



**INGENIERIA INDUSTRIAL
PROYECTO DE GRADO**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE
UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO EN LOS
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
DE LA COOPERATIVA RÚRAL DE
ELECTRIFICACIÓN RESPONSABILIDAD
LIMITADA (CRE R.L.)
EN EL PARQUE INDUSTRIAL
DE LA CIUDAD DE SANTA CRUZ**

GABRIEL SERRUDO TALABERA

**SANTA CRUZ DE LA SIERRA- BOLIVIA
2020**



**INGENIERIA INDUSTRIAL
PROYECTO DE GRADO**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE
UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO EN LOS
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
DE LA COOPERATIVA RÚRAL DE
ELECTRIFICACIÓN RESPONSABILIDAD
LIMITADA (CRE R.L.)
EN EL PARQUE INDUSTRIAL
DE LA CIUDAD DE SANTA CRUZ**

GABRIEL SERRUDO TALABERA

**SANTA CRUZ DE LA SIERRA- BOLIVIA
2019**

ABSTRACT

TITULO: : **“Propuesta de implementación de mantenimiento predictivo en los transformadores de Distribución en la Cooperativa Rural de Electrificación CRE RL. En la Ciudad de Santa Cruz”**

AUTOR : **Gabriel Serrudo Talabera**

Garantizar la continuidad del servicio eléctrico en la CRE RL: y Debido a la importancia cada vez mayor que representa contar con un sistema eléctrico confiable que asegure la calidad de la energía eléctrica, surge de manera natural en todas las empresas del sector eléctrico, la necesidad de crear las condiciones para cumplir con su principal objetivo; como es la prestación de los servicios de distribución de la energía eléctrica de manera continua, durante las 24 horas del día, todos los días del año.

La existencia de fallas inesperadas en los transformadores de distribución, interfiere de gran manera la continuidad de servicio de distribución eléctrica en distintas zonas de la población, ha generado pérdida económica en la Cooperativa Rural de Electrificación de Responsabilidad Limitada CRE RL. Debido a que el taller donde se realizan los mantenimientos correctivos y preventivos de los transformadores de Distribución no ha podido cubrir con la demanda de transformadores que entran en falla ha obligado a la CRE RL, a comprar transformadores de distribución nuevos lo que les significa en gastos económicos exagerados.

Se propone el mantenimiento predictivo en transformadores de distribución con las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido.

CARRERA	: INGENIERIA INDUSTRIAL
PROFESOR GUIA	: ING. JORGE JULIO NUÑEZ ROJAS
DESCRIPTORES O TEMAS	: MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PERIODO DE INVESTIGACIÓN	: AGOSTO DE 2018 A FEBRERO DE 2019
E-MAIL DEL O LOS AUTORES	: Gabriel_@hotmail.com

DEDICATORIA

Para empezar, doy gracias a Dios por darme el precioso don de la vida, por ser mi camino de verdad y vida, de brindarme de valor, fuerza y constancia que me permitieron culminar mi carrera exitosamente.

A mi madre querida Josefina Talabera y mi padre Francisco Serrudo que con mucha paciencia y amor me supieron guiar para ir por el camino correcto hacia el éxito.

A mi querida esposa Yamile Bazán por brindarme su apoyo incondicional durante la carrera.

A mis hijos Franco, Jairo Gabriel, y Camila Luciana que gracias a ellos tuve la fuerza necesaria para seguir hacia delante sin mirar atrás para terminar mi carrera.

A mis queridos hermanos Wilson, Yenny, José Fernando y Hugo Ricardo por brindarme su apoyo y confiar en mí, en especial a mi querida hermana Yenny que ya está en el cielo, lo logre hermana.

INDICE

Pág.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1	Esquema del problema.....	3
1.2.2	Esquema de la situación deseada.....	4
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.3.1	Objetivos general.....	5
1.3.2	Objetivos específicos.....	5
1.4	JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4.1	Justificación empresarial	5
1.4.2	Justificación económica	5
1.4.3	Justificación social	6
1.4.4	Justificación personal	6
1.5	ALCANCE	6
1.5.1	Alcance temporal.....	6
1.5.2	Alcance geográfico	6
1.5.3	Alcance sustantivo.....	6
1.6	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.6.1	Descriptiva	7
1.6.2	Explicativa.....	7
1.6.3	Propositiva	7
1.6.4	Metodología de campo	7
1.6.5	De campo.....	7
1.6.6	De gabinete.....	8

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1	MARCO CONCEPTUAL.....	10
-----	-----------------------	----

