



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL PLAN DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL
MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRASMISIÓN PARA CENTRO AMÉRICA,
UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN EL
COMPLEMENTO DE CAMBIO DE HILOS**

Eber Manuel Borrayo Tahuite

Asesorado por el MSc. Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL PLAN DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL
MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRASMISIÓN PARA CENTRO AMÉRICA,
UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN EL
COMPLEMENTO DE CAMBIO DE HILOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EBER MANUEL BORRAYO TAHUITE
ASESORADO POR EL MSC. ING. VÍCTOR EDUARDO IZQUIERDO
PALACIOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

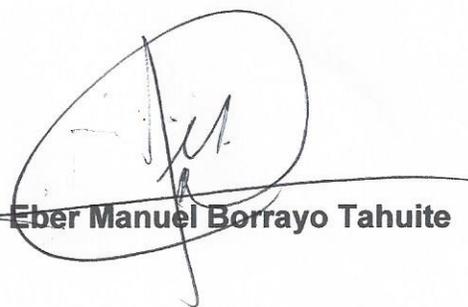
DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL PLAN DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL
MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRASMISIÓN PARA CENTRO AMÉRICA,
UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN EL
COMPLEMENTO DE CAMBIO DE HILOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 16 de mayo de 2019.



Eber Manuel Borrayo Tahuite

Ref. AGS-MIMPP-006-2019

Guatemala, 16 de mayo de 2019.

Director
Otto Fernando Andrino González
Escuela de **Ingeniería Eléctrica**
Facultad de Ingeniería
Su despacho.

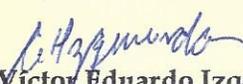
Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Eber Manuel Borrayo Tahuite** carné número 200512211, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**.

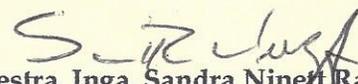
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

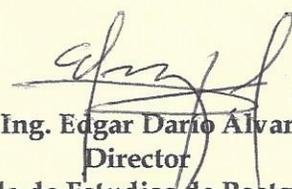
"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. **Victor Eduardo Izquierdo P.**

Ingeniero Mecánico Asesor(a)
Victor Eduardo Izquierdo Palacios
Maestro en Ingeniería de Mantenimiento
Colegiado 3.103


Maestra. Inga. **Sandra Ninett Ramirez F.**

Coordinadora de Area
Gestión de Servicios


Maestro Ing. **Edgar Dario Alvarez Coti**

Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



No. de Asesoramiento registrado en EEP. 1

Cc: archivo/LZ.LA.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: PLAN DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARA CENTRO AMÉRICA, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN EL COMPLEMENTO DE CAMBIO DE HILOS, presentado por el estudiante universitario; EBER MANUEL BORRAYO TAHUITE, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andrino González
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL PLAN DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARA CENTRO AMÉRICA, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN EL COMPLEMENTO DE CAMBIO DE HILOS**, presentado por el estudiante universitario: **Eber Manuel Borrayo Tahuite**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la oportunidad de vida y ser la guía de mis decisiones para creer que de la mano de Dios nada es imposible.
- Mi esposa** Alina María Rafael López de Borrayo, porque me enseñó que el potencial de una mujer no está en el tamaño, si no en el corazón.
- Mis hijos** Isabella Borrayo Rafael, por ser la fuente de inspiración y darme la oportunidad de ser papá.
- Mi madre** Por ser la mujer de hierro y enseñarme que el amor de madre no solo está compuesto de besos y abrazos.
- Mis hermanos** Carmen, Walter, Deysi y Emilio Borrayo, por el apoyo incondicional y los muchos días de regaños.

AGRADECIMIENTOS A:

Pueblo de Guatemala	Por el esfuerzo y trabajo, al cual debo la oportunidad de mis estudios profesionales.
Mis catedráticos	Por el tiempo de preparación de clases y el conocimiento que con el tiempo adquirí para formarme como profesional.
Jorge Mario Lainfiesta	Por ser partícipe de mí logro profesional, en gran medida por sus consejos y apoyo en tiempos difíciles, toda mi admiración y respeto.
Cisma, S.A.	Por darme la oportunidad de acceder a datos para la realización del documento de graduación.
Mis asesores	Por apoyo y tiempo en la asesoría de mi documento de graduación, al Ing. Francisco Rivera, Inga. Sandra Ramírez e Ing. Víctor Izquierdo.
Mis amigos	Por el acompañamiento en los días de lucha y desesperación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Descripción del problema	11
3.2. Pregunta general	12
3.3. Preguntas específicas	13
3.4. Delimitación del problema	13
3.5. Consecuencias de la implementación de la investigación	13
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. Objetivo general	17
5.2. Objetivos específicos.....	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Tipos de mantenimiento	21
7.1.1.	Mantenimiento predictivo.....	23
7.1.2.	Mantenimiento preventivo	24
7.1.3.	Mantenimiento correctivo	25
7.1.4.	Mantenimiento correctivo a líneas de transmisión...	25
7.1.5.	Importancia de la sustitución del hilo de guarda por cable de fibra óptica OPGW	27
7.2.	Construcción de una línea de transmisión	28
7.2.1.	Alcance de las estructuras en las líneas de transmisión eléctrica.....	29
7.2.1.1.	Instalación de torres	31
7.3.	Cable de guarda.....	32
7.3.1.	Instalación del hilo de guarda.....	34
7.3.2.	Flechado del hilo de guarda	36
7.4.	Hilo de guarda con fibra óptica (OPGW)	38
7.4.1.	Generalidades de OPGW.....	38
7.4.1.1.	Diseño del cable OPGW.....	39
7.4.1.2.	Normativos para la construcción del OPGW	40
7.5.	Requerimiento de fibras para cada país de C.A.....	45
7.5.1.	Detalle de cable para Guatemala	45
7.5.2.	Detalle de cable para El Salvador	46
7.5.3.	Detalle de cable para Honduras	46
7.5.4.	Detalle de cable para Nicaragua	47
7.5.5.	Detalle de cable para Costa Rica	47
7.5.6.	Detalle de cable para Panamá	48
7.6.	Requisitos eléctricos	48
7.7.	Requisitos mecánicos	48

7.8.	Requisitos ambientales	49
7.9.	Características nominales	49
7.9.1.	Características y dimensiones	49
7.9.2.	Características mecánicas del cable	49
7.9.3.	Características eléctricas del cable	49
7.9.4.	Características de la unidad central.....	50
7.9.5.	Inspecciones antes de montaje OPGW	51
	7.9.5.1. Detalle de inspecciones al momento de instalación de las líneas de transmisión	51
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
9.	METODOLOGÍA.....	55
9.1.	Enfoque	55
9.2.	Diseño de la investigación	55
9.3.	Tipo de estudio	55
9.4.	Alcance.....	56
9.5.	Variables e indicadores	56
9.6.	Fases de la investigación	57
	9.6.1. Fase 1.....	57
	9.6.2. Fase 2.....	58
	9.6.3. Fase 3.....	58
	9.6.4. Fase 4.....	58
9.7.	Resultados esperados.....	58
9.8.	Población y muestra	59
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	61

11.	CRONOGRAMA	63
12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	65
12.1.	Recursos físicos	65
12.2.	Recursos humanos	65
12.3.	Recursos financieros.....	65
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
14.	APÉNDICES	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	20
2.	Instalación de OPGW Guatemala torre 35	36
3.	Máquina jaladora de torre 230 KV, doble circuito doble AZ	38
4.	Características del cable OPGW en tramos largos	39
5.	Desvío de línea como plan de mantenimiento para instalación de OPGW	45
6.	Reemplazo de línea a OPGW entre San Miguel y Morazán, El Salvador	46
7.	Sujeción de cable de guarda a torre de transmisión	52
8.	Cronograma de actividades	63

TABLAS

I.	Torres de circuito simple	30
II.	Torres de circuito simple	30
III.	Grados del cable de acero	33
IV.	Cables de acero a emplear	33
V.	Características de la fibra óptica	50
VI.	Variables e indicadores	57
VII.	Para la población, se tomó una longitud de 310 kilómetros de cable OPGW instalados	60
VIII.	Costos y factibilidad	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
KCMIL	Circular mil
DaN	Decanewton
dB	Decibeles
FO	Fibra óptica
°C	Grados Celsius
kA	Kiloamperios
Kg	Kilogramo
kgf	Kilogramo pies
Km	Kilómetro
KN	Kilo Newton
KV	Kilovoltio
µm	Micrometro
mm	Milímetro
mm²	Milímetro cuadrado
nm	Nanómetro
Ω	Ohmio
Q	Quetzales
seg	Segundos

GLOSARIO

AA	Aleaciones de aluminio para aumentar la rigidez del aluminio.
ACS	Es un acero recubierto de aluminio para compresión.
ACSR	Son cables de aluminio desnudo con alma de acero utilizados para transmisión eléctrica en alta tensión.
ANSI	Es el Instituto Nacional Estadunidense de Estándares.
ASTM B398	Es la norma que rige la especificación estándar para los alambres de aleación de aluminio.
ASTM	Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos de normas para materiales, productos y servicios.
AZ	Cables trenzados.
CA	Centro América.
CISMA, S.A.	Es la empresa ganadora de la licitación INDE para el montaje y reemplazo de la OPGW en Guatemala.

EIA 359A	Es la norma para colores para la identificación y codificación de color.
EIE/TIA	Son estándares que tratan el cableado comercial para productos y servicios de telecomunicaciones.
EPR	Es la empresa propietaria de la red, dueña de las líneas de transmisión nuevas que unen América Central.
Estructura tipo H	Torre de transmisión utilizada en líneas de transmisión desde 138KV hasta 230 KV.
ETESA	Es la empresa de transmisión eléctrica panameña.
ETESAL	Es la empresa de transmisión de energía eléctrica de El Salvador.
IEC 60889	Es la norma que rige al alambre de aluminio estirado para conductores de línea aérea.
IEC 61262	Es la norma que rige al alambre de acero revestido de aluminio para uso eléctrico.
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers). Es el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
INDE	Es el Instituto Nacional de Electrificación de Guatemala.

ITU-T	Son normas que definen cómo funcionan e interactúan las redes de telecomunicaciones.
KCMIL	Es la unidad que mide el calibre del cable eléctrico.
MIL	Es un estándar que define las características mecánicas, eléctricas y funcionales de un bus de datos.
NBR	Son normas brasileñas que se encargan de aspectos relativos a la transmisión de la televisión.
NEMA	Son normas que se encargan de regir estándares de fabricantes eléctricos.
OPGW	Es un cable de guarda con fibra óptica Optical Ground Wire.
SIEAPAC	Es el sistema de interconexión eléctrica para los países de América Central.
SIN	Sistema Interconectado Nacional

RESUMEN

Actualmente se realizará una inversión económica para la sustitución del hilo de guarda con un fin poco fuera de la interconexión y eficacia de las líneas de transmisión, en donde se buscará un mercado competitivo de telecomunicaciones para realizar enlaces desde Guatemala hasta Panamá, siendo alternativa de una forma paralela a la línea submarina de telecomunicaciones e interconexión México-Panamá y Sur América. El sector eléctrico utilizará un porcentaje mínimo para operaciones internas en comparación de la utilización de las telecomunicaciones a grandes distancias, teniendo como respaldo distintos mantenimientos para la infraestructura que se utilizará.

