amount of non-linear loads: specialized medical equipment, mercury vapor fluorescent, PC, being the values of harmonic distortion, both in voltage and in intensity; greater than those indicated by the norm, of 5% and 15%, respectively.

The equipment to filter the harmonics, compensate the power factor and increase the protection, such as the renewal of earth wells, are selected after sizing. In the end it is estimated a significant reduction of the active power, 24 kw, reactive, 62 Kvar and operational safety, with the installation of active filters of harmonics, three, which will inject current to reduce the currents of harmonic distortion, what will cause to obtain the planned objectives.

From the economic point of view, the investment is recovered in 1.24 years

**Keywords:** Electric harmonics - Network analyzer- Cel.- Flicker –Frequency - Common connection point (PCC) – Disturbance – Reclose - Power electrical system.