2.1.1	Transformador de distribución	10
2.1.2	Conceptos generales de transformadores	11
2.1.3	Transformadores de corriente alterna	12
2.1.4	Funcionamiento del transformador	12
2.1.5	Inducción mutua y autoinducción	12
2.1.5.1	Relaciones fundamentales del transformador	14
2.1.6	Clasificación de los transformadores.....	15
2.1.6.1	Por el número de fases y el sistema de tensión.....	15
2.1.6.2	Por la disposición del circuito magnético.....	15
2.1.6.3	Por el sistema de refrigeración	16
2.1.6.4	Por el tipo de conmutación magnético	17
2.1.6.5	Según el medio de funcionamiento	17
2.1.7	Clasificación de los transformadores por las bobinas	18
2.1.7.1	Bobinas tipo columnas.....	18
2.1.7.2	Bobinas tipo galletas.....	18
2.1.8	Tipos de transformadores.....	19
2.2	MARCO REFERENCIAL	20
2.2.1	Generalidades del mantenimiento	21
2.3	OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	22
2.3.1	Características del mantenimiento predictivo.....	23
2.3.2	Ventajas del mantenimiento predictivo	23
2.3.3	Desventajas del mantenimiento predictivo	24
2.3.4	Justificación técnica y económica del mantenimiento predictivo	25
2.3.5	Técnicas aplicables en el mantenimiento predictivo	28
2.3.6	Historia de la termografía infrarroja	29
2.3.7	Termografía infrarroja	33
2.3.8	El infrarrojo en el espectro electromagnético	35
2.3.9	El infrarrojo, visión y equipos de medición	37
2.4	FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE RADIACIÓN TÉRMICA	38
2.4.1	Leyes de radiación de un cuerpo negro	39

2.4.2	Ley de Kirchoff	40
2.4.3	Ley de radiación de Planck.....	40
2.5	RESEÑA HISTÓRICA DEL ULTRASONIDO	42
2.5.1	Generalidades del ultrasonido	44
2.5.2	El ultrasonido en la naturaleza	46
2.5.3	Algunas ventajas del ultrasonido	48
2.5.4	Propagación de ondas elásticas y fenómenos asociados	49
2.5.5	Naturaleza de propagación del ultrasonido	51
2.5.6	Análisis ultrasónico	53
2.5.7	Efecto corona.....	54
2.6	MARCO METODOLÓGICO.....	54
2.6.1	Tipo de estudio	55
2.6.2	Área de investigación	55
2.7	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	56
2.8	EVALUACIÓN ECONÓMICA	56
2.9	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	56
2.10	MARCO LEGAL	57
2.10.1	Normas y documentación complementarios	57
2.10.2	Definiciones	57

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO

3.1	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	58
3.1.1	Antecedentes	58
3.1.2	Organigrama de la CRE R.L.....	60
3.1.3	Descripción de la zona específica	61
3.1.4	Proceso de mantenimiento y reparación de transformadores	62
3.1.5	Descripción de las operaciones.....	63
3.1.6	Ingreso de transformadores al taller.....	63
3.1.7	Recepción de transformadores de distribución	63
3.1.8	Tratamiento, extracción y llenado de aceite	64

3.1.8.1	Tratamiento de aceite	64
3.1.8.2	Extracción de aceite	65
3.1.8.3	Llenado de aceite.....	65
3.1.9	Desencubado, limpieza y desmontaje de bobinas	65
3.1.9.1	Desencubado.....	65
3.1.9.2	Limpieza.....	66
3.1.9.3	Desmontaje de núcleo y bobinas	66
3.1.10	Generación de orden de trabajo y cálculos	66
3.1.10.1	Cálculos	66
3.1.10.2	Generación de orden de trabajo	67
3.1.11	Descripción de máquinas y equipos de medición	68
3.1.12	Precauciones de seguridad	73
3.2	DIAGNÓSTICO DEL TALLER DE MANTENIMIENTO	81
3.2.1	Organización del taller de transformadores.....	82
3.2.2	Análisis del sistema actual de procesos de mantenimiento	83
3.2.3	Datos históricos de mantenimiento correctivo y preventivo de transformadores.....	83
3.2.4	Tiempo requerido para el mantenimiento correctivo de un transformador.....	85
3.2.5	Costos unitarios de mantenimiento correctivo	89
3.2.6	Mantenimiento preventivo.....	90
3.2.6.1	Limpieza general.....	91
3.2.6.2	Inspección visual.....	91
3.2.6.3	Traslado del transformador a sala de lavado	92
3.2.6.4	Retiro de basura	93
3.2.6.4	Retiro de basura	93
3.2.6.5	Máquina lavadora con agua caliente.....	93
3.2.6.6	Secado del transformador	93
3.2.6.7	Traslado al área de inspección.....	93
3.2.6.8	Pruebas de protocolo.....	93
3.2.6.9	Reajustes externos	95