Para el proceso de instalación de las líneas de fibra óptica será necesario tomar en cuenta el estudio cartográfico actual y estados físicos de las estructuras, posteriormente la instalación será realizada por el método de halado frenado, pasando por poleas colocadas en cada estructura para cuidado de la línea, y el cable de guarda CGFO será usado como guía para el reemplazo total durante todo el recorrido de la línea.

1. INTRODUCCIÓN

El OPGW es un cable de guarda construido con un cable de acero y un núcleo de fibra óptica, el núcleo de fibra óptica puede estar construido con cantidades de fibra que van desde 24 hasta 48 fibras, dependiendo de la necesidad del cliente. La sustitución del cable convencional de guarda por cable de guarda OPGW en las líneas de alta tensión ha sido una innovación para la transmisión de datos dentro de los países de Centro América, siendo las líneas nuevas del SIEAPAC con cable de guarda OPGW uno de los primeros proyectos con fibra óptica en Centro América.

El presente trabajo de investigación consiste en una sistematización. Presenta un aprovechamiento de la infraestructura de las líneas de transmisión, para sustituir el cable de hilo de guarda convencional por OPGW (cable con fibra óptica) y así mismo aprovechar el proceso de sustitución para identificar e implementar el mantenimiento correctivo a las líneas de transmisión eléctrica que estén en mal estado.

Los problemas que tiene la sustitución del hilo de guarda, se basan en la ejecución del trabajo con líneas energizadas, el estado físico y la ubicación de la infraestructura en terrenos privados. Estos problemas presentan un riesgo de falla para el funcionamiento del sistema eléctrico interconectado.

La importancia del trabajo de investigación se alinea a la toma de decisiones, para que exista un incremento de la eficiencia del sistema eléctrico interconectado, con el fin de realizar mantenimiento correctivo a las líneas de transmisión eléctrica que se encuentren en mal estado. Se espera tener como

resultado una disminución en las fallas de sistema, reclamos por la utilización de terrenos privados y una mejora en el mercado de transmisión de datos por la utilización del cable de guarda con fibra óptica.

El enfoque del trabajo de investigación está definido como mixto, el análisis se presenta como cuantitativo por medio de la estadística descriptiva y el diseño de la solución es no experimental con el alcance descriptivo.

El esquema para la solución constará de cuatro fases, la primera iniciará por la revisión documental del proyecto para la comprensión del problema y dar un contexto de los antecedentes del proyecto, en la segunda fase se instalará el cable de guarda con fibra óptica (OPGW) donde se medirá el grado de complejidad y la fiabilidad de las técnicas de instalación. Para la tercera fase se realizará un análisis de la instalación del cable de guarda, este análisis servirá para identificar, clasificar y cuantificar el número de poste o torres en mal estado. En la parte final se ejecutará el mantenimiento correctivo a la infraestructura en mal estado.

El trabajo de investigación es factible porque cuenta con los recursos para ejecutar las diferentes fases del problema. Una de las empresas contratadas que realizará el trabajo de sustitución de hilo de guarda autoriza el apoyo para el trabajo de investigación, brindando recursos económicos e información.

La investigación estará formada por los siguientes capítulos:

El capítulo uno del presente trabajo de investigación corresponde al marco teórico, donde se describirá los conceptos generales y la revisión de textos relacionados con la construcción de las líneas de transmisión eléctrica y la implementación del cable de fibra óptica en el hilo de guarda.

El capítulo dos mostrará la presentación de resultados, realizando un diagnóstico del estado físico de la infraestructura, que ayudará a definir los tiempos para la ejecución del mantenimiento correctivo en las líneas de transmisión eléctrica.

En el capítulo tres se discutirán los resultados en el proceso de trabajo de investigación.

Por último, en el capítulo cuatro se definirá un manual del proceso para la correcta instalación del cable OPGW que involucrará el mantenimiento de las líneas de transmisión, cambios de las rutas de las líneas de transmisión y sustitución de postes autosoportados.

2. ANTECEDENTES

Los antecedentes que relacionan el tema de instalación de cable con fibra óptica y los procesos de instalación de líneas de transmisión son mencionados a continuación:

Una de las formas más efectivas para la realización de flechado de las líneas es por medio de la topografía, donde un topógrafo realiza cálculos y los comprueba por medio del instrumento de medición de topografía. Para lo descrito con anterioridad el topógrafo debe tener claro el concepto de flecha.

Como apoyo para la comprensión del concepto de flecha, el libro de Villeda (2013) indica que en una línea de transmisión donde un cable de peso uniforme esté ubicado en dos puntos de apoyo, tendrá a ser deformado por su mismo peso.

Un conductor de peso uniforme, sujeto entre dos apoyos por los puntos A y B situados a la misma altura, forma una curva llamada catenaria. La distancia frente el punto más bajo situado en el centro de la curva y la recta AB, que se une los apoyos, recibe el nombre de flecha. (Villeda, 2013, p. 4).

Los aportes respecto al tema, serán esenciales para el cálculo de la flecha, donde el topógrafo utilizará la técnica de ubicarse frente a la línea de transmisión y, de acuerdo a una estación total de topografía, se podrá definir la distancia del punto más bajo y adecuarla al flechado requerido por el cliente.

Los requerimientos en el proyecto de EPR ayudan a tener una mejor visión de lo que se instalará, dando referencia sobre el cable de guarda OPGW, según estudios de EPR, el cable debe tener la misma característica de un cable de guarda convencional, para poder soportar los cambios climáticos, distintos rangos de esfuerzos y proporcionar el mismo peso para no repercutir en el cálculo de flecha. El artículo de EPR (2005) completo menciona lo siguiente: la tensión de rotura del OPGW será diseño del fabricante y el contratista, quienes la definirán de manera que se logre la coordinación de flechas con el conductor en condiciones de tensión final a 25°C sin viento (90% de la flecha del conductor) y con el cable de guarda *alumoweld* (diferencia de $\pm 5\%$ en condiciones finales), y que las tensiones máximas y medias que experimente durante su operación no dañen las fibras ópticas. Su valor debe estar dentro del rango especificado.

La cita anterior involucra los parámetros climáticos que deben considerarse para realizar el trabajo de flechado, para reducir la rotura en el cable y que con base en esto pueda dañarse la fibra óptica, así mismo indica que se deberá solicitar al cliente las tablas de flechado y no incurrir en lo anteriormente descrito.

Con el fin de entregar una instalación acorde a las necesidades del cliente, las empresas instaladoras de cable verifican en campo el estado físico de las líneas y las estructuras. En la siguiente cita se indica parte de una entrevista al supervisor de una contrata para saber cómo se actúa con las infraestructuras en mal estado.

Las entrevistas al supervisor de montaje en la empresa Cisma S. A. (2017) mencionan que las extensiones de líneas de transmisión en algunos casos están de forma deteriorada y será necesario la realización del mantenimiento de

la línea o, en su defecto, la sustitución. Las líneas serán evaluadas y los datos recopilados de la línea serán enviados a las empresas dueñas de la red, para que estas se encarguen de gestionar el mantenimiento a través de contratistas o personal interno.

Siguiendo con los aportes, se presenta la información que debe preguntarse al técnico o supervisor del trabajo de sustitución para determinar cuándo una línea ya se encuentra en estado deteriorado y debe aplicarse trabajos de mantenimiento para garantizar el funcionamiento del trabajo.

El núcleo con fibra tendrá protecciones de corrientes altas y picos de voltaje de manera que no deba existir roturas en el cable por calentamientos o esfuerzos mecánicos. IEEE 1138 (2009), en su apartado, indica que la parte óptica será protegida con un tubo de aluminio de forma extruida y no soldada.

El aporte anterior conlleva que el recubrimiento del cable de fibra óptica debe tener la calidad aplicada a la norma de IEEE, para que al momento de realizar esfuerzos mecánicos de tensión con la máquina jaladora no se dañe el núcleo y que las fibras siempre sean protegidas por los tubos de aluminio.

Textos recuperados de Internet por la empresa Uruguay Energía Eólica mencionan:

Las extensiones de línea que se instalan a lo largo de las líneas de transmisión son medidas en kilómetros, debido a estas largas distancias es necesario la utilización de cajas de empalmes de fibra óptica donde termine o inicie un tramo a instalar. Para la instalación de la caja de empalmes debe seguirse el protocolo de identificación de cables en base

a sus colores internos según acuerdo de la norma EIA 359 A. (Uruguay Energía Eólica, 2011, s/p).

Siendo los aportes a la investigación la identificación de cables por medio de normas EIA, las cuales rigen los colores que se utilizan al momento de realizar funciones de fibra óptica, esta deberá ser fusionada en cajas, debido a que no puede ser construida con la cantidad de kilómetros que contiene el proyecto, y de allí nacen las cajas de empalme.

Para el desarrollo del procedimiento para maniobras de mantenimiento en vivo en líneas de transmisión se tomará la recomendación de Castellanos (2012), quien menciona lo siguiente:

La distancia mínima de trabajo es obtenida de la distancia mínima de aislamiento en aire para el voltaje de la línea más un factor por movimientos inadvertidos; este factor varía de país a país. De acuerdo a esto el personal que esté al potencial de tierra deberá mantenerse ellos mismos y cualquier objeto que llevan (excepto las herramientas aisladas para líneas vivas), fuera de las distancias mínimas de acercamiento. (p. 7)

Para el aporte de lo anterior las libranzas que deben respetarse para realizar trabajos con líneas eléctricas energizadas, las distancias de trabajo en una línea de 69KV, no son las mismas para una línea de 230KV, y debido a eso se respetaran las distancias recomendadas por Castellanos.

Cuando se instala la guarda con fibra óptica OPGW se requiere un sistema antitorsión, este dispositivo se coloca siempre tirando de la cabeza del cable OPGW y equipado con dos contrapesos colocados a una distancia de al menos 3 metros una de la otra. Se debe instalar otro dispositivo antitorsión al

final del cable OPGW justo antes de su salida del tensor. El peso de los dispositivos antitorsión tiene que ser lo suficientemente alto como para impedir la rotación de cable OPGW (Cisma S. A., 2017).

Lo anterior aporta al trabajo de investigación soluciones mecánicas para que distintos parámetros climáticos no golpeen el funcionamiento de las líneas, debido a movimientos oscilatorios provocados por los vientos. La instalación de un dispositivo antitorsión ayudará a que la línea no gire por distintos movimientos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las líneas de alta tensión de Centro América que no pertenecen al SIEAPAC no cuentan con cable de fibra óptica a través de su hilo de guarda, por ser líneas construidas con tecnología antigua y obsoleta.