3.2.6.10	Registro de los resultados	95
3.2.6.11	Tiempos empleados en el mantenimiento preventivo	95
3.2.3	Pronóstico de fallas de transformadores	99
3.2.4	Plan anual de inspección total de transformadores del P.I.	100

CAPITULO IV

PROPUESTA

4.1	PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE LA PROPUESTA	101
4.2	Presentación de la propuesta.....	103
4.2.1	Justificación de la propuesta	103
4.3	PLAN ANUAL DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO	104
4.3.1	Programación anual.....	107
4.4.	FUNDAMENTOS DE LA PROPUESTA	108
4.5	ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	109
4.5.1	Organigrama de mantenimiento propuesto	111
4.5.2	Responsabilidades de los puestos propuesto	112
4.5.2.1	Responsable de mantenimiento predictivo (MPd)	112
4.5.2.2	Técnico de mantenimiento predictivo (Mpd)	113
4.5.3	Selección de equipos de monitoreo.	114
4.5.4	Equipos requeridos para el mantenimiento predictivo	116
4.6	REQUERIMIENTO DE PERSONAL TÉCNICO.	116

CAPITULO V

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

5.1	ANÁLISIS DE COSTOS	118
5.1.1	Costos de adquisición de equipos.....	118
5.1.2	Costos de mano de obra ara mantenimiento predictivo.....	118
5.1.3	Costos del estudio.	119
5.1.4	Costos de capacitación y otros.....	119
5.1.5	Costos totales estimados.....	120

5.2	COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE TRANSFORMADORES.....	120
5.2.1	Costos de mantenimiento correctivo	120
5.2.2	Costos de mantenimiento preventivo	121
5.3	ANÁLISIS DE COSTOS PROYECTADOS SIN PROYECTO Y CON PROYECTO	123
5.3.1	Análisis de costos proyectado sin proyecto	124
5.3.2	Análisis de costos proyectado con proyecto	124
5.4	BENEFICIOS DEL ESTUDIO	125
5.4.1	Beneficios en la optimización del mantenimiento	125
5.5	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	125
5.5.1	Relación beneficio/costo	126
5.6	INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD	126

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	129
--------------------------	------------

RECOMENDACIONES	130
------------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA

WEBLOGRAFÍA

ANEXO

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁG.
CUADRO Nº I.1	METODOLOGÍA 8
CUADRO Nº III.1	PERSONAL DE TALLER DE MANTENIMIENTO 82
CUADRO Nº III.2	DATOS HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO 84
CUADRO Nº III.3	DATOS HISTÓRICOS DE TRANSFORMADORES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO 85
CUADRO Nº III.4	TIEMPO DE PROCESO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO..... 86
CUADRO Nº III.5	TIEMPO DE PROCESO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y MANO DE OBRA (2015-2016) 87
CUADRO Nº III.6	TIEMPO DE PROCESO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y MANO DE OBRA (2016-2017) 88
CUADRO Nº III.7	COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO 90
CUADRO Nº III.8	FORMULARIO DE INSPECCIÓN VISUAL DE TRANSFORMADOR 91
CUADRO Nº III.9	FORMULARIO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES. 94
CUADRO Nº III.10	CURSOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 96
CUADRO Nº III.11	PROYECCIÓN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y GESTIÓN (2019-2024)..... 100
CUADRO Nº IV.1	PLANIFICACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO 102
CUADRO Nº IV.2	TIEMPO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO 104
CUADRO Nº IV.3	PLAN ANUAL DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO ... 105
CUADRO Nº IV.4	UNIDADES DE TRANSFORMADORES PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO 106
CUADRO Nº III.5	PROCESO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO 106
CUADRO Nº IV.6	TRANSFORMADORES DE EMPRESAS EN EL PARQUE INDUSTRIAL 107

CUADRO N° IV.7	DISTRIBUCIÓN DE TRANSFORMADORES DE EMPRESAS EN EL PARQUE INDUSTRIAL	107
CUADRO N° IV.8	PLANIFICACIÓN PROYECTADA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	109
CUADRO N° IV.9	ÁCCIONES PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO ...	110
CUADRO N° IV.10	EQUIPOS PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	116
CUADRO N° IV.11	CAPACIDAD DE MANTENIMIENTO	117
CUADRO N° IV.12	MANO DE OBRA REQUERIDA PROYECTADA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO	117
CUADRO N° V.1	INVERSIÓN EN EQUIPOS DE MEDICIÓN	118
CUADRO N° V.2	SUELDO MENSUAL DE PERSONAL DE MANTENIMIENTO MPd	119
CUADRO N° V.3	COSTOS DE CAPACITACIÓN	119
CUADRO N° V.4	COSTOS TOTALES ESTIMADOS.....	119
CUADRO N° V.5	COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA GESTIÓN 2018	120
CUADRO N° V.6	COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA GESTIÓN 2018	121
CUADRO N° V.7	COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO	124
CUADRO N° V.8	COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO	124
CUADRO N° V.9	COSTOS DE BENEFICIOS EN MANTENIMIENTO PROYECTADO	125
CUADRO N° V.10	RELACIÓN DE LA MANO DE OBRA CON Y SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO PROYECTADA	127