3.1. Descripción del problema

La construcción de nuevas líneas de transmisión eléctrica, que se utilizarán para interconectar el sistema eléctrico desde México hasta Panamá, ya forma parte de la nueva tecnología de fibra óptica en el cable de guarda. La fibra óptica en el cable de guarda servirá para comunicación de datos entre subestaciones, no siendo este el fin de la implementación, debido a que el objetivo principal se logrará por medio del interés de ampliar el mercado de voz y datos a través de empresas de telecomunicación.

Debido a la construcción de las nuevas líneas de interconexión eléctrica para Centro América, nace la idea de aprovechar infraestructura antigua para formar una nueva red de comunicación a través de cambiar el hilo de guarda convencional por cable con fibra óptica. Esta idea es llevada a los países de Centro América y es donde se toma la decisión de realizar cambios para la infraestructura eléctrica.

La planificación y definición de rutas para tener una nueva red de comunicación por medio de la fibra óptica es definida por las empresas eléctricas dueñas de la infraestructura a lo largo de cada país. Las empresas distribuyen las nuevas rutas donde se realizará el cambio de hilos de guarda

por fibra óptica y emiten licitación para que empresas contratistas se interesen por la ejecución del proyecto.

Ya definida la empresa contratista para la ejecución del proyecto, se procede a la revisión de documentos que especifiquen características del cable de fibra óptica, ensayos antes de realizar instalación, estudio de libranzas para trabajos energizados y la compra de equipos necesarios para la ejecución del proyecto.

Para fines descriptivos se toma referencia de la empresa contratista CISMA, S.A., que es la encargada de iniciar proyecto en Guatemala y posteriormente expandirse a El Salvador. Por medio de esta empresa se obtienen datos e información importante para el trabajo de investigación.

El proyecto de cambio de hilo de guarda es ejecutado, pero durante el proceso de sustitución se presentan problemas como infraestructura en mal estado que requiere el cambio, o torres ubicadas en terrenos privados que necesitan el desvío de la ruta. Todo lo recopilado es analizado y enviado a las empresas dueñas de las líneas para que estas se encarguen de planificar los mantenimientos correctivos a las líneas eléctricas y que este proyecto sea fiable ante cualquier falla en el sistema.

3.2. Pregunta general

¿Cómo pueden mejorar las líneas de transmisión eléctrica en Centro América con la ayuda del análisis físico-estructural y diseños alternos en los sistemas eléctricos de alta tensión?

3.3. Preguntas específicas

- ¿A qué parámetros de la infraestructura de las líneas de transmisión eléctrica es necesario dar mantenimiento correctivo?
- ¿Cuáles son los factores críticos necesarios a sustituir para la instalación de la fibra óptica de los hilos de guarda?
- ¿Qué beneficios trae la instalación de fibra óptica en los hilos de guarda para las líneas de transmisión eléctrica?

3.4. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará en la sustitución del cable de guarda convencional por cable de guarda con núcleo de fibra óptica, en las líneas de transmisión que se encuentran ubicadas en los distintos países de Centro América donde la infraestructura es antigua. El período de ejecución de la investigación será desde el mes de mayo de 2018 hasta octubre de 2019.

3.5. Consecuencias de la implementación de la investigación

- De realizarse
 - Se tendrá una mejora en los cables de guarda debido a la sustitución del cable antiguo por cable de otra tecnología.
 - Mejoras en la comunicación entre subestaciones para reaccionar ante cualquier falla ocasionada en la red eléctrica debido a que la comunicación será por fibra óptica.

- Se aprovechará el trabajo de sustitución de cable de guarda, como oportunidad para inspeccionar el estado físico de la infraestructura como torres, postes o líneas de fases y realizar mantenimiento a estructuras con daño o con problemas de ubicación.
- El proyecto será competitivo ante la actual red de comunicación marítima y del SIEAPAC, debido a que uno de los países de Centro América y puede ser opción a que exista comercio en lugares donde es difícil el acceso.
- De no realizarse
 - Los cables de guarda existentes seguirán con el proceso de deterioro, llegando al punto de romper y dejar desprotegidas las líneas eléctricas.
 - Las velocidades de comunicación seguirán siendo las mismas, debido a la desactualización de tecnología y la transmisión de datos.
 - Las estructuras no serán evaluadas e inspeccionadas y seguirán con el mismo problema de desgaste o instaladas en terrenos que no pertenecen al estado.
 - Seguirá la misma autopista de comunicación, donde sea cuestionado el precio de red debido a que no existe otro canal de comunicación.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo sigue la línea de investigación de gestión del mantenimiento. El curso que relaciona al trabajo de investigación corresponde al Seminario del Mantenimiento Predictivo, donde se mide la disponibilidad de los sistemas y así mismo la predicción del estado de los mismos. Seguido de la predicción de los sistemas se debe corregir por medio del mantenimiento correctivo, que se convierte en un factor crítico para la continuidad del cambio de hilo convencional por fibra óptica. Cabe mencionar que la pronta ejecución del mantenimiento reducirá fallas en el sistema interconectado o cobros inapropiados por la falta de energía hacia los usuarios y con la asignatura de la planificación del mantenimiento para la disponibilidad de las líneas.

Es importante mostrar el trabajo de investigación, debido a los diferentes panoramas de instalación, reemplazo y mantenimiento de las líneas de transmisión eléctrica, para conseguir una mejora en la práctica de futuras instalaciones de cable con fibra óptica (OPGW). Se darán detalles de lo que no aparece en hojas características de los cables o libros que solamente hablen de cómo es una fibra óptica en un cable de guarda, se explicará de manera práctica la forma de instalar una polea en una torre de transmisión o en poste autosoportado, las velocidades de las máquinas y otros detalles que solo en campo pueden obtenerse.

La necesidad de llevar a cabo el proyecto de cambios de hilos de guarda y el plan de mantenimiento correctivo es debido a la igualación de tramos de líneas con fibra óptica, pues hasta el año 2010 se contaba con cable de fibra óptica OPGW solamente en las líneas SIEPAC. La igualación será llevada a

cabo con la implementación del cable de fibra óptica OPGW en líneas existentes que sean parte del sistema interconectado de Centro América, con el objetivo de beneficiar a la red eléctrica y a empresas que deseen transmitir datos o servicios de comunicación a la población.

La motivación del investigador de poder realizar el presente trabajo de investigación es aportar técnicas nuevas, experiencias y conocimientos de instalación de OPGW. Aportar ideas y formas de evaluación para mejorar el sistema interconectado por medio de la toma de decisiones para la corrección de la infraestructura en las líneas de transmisión.

El beneficio se ve reflejado en la fiabilidad de la red interconectada, donde los usuarios no sean afectados por fallas en el sistema, debido a torres caídas o daños en las redes por descargas atmosféricas, ya que no tienen protección de guarda. Poblaciones sin acceso a redes podrán tener la opción de adquirir servicios para su comunidad y así explotar el mercado que actualmente trabajan.

Los beneficiarios corresponden a empresas eléctricas de cada país, debido a que la comunicación hacia los centros de control remoto será más fiable, eficiente y rápida ante cualquier falla en el sistema eléctrico interconectado. También las empresas de comunicación tendrán la oportunidad de crecer debido al fácil acceso en lugares montañosos o lejanos de la ciudad, por medio del proyecto de expansión se genera trabajo para la rama eléctrica donde las familias tienen una oportunidad de empleo y finalmente el investigador tendrá la oportunidad de crecer profesionalmente por medio del aprendizaje de la instalación de fibra óptica en las líneas de alta tensión.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Diseñar un plan de control y seguimiento del mantenimiento de las líneas de transmisión para Centro América, utilizando la metodología de instalación de fibra óptica en el complemento de cambio de hilos.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar los parámetros de la infraestructura de las líneas de transmisión que se encuentran en mal estado.
- Determinar los factores críticos para la instalación de la fibra óptica de los hilos de guarda en las líneas de transmisión eléctrica.
- Evaluar los beneficios de la aplicación de un plan de control y seguimiento del mantenimiento en el cambio de hilos de guarda.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La principal necesidad a cubrir en el aspecto laboral con el estudio de la investigación es la sustitución del hilo de guarda convencional por fibra óptica para que posteriormente lleve a evaluar físicamente distintas extensiones de línea eléctrica durante el avance y que se realice la instalación.

El estudio de investigación pretende dar prioridad al consumidor final y ser parte de una innovación de tecnologías, para que empresas dueñas de la red se vean en la necesidad de sustituir líneas donde el crecimiento de comunicación sea viable y de interés para las empresas de comunicación.

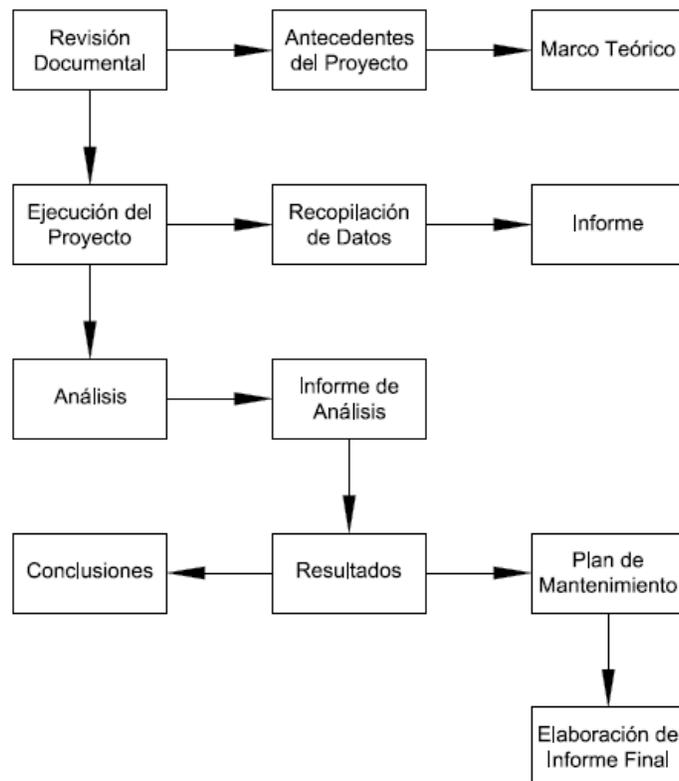
El esquema para la solución constará de cuatro fases, la primera fase iniciará por la revisión documental del proyecto para la comprensión del problema y dar un contexto de los antecedentes del mismo. En la segunda fase se instalará el cable de guarda con fibra óptica (OPGW) donde se medirá el grado de complejidad y la fiabilidad de las técnicas de instalación.

Para la tercera fase se realizará un análisis de la instalación del cable de guarda, este análisis servirá para identificar, clasificar y cuantificar el número de poste o torres en mal estado. En la parte final se ejecutará el mantenimiento correctivo a la infraestructura en mal estado.

Los tiempos cortos utilizados para corregir tramos de líneas demasiado dañadas y el poder instalar sin descargos programados de líneas, son parte de las grandes necesidades que tiene el cliente para no salir de las distintas leyes que regulan la energía.

Cada pieza de solución se llevará a cabo por medio de empresas que tengan la capacidad de desarrollar un método de instalación de fibra óptica bastante efectivo con tecnologías de montaje viables, debido a que no siempre se tendrán libranzas para trabajar sin energía. El desarrollo de los métodos utilizados y los detalles serán mostrados en el presente trabajo para demostrar las distintas técnicas y normas que se utilizaron para el montaje.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

Según el tema de la metodología de la instalación de fibra óptica para el complemento en el cambio de hilos de guarda por fibra óptica, fueron de suma importancia tres puntos:

- Los mantenimientos y su importancia.
- Construcción de una línea de alta tensión, de donde se extraen las bases para la construcción de líneas de alta tensión.
- Hilo de guarda con fibra óptica donde se menciona cada detalle de las fibras requeridas en los distintos países, así como el cuidado para el montaje.

7.1. Tipos de mantenimiento

Acciones que permitan resguardar un equipo para una mejora en líneas de producción o cualquier tipo de acción que sea necesario para mantenerla en buen estado tendrán el nombre de mantenimiento, así mismo el corregir errores o fallos en el momento o prevenir fallos a corto y largo plazo, serán parte de una optimización de recursos que llevará a visualizar diferentes acciones en beneficio del equipo o proceso de manufactura. Las necesidades de cada empresa o proyecto son diferentes, pero será necesario introducir mantenimientos tipo:

- Preventivo
- Predictivo
- Correctivo

Existen parámetros válidos para el mantenimiento y para ello Santiago García Garrido, en su libro *Ingeniería del mantenimiento*, menciona:

El objetivo fundamental del mantenimiento no es pues reparar urgentemente las averías que surjan. El departamento de mantenimiento de una industria tiene cuatro objetivos que deben marcar y dirigir su trabajo:

- Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
- Cumplir un valor determinado de fiabilidad.
- Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.
- Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación.” (García Garrido, 2012, p. 4)

Para tener control de los mantenimientos Sanzol menciona en la introducción de su tesis:

Todos los mantenimientos incluyen dos actividades: inspecciones visuales y lubricación. Esto es así porque está demostrado que la realización de estas dos tareas en cualquier equipo es rentable. Incluso en el modelo más sencillo (modelo correctivo), en el que prácticamente abandonamos el equipo a su suerte y no nos ocupamos de él hasta que no se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes, y

lubricarlo con productos adecuados a sus características. (Sanzol, 2016, p. 13)

Mencionada la importancia del mantenimiento, se describe a continuación cada uno de los mantenimientos:

7.1.1. Mantenimiento predictivo

La predicción en un mantenimiento es una técnica basada en los pronósticos de evaluación y predicción de las fallas, es encontrar el tiempo donde sucederá la falla y tener la capacidad de anticiparse a dicha falla con una lista de actividades programadas que no afecten producciones, servicios o clientes insatisfechos. La vida de los equipos se ampliará a razón proporcional entre un excelente plan de mantenimiento predictivo y una monitorización al historial del equipo.

Existen varias ventajas y desventajas para el mantenimiento predictivo, que no agravan la gestión pero sí ayudan a dar una solución en el sistema. Para ayuda a la comprensión del concepto mencionado, se resume los textos de Muñoz, quien cita lo siguiente:

- Es práctico, debido a que no existe límites de parámetros a medir, los cuales pueden ser:
 - Vibraciones
 - Ruido
 - Temperaturas
 - Presión
 - Fluido

- Este mantenimiento tiene como ventaja poder dejar un historial de la máquina para futuros mantenimiento o estipular la vida útil del sistema. (Muñoz, 2003, p. 9)

7.1.2. Mantenimiento preventivo

En este mantenimiento se involucra las reparaciones con tiempos cortos que servirán para mantener el equipo en buenas condiciones y así garantizar el funcionamiento del mismo, se siguen rutinas como engrases, cambio de piezas con desgaste o calibraciones que no estén acompañadas con paros de producción. Este mantenimiento está ligado al mantenimiento predictivo teniendo como objetivo ampliar la vida útil de una línea de producción o instalación, siendo el departamento de mantenimiento de cada empresa el encargado de gestionar estas actividades. Para fines de apoyo Muñoz amplía sobre el mantenimiento preventivo, dando a conocer lo siguientes puntos de vista:

- Inconvenientes: donde especifica que los inconvenientes pueden ser desde cambios innecesarios, afectando costos de *stock* o de inventario y costos en la mano de obra hasta mantenimientos no efectuados.
- Planificación: para la planificación del mantenimiento preventivo, se debe tener muy en cuenta el objetivo del mantenimiento, tener muy en cuenta la vida útil del equipo, saber las tareas a realizar para cada equipo y llevar la ejecución de los problemas en tiempo que no afecten a las líneas de producción. (Muñoz, 2003, p. 8)

7.1.3. Mantenimiento correctivo

La corrección en tiempo no programado es la esencia de este mantenimiento, debido a que se repara en el instante en el que sucede la falla. Este mantenimiento se considera como un desequilibrante de indicadores debido a que puede generar costos no presupuestados y quizá repuestos no encontrados en bodega, dando una alerta a mejorar mantenimientos preventivos y predictivos. Nuevamente para fines de apoyo teórico Muñoz menciona: “conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados, que se realiza cuando aparece el fallo”. (Muñoz, 2003, p. 7).

Resumiendo lo que Muñoz indica, se podrá mencionar que se aplica en sistemas complejos como sistemas electrónicos, sistemas donde la predicción de los fallos es nula o sistemas donde las líneas de producción no pueden tener paros. Muñoz (2003) también menciona que los inconvenientes de este mantenimiento pueden llevar a daños a otros equipos, debido a que los fallos no son detectados con tiempo y el *stock* en el almacén puede ser muy grande por no saber dónde será el fallo.

7.1.4. Mantenimiento correctivo a líneas de transmisión

Las líneas compuestas por cables ACSR son parte de las líneas de transmisión, torres de celosía con distinta configuración, postes auto soportados con alturas según requerimiento de la geografía de la línea, hilos de guarda que son la protección para descargas atmosféricas y herrajes que servirán para sujeción de la misma línea. Esta lista de componentes es lo que se llama transmisión eléctrica y es la encargada de llevar energía eléctrica con voltajes hasta 230KV (área Centro América) hacia distintos puntos del país, con el fin de ser una red interconectada en beneficio de usuarios y grandes usuarios.

Las líneas de transmisión eléctrica, al igual que un equipo en una línea de producción, tienen efectos por antigüedad o por desgaste mecánico, efectos climáticos o efectos eléctricos y para la protección de las líneas, se debe seguir un plan de control y mantenimiento que proteja el sistema y no sean afectados los consumidores. Para la corrección de estructuras de líneas de alta tensión, donde por antigüedad existiera un deterioro en los cableados, se programará una serie de actividades para trabajos de mantenimiento.

Durante el mantenimiento correctivo se tomaran en cuenta las siguientes notas:

- Mantenimiento paliativo donde este se encarga de la reparación temporal del funcionamiento, aunque no quede completamente en estado óptimo de funcionamiento la estructura o tramo de línea de transmisión afectado. En este caso se describe la reparación de una estructura de soporte siniestrada o un tramo de línea de transmisión que haya colapsado, la cual es reparada con la finalidad de restablecer el servicio de fluido eléctrico en el menor tiempo posible debido a la necesidad de restablecer el servicio, aunque con esto se corra el riesgo de poner en funcionamiento la línea con estructuras provisionales las cuales pudieran no cumplir al 100% con las características y especificaciones del material idóneo o un vano de línea no cumpla con las normas en cuanto a libranzas.
- Mantenimiento definitivo o de reparación donde se encarga de la reparación definitiva propiamente. Es obvio que este tipo de mantenimiento resulte ser el más caro para una empresa debido a las grandes inversiones en materiales, contratación de empresa

privadas, las pérdidas que representan tener a una línea fuera de servicio, etc. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Salidas de servicio no previstas de una línea de transmisión, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las demás líneas de transmisión y centros de generación del SIN debido a la readecuación del flujo de carga.
- Presenta costos por reparación y adquisición de materiales no presupuestados.
- El tiempo que está el sistema fuera de operación no es predecible, por lo tanto no puede planificarse. (Castellanos, 2012, p. 11)

7.1.5. Importancia de la sustitución del hilo de guarda por cable de fibra óptica OPGW

Las líneas OPGW dentro de los países centroamericanos están compuestas de distinta forma, para que se logre cerrar una interconexión desde Guatemala hasta Panamá, comportándose como una autopista de comunicación con fines de utilización de comunicación de otros operadores y comunicación entre subestaciones.

Para noviembre de 2018 se tienen tramos ya construidos por la empresa EPR y se realizan sustituciones en Guatemala y El Salvador según encuestas

enviadas a cada una de las empresas dueñas de las líneas, como el INDE en Guatemala y ETESAL en El Salvador.

7.2. Construcción de una línea de transmisión

La unificación de conceptos eléctricos, ambientes climáticos y velocidades de los vientos lleva a formar lo que se conoce como líneas de transmisión, que como concepto básico es la capacidad de transportar la energía desde una central generadora hasta una central que se encarga de cambiar la capacidad de energía en energía que el consumidor puede utilizar. Las líneas de transmisión están clasificadas en niveles de voltaje:

- Líneas de transmisión en 69 KV
- Líneas de transmisión en 138 KV
- Líneas de transmisión en 230 KV
- Líneas de transmisión en 400 KV

Para algunas recomendaciones que se realizaron en el informe de EPR para el diseño de líneas de transmisión en los aspectos básicos, se resume y se expone la forma de cálculo de los conductores eléctricos a través de los siguientes puntos:

- 300Mw de transporte con 0.90 de factor de potencia, que servirá para intercambio entre países.
- El cálculo para la corriente máxima es:

$$I = \frac{3000MW \times 1000}{\sqrt{3} \times 230KV \times 0.9} = 836 \text{ amperios}$$

- Parámetros que deben soportar los cables en las distintas regiones geográficas:
 - 35°C de temperatura ambiente
 - 0.60 m/s de velocidad de viento
 - 80°C de temperatura para la operación del conductor
 - Altitud sobre el nivel del mar con 100 msnm y 2000 msnm
 - 0.5 de emisividad
 - 0.5 de absorción
 - 12.5° de latitud de la región
 - 90° de perpendicularidad a la línea
 - En horario de 12:00 del medio día. (Bellof, 2004).

7.2.1. Alcance de las estructuras en las líneas de transmisión eléctrica

Las estructuras en las líneas de transmisión forman parte esencial de la mecánica de estructuras de alta tensión, que son utilizadas en uno o dos circuitos. Las torres de transmisión logran un alcance de primera instancia para los trabajos de instalación eléctrica, donde la configuración de la torre será la que muestra los parámetros eléctrico-mecánicos de los vanos, cálculo para la realización de flechado, utilización de cadenas de aisladores y protección de las líneas eléctricas.

Las estructuras serán limitadas por los ángulos de utilización en el tendido de los cables eléctricos, así mismo por los vanos de vientos y los vanos de peso del cable ACSR o hilo de guarda a instalar en la torre de transmisión eléctrica. Para cada una de estas variables se fabricarán distintas estructuras clasificadas por tipos de torre y números de circuitos. Las tablas I y II hacen

mención de los tipos de torres de celosía con parámetros de ángulos y vanos, según la información proporcionada por el proyecto SIEAPAC.

Tabla I. Torres de circuito simple

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
TS1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
TS2	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	700	1050	⁽¹⁾ Vano límite 800 m
TSA	Suspensión y ángulo 2-10 grados	10	400	1050	
TMS	Amarre en línea y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	1500 1500	Arrancamiento vertical (-900) m

Fuente: Bellof, A. (2004). *Definición de los aspectos básicos del diseño de las líneas de transmisión SIEAPAC.*

Tabla II. Torres de circuito simple

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
TD1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
TD2	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	700	1050	⁽¹⁾ Vano límite 800 m
TDA	Suspensión y ángulo 2-10 grados	10	400	1050	
TMD	Amarre en línea y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	1500 1500	Arrancamiento vertical (-900) m
TDD	Terminal ⁽²⁾ y ángulo 0-65 grados	65	400	1500	Arrancamiento vertical (-900) m

Fuente: Bellof, A. (2004). *Definición de los aspectos básicos del diseño de las líneas de transmisión SIEAPAC.*

Según Bellof (2004), para comprensión de torres y tipos de estructuras se tomará las definiciones de EPR en el texto donde se resume lo siguiente:

- Familia de estructuras

El 80 % de estructuras son torres de celosía para un circuito, siendo la parte mayoritaria en la construcción de estructuras. Existe otra clase de torres de celosía con circuito doble, donde un circuito lo aprovecha EPR y el segundo circuito lo aprovechan las empresas eléctricas del país donde se encuentre localizado el doble circuito.

El recorrido del trayecto del proyecto lleva a tomar decisiones de crear torres con bases pequeñas y de doble circuito, debido a la topografía del terreno que no deja instalar torres amplias de base. Así mismo, debido a problemas de ubicación, se crean los postes de doble circuito para que la configuración sea igual a las torres de celosía instaladas en otras ubicaciones.

7.2.1.1. Instalación de torres

El desarrollo de esta actividad será el seguimiento de un plan de trabajo que inicia con la aprobación de planos de montaje y armado de la estructura, teniendo muy en cuenta que cada plano de aprobación está relacionado a la región donde será utilizado y cualquier corrección que sea necesaria será desarrollada en campo a fin de tener una estructura confiable y segura.

Posteriormente a la aprobación de planos se procederá al armado de la torre de transmisión con distintas actividades como:

- Orden y clasificación de piezas.
- Prearmado de crucetas de la torre a nivel de suelo.
- Revisión topográfica de las bases donde será instalada la torre.
- Revisión, aprobación y certificación de la grúa que realizará los izajes.

- Revisión de torques en la tornillería de acuerdo a planos de instalación.
- No se realizarán modificaciones de agujeros hasta que ya esté armada la torre con aprietes y torques en los tornillos.

Las actividades serán acompañadas de un profesional supervisor que no sea parte de la empresa instaladora, para que el desarrollo de la instalación sea fiable para la empresa que solicite la estructura.

Como base para la instalación se tomará en cuenta las experiencias del manual de instalación de Grupo ICE (s.f.), que menciona lo siguiente: los métodos de armado se rigen a la seguridad industrial, donde la parte humana es parte del pilar de construcción, por tal motivo deberá ser protegida en el armado de las torres. Otra de las partes a cubrir serán las estructuras, que se protegerán de daños que sean ocasionados con poleas, polipastos o cualquier equipo para esfuerzos mayores. La utilización de escaleras para izajes está totalmente prohibida y no se podrá verticalizar ninguna torre a menos de que $\frac{3}{4}$ de los pernos estén completos e instalados.

7.3. Cable de guarda

Los cables de guarda son cables de acero que están instalados en la parte más alta del sistema de alta tensión en la torre o poste y cumplen la función de protección ante cualquier falla por contaminación o descarga atmosférica que pueden darse de acuerdo al área geográfica. Los cables de guarda estarán clasificados por el tipo de instalación y tipo de esfuerzos mecánicos indicados en la tabla III.

Tabla III. **Grados del cable de acero**

Grado	Descripción
EAR o EHS	Extra High-Strength. (Extra Alta Resistencia)
AR o HS	High-Strength. (Alta Resistencia)
MR o SM	Siemens-Martin

Fuente: Enersis. (2011). *Especificación técnica cable de acero galvanizado.*

En la tabla IV se muestran las especificaciones técnicas para cada uno de los distintos cables de acero.

Tabla IV. **Cables de acero a emplear**

Nº hilos	Grado	Masa mínima de camada de zinc Clase (gr/m ²)	Diámetro Nominal del cable de acero en mm(pulg)	Diámetro Nominal de hilo de acero (mm)	Masa aprox. cable (kg/km)	Carga Ruptura mínima (daN)
7	MR o SM	B(370)	6.4(1/4)	2.03	160	1430
7	AR o HS	B(490)	7.9 (5/16)	2.64	305±15	3630
7	EAR o EHS	B(520)	9.5(3/8)	3.05	407±20	6990

Fuente: Enersis. (2011). *Especificación técnica cable de acero galvanizado.*

No importando el grado de cable de guarda, la forma de protección debe ser hasta la zona más alejada de la fase. El artículo publicado en Internet por la página de Sector Eléctrico (2015) menciona una rápida descripción de la protección del hilo de guarda hacia las fases y torre de transmisión con fines de

concepto básico, no mencionando otros parámetros eléctricos debido a que el objetivo de este apartado es solo para comprender la parte básica del hilo de guarda. El artículo menciona lo siguiente:

El ángulo de protección del cable de guarda se define como el ángulo entre la línea vertical que pasa por el cable de guarda y la línea que une el cable de guarda y el conductor de fase más alejado de la estructura. La zona de protección brindada es un cono con vértice en el cable de guarda y con una base que termina en el conductor de fase más alejado de la estructura. Según Lacey, un cable de guarda ofrece una protección adecuada a todos los conductores de fase que se encuentran debajo de un cuadrante circular con centro a la altura del cable de guarda y con su radio igual a la altura del cable de guarda por encima del suelo. Si se utilizan dos o más cables de guarda, la zona de protección entre los dos cables adyacentes puede ser tomada como un semicírculo que tiene como diámetro una línea que conecta los dos cables de guarda. (Sector Eléctrico, 2015, p. 5).

7.3.1. Instalación del hilo de guarda

La forma de instalación del hilo de guarda será con el mismo proceso de la instalación de los conductores de fases, por tal motivo los hilos de guarda llevan procesos de forma paralela. A continuación se mencionará una serie de actividades que se tomaron en campo para realizar la instalación del hilo de guarda.

- Preparación de equipos de tensado de cables
- Verificación de parámetros dentro de las máquinas de tensado y jalado
- Instalación de equipo de rodamiento de cables (poleas)

- Instalación de guía para jalado
- Tendido de cable de guarda
- Flechado de cables
- Remates para el cable

Para ayudar al lector se resumen lo escrito en el manual para instalación realizado por ICE, que es la empresa costarricense de electricidad:

- La instalación de cables de fases y de guarda se hace por medio de tensiones controladas.
- El equipo de tensión controlada debe ser proporcionado por el contratista, antes debe ser inspeccionado por supervisión de empresa dueña de la red para que exista garantía en la construcción de la línea.
- Después de la protección del personal, debe tenerse en cuenta la protección del cable y, si existiera daño en los cables, la empresa contratista debe sustituir los daños sin que exista cobros adicionales.
- Debe cuidarse las estructuras para que durante el proceso de esfuerzos por tendidos de las líneas no exista torsión de estas o equipos adicionales.
- Si existiera problemas climáticos como tormentas u otras condiciones, no se realizará trabajos de instalación. (Grupo ICE, s.f.).

La figura 2 muestra la sustitución del hilo de guarda en tramos dentro de Guatemala.

Figura 2. **Instalación de OPGW Guatemala, torre 35**



Fuente: Cisma, S.A. (2017). *Proyecto OPGW en Guatemala*.

7.3.2. Flechado del hilo de guarda

El flechado de las líneas de guarda se realizará de acuerdo a las necesidades geográficas que se presentarán en las áreas a instalar, no se podrán tomar las mismas referencias de flechado en cada tramo de línea ni se deberá tomar como un flechado particular para todas las líneas. Cada área geográfica tendrá distinto cálculo de flechado y como referencia el cliente deberá entregar la tabla de flechado, los cálculos reales serán tomados en campo de acuerdo a la necesidad geográfica, climática y tipos de estructuras utilizadas para las líneas de transmisión.

Los tramos donde será necesario realizar un remate y colocar un dinamómetro para el proceso de flecha serán:

- Terminación de carrete de cable
- Ángulo entre torres o postes

Los instaladores deberán estar sabidos que para finalizar remates en las líneas es necesario dejar holgada la fuerza que en ese momento se le realiza a la línea para posteriormente quitar la herramienta y que no exista un margen de error que permita perder el flechado ya encontrado por trabajo de topografía. Grupo ICE (s.f.) menciona:

- El flechado de las líneas será en orden descendente, realizando primero los cables de la parte alta y en forma descendente hasta la última.
- El orden de flechado se realizará en el tramo más alejado de la máquina jaladora y siempre en favor de la fuerza de tensión provocado por la máquina jaladora.
- La acomodación del cable será en un aproximado de 2 horas y después de ese tiempo se podrá saber el flechado final del cable.

La figura 3 da a conocer la forma de instalación de la máquina frenadora para tener la idea clara de lo mencionado con anterioridad.

Figura 3. **Máquina jaladora de torre 230 KV, doble circuito y doble AZ**



Fuente: Cisma, S.A. (2017). *Proyecto OPGW en Guatemala.*

7.4. Hilo de guarda con fibra óptica (OPGW)

El OPGW tiene la misma función de un hilo de guarda común y corriente, con la diferencia que ahora está construido con fibras internas que permiten la transmisión de datos.

7.4.1. Generalidades de OPGW

Por el tipo de instalación la OPGW se clasifica por:

- Estructura y diseño del cable OPGW
- Normas necesarias para la construcción de OPGW

7.4.1.1. Diseño del cable OPGW

Para el diseño del cable OPGW es necesario tomar en cuenta las largas distancias y efectos entre materiales. Como base para el diseño se resumirá lo descrito por la Empresa Propietaria de la Red, S.A. (2004):

- El cable deberá operar con voltajes de hasta 230KV.
- Deberá soportar tensiones de esfuerzo mecánico.
- Las condiciones climáticas en diferentes regiones no tendrán que ser problema.
- La construcción del cable debe ser cuidadosa debido a que no debe existir fusión entre materiales como cobre o aluminio.

Figura 4. Características del cable OPGW en tramos largos



Fuente: Garrido, S. (2009-2012). *Ingeniería del mantenimiento*.

7.4.1.2. Normativos para la construcción del OPGW

EPR (2005) contempla e integra normas para implementar y construir el cable de OPGW:

Los cables con fibras ópticas y los accesorios a suministrar deberán cumplir además de las especificaciones técnicas descritas en este documento con la última edición de cada una de las siguientes normas que le sean aplicables en cada caso:

- ANSI:
 - 301
 - 302
 - 304

- ASTM:
 - A90. Weight of coating on zinc-coated (galvanized) iron or Steel articles.
 - A153. Zinc coating (hot-dip) on iron and steel hardware.
 - A239. Test for locating the thinnest spot in zinc (galvanized) coating on iron or steel articles by the Preece test (copper sulfate dip).
 - A363. Zinc Coated (galvanized) steel Overhead Ground Wire Strand.

- A475. Zinc-coated steel wire strand. castings, series II.
- B230. Aluminum 1350-1119 wire for Electrical purposes.
- B415. Standard Specification for Hard-Drawn Muminium-Clad Steel Wire.
- B416. Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Aluminium-Clad Steel Cables.
- B483. Aluminum and Aluminum Alloy Tubes for General Purpose Applications.
- B502. Aluminium-clad steel core wire for aluminium cables.
- ASTM B398. Specification for Aluminum-Alloy 6201-T81 Wire for electrical purposes.
- E138. Standard method for wet magnetic particle inspection.
- E155. Reference radiographs for inspection of aluminum and magnesium.
- IEC:
 - 104. Aluminum-magnesium-silicon alloy wire for overhead line cable.
 - 304. Standard Colors for Identification and Coding.

- 793-1 – 1. Optical fibres. Part 1: Generic Specification - Section 1: General.
- 793-1-2. Optical fibres. Part 1: Generic Specification - Section 2: Measuring methods for dimensions.
- 793-1-3. Optical fibres. Part 1: Generic Specification - Section 3: Measuring methods for mechanical properties.
- 793-1-4. Optical fibres. Part 1: Generic Specification - Section 4: Measuring methods for transmission and optical characteristics.
- 793-1-5. Optical fibres. Part 1: Generic Specification - Section 5: Measuring methods for environmental characteristics.
- 794-1. Optical fibres cables. Part 1: Generic Specification.
- 794-2. Optical fibres cables. Part 2: Product Specification.
- 794-3. Optical fibres cables. Part 3: Telecommunications cables.
- IEC 61232 Aluminium-clad steel wires for electrical purposes.
- 888. Zinc coated steel wires for stranded cables.

- 889. Hard-drawn aluminum wire for overhead electrical standard cables.
- 1089. Round wire concentric lay overhead electrical standard cables.
- 1232. Aluminium-clad steel wire for electrical purposes.
- 1395. Creep test procedures for stranded cables.
- IEEE:
 - Std 1138 1994. Standard Construction of Composite Fiber Optic Overhead Ground Wire (OPGW) for Use on Electric Utility Power Lines.
 - Paper No. 3 1TP65-156: Standardization of cable vibration measurements
- EIE/TIA:
 - 598. Color coding of fiber optic cables.
 - 455-B. Standard Test Procedure for Fiber Optic, Cables, Transducers, Sensor, Connecting and Terminating Devices and other Fiber Optic Components
- ITU-T:
 - G.650. Definición y métodos de prueba para los parámetros relevantes de fibras monomodo.

- G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre cable.
- G. 653. Características de corrimiento-dispersión del cable de fibra óptica monomodo.
- G. 654. Características de pérdidas minimizadas para una longitud de onda de 1550nm en un cable de fibra óptica monomodo.
- G. 655. Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula NZD.
- G. 663. Aplicación de aspectos relacionados con equipos amplificadores de fibra óptica y subsistemas.
- NBR:
 - 14586. Cabos pára-raios com fibras ópticas para linhas aéreasde transmissão (OPGW)-Determinação dos efeitos da descarga atmosférica-Método de ensaio.
 - 7096. Ferragem eletrotecnicas para linhas de transmissao esubestacoes de alta e extra alta tensao.
- MIL:
 - STD 105. Sampling procedures and tables for inspection by attributes". (EPR, 2005, p. 45)

7.5. Requerimiento de fibras para cada país de Centro América

Para la determinación del número de fibras en cada país se realiza una serie de investigaciones para encontrar la necesidad de cada país:

7.5.1. Detalle de cable para Guatemala

Para Guatemala se establece, según el Instituto Nacional de Electrificación, que la instalación de OPGW será de 36 fibras en circuitos desde 138 KV hasta 230 KV, y se podría realizar desvíos en rutas según sea necesario o requerido. Las estructuras pueden ser reemplazadas como plan de mantenimiento para mejoras en las líneas.

Figura 5. Desvío de línea como plan de mantenimiento para instalación de OPGW



Fuente: Cisma, S.A. (2017). *Proyecto OPGW en Guatemala*.

7.5.2. Detalle de cable para El Salvador

Cisma S. A. (2017) menciona que El Salvador establece, según ETESAL, que el número de fibras para la nación será de 48 fibras en voltajes desde 138 KV hasta 230 KV. La información es recopilada por medio de Cisma, S.A., siendo esta la empresa encargada de una parte del mantenimiento de las líneas y de la sustitución del hilo de guarda.

Figura 6. **Reemplazo de línea a OPGW entre San Miguel y Morazán, El Salvador**



Fuente: Cisma, S.A. (2017). *Proyecto OPGW en Guatemala.*

7.5.3. Detalle de cable para Honduras

La selección de fibras para Honduras será de un total de 36 fibras según información de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (2017). Estas fibras serán instaladas por medio de una serie de parámetros y normas que se presentarán a continuación se resumen:

- Deberán soportar tensiones de rotura
- Tendrán un recubrimiento de aluminio
- El diámetro deberá ser de 13 mm
- El peso debe ser de 390Kg por Km
- La resistencia debe ser 0.475 ohms/Km
- La fuerza de jalado será de 7KN
- El radio de curvatura será de 189 mm
- Deben ser agrupadas en 2 grupos de 12 fibras
- El cable debe contar con normas de IEEE 1138

7.5.4. Detalle de cable para Nicaragua

Las especificaciones del cable se detallan en el párrafo siguiente: construcción de 1.5 kilómetros de línea de transmisión en 138 kV, doble circuito, con conductor Dove ACSR 556.6 kcmil e hilo de guarda tipo OPGW de 48 fibras. (ENATREL, 2016).

7.5.5. Detalle de cable para Costa Rica

Según el Instituto Costarricense de Electricidad (2015), el capítulo 1.7:

- Sitios para la colocación de equipos de tendido (que cumplan con los requisitos que indique el método de tendido).
- Caminos de acceso.
- Pesos de equipos y materiales adecuados para su transporte y ubicación en los sitios de tendido.

- Los sitios definidos deberán ser de fácil y rápido acceso para realizar los empalmes y los futuros mantenimientos.

El núcleo óptico deberá poseer un mínimo de 24 hilos de fibra óptica en cumplimiento con las recomendaciones ITU G.652.D y coloreados de acuerdo a la norma TIA/EIA-598. (Instituto Costarricense de Electricidad, 2015).

7.5.6. Detalle de cable para Panamá

Los datos que se presentarán a continuación son los requerimientos mínimos para validar la OPGW en Panamá, según ETESA (2015):

7.6. Requisitos eléctricos

Los hilos conductores de corriente colocados sobre el núcleo óptico deberán ser de acero revestido de aluminio y responder a las especificaciones aplicables de la ASTM. Las fibras ópticas deberán ser capaces de soportar la elevación de temperatura y corrientes eléctricas, sin afectar su desempeño de comunicación.

7.7. Requisitos mecánicos

El cable OPGW deberá responder a la prueba descrita en esta especificación técnica sin que haya evidencia de daños físicos al cable o a sus componentes, y sin degradación o modificaciones permanentes en el desempeño de transmisión de las fibras ópticas.

7.8. Requisitos ambientales

Las fibras ópticas deberán mantener su integridad mecánica y óptica cuando sean expuestas a los siguientes extremos de temperatura:

-10°C a + 85°C.

7.9. Características nominales

La empresa ETESA de Panamá, describirá las características del cable OPGW de la siguiente forma.

7.9.1. Características y dimensiones

- Designación OPGW
- Diámetro externo (mm) 11.9 - 12.7
- Peso total (Kg/Km) 400-515

7.9.2. Características mecánicas del cable

- Carga nominal de ruptura del cable ≥ 7300 kgf

7.9.3. Características eléctricas del cable

- Resistencia eléctrica C.C a 20°C $\leq 0,80$ ohm/km 0,80
- Capacidad de corriente de
- Cortocircuito (40 °C a 180 °C) ≥ 30 kA²-s
- Temperatura máxima del conductor 180 °C

7.9.4. Características de unidad central

- Número de fibras ópticas 24
- Material
- Espaciador central con surco helicoidal opcional Aleación de aluminio
- Tubo: acero inoxidable revestido de aluminio

Tabla V. Características de la fibra óptica

Nº de fibras ópticas	24
Tipo de fibra óptica	Monomodo
Atenuación máxima ^(*1)	
A 1550 nm	≤ 0,23dB/km
A 1625 nm	≤ 0,25 dB/km
Diá. del revestimiento	125 μm ± 2 μm
Diá. del recubrimiento primario	250 μm
Diá. del revestimiento secundario 500	500 μm-900 μm
Perfil de índice de refracción	<i>Matched-cladding</i>
Diámetro modal A 1 550 nm	9,0±0,50 μm
Error de concentricidad de recubrimiento/ revestimiento	≤ 12,0 μm
Error de concentricidad de núcleo/ revestimiento	≤ 0,60 μm
Error de revestimiento de no circularidad	< 1%
Dispersión de modo de polarización	< 0,2 ps/km
Dispersión cromática	
3ª Ventana 1 528 nm a 1 561 nm	2,0 a 6,0 ps/(nm ² .km)
4ª Ventana 1 561 nm a 1 620 nm	4,5 a 11,0 ps/(nm ² km)
Longitud de onda de corte (<i>Cut off wavelength</i>)	≤1260nm “

Fuente: elaboración propia.

7.9.5. Inspecciones antes de montaje OPGW

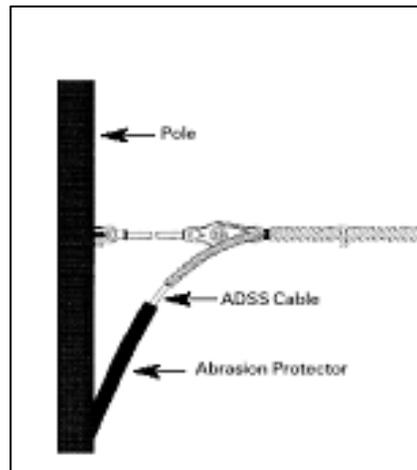
Las series de actividades que se podrán realizar para el montaje de la OPGW serán realizadas de la misma forma que se realiza al momento del montaje de un hilo de guarda convencional, por tal motivo no se expondrá mayor detalle en esta sección.

7.9.5.1. Detalle de inspecciones al momento de instalación de las líneas de transmisión

La parte de supervisión del contratista, así como del dueño de la red, será importante en la construcción de la línea, ya que de estas supervisiones dependerá la fiabilidad del sistema y la garantía a los usuarios para no incurrir en fallas que provoquen daños adicionales en el sistema.

La figura 7 muestra la forma de sujeción del cable a la torre para mejor comprensión en la lectura.

Figura 7. **Sujeción de cable de guarda a torre de transmisión**



Fuente: Dulmison. (s/f). *Tyco Electronics*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Cálculo de la catenaria en el hilo de guarda

1.1.1. Definición de hilo de guarda

1.1.2. Concepto de vano y flecha

1.1.3. Planteamiento de la ecuación de la flecha

1.1.4. Comprobación en campo de la catenaria o flecha

1.1.5. Determinación de la flecha de los conductores de guarda

1.1.6. Normativa aplicada

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9. METODOLOGÍA

9.1. Enfoque

La siguiente investigación tiene un enfoque mixto, debido a lo siguiente: es cuantitativo por la medición de variables para el control de proceso de instalación de cable, análisis del estado físico de la infraestructura por medio de parámetros recopilados durante la instalación y evaluación del comportamiento del proceso y sus desviaciones. Es cualitativo por la revisión documental de los antecedentes del problema y el marco teórico relacionado. Así mismo, es transversal por el inicio y fin del proyecto relacionado al tiempo.

9.2. Diseño de la investigación

La investigación es no experimental, debido a la no utilización de ensayos de laboratorio para la comprobación y determinación de resultados durante el proyecto. Los datos se obtienen mediante instrumentos de medición y criterios de supervisión, para cumplir con el objetivo de realizar una observación y análisis de los datos, que determinarán los puntos de mejora y las áreas de trabajo.

9.3. Tipo de estudio

La investigación se define como tipo descriptivo, de forma que se permitirá ordenar los resultados, características, factores y procedimientos del proyecto. El trabajo de investigación describirá las propiedades de las líneas de transmisión eléctrica en campo y las características de los componentes que

forman dicha línea, para realizar un análisis de las desviaciones, respecto a la línea base del proyecto.

9.4. Alcance

El alcance de la investigación es descriptivo, porque busca especificar las propiedades de la instalación de cable con fibra óptica en alta tensión, por medio de la recolección de datos. Además de la información de la instalación, contará con la información de reportes diarios del estado físico de la infraestructura, para analizarlos y compararlos con la parte ideal del sistema.

9.5. Variables e indicadores

Con base en el análisis de los objetivos, se plantean en la tabla VI las variables e indicadores que serán de ayuda para la tabulación de resultados.

Tabla VI. Variables e indicadores

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica	Plan de tabulación
Diseñar un plan de control y seguimiento del mantenimiento de las líneas de transmisión para centro américa, utilizando la metodología de instalación de fibra óptica en el complemento de cambio de hilos.	Metodología de la instalación de fibra óptica.	Dependiente Cualitativa Nominal	Índice de la metodología de la instalación de fibra óptica		
Identificar los parámetros de la infraestructura que se encuentran en mal estado de las líneas de transmisión.	Parámetros de la infraestructura	Independiente Cualitativa Nominal	Índice de reportes de los parámetros de la infraestructura	Entrevista	Los resultados serán tabulados en una matriz de análisis
Determinar los factores críticos para la instalación de la fibra óptica de los hilos de guarda en las líneas de transmisión eléctrica	Factores críticos en la instalación de fibra óptica	Independiente Cualitativa Nominal	Índice de los factores críticos en las instalación de fibra óptica	Entrevista	Los resultados serán tabulados en una matriz de análisis
Evaluar los beneficios de la aplicación de un plan de mantenimiento en el cambio de hilos de guarda.	Beneficios del mantenimiento en el cambio de hilo de guarda	Independiente Cualitativa Nominal	Índice de beneficios del mantenimiento en el cambio de hilo de guarda	Entrevista	Los resultados serán tabulados en una matriz de análisis

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases de la investigación

El presente trabajo tendrá distintas fases con el fin de obtener resultados y parámetros medibles. Las fases están divididas de la siguiente forma:

9.6.1. Fase 1

Revisión de documentos para tener la capacidad de comprender y diagnosticar el estado de las líneas de transmisión, así como los distintos conceptos de flechas y vanos para dar un aporte positivo en el manejo de las máquinas frenadoras y jaladoras. (Duración: 5 semanas).

9.6.2. Fase 2

Se procederá a la recopilación de información a través de entrevistas a personal de campo involucrado en la instalación de fibra óptica por medio de la sustitución del hilo de guarda convencional y la revisión del estado de la infraestructura. (Duración: 10 semanas).

9.6.3. Fase 3

Análisis de cada uno de los datos recopilados, durante el proceso de sustitución del hilo de guarda y los riesgos que se den al momento de realizar los cambios con líneas energizadas, tomando en cuenta la topografía para las estructuras y el fácil ingreso para los mantenimientos. (Duración: 5 semanas).

9.6.4. Fase 4

Define la metodología de elaboración del manual práctico para la correcta instalación, sustitución y mantenimiento del hilo de guarda por OPGW. (Duración: 8 semanas).

9.7. Resultados esperados

Para establecer el resultado se definirá la base teórica como punto de partida para el desarrollo de la investigación. Así también se espera concertar los procesos de instalación que serán vitales para la realización de los reportes, los cuales son la parte de la retroalimentación para la toma de decisiones en el mantenimiento. Se espera tener la información de los reportes para que puedan entrar en el análisis y obtener las deficiencias para presentar un plan de corrección. Finalmente se realizará el reporte final, de acuerdo a normas y

reglamentos por parte de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

9.8. Población y muestra

Para el plan de muestreo se utilizará el plan de marco muestral, debido a que es una lista bastante amplia de líneas de transmisión donde se involucran torres o postes para las líneas instaladas. La revisión será de forma individual para cada estructura de líneas, como lo indica el concepto de marco muestral, ya que no se podrá tener riesgos en tomar una torre o poste al azar, sabiendo que todas las estructuras son esenciales para hacer que funcione la transmisión eléctrica y transmisión de datos. Las revisiones de las torres al momento de realizar la sustitución del hilo de guarda serán de forma física y serán informadas al cliente, proponiendo una recomendación de acuerdo al estado físico de la estructura, para que posteriormente el cliente o dueño de la línea proceda con el mantenimiento o corrección de la línea, con el fin de tener todo en óptimas condiciones para el uso de la OPGW.

Tabla VII. **Para la población se tomó una longitud de 310 kilómetros de cable OPGW instalados**

Tipo de indicador	Servicios	¿Qué mide?
Tamaño de muestra conociendo la población	Longitud de las líneas de transmisión eléctrica	La muestra necesaria para realizar el análisis de la infraestructura de las líneas eléctricas

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

$$n = \frac{310 \times 1.96 \times 1.96 \times 0.05 \times 0.95}{(0.05 \times 0.05 \times (310 - 1)) + (1.96 \times 1.96 \times 0.05 \times 0.95)} = 59.23$$

Fuente: elaboración propia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis se aplicará por medio de estadística descriptiva. Este tipo de estadística indica que se debe contar con muestras para realizar análisis y conclusiones. Para fines de este trabajo de investigación las muestras como flechas obtenidas en campo o estado físico de un poste de línea, etc., serán recopiladas en campo y sometidas a análisis para posteriormente tomar decisiones para la planificación del montaje y mantenimiento de las líneas.

Se tomarán las técnicas de estadística descriptiva para la recolección de la información, una de las técnicas será la entrevista a los supervisores de campo (anexo I), que servirá para obtener la información del estado físico de las estructuras, así mismo será utilizada la observación directa de los procesos, que será útil para entender la explicación del supervisor de campo.

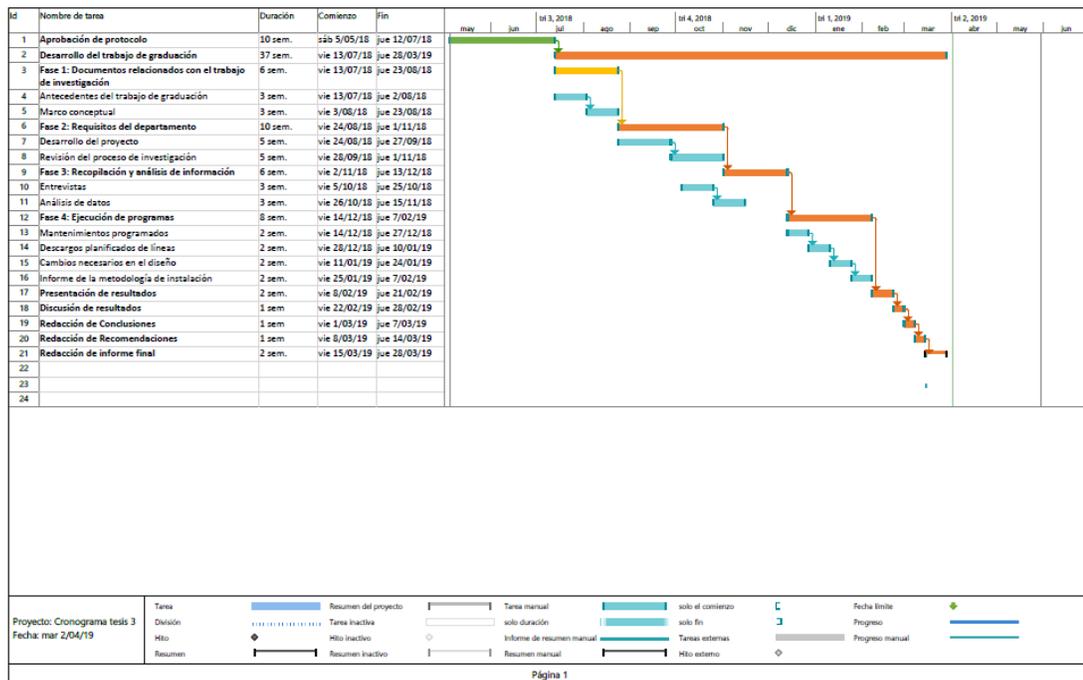
Serán utilizadas las tablas de Microsoft Excel (anexo II), que tendrán como aporte poder recolectar la información proveniente de la visualización directa, y ayudar al análisis del estado físico de la infraestructura, por medio de la comparación de datos en buen estado y la información vista en campo.

Para una mejor visualización del estado físico de la infraestructura se utilizarán gráficas de barra de la herramienta Microsoft Excel (anexo III), estos gráficos indicarán el comportamiento de la cantidad de torres o postes que están en mal estado, versus el avance de kilómetros de instalación de fibra óptica. Es decir, cuántos postes (torres o cable de fases) son considerados en mal estado por cierta cantidad de kilómetros instalados.

Es fundamental el reconocimiento de los aportes de la información, por parte de los supervisores de campo, técnicos instaladores y jefes de procesos, que son quienes validan la información recolectada y ayudan a que el proceso de la sustitución de fibra óptica y proceso de mantenimiento sean exitosos.

11. CRONOGRAMA

Figura 8. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se menciona los siguientes recursos:

12.1. Recursos físicos

Se tendrá acceso al montaje de la sustitución de los hilos de guarda en cualquier línea desde 138KV hasta 230 KV, no importando si es línea doble o sencilla, los accesos a las subestaciones serán tramitados por la empresa de montaje.

12.2. Recursos humanos

Las asesorías serán realizadas por medio del ingeniero residente del proyecto, supervisores de campo y el ingeniero a cargo de la revisión de tesis.

12.3. Recursos financieros

El principal inversionista para el desarrollo del proyecto será el organismo gubernamental, por medio de la empresa de electrificación nacional en cada país, que es la encargada de la fiabilidad y estabilidad de la red eléctrica. Para el contratista será de suma importancia la rapidez con la que avance el proyecto, debido a que todo trabajo será pagado por medio de estimaciones presentadas donde se especifique el número de kilómetros construidos.

El financiamiento será mixto y existirá aporte del investigador y aporte de la empresa, quedando de la siguiente forma:

Tabla VIII. **Costos y factibilidad**

Ítem	Recurso	Descripción del gasto	Financiamiento	Costo Unitario	Porcentaje
1	Humano	Inversión del tiempo del investigador	Investigador	Q 11,000.00	37%
2	Humano	Asesor de investigación	Investigador	Q 2,500.00	8%
3	Material	Papelería y útiles	Investigador	Q 2,500.00	8%
4	Transporte	Depreciación de vehículo, combustible y pasajes de bus.	Empresa	Q 6,000.00	20%
5	Viáticos	Alimentación y hotelería	Empresa	Q 4,000.00	13%
6	Tecnológico	Internet	Investigador	Q 1,500.00	5%
7	Comunicación	Telefonía	Investigador	Q 1,500.00	5%
8	Varios	Imprevisto	Investigador	Q 1,000.00	3%
	Total			Q 30,000.00	100%

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bellof, A. (2004). *Definición de los aspectos básicos del diseño de la línea de transmisión SIEPAC*. USA: AB Transmission -Consult
2. Castellanos, M. (2012). *Desarrollo para procedimientos para maniobras de mantenimiento en vivo en líneas de transmisión en 230KV en ETCEE-INDE*. Guatemala.
3. Cisma, S.A. (2017). *Proyecto OPGW en Guatemala*.
6. Dulmison. (s/f). *Tyco Electronis*. Dulmison, 15.
7. Empresa Nacional de Energía Eléctrica. (2017). *Adquisición de fibra óptica y equipo de comunicaciones para mantenimiento del SIN*. Honduras.
8. Empresa Propietaria de la Red, S.A. (2004). *III Reunión del grupo de trabajo de telecomunicaciones*. San José de Costa Rica.
9. ENATREL. (2016). *Plan de expansión de transmisión. Período 2016-2029*. Nicaragua.
10. Energía Eólica. (s/f). *Energía Eólica Uruguay*. Recuperado de: <http://www.energiaeolica.gub.uy/uploads/leasing%20operativo/21K44875C10A.pdf>.

11. Enersis. (2011). *Especificación técnica, c. d.-M.-0.*
12. EPR. (Mayo de 2005). *EPR/CCL-01-L. Sección VI: especificaciones técnicas.*
13. ETESA. (2015). *Especificaciones técnicas para el suministro de hilo de guarda compuesto por fibra óptica OPGW.* Panamá.
14. Garrido, S. (2009-2012). *Ingeniería del mantenimiento.* Renovetec.
15. Grupo ICE. (s/f). *Manual de construcción de líneas de transmisión.* Recuperado de: https://appcenter.grupoice.com/PEL/docsAdq/LPU2015_0003ANE-05.pdf.
16. IEEE. (2009). *IEEE standard for testing and performance for optical ground wire for use on electrical utility power lines.* IEEE 1138. New York, USA.
17. Instituto Costarricense de Electricidad. (2015). *Manual para el diseño de líneas de transmisión con voltaje igual o superior a 138KV en Costa Rica.* San José de Costa Rica.
18. Muñoz, B. (2003). *Mantenimiento industrial.* Leganés.
19. Sector Electricidad. (2015). *Apantallamiento de líneas de transmisión con cable de guarda.* Recuperado de: <http://www.sectorelectricidad.com/12673/proteccion-ofrecida-por-dos-cables-de-tierra/>.

19. Sanzol, L. (2010). *Implantación del plan de mantenimiento TPM en planta de cogeneración*. (Tesis de maestría). Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra.
21. Villeda, J. (2013). *Aplicación de programa Dilate en el diseño de líneas de transmisión de energía eléctrica*. Guatemala.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Entrevista

Guía de cuestionamientos

- Según el proceso de instalación de fibra óptica, ¿cuáles son los puntos críticos a cuidar para no causar daño al cable instalado?
- ¿Tiene conocimientos sobre las libranzas que se utilizan para realizar trabajos con líneas energizadas?
- Según su experiencia, ¿qué variables físicas son importantes para determinar que una estructura se encuentra en mal estado físico?
- ¿Podría indicar qué tipo de tratamiento o ensayo no destructivo se puede aplicar a las estructuras para demostrar su mal estado y realizar una pronta reparación?
- De acuerdo a sus respuestas anteriores, ¿cree que son suficiente las protecciones utilizadas para trabajos energizados? Si su respuesta fuera NO, según su experiencia, ¿puede indicar qué mejoras le realizaría a las protecciones?
- ¿Qué ventajas tendría si se implementa un manual de instalación, donde se detallen todos los problemas que se deben tomar en cuenta para la instalación de fibra óptica en las líneas eléctricas de alta tensión?

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Variables sensoriales

- Variables físicas para la calidad de la estructura

Punto de muestreo: _____ Fecha: _____

Parámetro	Cumple/No cumple	Observación
Voltaje de la línea		
Número de hilos por fase		
Calibre del cable de fases		
Calibre del cable de guarda		
Tipo de estructura		
Altura de la estructura		
Estado de las cadenas		
Número de cadenas		
Descripción de los herrajes		
Ubicación de la torre		
Propietario del terreno donde se ubica la estructura		
Estado de los hilos de fase		
Estado de los hilos de guarda		

Observaciones: _____

Fuente: elaboración propia.

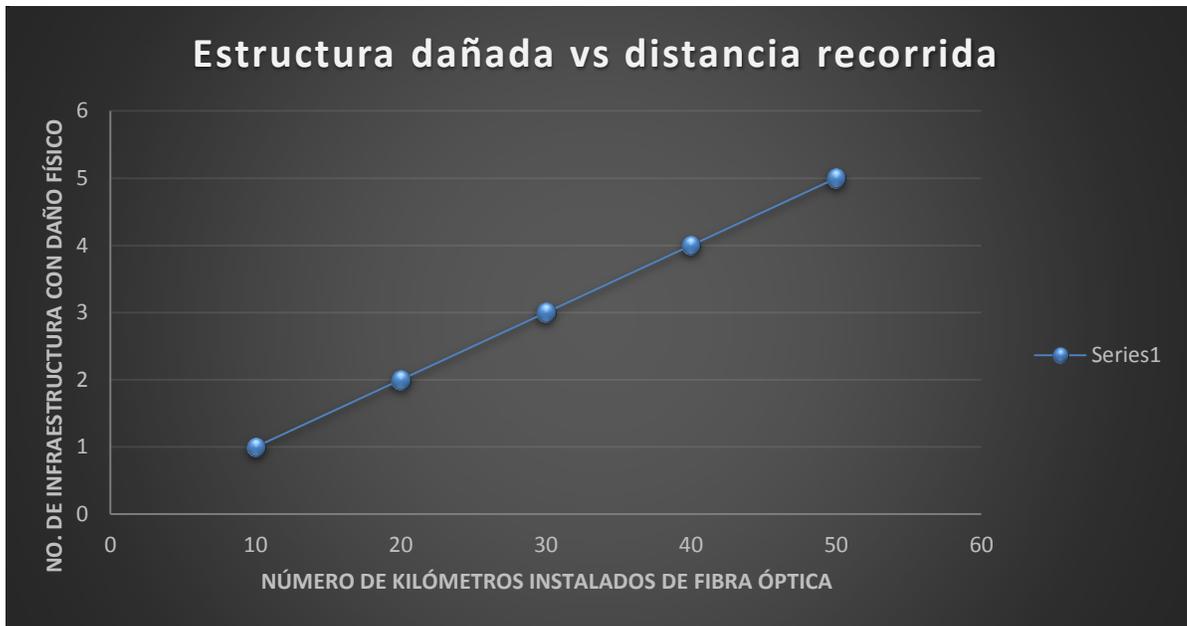
Apéndice 3. Análisis cuantitativo

- Comportamiento de estructuras dañadas por kilómetro recorrido

Distancia (Km)	Núm. de infraestructura con daño	Tipo de infraestructura
10	1	
20	2	
30	3	
40	4	
50	5	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Con fines ilustrativos se asignan números de infraestructura con daño para representación de la gráfica



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Antiplagio

La imagen muestra la interfaz de usuario de un software de antiplagio. En la parte superior, hay un botón 'Analizar' y una barra de búsqueda con el texto 'Buscar documento'. Debajo, se muestra un documento analizado con el nombre '2005-12211.pdf', un resumen de su contenido ('1/31 2. ANTECEDENTES Los antecedentes que relacionan el tema de instalación de cable con fibra óptica y los proces'), el número de palabras (6421) y la fecha de análisis (10/04/2019 20:17). El nivel de plagio se indica como '1.9%' con un botón 'Informe'. En la parte inferior, se muestra el 'Nivel de Plagio' con una barra de progreso que indica rangos de 0-1%, 1-5% y 5-100%. También hay un consejo de uso y botones para 'Mostrar ayuda', 'Invitar' y 'Contacto'.

Fuente: elaboración propia.