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	PÁG.
GRÁFICO N° III.1 DÍAS DE MANTENIMIENTO Y MANO DE OBRA PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO GESTIÓN (2015-2016)	97
GRÁFICO N° III.2 DÍAS DE MANTENIMIENTO Y MANO DE OBRA PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO GESTIÓN (2016-2017)	98
GRÁFICO N° III.3 DATOS HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO (2015-2018)	99
GRÁFICO N° IV.1 PROYECCIÓN DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO GESTIÓN (2019-2024)	105
GRÁFICO N° V.1 SISTEMA PRODUCTIVO	126

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

	PÁG.
DIAGRAMA N° I.1 ÁRBOL DEL PROBLEMA	4
DIAGRAMA N° I.2 SITUACIÓN DESEADA	4
DIAGRAMA N° II.1 EXPLICACIÓN GRÁFICA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	43
DIAGRAMA N° III.1 ORGANIGRAMA GENERAL DE LA CRE R.L	61
DIAGRAMA N° III.2 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO	62
DIAGRAMA N° III.3 LAY OUT DEL TALLER DE MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES	67
DIAGRAMA N° III.4 ORGANIGRAMA DEL TALLER DE MANTENIMIENTO	82
DIAGRAMA N° III.5 FLUJOGRAMA DE PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	92
DIAGRAMA N° IV.1 TAXONOMÍA DEL MANTENIMIENTO PROPUESTO	111
DIAGRAMA N° IV.2 ORGANIGRAMA DEL TALLER DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	112

ÍNDICE DE IMÁGENES

	PÁG.
IMAGEN Nº II.1	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN..... 10
IMAGEN Nº II.2	NÚCLEO DEL TRANSFORMADOR 11
IMAGEN Nº II.3	CIRCUITO DE DOS BOBINAS 13
IMAGEN Nº II.4	AUTOINDUCCIÓN 14
IMAGEN Nº II.5	TRANSFORMADOR DE COLUMNA 15
IMAGEN Nº II.6	TRANSFORMADOR ACORAZADO..... 16
IMAGEN Nº II.7	BOBINA DE TRANSFORMADORES TIPO COLUMNA 18
IMAGEN Nº II.8	BOBINAS DE TRANSFORMADORES TIPO GALLETAS 18
IMAGEN Nº II.9	EMPAQUETADURA DE BOBINAS..... 19
IMAGEN Nº II.10	TIPOS DE TRANSFORMADORES..... 20
IMAGEN Nº II.11	EXPLICACIÓN GRÁFICA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO 28
IMAGEN Nº II.12	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO 35
IMAGEN Nº II.13	BANDAS DE TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA EN EL INFRARROJO 37
IMAGEN Nº II.14	REGIÓN DEL ESPETRO ELECTROMAGNÉTICO CORRESPONDIENTE A LOS RAYOS INFRARROJOS..... 38
IMAGEN Nº II.15	CUERPO VIBRANTE CON MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE..... 52
IMAGEN Nº III.1	MAQUINAS DEVANADORAS..... 68
IMAGEN Nº III.2	HORNO ELÉCTRICO DE SECADO 69
IMAGEN Nº III.3	EQUIPO PURIFICADOR DE ACEITE AISLANTE 71
IMAGEN Nº III.4	PUENTE GRÚA..... 72
IMAGEN Nº III.5	EQUIPO MEDIDOR DE RELACIÓN DE TRANSFORMADOR (T.T.R. MOVIL)..... 73
IMAGEN Nº III.6	CIRCUITO DE TRANSFORMADOR DE TRANSFORMACIÓN..... 73
IMAGEN Nº III.7	EQUIPO MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MEGGER)..... 74

IMAGEN Nº III.8	EQUIPO DE TENSIÓN APLICADA.....	75
IMAGEN Nº III.9	EQUIPO MEDIDOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA.....	76
IMAGEN Nº III.10	EQUIPO MEDIDOR DE RESISTENCIA DE DEVANADOS...	78
IMAGEN Nº III.11	SISTEMA DE MEDICIÓN DE PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES.....	79
IMAGEN Nº IV.1	TRANSFORMADORES DE EMPRESAS EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE SANTA CRUZ.	108
IMAGEN Nº IV.2	CÁMARA TERMOGRÁFICA FLUKE Ti125	115
IMAGEN Nº IV.3	CÁMARA ULTRASONIDO UE SYSTEMS INC	115

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN