



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

**PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE  
MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA  
CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
DEL INDE**

**Pablo Josué Orellana Rivas**

Asesorado por el Ing. Rodolfo Ernesto Rodríguez Rodríguez

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE  
MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA  
CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
DEL INDE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**PABLO JOSUÉ ORELLANA RIVAS**

ASESORADO POR EL ING. RODOLFO ERNESTO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
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:

**PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE  
MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA  
CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
DEL INDE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de 1 de febrero de 2018.

  
**Pablo Josué Orellana Rivas**

Guatemala, 03 de mayo de 2018

Ingeniero Saúl Cabezas Durán  
Coordinador de área, Potencia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC

Ingeniero Cabezas.

Atentamente me permito comunicarle, que he tenido a la vista el informe final del trabajo de graduación del estudiante **Pablo Josué Orellana Rivas**, quien se identifica con número de carné **201213097**, titulado **“PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE”**, y después de hacer las revisiones y correcciones correspondientes, lo he encontrado satisfactorio, ya que este cumple con los objetivos planteados y se ajusta al contenido indicado y autorizado según protocolo, procediendo por este medio a su aprobación final.

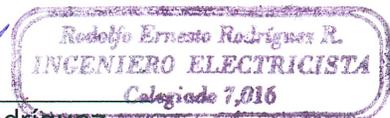
Por lo tanto, extendiendo la presente, solicitándole darle el trámite respectivo.

**Atentamente,**

  
Ing. Rodolfo Ernesto Rodríguez Rodríguez

Colegiado No. 7016

ASESOR





REF. EIME 57. 2018.  
6 DE AGOSTO 2018.

Señor Director  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE,** del estudiante; Pablo Josué Orellana Rivas, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑADA A TODOS**

M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 4648

Ing. Saul Cabezas Durán  
Coordinador de Potencia





REF. EIME 57. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: PABLO JOSUÉ ORELLANA RIVAS titulado: PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 13 DE AGOSTO 2018.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

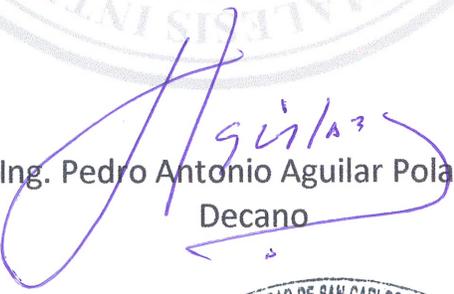


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 339.2018

El Decano 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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE LA INTEGRACIÓN DE DRONES, COMO RECURSO EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA CENTRAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Josué Orellana Rivas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, septiembre de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la fuente de nuestro raciocinio y a quien debemos todos nuestros triunfos.
<b>Mis padres</b>	Por su cariño, por haberme impulsado a alcanzar la excelencia y haber puesto en disponibilidad los medios para concluir esta etapa.
<b>Mi novia</b>	María Andree Muñoz, por su constante apoyo, cariño y haber permanecido a mi lado durante el transcurso de la carrera.
<b>Mis compañeros de la Universidad</b>	Jorge Gutiérrez, Charlie Aguirre, Raúl Franco y Sergio Herrera; por haber estado allí.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de  
San Carlos de  
Guatemala**

Por haber sido mi casa de estudios

**Escuela de Ingeniería  
Mecánica Eléctrica**

Al director Ing. Otto Andrino y al coordinador de área Ing. Saúl Cabezas por el tiempo prestado en la aprobación de este trabajo de graduación.

**Mi asesor**

Ing. Rodolfo Ernesto Rodríguez, Por su apoyo, disponibilidad y buena voluntad de compartir su conocimiento con mi persona.

**Sección de Líneas de  
Transmisión del Sistema  
Central de la Empresa de  
Transporte y Control de  
Energía Eléctrica del INDE**

Por ser el lugar donde he laborado por dos años y a sus integrantes Ing. Mario Castellanos, Daniel Calderón, Pablo de la Cruz y Noé Salguero.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XIX
OBJETIVOS .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	1
1.1. Mantenimiento .....	1
1.1.1. Tipos de mantenimiento .....	1
1.1.1.1. Correctivo .....	2
1.1.1.2. Preventivo .....	4
1.1.1.3. Predictivo .....	7
1.2. Drones .....	10
1.2.1. Definición .....	10
1.2.2. Clasificación .....	11
1.2.2.1. Aeróstatos .....	11
1.2.2.2. Aeronaves de ala fija .....	11
1.2.2.3. Helicóptero .....	12
1.2.2.4. Multicóptero .....	13
1.2.2.5. Aeronave de rotor basculante ( <i>tiltrotor</i> ) ..	13
1.2.3. Eligiendo un dron .....	14
1.2.3.1. Autonomía de vuelo .....	14
1.2.3.2. Rango de transmisión .....	15
1.2.3.3. Estabilización .....	15

	1.2.3.4.	Cámara .....	15	
	1.2.3.5.	Sensores externos.....	17	
	1.2.3.6.	Grado de protección (IP) .....	22	
	1.2.3.7.	Accesibilidad al software .....	23	
1.3.		Líneas de transmisión .....	24	
	1.3.1.	Definición .....	24	
	1.3.2.	Clasificación de las Líneas de Transmisión .....	27	
		1.3.2.1.	Clase de tensión .....	27
		1.3.2.2.	Longitud .....	28
		1.3.2.3.	Nivel de tensión .....	29
	1.3.3.	Fallas en líneas.....	29	
		1.3.3.1.	Falla monofásica.....	30
		1.3.3.2.	Falla monofásica a tierra .....	30
		1.3.3.3.	Falla bifásica.....	31
		1.3.3.4.	Falla bifásica a tierra .....	31
		1.3.3.5.	Falla trifásica.....	32
2.		ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	33	
	2.1.	Breve historia .....	33	
	2.2.	Misión .....	34	
	2.3.	Visión.....	34	
	2.4.	Establecimiento de valores .....	34	
	2.5.	Objetivos estratégicos .....	34	
	2.6.	Objetivos operativos.....	35	
	2.7.	Ubicación.....	36	
	2.8.	Organigrama.....	37	
		2.8.1.	Gerencia .....	38
		2.8.2.	Subgerencia técnica .....	40
		2.8.3.	División de planeación e ingeniería.....	41

2.8.4.	División administrativa financiera .....	42
2.8.5.	Superintendencia de operaciones .....	43
2.8.5.1.	División de programación y control .....	44
2.8.5.2.	Sistema occidental.....	45
2.8.5.3.	Sistema oriental .....	47
2.8.5.4.	Sistema central .....	48
3.	MARCO SITUACIONAL .....	51
3.1.	Sección Líneas de Transmisión, Sistema Central .....	51
3.1.1.	Estructura organizacional .....	52
3.1.1.1.	Descripción de puestos clave .....	53
3.1.2.	Líneas de Transmisión del Sistema Central.....	55
3.1.3.	Plan de mantenimiento actual .....	64
3.1.3.1.	Mantenimiento correctivo.....	65
3.1.3.1.1.	Revisión pedestre .....	65
3.1.3.1.2.	Revisión aérea .....	65
3.1.3.1.3.	Reparación emergente.....	65
3.1.3.2.	Mantenimiento predictivo.....	66
3.1.3.2.1.	Termografía.....	66
3.1.3.2.2.	Medición de PAT .....	69
3.1.3.2.3.	Inspecciones .....	70
3.1.3.3.	Mantenimiento preventivo.....	83
3.1.3.3.1.	Mantenimiento de brecha .	83
3.1.3.3.2.	Limpieza de aislamiento....	84
3.1.3.3.3.	Cambio de aislamiento.....	85
3.1.3.4.	Plan operativo anual .....	86
4.	GUÍA DE SEGURIDAD EN INSPECCIONES AÉREAS .....	87
4.1.	Regulaciones para la operación de drones.....	88

4.1.1.	Regulaciones internacionales.....	88
4.1.1.1.	México.....	88
4.1.1.2.	República de El Salvador .....	89
4.1.1.3.	Honduras .....	91
4.1.2.	Regulaciones nacionales.....	91
4.1.3.	Comparación de regulaciones.....	92
4.2.	Condiciones de vuelo .....	96
4.2.1.	Consideraciones ambientales .....	96
4.2.2.	Consideraciones situacionales.....	98
5.	PROPUESTA DE ACCIÓN .....	109
5.1.	Preparación Inicial.....	109
5.1.1.	Identificación de los elementos .....	110
5.1.2.	Determinación de la técnica de medida .....	110
5.1.2.1.	Sugerencias de equipo.....	111
5.1.2.1.1.	DJI Matrice serie 210 .....	111
5.1.2.1.2.	DJI Inspire 1 .....	114
5.1.2.1.3.	AEROHYBRIX.....	115
5.1.3.	Estructuración de la base de datos .....	116
5.1.3.1.	Perfil del personal.....	117
5.1.3.2.	Frecuencia de chequeo .....	118
5.1.3.3.	Delimitación de alarmas .....	118
5.1.4.	Evaluación financiera .....	121
5.1.4.1.	Cálculo según valor actual neto .....	126
5.1.4.1.	Cálculo según CAUE .....	130
5.1.4.2.	Cálculo según rendimiento .....	131
5.1.4.2.1.	Comparación de costos ..	132
5.2.	Implementación .....	134
5.2.1.	Pruebas en campo.....	134

5.2.2. Validación de datos .....	142
CONCLUSIONES .....	145
RECOMENDACIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	149
APÉNDICES .....	153
ANEXOS .....	163



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de tipos de mantenimiento .....	2
2.	Esquema de decisión del mantenimiento correctivo .....	4
3.	Esquema de tipos de mantenimiento .....	6
4.	Curva PF .....	8
5.	Esquema de decisión sobre mantenimiento.....	9
6.	Imagen de aeronave tipo zepelín .....	11
7.	Fotografía de aeronave de ala fija.....	12
8.	Fotografía de aeronave no tripulada tipo helicóptero.....	12
9.	Imagen de aeronave no tripulada tipo multicóptero .....	13
10.	Imagen de aeronave no tripulada tipo tiltrotor .....	14
11.	Modelos de cámaras compatibles con dron DJI Inspire 2.....	16
12.	Ejemplo de dron portando cámara profesional .....	17
13.	Representación de espectro electromagnético .....	18
14.	Ejemplos de sensores multiespectrales .....	20
15.	Referencia de cámara termográfica para dron.....	21
16.	Extracto de interpretación de código IP .....	22
17.	Ejemplo de dron con grado de protección IP67 .....	23
18.	Representación de una línea de transmisión .....	24
19.	Fotografía de poste de concreto.....	25
20.	Fotografía de estructura de celosía.....	26
21.	Esquema de falla monofásica, pérdida de fase (R) .....	30
22.	Esquema de falla monofásica, entre fase (T) y tierra (G) .....	30
23.	Esquema de falla bifásica, entre fase (S) y (T) .....	31

24.	Esquema de falla bifásica, entre fase (S), (T) y tierra (G).....	31
25.	Esquema de falla trifásica .....	32
26.	Vista local de sede de ETCEE – INDE .....	36
27.	Georreferenciación de sede de ETCEE – INDE .....	37
28.	Organigrama general de –ETCEE- .....	38
29.	Georreferenciación de oficinas de líneas de transmisión .....	51
30.	Organigrama de La Sección .....	52
31.	Termograma de elemento de morsetería en estructura.....	67
32.	Curva de demanda diaria horaria .....	68
33.	Discontinuidades por detectar en aislamiento de vidrio .....	71
34.	Discontinuidades por detectar en aislamiento de Polímero .....	72
35.	Diagrama de decisión para aislamiento de vidrio.....	73
36.	Discontinuidades por detectar en el conductor .....	74
37.	Diagrama de decisión para el conductor .....	74
38.	Discontinuidades por detectar en la estructura de poste .....	75
39.	Diagrama de decisión para angulares.....	76
40.	Ejemplo de angulares corroídos.....	76
41.	Ejemplo de angulares robados en una base.....	77
42.	Liniero efectuando recorte de ramas.....	84
43.	Liniero efectuando limpieza de aislamiento .....	85
44.	Liniero efectuando cambio de aislamiento .....	86
45.	Área de espacio aéreo controlado.....	99
46.	Esquema de transmisión óptima, libre de obstáculos.....	101
47.	Representación de campo magnético terrestre .....	102
48.	Fotografía de D-RTK de la marca DJI .....	103
49.	Fotografía de conductores de fase.....	104
50.	Isologotipo de aplicación Ground Station Pro .....	105
51.	Interfaz gráfica de aplicación GSP .....	106
52.	Jaula virtual dentro de GSP .....	107

53.	Dron Matrice 210 RTK inspeccionando estructura.....	112
54.	Dron Matrice 210 RTK inspeccionando aislamiento .....	112
55.	Dron Matrice 210 RTK inspeccionando aislamiento .....	113
56.	Dron Matrice 210 RTK con cámara .....	114
57.	Dron Inspire 1 con cámara .....	115
58.	Imagen de dron Aerohybrix .....	116
59.	Esquema de parametrización .....	118
60.	Gráfico del posible flujo de efectivo del proyecto .....	125
61.	Extracto de registro de vuelo del usuario 201213097 .....	135
62.	Vista de estructura de poste .....	136
63.	Vista de estructura de celosía .....	136
64.	Vista local de talud en riesgo.....	137
65.	Vista panorámica de talud en riesgo .....	138
66.	Vista de reparación efectuada a poste .....	139
67.	Vista de aislamiento en estructura .....	139
68.	Vista local de aislamiento .....	140
69.	Vista local de capitel .....	141
70.	Vista de vegetación alrededor de estructura .....	141

## TABLAS

I.	Zonas del espectro electromagnético .....	18
II.	Zonas del espectro visible.....	19
III.	Zonas de un sensor multi espectral común .....	20
IV.	Clasificación de ondas infrarrojas .....	21
V.	Bifurcaciones de línea Quixal – Guatemala Norte.....	56
VI.	Bifurcaciones de línea Aguacapa - Escuintla.....	57
VII.	Características de línea Escuintla – Guatemala Sur .....	57
VIII.	Bifurcaciones de línea Ahuachapán – Guatemala Este .....	58

IX.	Bifurcaciones de línea Escuintla – Los Brillantes .....	59
X.	Bifurcaciones de línea Guatemala Sur – Guatemala Norte.....	59
XI.	Bifurcaciones de línea Jurún Marinalá – Guatemala Sur .....	60
XII.	Bifurcaciones de línea Calderas – Palín II.....	61
XIII.	Características de línea Jurún Marinalá – Escuintla.....	61
XIV.	Características de línea Guatemala Sur – EEGSA 1 .....	62
XV.	Características de línea Guatemala Sur – EEGSA 2 y 3.....	62
XVI.	Bifurcaciones de línea Escuintla – Cocales.....	63
XVII.	Acciones sugeridas con base en la temperatura.....	67
XVIII.	Barrido de costos a frecuencia de 15 minutos.....	80
XIX.	Costo elaboración de informe .....	80
XX.	Frecuencia de revisiones en líneas de 230 kV .....	81
XXI.	Frecuencia de revisiones en líneas de 138 kV .....	82
XXII.	Frecuencia de revisiones en líneas de 69 kV .....	82
XXIII.	Comparación entre reglamentaciones .....	93
XXIV.	Referencias de velocidad del viento máximo.....	97
XXV.	Referencia de temperatura límite.....	98
XXVI.	Ejemplo de altitudes máximas .....	101
XXVII.	Proyección de egresos y ahorros del proyecto.....	124
XXVIII.	Decisiones con base en el VAN.....	126
XXIX.	Decisiones con base en el TIR. ....	127
XXX.	Movimiento de egresos al presente .....	128
XXXI.	Movimiento de ahorros al presente.....	128
XXXII.	Evaluación del VAN neto. ....	129
XXXIII.	Movimiento de egresos al presente, según TIR .....	130
XXXIV.	Línea de transmisión bajo propuesta .....	131
XXXV.	Costos de inspección con dron en líneas propuestas .....	131
XXXVI.	Proyección de tiempo para líneas propuestas.....	132
XXXVII.	Costos de inspección con helicóptero .....	132

XXXVIII.	Comparación de revisiones, costo total .....	133
XXXIX.	Comparación de revisiones, costo por kilómetro .....	133
XL.	Comparación de revisiones, costo por tramo revisado.....	133
XLI.	Resumen de vuelos efectuados por personal de líneas .....	142
XLII.	Estadística descriptiva del tiempo de vuelo .....	143
XLIII.	Estadística descriptiva de la cantidad de fotografías.....	144
XLIV.	Líneas de transmisión bajo propuesta. ....	156
XLV.	Costos distribuidos del dron.....	158
XLVI.	Costos distribuidos de mantenimiento al dron .....	159
XLVII.	Costos distribuidos de mantenimiento al vehículo.....	159
XLVIII.	Costo de revisión de línea con dron.....	160



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
C	Capacitancia
CO	Circular Obligatoria
F	Frecuencia
°C	Grados centígrados.
Hz	Hertz
Z	Impedancia
Km	Kilo metro
km/h	Kilo metro sobre hora
Kv	kilo Voltio
m	Metro
m/s	Metro sobre segundo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
µm	Micro metro
mm	Milí metro
NOTAM	Notas a los aviadores
Ft	Pies ( <i>feet</i> )
%	Porcentaje
RAC	Regulaciones de Aviación Civil
RC	<i>Remote Controller</i>
R	Resistencia
B	Susceptancia
V	Voltaje



## GLOSARIO

<b>Accidente</b>	Es toda colección de daños y roturas desencadenadas por un fallo.
<b>Aeronave</b>	Vehículo capaz de navegar por el aire.
<b>Aeródromo</b>	Terreno llano provisto de pistas y demás instalaciones necesarias para el despegue y aterrizaje de aviones, generalmente de carácter militar y más reducido que el aeropuerto.
<b>Aeropuerto</b>	Área destinada al aterrizaje y despegue de aviones dotada de instalaciones para el control del tráfico aéreo y de servicios a los pasajeros.
<b>CAUE</b>	Serie uniforme de pagos que involucra todos los ingresos y egresos.
<b>Chequeo</b>	Examen, control, cotejo.
<b>Daño</b>	Anomalía originada como consecuencia de un mal funcionamiento.
<b>Defecto</b>	Es una discontinuidad lo suficientemente importante como para determinar el rechazo de un producto o servicio.

<b>Discontinuidad</b>	Es una variación local de una propiedad física ante un ensayo.
<b>Fallo</b>	Daño que comprometió completamente el servicio de una pieza o conjunto de elementos.
<b>GPS</b>	Sistema que permite conocer la posición de un objeto gracias a la recepción de señales emitidas por una red de satélites.
<b>Imperfección</b>	Es una discontinuidad no lo suficientemente importante como para determinar el rechazo de un producto o servicio.
<b>Interpretar</b>	Proceso donde el observador mira y aprecia detalles que para él tendrá un significado.
<b>Línea bifilar</b>	Se le denomina Línea bifilar a una línea de transmisión en la cual el recorrido entre dos conductores paralelos es constante por medio de un material dieléctrico.
<b>Línea de Transmisión</b>	Conjunto de estructuras, de material especial, utilizada para dirigir la transmisión de la energía eléctrica en forma de ondas electromagnéticas.
<b>Mirar</b>	Acción de ver algo con atención e interés. Es el término correcto para emplear en inspección visual.

<b>Morsetería</b>	Conjunto de accesorios utilizados en la unión mecánica de los conductores con la estructura de soporte.
<b>Polímero</b>	Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
<b>Reconocer</b>	Acción de mirar algo y distinguir que aquello ya era conocido.
<b>Rotura</b>	Fallo catastrófico de un elemento.
<b>Talud</b>	Inclinación del paramento de un muro o de un terreno.
<b>Tasa interna de retorno</b>	Indicador financiero que representa la rentabilidad que ofrece una inversión.
<b>Termograma</b>	Nombre que se le da a la imagen térmica, obtenida con una cámara termográfica.
<b>Ver</b>	Capacidad de un ser de percibir imágenes. Es el término correcto por emplear en inspección visual.



## RESUMEN

La tecnología ha evolucionado para facilitar las tareas, disminuir tiempos y costos. En el presente trabajo de graduación se plantea una propuesta en la cual se utilizan los drones en el sector eléctrico.

El uso de nuevas tecnologías podría facilitar el conocimiento del estado de equipos instalados en las líneas de transmisión. Con estos nuevos instrumentos el profesional conocerá detalles del estado de los equipos, debido a que el dron brinda una visión más amplia con que la que brindaría una persona que observa desde los puntos de referencia que tiene disponibles para realizar la evaluación.

A lo largo de la investigación se darán a conocer las pautas y los aspectos importantes que deben tomarse en cuenta al seleccionar el dron, relacionado con el tipo de inspección que se desea realizar. En el mercado existe una gran variedad de aeronaves no tripuladas que tienen diferentes funciones, y que pueden operarse bajo diferentes condiciones de vuelo, las cuales serán especificadas por cada fabricante,

El reglamento para pilotear las aeronaves debe ser considerado por los operadores de estas, ya que cada país tiene normas para regular el uso dentro del espacio aéreo. Las condiciones reducen el riesgo al que se exponen las personas, bienes y otras aeronaves.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer el uso de drones como un recurso para realizar mantenimientos, de inspección visual, en una línea de transmisión de energía eléctrica.

### **Específicos**

1. Realizar una propuesta técnica de la aeronave no tripulada (dron) que pueda satisfacer las necesidades de una empresa transportista de energía eléctrica.
2. Proponer un plan de mantenimiento a la Sección de Líneas de Transmisión del Sistema Central, consistente en inspección aérea.
3. Determinar las medidas de seguridad necesarias para conservar la integridad del Dron durante la ejecución de mantenimientos.



## INTRODUCCIÓN

La idea de proponer la implementación del uso de un dron para el plan de mantenimiento en la Sección de Líneas de Transmisión surgió por la necesidad de complementar las inspecciones aéreas, realizadas por medio de helicópteros, para ampliar la cantidad de líneas revisadas de esta manera.

El uso de drones no propone sustituir el uso de helicópteros, sino ser una alternativa para inspecciones rutinarias o de emergencia que requieran actuar de manera inmediata y donde no se pueda esperar a que se concreten los trámites administrativos con la agencia que brinda servicios de transporte aéreo.

Para desarrollar dicha propuesta y con el objeto de entrar en contexto se definió en el primer capítulo, la base teórica para comprender qué es mantenimiento y que tipos de mantenimiento existen, qué es un dron y que propiedades son importantes al momento de seleccionar la aeronave adecuada y que es una línea de transmisión, cómo se clasifica y que fallas son las que suelen ocurrir.

En el capítulo dos se expone la información del ETCEE y su estructura organizacional para entrar en contexto. En el capítulo tres se estableció el punto de referencia para medir la efectividad de la propuesta al momento de la implementación, es necesario conocer los procesos actuales para marcar un antes y un después.

Para poner en marcha la propuesta es de vital importancia conocer el marco legal del país en el que se desee realizar la inspección, ya que estas aeronaves están regidas bajo un reglamento que instituye cada país con el objetivo de mantener la integridad de las personas, bienes y otras aeronaves que se encuentren en el espacio aéreo en el cual será realizada la inspección.

Finalmente, con toda la base tanto conceptual como legal, se establecen los elementos que serán inspeccionados, la técnica de medición, se recomendará un dron especial para líneas de transmisión según el fabricante, el perfil ideal del operador que realice la tarea, la frecuencia del mantenimiento y se evidenciarán las pruebas de campo que se llevaron a cabo.

# 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se describen, a continuación, los conceptos que son fundamentales para entrar en el contexto del presente trabajo de graduación, abarcando así los temas de mantenimiento, drones y líneas de transmisión.

## 1.1. Mantenimiento

Puede definirse como mantenimiento a aquella serie de acciones que deben de realizarse para conocer el estado de un equipo, sistema o instalación, a tal punto de conservar la integridad del elemento bajo estudio o restablecerlo.

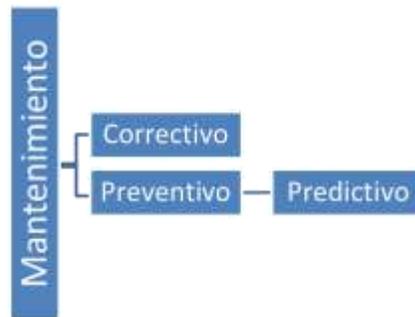
Naturalmente, todo elemento tiende a necesitar intervención humana para conservar su óptima operación y vida útil a un coste mínimo, lo anterior se logra a través del mantenimiento.

Analógicamente, el mantenimiento corresponde a una inversión que debe realizar la empresa para aumentar la disponibilidad, fiabilidad y reducir los costes de operación al mínimo.

### 1.1.1. Tipos de mantenimiento

En el presente trabajo de graduación se abordarán los tres tipos de mantenimiento más habituales a encontrar en una empresa: correctivo y preventivo, dándole mayor énfasis a una sub categoría del último en mención, el mantenimiento predictivo.

Figura 1. **Esquema de tipos de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016

#### **1.1.1.1. Correctivo**

Así como su nombre lo indica, este mantenimiento se realiza para corregir una falla o avería que ya ha sucedido; el presente consiste en meramente reemplazar o reconstruir elementos cuya utilidad ha caducado.

Al manifestarse las fallas o averías de manera imprevista, en este tipo de mantenimiento, se debe tomar la decisión de reparar el equipo de manera provisional (mantenimiento paliativo) o definitiva, según factores tales como:

- Disponibilidad presupuestaria:

Se refiere al proceso previo a utilizar el repuesto, corresponde a la capacidad de realizar la compra de los elementos de reemplazo o el costear el mantenimiento si llegase a ser necesaria la intervención de una empresa contratista para llevar a cabo dicha reparación.

- Disponibilidad de repuestos:

Se refiere al *stock* de piezas o elementos necesarios para restablecer la operación un equipo.

#### Ventaja

- Perfil del personal:

El personal no requiere gran capacidad de análisis para efectuar estos mantenimientos, por lo tanto, no es importante la escolaridad.

- Resulta más económico cuando el tiempo de reemplazo de los elementos es corto, por lo tanto, no es necesario múltiples paros programados en el proceso o servicio.

#### Desventajas

- Discontinuidad de servicio:

No se puede asegurar una continuidad de funcionamiento ya que las fallas o averías se presentan en cualquier momento o de forma imprevista

- Almacenaje:

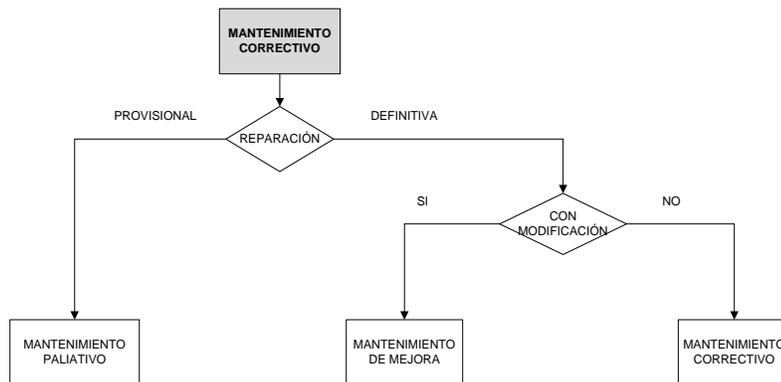
Se requiere que la empresa cuente con una bodega amplia donde haya disponibilidad de los elementos para restablecer el funcionamiento del equipo que falló o se averió.

- Calidad:

En ciertas ocasiones, al poseer poco tiempo para realizar el mantenimiento correctivo, se pone en duda la calidad de la reparación efectuada ya que el técnico puede cometer errores o descuidos.

Si se restableció la operación del elemento y se aprovechó para realizar modificaciones al mismo, se le conoce como mantenimiento correctivo de mejora.

Figura 2. **Esquema de decisión del mantenimiento correctivo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

### 1.1.1.2. Preventivo

Este mantenimiento corresponde a la ejecución de acciones programadas. Consiste en planificar determinadas tareas al elemento o equipo bajo análisis para llevar un control del estado del mismo.

El control del mantenimiento preventivo puede efectuarse sin vigilancia o a través de rondas o visitas.

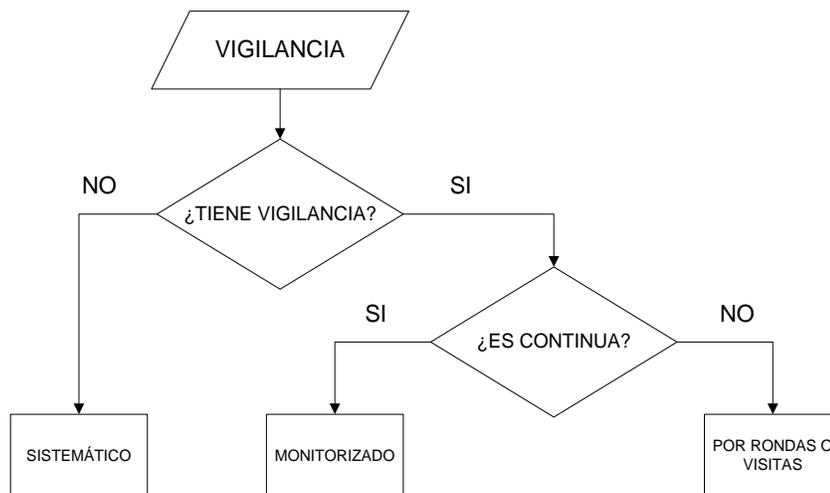
- Sin vigilancia:

También llamado mantenimiento sistemático, va dirigido a equipos cuya naturaleza indica que se someterán a un desgaste inevitable tras su uso; consiste en cumplir una programación, según el fabricante u otro criterio sin importar cuál es la condición del equipo; se presentan ejemplos según el tipo de variable a medir:

- Longitud lineal, cambio de aceite: consiste en reemplazar el aceite actual de la transmisión o del motor del vehículo siempre que se haya recorrido cierta cantidad de millas o kilómetros.
  - Tiempo, cambio de cojinetes: por medio de un horómetro, se sabe cuándo realizar la sustitución de los cojinetes tras ciertas horas de haber trabajado un equipo.
  - Unidades, cambio de contador de descargas: consiste en el reemplazo del contador de rayos del pararrayos. Este dispositivo tiene una cantidad limitada de registros; por ejemplo: el modelo CDR-11, de la marca INGESCO debe ser cambiado tras registrar 999 impactos de rayo.
- Con vigilancia el equipo se puede vigilar continuamente o efectuando rondas o visitas periódicas.

- Continua: también llamado monitorizado, consiste en la vigilancia permanente a través de algún equipo tal como:
  - Circuito cerrado de cámaras de vigilancia
  - Cámara termográfica estacionaria
  - Sistema S.C.A.D.A.
  
- Rondas o visitas: consiste en la inspección periódica de un elemento de interés.

Figura 3. **Esquema de tipos de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016

- **Ventaja:**

Se reduce el número de paradas imprevistas o forzadas al tener más control sobre el equipo.

- Riesgos:

En este mantenimiento se debe seleccionar la frecuencia idónea de los mantenimientos, ya que si se eligen periodos muy cortos se incurre en sobreinspección y si los periodos son muy largos se podría descuidar el equipo y llegar a ser demasiado tarde para evitar incidentes.

Estos mantenimientos requieren que, a veces, el equipo suspenda el servicio para desarmar y realizar una inspección más detallada, pero se debe encontrar un punto de equilibrio para que el equipo cese funciones en una temporada no crucial para la producción o servicio que se brinda.

#### **1.1.1.3. Predictivo**

El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento basado en la condición o condicional, se fundamenta en la medición, en enlazar una variable física al estado de un equipo; consiste en monitorear y llevar un control de las mediciones, para que, al parametrizarlas se pueda realizar un diagnóstico.

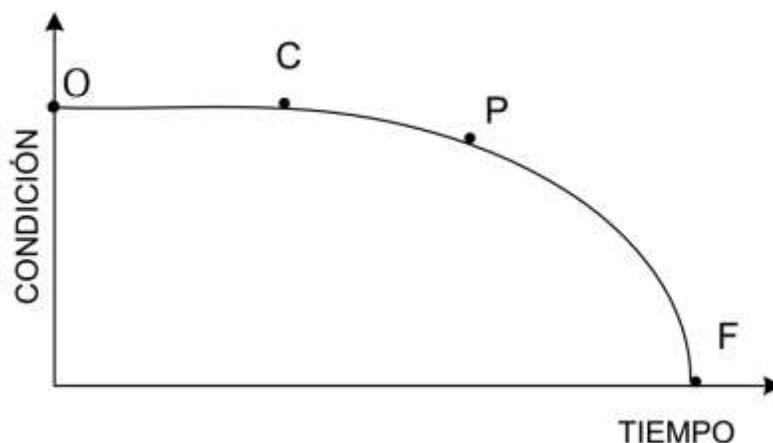
Algunos ejemplos de monitoreo de variables físicas se mencionan a continuación.

- La termografía enlaza la temperatura con el estado de las sujeciones entre piezas metálicas o la temperatura con la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de un equipo.

- La Medición de puestas a tierra (PAT) enlaza la resistencia de una porción de tierra (terreno) con su capacidad para drenar corrientes de falla ante descargas electro atmosféricas.
- El análisis de aceites enlaza la rigidez dieléctrica del aceite con la capacidad de este, de ser un aislante dieléctrico.

Con estas técnicas se detectan fallas incipientes en una máquina o elemento, antes de que cause daños, roturas o accidentes; puede realizarse a través de una curva llamada P-F.

Figura 4. **Curva PF**



Fuente: DÍAZ, Juan. *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. p.176.

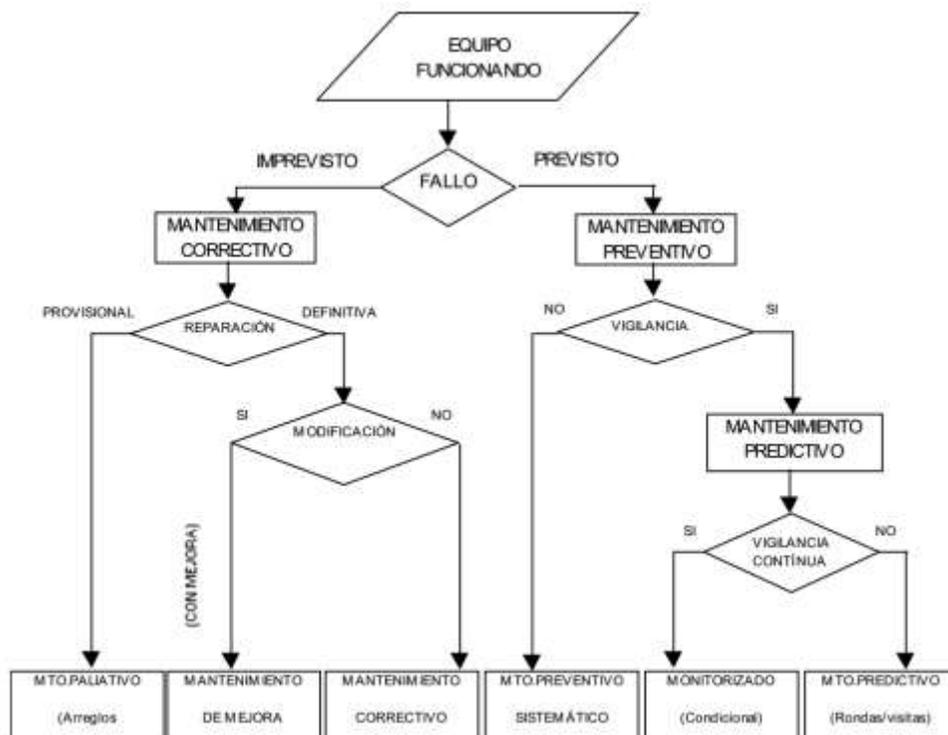
La imagen muestra la evolución de un equipo a través del tiempo, donde el eje de las ordenadas corresponde a su condición física; se notan tres puntos (o momentos importantes) posteriores a su puesta en operación (punto O), siendo los siguientes:

- C: punto que Indica el comienzo de una discontinuidad
- P: punto que indica donde es posible detectar un defecto o imperfección
- F: punto que indica que el equipo ha fallado o sufrido daños

Se pretende, que, a través de una revisión o monitoreo del equipo (con una frecuencia óptima), se detecte algún punto de deterioro entre P y F, de tal manera que con esa medición aún se pudieran evitar fallos, daños, roturas o accidentes si se emplea un mantenimiento preventivo.

Se brinda un diagrama de decisión para elegir el tipo de mantenimiento a aplicar según el caso amerite.

Figura 5. **Esquema de decisión sobre mantenimiento**



Fuente: DÍAZ, Juan. Técnicas de Mantenimiento Industrial. p. 8.

## 1.2. Drones

En el presente apartado se tratará un término muy utilizado en estos días, el mismo corresponde a los drones; se presentará su definición, clasificación, así como las bases para elegir un modelo específico, de acuerdo con las necesidades personales o de una empresa.

### 1.2.1. Definición

El término dron, del inglés *drone*, es definido por la Real Academia de la Lengua Española como: “Aeronave no tripulada”. La definición que ofrece el diccionario en idioma inglés (Oxford) es más completa: “*A remote-controlled pilotless aircraft or missile*” (Aeronave o misil, sin piloto y a control remoto). En otras palabras, un dron es un artefacto electrónico, sin tripulación a bordo, capaz de volar de manera estable e interpretar comandos recibidos por un operador a distancia.

En el entorno aeronáutico de Guatemala, no es del todo correcto utilizar el término dron, sino que recibe diversos términos como:

- *Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*: Sistema de aeronave pilotada a distancia
- *Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*: vehículo aéreo no tripulado (VANT)

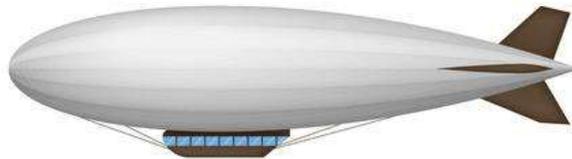
## **1.2.2. Clasificación**

Los vehículos aéreos no tripulados pueden presentarse en diversas formas y configuraciones, según su mecanismo de permanecer inmóvil o moverse por los cielos. Se presentarán las clasificaciones más comunes de encontrar en el mercado de los drones.

### **1.2.2.1. Aeróstatos**

Elemento que flota en el aire, por medio de una cámara repleta de un gas cuya densidad es menor a la del aire. De esta manera, se crea una fuerza de empuje vertical ascendente. Ejemplos de estas máquinas son los globos aerostáticos y zepelines.

Figura 6. **Imagen de aeronave tipo aeróstato**



Fuente: FEOKTISTOV, Ivan. <https://es.123rf.com>. consulta: 5 de febrero de 2018.

### **1.2.2.2. Aeronaves de ala fija**

Dispositivos que vuelan por medio de un despegue horizontal. No tienen la capacidad de flotar o permanecer estáticos en un lugar; únicamente se pueden desplazarse de forma horizontal.

Figura 7. **Fotografía de aeronave de ala fija**



Fuente: AEROVIRONMENT. *www.military.com*. consulta: 5 de febrero de 2018.

### 1.2.2.3. **Helicóptero**

Tiene dos juegos de hélices que forman el rotor. Las hélices están ancladas al eje del motor que las propulsa. El rotor principal tiene las funciones de crear el impulso suficiente para alzar la aeronave y empuje para avanzar; en cambio, el segundo rotor brinda estabilidad y controla la dirección de la aeronave.

Figura 8. **Fotografía de aeronave no tripulada tipo helicóptero**



Fuente: GRUMMAN UNMANNED SYSTEMS. *www.military.com*. consulta: 5 de febrero de 2018.

#### **1.2.2.4. Multicóptero**

Aeronave que posee más de dos rotores, la finalidad de las múltiples hélices es adaptar más fácilmente el control direccional de la nave al regular, de forma independiente, la velocidad de cada rotor. Este es el modelo más utilizado para drones de uso recreativo ya que su uso se considera relativamente sencillo.

Figura 9. **Imagen de aeronave no tripulada tipo multicóptero**



Fuente: DJI. <https://store.dji.com/es/product/inspire-1-v2>. consulta: 7 de febrero de 2018.

#### **1.2.2.5. Aeronave de rotor basculante (*tiltrotor*)**

Es un vehículo aéreo híbrido, combina las características de una aeronave de ala fija con uno de ala rotativa. Su configuración es tal que logra realizar un despegue vertical utilizando hélices situadas sobre el dron. En algunos modelos, las hélices giran su orientación 90 grados para ganar impulso hacia adelante.

Figura 10. **Imagen de aeronave no tripulada tipo *tiltrotor***



Fuente: AUTEL, Robotics, [www.autelrobotics.com/kestrel](http://www.autelrobotics.com/kestrel), consulta: 7 de febrero de 2018.

### **1.2.3. Eligiendo un dron**

Cuando se adquiere un dron deben tomarse en cuenta diversos factores relacionados con la idoneidad para la persona o empresa.

El usuario final debe saber qué usa dará a la aeronave no tripulada. Si se sobredimensionan las capacidades de un dron lo reflejará su costo y subdimensionarlo podría causar limitaciones que generen incidentes o accidentes.

#### **1.2.3.1. Autonomía de vuelo**

Indica la cantidad de tiempo, en horas o minutos, que una aeronave puede encontrarse en operación hasta agotar su fuente de energía; dicha fuente de alimentación puede ser combustible o a través de baterías.

En la actualidad, el compuesto más utilizado para las baterías de drones es de litio – polímero (Li-Po), este brinda valores promedio entre 15 a 30 minutos de vuelo según modelo de dron.

#### **1.2.3.2. Rango de transmisión**

Corresponde a la longitud lineal máxima, tanto horizontal como vertical, que el dron puede alejarse del operador antes de sufrir problemas de comunicación con el control remoto y la interfaz gráfica utilizada.

#### **1.2.3.3. Estabilización**

Capacidad de la aeronave de permanecer inmóvil (flotando) en un punto en específico, aún bajo la influencia de ráfagas de viento u otras condiciones.

Esta propiedad se relaciona con factores, como el peso de la aeronave, su número de rotores y el método de estabilización electrónica utilizado (cantidad de sensores IMU incorporados).

#### **1.2.3.4. Cámara**

Se brindarán conceptos básicos de fotografía para comprender los componentes que constituyen una cámara y los parámetros que se podrían modificar cuando no se utiliza en modo automático.

- Tamaño del sensor: el sensor de una cámara digital capta la luz y cuanto mayor sea su tamaño, mejor es su capacidad de recolectar luz.

- Lente: enfoca y dirige la luz hacia el sensor; el tamaño y la forma de la lente afectará significativamente la calidad de la imagen.
- Resolución de fotografía: propiedad medida en megapíxeles. Corresponde a la cantidad de puntos o píxeles que conformarán una imagen; ejemplo: 12 megapíxeles.
- Resolución de video: corresponde al número de píxeles que pueden ser comprimidos en un video, se expresa en una relación de ancho x alto; ejemplo: 1 280 x 720 píxeles.
- Fotogramas (*Frame rate*): indica el número de veces que una cámara puede tomar una fotografía en un segundo. La cantidad más común de fotogramas (en una película) es de 24 cuadros por segundo; mientras mayor es el número de fotogramas, pueden crearse videos en cámara lenta.

Los drones pueden incluir una cámara fija, instalada de fábrica o permitir que se les instalen diversas opciones de cámaras, según compatibilidad; De esta forma intercambian cámaras según la necesidad o el presupuesto disponible.

Figura 11. **Modelos de cámaras compatibles con dron DJI Inspire 2**



Fuente: DJI. [www.dji.com/products/professional?site=brandsite&from=nav#camera-gimbal](http://www.dji.com/products/professional?site=brandsite&from=nav#camera-gimbal).

consulta: 8 de febrero de 2018.

Generalmente, la cámara elegida incide en la autonomía del vuelo del dron, ya que, ésta para funcionar toma energía eléctrica de la batería de la aeronave; a su vez, cuanto más grande sea la cámara, mayor peso tendrá y el vehículo aéreo deberá realizar más trabajo mecánico para soportar esas condiciones.

Figura 12. **Ejemplo de dron portando cámara profesional**



Fuente: DJI. [www.dji.com/matrice600?site](http://www.dji.com/matrice600?site). consulta: 8 de febrero de 2018.

### **1.2.3.5. Sensores externos**

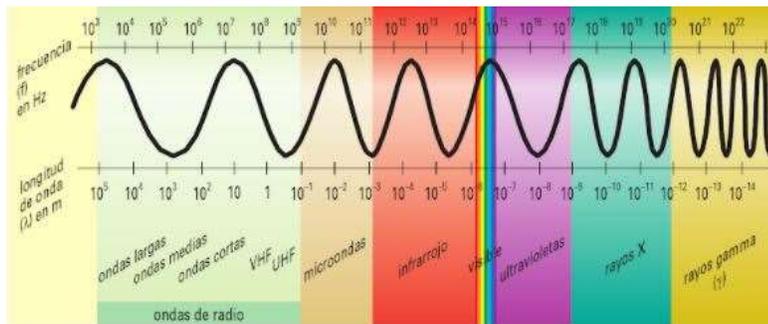
Según la aplicación, y el presupuesto, es posible instalar sensores externos a la aeronave no tripulada para convertirlo en una herramienta especializada de trabajo. A continuación, se presentan sugerencias de los sensores que se pueden utilizar en el sector eléctrico.

- Sensores espectrales

Los sensores espectrales pueden captar las variaciones de las ondas dentro del espectro electromagnético, según un rango de frecuencias o longitudes de onda.

Los sensores espectrales se utilizan con frecuencia para monitorear cultivos porque identifican en la vegetación la temperatura y la humedad, entre otras variables.

Figura 13. **Representación de espectro electromagnético**



Fuente: PÉREZ, Javier. *Física y Química*, p.168.

La figura anterior muestra una onda electromagnética, tras haberse realizado un barrido de la frecuencia, muestra, así, sus diversas longitudes de onda y las agrupa en zonas.

Tabla I. **Zonas del espectro electromagnético**

<b>ZONAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</b>			
<b>No.</b>	<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Clasificación</b>
1	$10^{-6}$ $\mu\text{m}$	$10^{-2}$ $\mu\text{m}$	Rayos X
2	$10^{-2}$ $\mu\text{m}$	0,4 $\mu\text{m}$	ultravioleta
3	0,4 $\mu\text{m}$	0,7 $\mu\text{m}$	Espectro Visible
4	0,7 $\mu\text{m}$	1,0 Mm	Infrarrojo
5	1,0 mm	1,0 Cm	Ondas milimétricas
6	1,0 cm	1,0 m	Microondas
7	1,0 m	10,0 km	Ondas de radio

Fuente: BOREMAN, Glenn. *Fundamentos de electro-óptica para ingenieros*. p.2.

- Sensores de Espectro Visible (RGB)

Sensor cuyo rango espectral se centra en los colores rojo, verde y azul, ya que, esos son los colores que el ojo humano reconoce con mayor facilidad. Se utilizan para estudios agrónomos básicos.

Tabla II. **Zonas del espectro visible**

ESPECTRO VISIBLE				
No.	Desde	Hasta	Clasificación	
3.1	0,40 $\mu\text{m}$	0,46 $\mu\text{m}$	Violeta	
3.2	0,46 $\mu\text{m}$	0,49 $\mu\text{m}$	Azul	
3.3	0,49 $\mu\text{m}$	0,55 $\mu\text{m}$	Verde	
3.4	0,55 $\mu\text{m}$	0,58 $\mu\text{m}$	Amarillo	
3.5	0,58 $\mu\text{m}$	0,60 $\mu\text{m}$	Naranja	
3.6	0,60 $\mu\text{m}$	0,70 $\mu\text{m}$	Rojo	

Fuente: BOREMAN, Glenn. *Fundamentos de electro-óptica para ingenieros*. p.2.

- Sensor multi espectral

Estos sensores abarcan el espectro de luz visible y se adentran en la categoría llamada infrarrojo próximo y la primera ventana del infrarrojo medio, donde ya es posible localizar concentraciones de humedad en el terreno y en la vegetación.

Tabla III. Zonas de un sensor multi espectral común

ESPECTRO VISIBLE			
No.	Desde	Hasta	Clasificación
1	0,4 $\mu\text{m}$	0,7 $\mu\text{m}$	Espectro visible
2	0,7 $\mu\text{m}$	3,0 $\mu\text{m}$	Infrarrojo próximo
3	3,0 $\mu\text{m}$	5,0 $\mu\text{m}$	Infrarrojo medio (primera ventana)

Fuente: BOREMAN, Glenn. *Fundamentos de electro-óptica para ingenieros*, p.2.

Figura 14. Ejemplos de sensores multiespectrales

	 <p>Parrot SEQUOIA</p>	 <p>RedEdge-M™ by MicaSense</p>
Número de bandas ?	4 bandas (Verde, rojo, borde rojo, infrarrojo cercano)	5 bandas (Azul, verde, rojo, borde rojo, infrarrojo cercano)

Fuente: MICASENSE. [www.micasense.com/es/comparacion-sensores](http://www.micasense.com/es/comparacion-sensores). consulta: 12 de febrero de 2018.

Si los sensores multi espectrales que se adaptan a los drones logran expandir su rango espectral a la zona ultravioleta y detectar longitudes de onda entre 10 y 400 nanómetros, fenómenos como el efecto corona podrían ser percibidos, capturados y localizados.

- Termografía infrarroja

Una cámara termográfica es un dispositivo capaz de detectar valores de temperatura (en tiempo real), tras registrar las ondas de energía que irradia un objeto. Dichas ondas se encuentran dentro de la zona del espectro electromagnético conocido como infrarrojo medio (7,5 – 13,5  $\mu\text{m}$ ).

Tabla IV. **Clasificación de ondas infrarrojas**

INFRARROJO			
No.	Desde	Hasta	Clasificación
1	5 $\mu\text{m}$	15 $\mu\text{m}$	Infrarrojo medio (segunda ventana)
2	15 $\mu\text{m}$	1 mm	Infrarrojo lejano

Fuente: BOREMAN, Glenn. *Fundamentos de electro-óptica para ingenieros*. p.2.

Figura 15. **Referencia de cámara termográfica para dron**



Fuente: DJI. <https://www.dji.com/zenmuse-xt2/info#specs>. consulta 15 de febrero de 2018.

### 1.2.3.6. Grado de protección (IP)

La norma IEC 60529 lo define como un sistema codificado para reconocer el grado de protección de un elemento encapsulado o dentro de una carcasa, la intención es informar a qué punto se encuentra el sistema eléctrico del elemento protegido ante fuentes externas como agua, arena, polvo, piedras, etcétera.

El código se compone de dos letras y dos números, siendo las letras la palabra IP y los números se eligen según la figura siguiente:

Figura 16. Extracto de interpretación de código IP

Letras código	IP	-
Primer número característico	0 1 2 3 4 5 6	Contra el ingreso de objetos sólidos externos (no-protegido) ≥ 50 mm diámetro ≥ 12,5 mm diámetro ≥ 2,5 mm diámetro ≥ 2,0 mm diámetro Polvo-protegido Hermético al polvo
Segundo número característico	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Contra el ingreso de agua con efectos perjudiciales (no-protegido) Goteando verticalmente Goteando (inclinado 15°) Rociando Salpicando Chorreando Chorro de gran alcance Inmersión transitoria Inmersión continua

Fuente: IEC. Norma IEC 60529. p.11.

Si al codificar, corresponde únicamente a un número, entonces se sustituye la propiedad faltante por una equis (X) en el lugar donde debería ir. Ejemplo: IP X5 o IP4X.

Figura 17. **Ejemplo de dron con grado de protección IP67**



Fuente: SWELLPRO. [www.swellpro.com/waterproof-drone/splash-drone-auto](http://www.swellpro.com/waterproof-drone/splash-drone-auto). consulta:15 de febrero de 2018.

#### **1.2.3.7. Accesibilidad al software**

Algunos fabricantes de drones brindan la posibilidad de que, una persona ajena a la compañía pueda modificar parte del *software* de una aeronave no tripulada a través de un kit de desarrollo más conocido como SDK (siglas del nombre en inglés *Software Development Kit*).

A través del S.D.K. se puede crear una aplicación que libere el verdadero potencial de la aeronave para ajustarlo a las necesidades específicas de una persona individual o empresa. La personalización depende de las restricciones que haya incluido el fabricante.

Es importante comprender las modificaciones debe realizarlas quien tenga conocimiento de programación orientada a objetos.

### 1.3. Líneas de transmisión

En el presente apartado se tratarán las líneas de transmisión aéreas. Se presenta la definición, clasificación y la forma como fallan o suspenden de manera temporal el transporte de energía eléctrica.

#### 1.3.1. Definición

Una línea de transmisión es un conjunto de elementos, como herrajes, postes, cable conductor, aislamiento y todo aquello que, en conjunto, es el medio físico que guiará el flujo de potencia eléctrica, a través de grandes trayectos, hasta conectar dos puntos o subestaciones eléctricas.

Una línea de transmisión es un cable conductor sin recubrimiento aislante, por lo general de cobre con alma de acero, cuyos extremos se encuentran conectados en sendas subestaciones.

Figura 18. **Representación de una línea de transmisión**



Fuente: elaboración propia empleando Power World Simulator.

- Estructuras: el conductor mencionado, al encontrarse desnudo y por la necesidad de pasar sobre obstáculos, se encuentra suspendido en altas estructuras de soporte, cuyos tipos se describen a continuación.

- Estructura de poste: el diccionario de la Real Academia Española define una columna (que corresponde a un poste) como: “Soporte vertical de gran altura respecto a su sección transversal”; el material del poste puede ser: acero, concreto o madera.
- Estructura de celosía: está formada por un conjunto de piezas, por lo general, barras rectas de hierro articuladas entre sí para formar triángulos; lo expuesto corresponde a un diseño reticular.

Figura 19. **Fotografía de poste de concreto**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Fotografía de estructura de celosía**



Fuente: elaboración propia.

Los herrajes y la morsetería son elementos metálicos usados para sujetar material eléctrico, como conductor de fase, conductor de hilo de guarda, bases para el aislamiento, a la estructura de soporte, de tal manera que se soporten los esfuerzos mecánicos al estar instalada la línea de transmisión

El aislamiento se utiliza para evitar que el conductor de fase se acerque a la estructura de soporte. Esta brinda una separación suficiente para que no ocurra un arco eléctrico entre el conductor y el elemento de soporte, según la normativa regional se dictamina la longitud del aislamiento o conjunto de aisladores a instalar; puede utilizarse aislamiento de porcelana, vidrio o de material polimérico.

### **1.3.2. Clasificación de las líneas de transmisión**

Una línea de transmisión puede clasificarse según diversos parámetros de diseño, sin embargo, se abordará la longitud de la línea, la clase y nivel de tensión.

#### **1.3.2.1. Clase de tensión**

Corresponde al tipo de corriente que fluye a través del conductor de la línea de transmisión.

Transmisión en corriente alterna: línea cuya forma de onda de la corriente es de manera sinusoidal a una frecuencia de 50 o 60 *hertz* según la región geográfica en que se encuentre.

En transmisión de energía eléctrica se utiliza corriente trifásica, es decir, tres ondas sinusoidales desfasadas a 120 grados eléctricos entre sí.

Transmisión en corriente continua: línea cuya corriente que transmite carece de frecuencia y de fase. En sistemas de transmisión, este tipo de corriente es el ideal al realizar interconexiones entre regiones con diferente frecuencia eléctrica; por ejemplo, Europa con 50 Hz y América con 60 Hz.

Lo mencionado corresponde a que la corriente continua al carecer de ángulo de fase o frecuencia puede realizarse una sincronización entre ambas regiones, siendo esto no posible en corriente alterna.

El concepto específico de potencia eficaz evidencia que la corriente continua brinda mejores opciones de transmisión de energía eléctrica. Esto se demuestra en el apéndice 1.

Potencia eficaz: valor que tendría una corriente continua ( $I_{cc}$ ) al fluir a través de una impedancia ( $Z$ ), si esta transporta la misma potencia que una corriente alterna ( $I_{ac}$ ) que recorre en una impedancia ( $Z$ ) de iguales características que la anterior.

### **1.3.2.2. Longitud**

En líneas de transmisión aéreas, cuya frecuencia sea de 60 Hz, se pueden dividir las líneas en tres categorías:

- Corta: línea cuya longitud es menor a 80 kilómetros ( $0 < \text{Longitud} < 80$ ).
- Media: línea cuya longitud está entre 80 y 240 kilómetros ( $80 \leq \text{Longitud} < 240$ ).
- Larga: línea cuya longitud es mayor a 240 kilómetros ( $\text{Longitud} > 240$ ).

En Guatemala, no se utiliza el modelo de línea de transmisión larga, únicamente tramos de línea corta y media; además, la longitud de la línea es importante, ya que, los parámetros de las líneas de transmisión cambian su comportamiento al ser de mayor tamaño.

### **1.3.2.3. Nivel de tensión**

Corresponde a la magnitud del voltaje (entre fases) que está aplicado a la línea de transmisión, según es su valor, este se divide en las siguientes categorías:

- Baja tensión: nivel de tensión igual o inferior a mil (1,000) voltios.
- Media tensión: nivel de tensión superior a mil (1,000) voltios, y menor o igual a sesenta mil (60,000) voltios.
- Alta tensión: nivel de tensión superior a sesenta mil (60,000) voltios.

Las definiciones mencionadas se fundamentan en el artículo 1 del Acuerdo gubernativo número 68-2007 de la República de Guatemala.

En Guatemala, en la categoría de alta tensión, se utilizan los voltajes siguientes: 69 kV, 138 kV, 230 kV y un (1) tramo de línea en 400 kV.

### **1.3.3. Fallas en líneas**

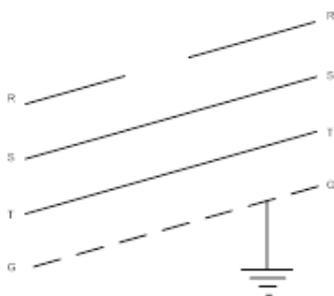
Una falla o un fallo, es un suceso que comprometió completamente el servicio de una pieza o conjunto de elementos. En este caso la continuidad del servicio de transporte de energía eléctrica a través de una línea de transmisión.

Las fallas pueden ser de diversos tipos, se describirán, a grandes rasgos, los que corresponden a sistemas trifásicos.

### 1.3.3.1. Falla monofásica

Corresponde a la pérdida de una (1) de las tres fases del sistema, causando desbalance de corrientes.

Figura 21. **Esquema de falla monofásica, pérdida de fase (R)**

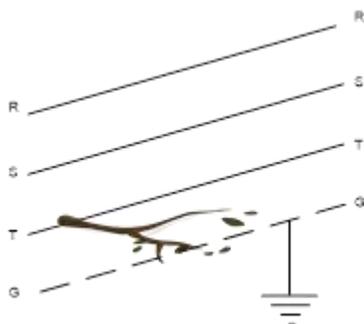


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

### 1.3.3.2. Falla monofásica a tierra

Interacción parcial o total de uno de los tres conductores de fase con un punto referenciado a tierra, este es el conducto que cortocircuite los mismos.

Figura 22. **Esquema de falla monofásica, entre fase (T) y tierra (G)**

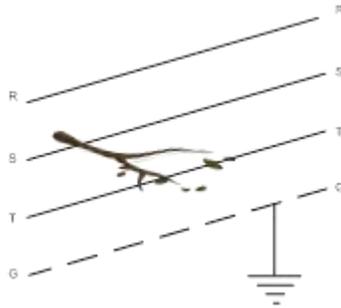


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

### 1.3.3.3. Falla bifásica

Interacción parcial o total de dos (2) de los conductores de fase de la línea de transmisión.

Figura 23. Esquema de falla bifásica, entre fase (S) y (T)

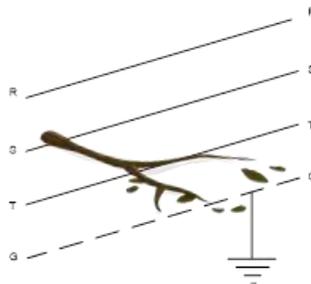


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

### 1.3.3.4. Falla bifásica a tierra

Interacción parcial o total de dos (2) de los conductores de fase con un punto referenciado a tierra, siendo este el conducto que cortocircuite los mismos.

Figura 24. Esquema de falla bifásica, entre fase (S), (T) y Tierra (G)

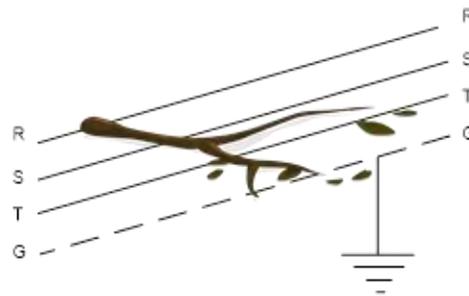


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

### 1.3.3.5. Falla trifásica

Interacción parcial o total de los tres conductores de fase de una línea de transmisión.

Figura 25. Esquema de falla trifásica



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

## 2. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

En este capítulo se dará a conocer la historia, objetivos, misión, visión y actividad económica de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica – ETCEE-.

### 2.1. Breve historia

La Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE (ETCEE) surge de la necesidad de separar las funciones que tenía el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), según el Decreto Gubernativo número 93-96 del Congreso de la República de Guatemala; publicado en el Diario de Centro América el 13 de noviembre de 1996.

En el capítulo IV y artículo 7, del decreto mencionado, titulado “Separación de Funciones en la Actividad Eléctrica” dice: “Una misma persona, individual o jurídica, al efectuar simultáneamente las actividades de generar y transportar y/o distribuir energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional -SEN- deberá realizarlo a través de empresas o personas jurídicas diferentes<sup>1</sup>”.

Para subsanar la necesidad expuesta, se publica el Acuerdo número OM-273-98, del Ministerio de Energía y Minas (MEM), el 23 de julio de 1998. En él se autoriza a la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE (ETCEE) para brindar el servicio de transporte de electricidad por 50 años.

---

<sup>1</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Decreto número 93-96*. p. 6.

## **2.2. Misión**

“Transportar la energía eléctrica de forma continua, eficiente y de calidad, utilizando tecnología de vanguardia; entre generadores y los centros de distribución del Sistema Nacional Interconectado -SNI-.”<sup>2</sup>

## **2.3. Visión**

“Ser la Empresa líder en la transmisión y transformación de energía eléctrica a nivel nacional y regional.” [2]

## **2.4. Establecimiento de valores**

Dentro de la empresa se listan los siguientes valores:

- Innovación
- Compromiso
- Integridad
- Excelencia, y
- Fortaleza

## **2.5. Objetivos estratégicos**

- “Mantener en óptimas condiciones la red de transmisión existente realizando los mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos pertinentes.”<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.124.

<sup>3</sup> ETCEE. *Plan Operativo Anual -POA- 2018 de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE*. p. 3-4.

- Efectuar continuamente los estudios eléctricos que determinen las obras necesarias para el crecimiento natural del sistema de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión.
- Elaborar la planificación de cada obra, con el objeto de mejorar la infraestructura eléctrica existente y con ello brindar un servicio continuo, confiable y de calidad a los usuarios del servicio de energía eléctrica a nivel Nacional y del Mercado Eléctrico Regional.
- Desarrollar y mantener la infraestructura necesaria para el intercambio de energía y potencia con el mercado mexicano y centroamericano.

## **2.6. Objetivos operativos**

- Transportar energía eléctrica por la infraestructura de ETCEE y realizar mantenimientos a las líneas de transmisión, subestaciones, protecciones y comunicaciones para tener en óptimas condiciones la red de transmisión existente y con ello brindar un servicio continuo, confiable y de calidad al Sistema Nacional Interconectado –SNI-.
- Mejorar la infraestructura existente:
  - Ejecutar los programas de reemplazo de equipos próximos al término de su vida útil.
  - Actualizar los sistemas de Protección, Control y Medición, sustituyéndolos por equipos y sistemas actualizados con tecnología de vanguardia.

- Mejorar los sistemas de seguridad en subestaciones y sedes departamentales, mediante la construcción de trabajos de obra civil.<sup>4</sup>

## 2.7. Ubicación

El artículo número 5, del comunicado publicado (por el INDE) en el diario de Centro América, del día 27 de octubre de 1997 indica que la empresa ETCEE tendrá su sede en la Ciudad de Guatemala y podrá establecer oficinas en otros lugares de la república; lo antes mencionado no ha sufrido modificaciones hasta hoy en día.

La sede de ETCEE se ubica en la zona número 9 de la Ciudad de Guatemala, séptima avenida y segunda calle pista derecha, edificio número 2-29 dentro de las oficinas centrales del Instituto Nacional de Electrificación, INDE.

Figura 26. **Vista local de sede de ETCEE – INDE**

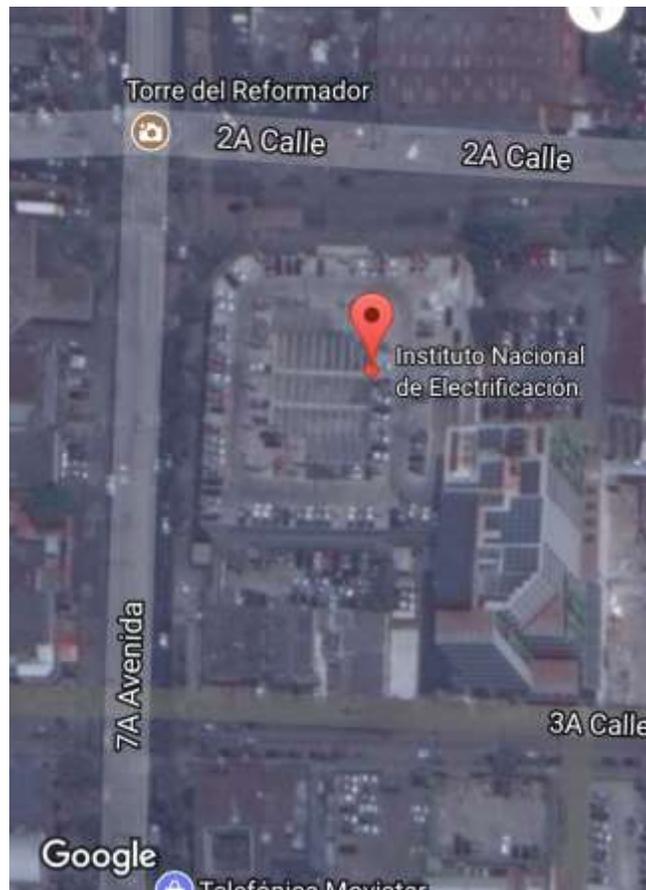


Fuente: POCASANGRE, Henry. *Prensa Libre*, edición 13 de noviembre de 2015

---

<sup>4</sup> ETCEE. *Plan Operativo Anual -POA- 2018 de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE*. p. 3-4.

Figura 27. Georreferenciación de sede de ETCEE – INDE



Fuente: elaboración propia, empleando *software* Google Earth.

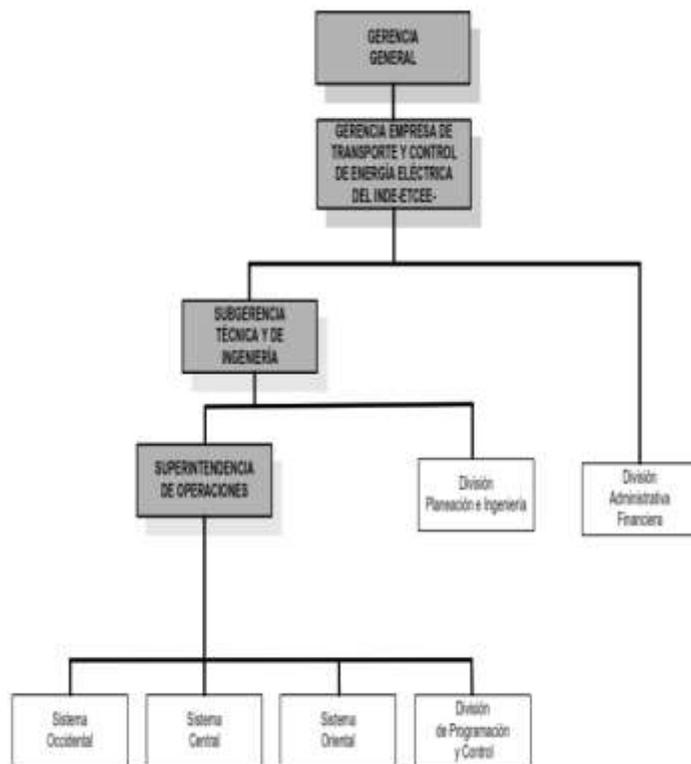
## 2.8. Organigrama

Hellriegel (2009) define un organigrama como “un diagrama que ilustra las líneas de dependencia que existen entre las unidades y las personas de una organización<sup>5</sup>”. En la figura siguiente se presenta la estructura organizacional vertical con cinco niveles jerárquicos de ETCEE.

---

<sup>5</sup> HELLRIEGEL, Don, JACKSON, Susan E., SLOCUM JR., John W. *Administración un enfoque basado en competencias*. p. 358.

Figura 28. Organigrama general de –ETCEE-



Fuente: INDE. *Manual de Organización y Funciones del INDE*. p.126.

### 2.8.1. Gerencia

En el diario de Centro América, del 27 de octubre de 1997, página 62 y artículo 8, se define a la gerencia como:

“El gerente de la empresa es el órgano ejecutivo superior de la empresa, y como tal le corresponde impulsar, dirigir y coordinar las actividades técnico administrativas de la misma<sup>6</sup>.”

<sup>6</sup> INDE. *Diario de Centro América – octubre 27 de 1997*. p.62.

- Funciones Principales:
  - Plantear las políticas de desarrollo de la Empresa en el corto, mediano y largo plazo al Consejo Directivo.
  - Tramitar y resolver los asuntos de su competencia;
  - Supervisar al personal administrativo y técnico de la Empresa
  - Nombrar, ascender, conceder licencias y remover al personal que estime necesario para el funcionamiento de la Empresa;
  - Emitir órdenes, circulares, instructivos y normativos para el buen funcionamiento de la Empresa;
  - Dirigir correspondencia, firmar cheques y demás documentos de crédito debidamente autorizados;
  - Delegar en el empleado o funcionario idóneo, las labores técnico administrativas que considere necesarias;
  - Desempeñar las demás labores que le encomiende el Consejo Directivo y el Gerente General del INDE;
  - Proponer al Consejo Directivo, por conducto del Gerente General, los reglamentos necesarios para la buena administración de la Empresa.

## 2.8.2. Sub gerencia técnica

Coordina de manera adecuada y eficiente las actividades de las áreas de operación y mantenimiento con las actividades del área de planificación de la Empresa de Transporte y Control del INDE a efecto de garantizar el cumplimiento de los niveles de calidad exigidos en el servicio, y el desarrollo de los proyectos de ampliación y mejoramiento de la red de transmisión.<sup>7</sup>

- Funciones Principales:
  - Prestar asistencia técnica a la Gerencia de ETCEE en los proyectos regionales de interconexiones eléctricas internacionales.
  - Planificar y ejecutar el plan de inversiones, así como en el programa de mejoramiento y recuperación de la infraestructura existente.
  - Elaborar informes mensuales analíticos del desempeño de la red para Gerencia de ETCEE.
  - Dirigir y coordinar la Supervisión de los proyectos de ampliación de la red.
  - Coordinar el uso eficiente de los recursos técnicos y presupuestales de la Superintendencia de Operaciones y la División de Planeación e Ingeniería.
  - Revisar y aprobar el Plan general de Mantenimiento de la red de transmisión elaborado por la Superintendencia de Operaciones.

---

<sup>7</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.138.

- Establecer las necesidades de la red de transmisión para que sean incluidas en los programas de expansión.
- Revisar los términos de referencias para el concurso de los bienes y servicios mayores de las unidades ejecutoras.

### **2.8.3. División de planeación e ingeniería**

Es la División encargada de planificar y ejecutar los proyectos nuevos y reconversiones en Líneas de Transmisión de voltajes 69 kV., 138 kV., 230 kV., y 400 kV., y proyectos nuevos y ampliaciones de Subestaciones Eléctricas en expansión de la capacidad instalada, para satisfacer el crecimiento de la demanda de energía eléctrica, a nivel Nacional y el enlace de la Interconexión regional.<sup>8</sup>

- **Funciones Principales:**
  - Planificar y ejecutar los proyectos de nuevas líneas y subestaciones ampliando la capacidad instalada, para satisfacer el crecimiento de la demanda de energía eléctrica, a nivel nacional.
  - Velar por el cumplimiento de las normas y mandatos legales aplicables a los procesos de transporte de energía.
  - Transportar la energía eléctrica permanentemente, durante las 24 horas y 365 días del año, con el mínimo de interrupciones no programadas.
  - Planificar y coordinar la expansión de Líneas de Transmisión y subestaciones de interconexiones binacionales o regionales.

---

<sup>8</sup> INDE. *Manual de organización y funciones.* p.131.

- Planificar y coordinar la expansión de Líneas de Transmisión y subestaciones nuevas o por reconversión del Sistema Nacional Interconectado.

#### **2.8.4. División administrativa financiera**

Es la División encargada de administrar, dirigir y hacer eficiente la captación de los ingresos y el uso de los recursos financieros y humano de la empresa, con el objetivo de prestar un servicio eficiente y de calidad a nuestros clientes.<sup>9</sup>

- Funciones Principales:
  - Ejecutar el proceso de programación, ejecución y liquidación del presupuesto anual de Ingresos y Egresos, adecuándolo al cumplimiento de las metas de producción programadas para cada ejercicio fiscal.
  - Definir políticas, estrategias y procedimientos referentes a la captación de ingresos y la utilización de los recursos de la manera más racional posible para la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.
  - Asesorar en materia financiera y administrativa, a las distintas jefaturas de la Empresa, así como servir de enlace para coordinar la implementación de las políticas dictadas por la administración superior.
  - Dirigir, coordinar y supervisar todas las actividades inherentes al proceso presupuestario de la Empresa.

---

<sup>9</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.127.

- Dirigir, coordinar y supervisar todas las actividades propias al proceso administrativo de la Empresa.

### **2.8.5. Superintendencia de operaciones**

Coordina las acciones de mantenimiento de la infraestructura de transmisión que tiene bajo su cargo la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE, dirigiendo las actividades que ejecutan los Sistemas Regionales (Central, Oriental y Occidental) y la División de Programación y Control, logrando un mejor rendimiento y optimización de los recursos.<sup>10</sup>

- **Funciones Principales:**
  - Coordinar, planificar y dirigir el mantenimiento y operación de subestaciones y líneas de transmisión.
  - Hacer el planeamiento operativo de las actividades técnicas y administrativas del mantenimiento de las subestaciones de control y líneas de transporte de energía eléctrica de la Institución.
  - Establecer las políticas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.
  - Proponer a la Subgerencia Técnica y de Ingeniería, los proyectos de rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura de transporte y control de la Empresa.
  - Coordinar las actividades técnicas y administrativas de los sistemas Central, Oriental y Occidental de Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE, así como de la División de Programación y Control.

---

<sup>10</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.133.

- Presentar a la Subgerencia Técnica y de Ingeniería el Plan General de Mantenimiento de la red.
- Supervisar las tareas de mantenimiento mayores.
- Establecer programas y planes de mejoras en la Gestión del Mantenimiento.
- Llevar los registros históricos y controles del mantenimiento de líneas y subestaciones.

#### **2.8.5.1. División de programación y control**

Controla y supervisa la operación en tiempo real de la red de transporte de energía eléctrica de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE con base a criterios de calidad, confiabilidad y seguridad establecidos internacionalmente. Llevar las estadísticas operativas del sistema.<sup>11</sup>

- Funciones Principales:
  - Establecer políticas internas de supervisión, operación y control de la red de transporte de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.
  - Velar por el cumplimiento de las políticas y estrategias de restablecimiento de la red ante disturbios.
  - Coordinar y supervisar las actividades técnicas del Centro de Control y la Unidad de Supervisión, Control y Adquisición de Datos –SCADA - Informática para el logro de los objetivos y misión de la División.

---

<sup>11</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.144.

- Establecer las condiciones mínimas aceptables para mantener un adecuado nivel de seguridad en la red de transporte. Supervisar la correcta aplicación de la normativa eléctrica nacional y regional vigente.
- Aprobar los planes de restablecimiento de la red de transporte de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.
- Aprobar estudios eléctricos del sistema eléctrico de potencia
- Aprobar reportes estadísticos de operación.
- Supervisar la ejecución de tareas administrativas y logísticas de apoyo al proceso de operación en tiempo real de la red de transporte de energía eléctrica de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.<sup>12</sup>

#### **2.8.5.2. Sistema occidental**

Mantiene el Flujo eléctrico continuo, eficiente y de calidad entre los Generadores y los centros de distribución de la región occidental del país, en el Sistema Nacional Interconectado.<sup>13</sup>

- Funciones Principales:
  - Apoyar a la Gerencia y Sub-Gerencia Técnica y de Ingeniería de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE en la elaboración y ejecución de proyectos de alcance institucional.

---

<sup>12</sup> INDE, *Manual de organización y funciones*, p.144.

<sup>13</sup> Ibid. p.136.

- Mantener en óptimas condiciones la red de líneas de transmisión y subestaciones de transformación de 400, 230, 138 y 69 kilovoltios, para que la energía sea entregada con pérdidas mínimas y mejor calidad.
- Coordinar con la Superintendencia de Operaciones de -ETCEE-, las políticas de la empresa para mejorar el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento.
- Coordinar con la Superintendencia de Operaciones de -ETCEE-, la legislación, normativa y todos los aspectos técnicos del transporte de energía y potencia eléctrica.
- Coordinar con los Distribuidores de Occidente (Distribuidora de Electricidad de Occidente Sociedad Anónima -DEOCSA y Empresas Eléctricas Municipales de Quetzaltenango, Huehuetenango, San Marcos, San Pedro Sacatepéquez y Retalhuleu) todos los aspectos relacionados con la operación y mantenimiento de las instalaciones interconectadas con el Sistema Nacional Interconectado-SNI-.
- Planificar de manera conjunta con los jefes de sección el mantenimiento preventivo y correctivo de líneas de transmisión y subestaciones de potencia.
- Establecer los procedimientos de ejecución de las tareas de mantenimiento.
- Supervisar los trabajos de las secciones de líneas de transmisión, subestaciones y servicios técnicos.

- Elaborar programas de contingencia para situaciones especiales
- Gestionar el presupuesto anual.

### **2.8.5.3. Sistema oriental**

Mantiene en óptimas condiciones las líneas de transmisión y equipo de subestaciones eléctricas que le han sido encomendadas en la región oriental de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE –ETCEE- haciendo un uso eficiente de los recursos disponibles.<sup>14</sup>

- Funciones Principales:
  - Realizar el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en líneas de transmisión de la región oriental.
  - Realizar mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo del equipo eléctrico instalado en las subestaciones de la región oriental, así como de todas las obras civiles anexas.
  - Ejecutar su propio presupuesto de gastos asignado.
  - Elaborar los informes de gestión técnico y administrativos para la Superintendencia de Operaciones.
  - Ejecutar los procesos de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de líneas de transmisión y equipo de potencia a cargo del Sistema.

---

<sup>14</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.142.

- Elaborar su presupuesto de gastos y someterlo a consideración de la Superintendencia de Operaciones de -ETCEE-.
- Elaborar sus programas de mantenimientos, de maniobras etc.

#### **2.8.5.4. Sistema central**

Mantiene el Flujo eléctrico continuo, eficiente y de calidad entre los Generadores y los centros de distribución de la región Central del país, en el Sistema Nacional Interconectado, SNI.<sup>15</sup>

- Funciones principales
  - Mantener en óptimas condiciones la red de líneas de transmisión y subestaciones de transformación en los voltajes de 230, 138 y 69 kV, para que la energía eléctrica sea entregada con pérdidas mínimas y cumpliendo con normas de calidad.
  - Coordinar con la Superintendencia de Operaciones, las políticas de mantenimiento de la empresa para mejorar el desarrollo de las actividades de mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos en las líneas de transmisión y subestaciones bajo la responsabilidad del Sistema Central de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE-ETCEE.
  - Elaborar, y gestionar la autorización de programas de trabajo en instalaciones de transporte a su cargo.

---

<sup>15</sup> INDE. *Manual de organización y funciones*. p.139.

- Coordinar con la División Administrativa Financiera las actividades correspondientes a la planificación de presupuesto y su correspondiente ejecución.
- Establecer los procedimientos de ejecución de las tareas de mantenimiento.
- Elaborar programas de contingencia para situaciones especiales.
- Gestionar y ejecutar el presupuesto anual.
- Supervisar elaboración de Términos de Referencia del Sistema Central de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE -ETCEE-.
- Planificar el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de las secciones de: líneas de transmisión, subestaciones, protecciones y comunicaciones.



### 3. MARCO SITUACIONAL

#### 3.1. Sección Líneas de Transmisión, Sistema Central

En este capítulo se analizará a la sección de Líneas de Transmisión del Sistema Central, en adelante denominada “la sección”, para marcar un punto de referencia en el tiempo con el cual, posteriormente, se podrán emitir dictámenes.

La Sección se ubica dentro de las instalaciones de la Subestación eléctrica Guatemala Sur, ubicada en el kilómetro 14,5 carretera al pacífico, aldea San José, municipio de Villa Nueva y departamento de Guatemala.

Figura 29. Georreferenciación de oficinas de líneas de transmisión



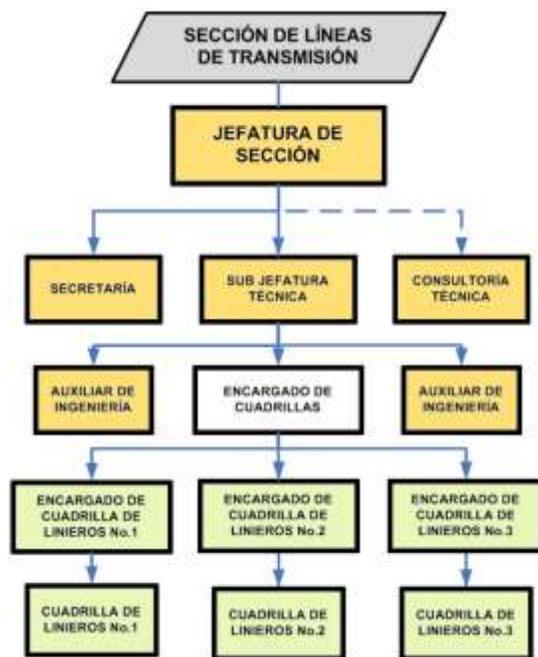
Fuente: *Google Earth.*

Según Acuerdo Gubernativo 256-97 fue designada como nodo de referencia del sistema nacional interconectado, por lo que su importancia es inminente en la estabilidad del mismo.

### 3.1.1. Estructura organizacional

El personal de la sección de Líneas de Transmisión se divide en personal administrativo y personal técnico. En la figura número 30 se representa el área administrativa de color mostaza y el personal técnico de color verde.

Figura 30. Organigrama de La Sección



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

### 3.1.1.1. Descripción de puestos clave

- Jefatura: es el enlace entre la sección y la jefatura del Sistema Central, encabeza el organigrama con las siguientes actividades:
  - Planificar y velar por la eficiente ejecución del presupuesto asignado a La Sección.
  - Velar por la ejecución de los contratos administrativos vigentes.
  - Coordinar y supervisar, apoyado en la sub-jefatura técnica, los trabajos de mantenimiento efectuados por el personal técnico.
  - Delegar actividades o autoridad, de ser necesario.
  - Atender los mantenimientos programados y correctivos.
  - Ejecutar las directrices giradas por la Jefatura del Sistema Central.
- Consultoría técnica: consiste en un servicio de consultoría externa que realiza lo siguiente:
  - Evaluar, a través de indicadores, el funcionamiento de la sección de líneas de transmisión para poder determinar su rendimiento mensual y anual.
  - Controlar, en conjunto con la jefatura, la planificación y ejecución del presupuesto de la sección, de tal manera de que sea óptima y transparente la adquisición de productos o servicios.

- Asesorar a la administración en asuntos de su competencia
- Sub jefatura técnica
  - Ejecutar las instrucciones giradas por la Jefatura de la Sección.
  - Realizar la planificación anual y mensual de los mantenimientos preventivos y predictivos a ejecutarse en las líneas de transmisión del Sistema Central.
  - Retroalimentar a la jefatura de la parte técnica de la sección.
  - Diseñar formatos y programas que faciliten la recopilación de la información obtenida durante trabajos de mantenimiento
  - Atender los mantenimientos programados y correctivos.
- Auxiliar de Ingeniería: consiste en personal capacitado para:
  - Realizar mantenimiento predictivo a las diversas líneas o estructuras de transmisión
  - Supervisar la ejecución de los contratos administrativos asignados
  - Realizar informes de avance de los mantenimientos efectuados por personal de cuadrillas.
  - Obtener cotizaciones de aquellos insumos a adquirir o los servicios que sea necesario contratar.

- Encargado de cuadrillas: es el enlace entre el personal técnico y administrativo, su función es supervisar directamente al personal técnico, velar por que se cumplan las normas de seguridad industrial y retroalimentar al área administrativa las necesidades detectadas para gestionar la solución.
- Cuadrilla de linieros: actualmente, se tienen tres cuadrillas, con 8 personas en promedio cada una; estos se encargan de efectuar los trabajos de mantenimiento correctivo o preventivo según sea necesario.

### **3.1.2. Líneas de Transmisión del Sistema Central**

El Sistema Central tiene a su cargo las principales líneas de transmisión a nivel ETCEE-INDE. Cubre múltiples departamentos de la República de Guatemala, transporta la mayor parte del flujo de potencia del SNI, al guiar y referenciar la generación hacia la Subestación Guatemala Sur.

Las generadoras conectadas con el Sistema de Transporte Central son:

- Hidroeléctricas
  - Chixoy (300 MW)
  - Aguacapa (90 MW)
  - Jurún Marinalá (60MW)
  - Palín II (6.1 MW).
- Parques Eólicos
  - Eólica Viento Blanco (23.1 MW)
  - Eólica San Antonio (52.8 MW)

- Geotérmica:
  - Ortitlán (22 MW)

La sección tiene líneas de transmisión en niveles de tensión de 69, 138 y 230 kilo voltios, cuenta con un total de 15 líneas y 563 kilómetros; las cuales se encuentran en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Guatemala, Escuintla, Sacatepéquez, Suchitepéquez, Jutiapa, Santa Rosa y Retalhuleu.

### 230 kV

- Línea Chixoy (Quixal) – Guatemala Norte

Línea en doble circuito, de configuración triangular, con dos conductores por fase y dos de hilo de guarda; tiene una longitud de 125.33 kilómetros y 328 estructuras de soporte; cruza por los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz y Guatemala. La línea tiene las siguientes particiones:

Tabla V. **Bifurcaciones de línea Quixal – Guatemala Norte**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. celosía
Chixoy	Chixoy II	5,17	0	16
Chixoy II	Tactic	43,49	0	114
Tactic	Guatemala Norte	76,67	4	194
<b>SUB TOTAL</b>		<b>125,33</b>	<b>4</b>	<b>328</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Aguacapa – Escuintla

Línea en circuito simple, de configuración triangular, con dos conductores por fase y un de hilo de guarda + OPGW; tiene una longitud total de 22.88 kilómetros y 68 estructuras de soporte; se encuentra en el departamento de Escuintla. La línea tiene las siguientes particiones:

Tabla VI. **Bifurcaciones de línea Aguacapa - Escuintla**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Aguacapa	Pacífico	19,080	3	47
Pacífico	San Joaquín	0,294	0	2
San Joaquín	Escuintla	3,800	6	10
<b>SUB TOTAL</b>		<b>22,88</b>	<b>9</b>	<b>59</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Escuintla – Guatemala sur

Línea en doble circuito de configuración vertical, con dos conductores por fase y dos de hilo de guarda; cruza por los departamentos de Escuintla, Guatemala y Sacatepéquez con las características siguientes:

Tabla VII. **Características de línea Escuintla – Guatemala Sur**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Escuintla	Guatemala Sur C1	44,64	11	112
Escuintla	Guatemala Sur C2	45,30	20	112

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Alborada – Escuintla 1 (Enlaces)

Línea en doble circuito, de configuración triangular, con dos conductores por fase y uno de hilo de guarda, tiene una longitud total de 400 metros y 05 estructuras de poste; se encuentra en el departamento de Escuintla.

- Línea Ahuachapán – Guatemala Este

Línea en circuito simple, de configuración triangular, con dos conductores por fase y dos de hilo de guarda; tiene una longitud total de 101.10 kilómetros y 286 estructuras de soporte; cruza por el departamento de Jutiapa, Santa Rosa, Guatemala. La línea tiene las siguientes particiones:

Tabla VIII. **Bifurcaciones de línea Ahuachapán – Guatemala Este**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Ahuachapán	Jalpatagua	25,79	13	63
Jalpatagua	La Vega II	51,13	16	129
La Vega II	Parque eólico San Antonio	6,08	1	17
Parque Eólico San Antonio	Guatemala Este	18,10	1	46
<b>SUB TOTAL</b>		<b>101,10</b>	<b>31</b>	<b>255</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Escuintla – Los Brillantes

Línea en circuito simple, de configuración triangular, con dos conductores por fase y un hilo de guarda + OPGW; tiene una longitud total de 100,01

kilómetros y 280 estructuras de soporte; cruza por los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla. La línea tiene las siguientes particiones:

Tabla IX. **Bifurcaciones de línea Escuintla – Los Brillantes**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Escuintla	Siquinalá	16,53	3	34
Siquinalá	Palo Gordo	55,31	20	140
Palo Gordo	Los Brillantes	28,16	6	77
<b>SUB TOTAL</b>		<b>100,01</b>	<b>29</b>	<b>251</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Guatemala Sur – Guatemala Norte

Línea en doble circuito, de configuración vertical, con dos conductores por fase y un conductor de guarda + OPGW; tiene una longitud total de 30.63 kilómetros y 93 estructuras de soporte; se encuentra en el departamento de Guatemala.

La línea tiene las siguientes particiones:

Tabla X. **Bifurcaciones de línea Guatemala Sur – Guatemala Norte**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Guatemala Sur	Guatemala Este	12,81	0	37
Guatemala Este	Guatemala Norte	17,81	0	56
<b>SUB TOTAL</b>		<b>30,63</b>	<b>0</b>	<b>93</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

138 kV

- Línea Jurún Marinalá – Guatemala Sur

Línea en doble circuito, de configuración vertical, con un conductor por fase e hilo de guarda tipo OPGW; tiene una longitud total de 32,40 kilómetros y 100 estructuras de soporte; cruza los departamentos de Escuintla y Guatemala.

Tabla XI. **Bifurcaciones de línea Jurún Marinalá – Guatemala Sur**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	# postes	# Celosía
Jurún Marinalá	Palín II	7,62	1	22
Palín II	Guatemala Sur	24,78	10	67
<b>SUB TOTAL</b>		<b>32,40</b>	<b>11</b>	<b>89</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Calderas – Palín II

Esta línea también es conocida como Ortitlán – Palín II, es en circuito simple, de configuración vertical, con un conductor por fase e hilo de guarda tipo OPGW; tiene una longitud total de 12,1 kilómetros y 59 estructuras de soporte; se encuentra en el departamento de Escuintla.

Tabla XII. **Bifurcaciones de línea Calderas – Palín II**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	# postes	# Celosía
Calderas (Ortitlán)	Viento Blanco	6,70	37	0
Viento Blanco	Palín II	5,40	22	0
<b>SUB TOTAL</b>		<b>12,10</b>	<b>59</b>	<b>0</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Jurún Marinalá – Escuintla

Línea en circuito simple, de configuración triangular, con un conductor por fase y un conductor de hilo de guarda; tiene una longitud total de 13,2 kilómetros y 43 estructuras de celosía; se encuentra en el departamento de Escuintla.

Tabla XIII. **Características de línea Jurún Marinalá – Escuintla**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Jurún Marinalá	Escuintla	13,2	01	42

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Palín 2 – Palín 2

Línea en circuito simple, de configuración horizontal, con un conductor por fase y dos conductores de hilo de guarda; tiene una longitud total de 240 metros y 04 estructuras de poste; se encuentra en el departamento de Escuintla.

69 kV

- Línea Guatemala Sur – EEGSA 1

Línea en circuito simple, de configuración triangular y vertical, con un conductor por fase y un conductor de hilo de guarda; tiene una longitud total de 7.32 kilómetros y 28 estructuras; se encuentra en el departamento de Guatemala.

Tabla XIV. **Características de línea Guatemala Sur – EEGSA 1**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Guatemala Sur	EEGSA 1	7,32	9	19

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Guatemala Sur – EEGSA 2 y 3

Línea en doble circuito, de configuración triangular y vertical, con un conductor por fase y un conductor de hilo de guarda; tiene una longitud total de 7.31kilómetros y 26 estructuras; se encuentra en el departamento de Guatemala.

Tabla XV. **Características de línea Guatemala Sur – EEGSA 2 y 3**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Guatemala Sur	EEGSA 2 y 3	7,31	9	17

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

- Línea Guatemala Sur - Chimaltenango

Línea en circuito simple, de configuración vertical, con un conductor por fase y un conductor de hilo de guarda; tiene una longitud total de 14.90 kilómetros y 44 estructuras de celosía; se encuentra en el departamento de Guatemala y Sacatepéquez.

- Línea Escuintla - Cocales

Línea en circuito simple, de configuración vertical, con un conductor por fase y un conductor de hilo de guarda; tiene una longitud total de 50.10 kilómetros y 285 estructuras tipo poste; se encuentra en el departamento de Escuintla y Suchitepéquez.

Tabla XVI. **Bifurcaciones de línea Escuintla – Cocales**

S/E Inicio	S/E Fin	Longitud (km)	No. postes	No. Celosía
Escuintla	El Jocote	13,60	81	0
El Jocote	Pantaleón	11,10	67	0
Pantaleón	Cocales	25,40	137	0
<b>SUB TOTAL</b>		<b>50,10</b>	<b>285</b>	<b>0</b>

Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

Si se realiza un conteo de líneas por tramos, particiones o bifurcaciones, la sección tiene un total de 29 líneas de transmisión, las cuales debe atender.

### **3.1.3. Plan de mantenimiento actual**

Los mantenimientos de la sección de líneas de transmisión se rigen por un manual, interno, denominado Manual de procedimientos para mantenimientos correctivos, preventivo y predictivo; en él se dicta la cadena de mando y los pasos a seguir al momento de realizar tareas de mantenimiento.

Conforme el Decreto No. 93-96, del Congreso de la República, fue creada la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), como un órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, quien, entre cuyas funciones está emitir las normas técnicas relativas al Subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento.

Las Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (NTDOST) y las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID), emitidas por la CNEE, establecen los mantenimientos mínimos que deben de realizar los agentes participantes del sistema de transporte de energía eléctrica dentro de la República de Guatemala.

El mantenimiento que brinda la sección de Líneas de transmisión tiene el propósito de mantener la continuidad de servicio de energía eléctrica. El mantenimiento preventivo requiere planificación y se realiza antes de que una línea falle. En caso contrario será correctivo.

A continuación, se listarán los mantenimientos que ejecuta la sección.

### **3.1.3.1. Mantenimiento correctivo**

Mantenimiento emergente y no programado, el cual se aplica cuando se registra una apertura de línea (desenergización), es decir, una condición de falla que amerita tomar acciones en calidad de emergencia.

#### **3.1.3.1.1. Revisión pedestre**

Consiste en realizar una revisión exhaustiva de una línea de transmisión cuando se registra una falla, se camina paralelo a la línea para buscar factores que la pudieron haber producido.

La finalidad es determinar y reportar el problema, según cadena de mando, para corregir el problema.

#### **3.1.3.1.2. Revisión aérea**

Se realiza en caso de que la revisión pedestre falle, en ese caso, se realiza un sobrevuelo (no programado) de la línea de transmisión en busca de indicios del causante de la falla desde otra perspectiva.

#### **3.1.3.1.3. Reparación emergente**

Se realiza después de que se localizó el problema tras realizar la revisión pedestre o aérea. Consiste en aplicar el mantenimiento necesario para restablecer la continuidad del servicio de transporte de energía eléctrica.

### **3.1.3.2. Mantenimiento predictivo**

Mantenimiento ejecutado por personal denominado previamente como auxiliares de ingeniería, el mismo utiliza equipo sofisticado para recolectar información y software especial para analizarla.

#### **3.1.3.2.1. Termografía**

Consiste en registrar, mediante una cámara, la temperatura a la que se encuentra un elemento; se logra al detectar (en tiempo real) la radiación infrarroja que emite el cuerpo bajo análisis.

La termografía se aplica sobre elementos energizados o que a través de ellos fluya corriente eléctrica, como morsetería y herrajes de cada fase o empalmes dentro de un tramo de línea.

Parámetro por detectar: temperatura

Dimensional: grados Celsius

Frecuencia de chequeo: anual

Delimitación de alarmas: las alarmas se delimitan con base en la normativa ANSI/NETA MTS-2007.

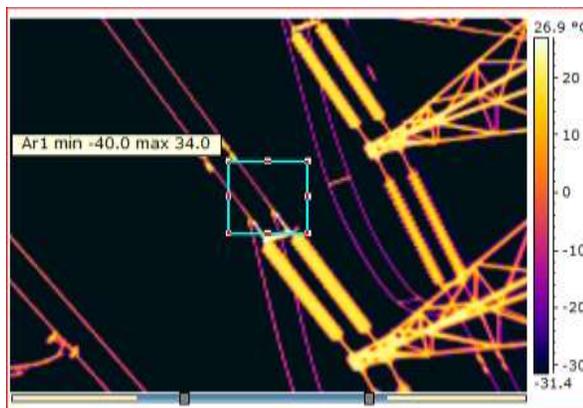
Tabla XVII. **Acciones sugeridas con base en la temperatura**

Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) basada en comparaciones entre componentes similares bajo una carga igual	Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) basada en comparaciones entre la temperatura ambiente y la del componente	Acción recomendada
1 °C a 3 °C	1 °C a 10 °C	Probable deficiencia; investigación de la garantía
4 °C a 15 °C	11 °C a 20 °C	Indica una probable deficiencia: reparar según lo permita el tiempo
-----	21 °C a 40 °C	Supervisar hasta que se realicen acciones correctivas
> 15 °C	> 40 °C	Discrepancia mayor: reparar inmediatamente

Fuente: Tabla 100.18 “*Thermographic Survey Suggested Actions Based on Temperature Rise*”  
Cortesía de International *Electrical Testing Association* ANSI/MTS-07.

Se realiza un contraste de temperatura entre la medición registrada en cada elemento de cada fase del sistema trifásico, así como con la temperatura ambiente *in situ*; el resultado se coteja con la tabla anterior para proceder según se amerite.

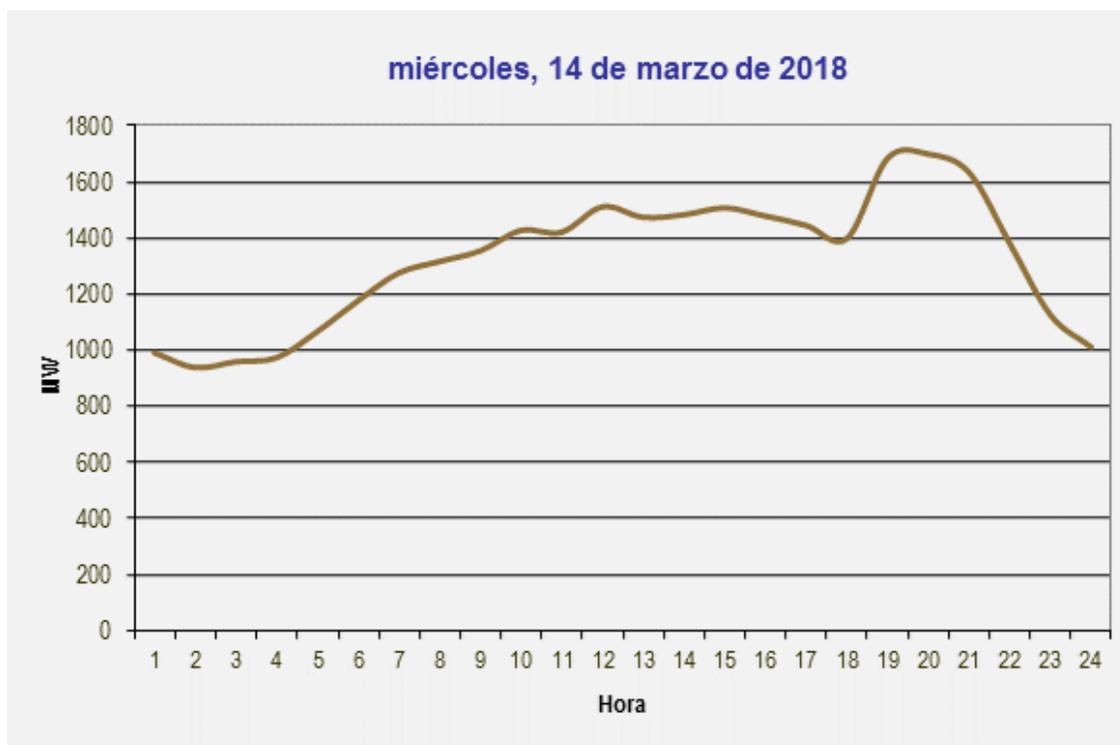
Figura 31. **Termograma de elemento de morsetería en estructura**



Fuente: elaboración propia.

Se considera que, para haber efectuado una buena medición de temperatura, la carga de la línea de transmisión debe ser significativa; es decir, debe realizarse cuando la demanda sea de al menos el 70% de su capacidad, puede realizarse un pronóstico según la curva de demanda horaria.

Figura 32. **Curva de demanda diaria horaria**



Fuente: AMM. [www.amm.org.gt/portal/](http://www.amm.org.gt/portal/). consulta: el 14 de marzo de 2018.

En la imagen se aprecia que el horario óptimo para haber realizado un mantenimiento de termografía, el miércoles 14 de marzo del presente año, fue a las 12 y entre 19 a 20 horas; considerando el horario laboral de los trabajadores de ETCEE, solo hubiera sido posible efectuarlo en un horario de 08 a 16:30 horas sin recurrir a pago de horas extra.

### 3.1.3.2.2. Medición de PAT

En el capítulo 2 y artículo 9, la norma NTDOID define un sistema de puesta a tierra (PAT) como:

Sistema de conductores de los cuales uno de ellos o un punto de los mismos está efectivamente aterrizado” así como “conexión de suficiente baja impedancia y de capacidad de conducción de corriente para limitar la formación de tensiones a niveles menores de aquellos que resultarían en daños a las personas o a los equipos conectados.<sup>16</sup>

Consiste en realizar una medición mediante un telurómetro de alta frecuencia (25 kHz), del valor que posee la tierra física al pie de una estructura de transmisión de energía eléctrica para asegurarse que las conexiones están en buen estado y que sus valores no han superado los límites permitidos en las normas NTDOID.

Marco legal: NTDOST, capítulo 2, artículo 19, numeral 3

NTDOID, capítulo 4, artículo 33, numeral 1 y 2.

ANSI/IEEE Std. 81-1983

Elementos: la medición se realiza sobre la puesta a tierra

Parámetro por detectar: resistencia eléctrica

Frecuencia de chequeo: anual

Delimitación de alarmas: según se indica en el marco legal, en el numeral 1 se establece que: “En ningún caso deberá ser mayor de 25 ohmios”, siendo este el valor alarma.

---

<sup>16</sup> CNEE. *Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución*. p.4.

### 3.1.3.2.3. Inspecciones

En el capítulo 2 y artículo 18 de la normativa NTDOST se establecen las premisas para realizar revisiones, diciendo lo siguiente:

Las empresas de transporte deberán inspeccionar sus líneas y equipos conectados al Sistema Nacional antes de la conexión inicial y periódicamente después de su conexión para asegurarse que los parámetros y datos estén correctos y no han cambiado más allá de los límites aceptables.<sup>17</sup>

- Inspección visual

Se denomina inspección visual al procedimiento de mirar un elemento para analizarlo y asignarle una interpretación; esta tarea puede agruparse en tres campos: metrología, caracterización y defectología.

En metrología se realiza una comparación directa con un instrumento de referencia como una regla, cinta métrica o un vernier para obtener longitudes lineales; la medición debe ser simple y sin utilizar instrumentos sofisticados.

La caracterización consiste en que, a través de apreciar visual y superficialmente un elemento, se recolecte la suficiente información para clasificarlo según material, edad, procedencia, estado, entre otros.

La rama de la defectología busca localizar discontinuidades que afecten la superficie que se está mirando, si la discontinuidad detectada es de tal magnitud que puede comprometer a tal punto de inutilizar el elemento se le denominará defecto o fallo.

---

<sup>17</sup> CNEE. *Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica*. p.6.

Es necesario que el inspector visual pueda reconocer las discontinuidades del elemento bajo análisis para reportarlas y evitar que se conviertan en fallos. Se mostrarán referencias para que el inspector pueda conocer y reconocer las discontinuidades más usuales en los elementos de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

- Aislamiento

El aislamiento puede presentar los siguientes problemas según sea el material de este, vidrio o polímero.

Figura 33. **Discontinuidades por detectar en aislamiento de vidrio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Discontinuidades por detectar en aislamiento de Polímero**

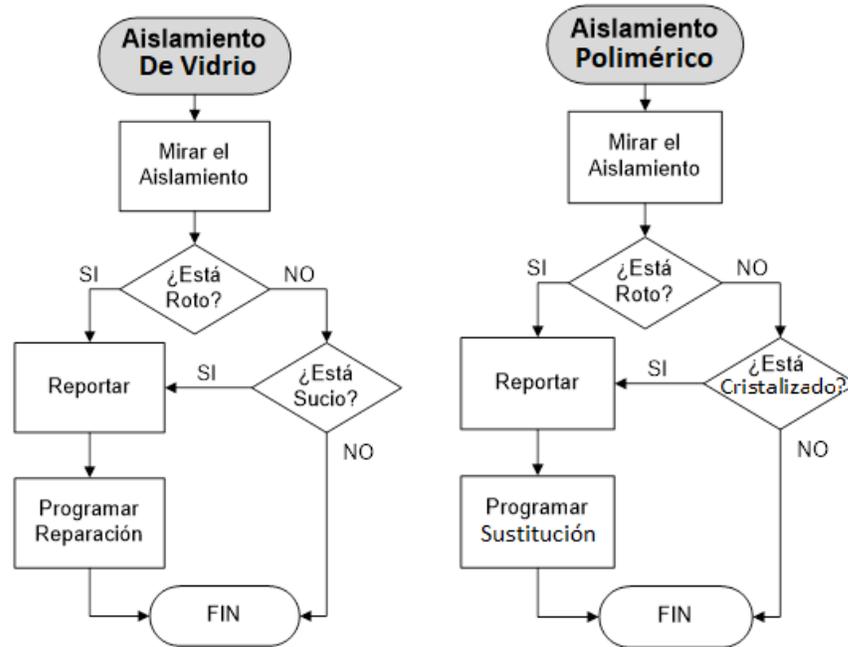


Fuente: elaboración propia.

De la imagen 33 puede observarse los defectos que más comúnmente se presentan en el aislamiento de vidrio, el aislamiento “flameado” es el más complicado de detectar ya que presenta patrones a través del vidrio a diferencia del roto y sucio que es perceptible a “simple vista”.

En la 34 se muestra un aislador que se encuentra “cristalizado”, puede reconocerse por su color blanco cuando debería de ser gris oscuro, se presentarán dos diagramas de decisión básicos que el inspector debe utilizar para decidir entre si está bien o no.

Figura 35. Diagrama de decisión para aislamiento de vidrio



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

- Conductor

El conductor, de fase o el hilo de guarda, puede encontrarse roto o deshilado; es uno de los elementos más importantes. Si se dañara ocurriría una indisponibilidad en el sistema eléctrico. Suele ser afectado por impacto de rayos, árboles o ramas.

Figura 36. **Discontinuidades por detectar en el conductor**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Diagrama de decisión para el conductor**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

- Integridad de la estructura de soporte, postes

Las estructuras de postes pueden ser de concreto o metal; y según su material puede presentar diferentes defectos.

Figura 38. **Discontinuidades por detectar en la estructura de poste**



Fuente: elaboración propia.

- Integridad de la estructura de soporte, celosía

Las estructuras de celosía, ya que están formadas por angulares de hierro, pueden tener piezas corroídas o golpeadas (dañadas), o bien, que hayan sido robadas.

Figura 39. Diagrama de decisión para angulares



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

Figura 40. Ejemplo de angulares corroídos



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Ejemplo de angulares robados en una base**



Fuente: elaboración propia.

- Tarea: inspección pedestre

Consiste en inspeccionar visualmente, *in situ* cada una de las estructuras de una línea de transmisión para aplicar caracterización o defectología. El personal de cuadrilla camina por debajo de la línea, o en sus cercanías, para visualizar sus elementos.

- Tarea: inspección aérea

Consiste en buscar los mismos elementos indicados en la inspección pedestre, pero a través del espacio aéreo. Por medio de un helicóptero, se realiza un sobrevuelo de la línea para mirar desde otra perspectiva los factores que puedan afectar a la línea de transmisión.

Se realiza inspección aérea para revisar la línea de transmisión desde una perspectiva diferente a la que se obtiene desde el suelo, en el helicóptero se puede realizar una revisión rápida de todas las estructuras de soporte.

La actividad consiste en realizar un sobrevuelo de la línea a una altura entre 60 y 80 metros y una rapidez promedio de 60 kilómetros por hora (20 metros por segundo), brindando así un rango de 35 a 55 segundos para que el inspector pueda observar un tramo de línea e identificar si se encuentra aceptable la vegetación, el aislamiento, el terreno, entre otras cosas; los valores de altura y rapidez son experimentales para ETCEE-INDE, pero podrían ser modificados de solicitárselo al piloto de la aeronave.

- Contrato Administrativo

El Sistema Central de ETCEE-INDE, mantiene contrato con alguna empresa nacional, que brinde servicio de transporte aéreo vía helicóptero; el servicio vigente fue licitado en el portal web Guatecompras bajo el NOG número: 5907071.

- Recurso humano

El helicóptero en servicio tiene capacidad de transportar a tres trabajadores de ETCEE, siendo los mismos dos auxiliares de ingeniería y un integrante del personal técnico.

El deber del técnico es mirar y comunicar, toda aquella información que considere relevante, a un auxiliar de ingeniería, quien deberá anotarlo mientras, el otro auxiliar, toma fotografías de cada estructura de transmisión.

- Activos

1 vehículo: para transportar el personal, desde subestación Guatemala Sur hacia los Hangares en zona 13.

1 cámara fotográfica: para capturar las estructuras de transmisión en un archivo multimedia.

1 dispositivo de Geoposicionamiento global (GPS): para conocer la posición sobre la cual se está “volando” y así reconocer el número de la estructura que se observa.

Computador sobre el que se realiza un informe, posterior a realizada la actividad y utilización del servicio de impresión.

- Costos

El contrato administrativo número 207-2 017, celebrado entre las entidades anteriormente nombradas, en su cláusula cuarta y literal a, establece el precio por hora del servicio de transporte en 6 090 quetzales con el impuesto al valor agregado (IVA) incluido.

Para determinar el costo de realizar este mantenimiento se tomará en consideración el recurso humano (salario, bonificaciones de ley, viáticos y dos horas extra por persona) y los insumos mencionados (Herramienta, material, depreciación y consumibles).

Tabla XVIII. **Barrido de costos a frecuencia de 15 minutos**

horas	costo personal con IVA (GTQ)	viáticos	combustible	costo por hora (GTQ)	Fracción del servicio con IVA (GTQ)	total
0,50	Q669,42	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q3 045,00	<b>Q3 861</b>
0,75	Q1 004,13	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q4 567,50	<b>Q5 718</b>
1,00	Q1 338,84	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q6 090,00	<b>Q7 576</b>
1,25	Q1 673,54	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q7 612,50	<b>Q9 433</b>
1,50	Q2 008,25	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q9 135,00	<b>Q11 290</b>
1,75	Q2 342,96	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q10 657,50	<b>Q13 147</b>
2,00	Q2 677,67	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q12 180,00	<b>Q15 004</b>
2,25	Q3 012,38	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q13 702,50	<b>Q16 861</b>
2,50	Q3 347,09	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q15 225,00	<b>Q18 718</b>
2,75	Q3 681,80	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q16 747,50	<b>Q20 576</b>
3,00	Q4 016,51	Q146,25	Q26,40	Q6 090,00	Q18 270,00	<b>Q22 433</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

La tabla anterior muestra cuánto cuesta realizar la inspección aérea, tras haber realizado un barrido cada 0,25 horas (15 minutos); además, se determinó el costo de realizar el informe correspondiente de vuelo, tras haberle dedicado 60, 75 o 90 minutos al mismo.

Tabla XIX. **Costo elaboración de informe**

TIEMPO (MINUTOS)	TIEMPO (HORAS)	COSTO PERSONAL CON IVA (GTQ)
60	1,00	Q284
75	1,25	Q355
90	1,50	Q426

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

En las siguientes tablas se muestra con qué frecuencia se realiza inspección a las estructuras de soporte del Sistema Central de ETCEE-INDE, en cumplimiento con las Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte, que en su artículo 18, establece lo siguiente: “El transportista deberá incluir un programa regular de revisión de la totalidad de sus instalaciones en períodos no mayores a tres años<sup>18</sup>”

Tabla XX. **Frecuencia de revisiones en líneas de 230 kV**

kV	No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	FRECUENCIA DE REVISIÓN (MESES)	
			PEDESTRE	AÉREA
230	1	Quixal - Guatemala Norte	2	5
	2	Aguacapa-Escuintla	2	5
	3	Escuintla - Guatemala Sur	2	5
	4	Alborada – Escuintla 1 (Enlaces):	3	0
	5	Ahuachapán – Guatemala Este	3	5
	6	Escuintla – Los Brillantes	3	5
	7	Guatemala Sur – Guatemala Norte	2	5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

<sup>18</sup> CNEE. *Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica*. p.6.

Tabla XXI. **Frecuencia de revisiones en líneas de 138 kV**

kV	No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	FRECUENCIA DE REVISIÓN (MESES)	
			PEDESTRE	AÉREA
138	8	Jurún Marinalá – Guatemala Sur	2	5
	9	Calderas - Palín	2	0
	10	Jurún Marinalá - Escuintla	2	5
	11	Palín 2 - Palín 2	2	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXII. **Frecuencia de revisiones en líneas de 69 kV**

kV	No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	FRECUENCIA DE REVISIÓN (MESES)	
			PEDESTRE	AÉREA
69	12	Guatemala Sur - EEGSA 1	2	0
	13	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	2	0
	14	Guatemala Sur - Chimaltenango	2	0
	15	Escuintla - Cocale	2	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

La frecuencia con que se revisa de manera pedestre es de 2 o 3 meses, ya que la vegetación que se encuentra en las cercanías es de crecimiento rápido por las condiciones climáticas de la región; además, las normas nacionales prohíben la tala o corte total, por lo que requiere un control más extremo al solo realizar poda o desrames menores.

A la fecha, se realiza inspección aérea con helicóptero a 8 de las 15 líneas de transmisión a cargo de la sección, ya que, se consideraron las de mayor longitud en tensiones de 230 y 138 kilo voltios, dejando así las líneas en 69 kilo voltios sin estar sujetas a este tipo de revisión.

### **3.1.3.3. Mantenimiento preventivo**

Tras haber realizado mantenimiento predictivo, se planifican y realizan las reparaciones pertinentes para corregir lo detectado, antes de que se produzca un fallo, daño, avería o accidente.

#### **3.1.3.3.1. Mantenimiento de brecha**

Consiste en realizar tareas de desramar o cortar vegetación, a tal punto, de reducirla y conservar las distancias eléctricas permitidas en la normativa nacional vigente.

La vegetación, al ser conductiva, si hace contacto con uno o más conductores de fase, causará que la línea falle e interrumpa el transporte de energía eléctrica.

Figura 42. **Liniero efectuando recorte de ramas**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.

#### **3.1.3.3.2. Limpieza de aislamiento**

Consiste en limpiar los aisladores de vidrio de una estructura de transmisión; tal mantenimiento se realiza utilizando *wipe* humedecido (con agua) y luego, se seca con manta de algodón.

Este mantenimiento se utiliza para remover toda impureza (polvo o contaminación) que se encuentra sobre el aislador. De esta manera evitamos corrientes de fuga superficiales entre los herrajes (energizados) y la estructura de soporte.

Figura 43. **Liniero efectuando limpieza de aislamiento**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.

### **3.1.3.3.3. Cambio de aislamiento**

Consiste en el reemplazo de algún aislador que se encuentre parcial o totalmente roto dentro de la cadena de aisladores, para realizar esta actividad es necesario desenergizar la línea de transmisión ya que por seguridad se realiza sin tensión.

Figura 44. **Liniero efectuando cambio de aislamiento**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica.

#### **3.1.3.4. Plan operativo anual**

El Plan Operativo Anual (POA) cumple con el Decreto número 101 de 1997, extendido por el Congreso de la República de Guatemala, denominado Ley Orgánica del Presupuesto, el cual, en su artículo 8 establece que debe haber una vinculación entre la planificación y el presupuesto.

Dentro del POA se encuentra la planificación de los mantenimientos que se programaron a lo largo del año. Por medio de estos trabajos se alcanzarán los objetivos institucionales.

## 4. GUÍA DE SEGURIDAD EN INSPECCIONES AÉREAS

En la actualidad los drones no pueden operarse sin haber cumplido con los requisitos de seguridad que establezca el país en el que se está manipulando la aeronave, estas normativas las establecen las instituciones responsables del transporte aéreo dentro de cada país.

En el siguiente capítulo se brindará la base para operar de manera segura una aeronave no tripulada, tanto para las personas que se encuentran en las cercanías del área de vuelo, como para él operador y para la aeronave. Se abordarán las regulaciones de operación de Guatemala y de otros países con quienes mantiene operaciones en el mercado eléctrico, para conocer la manera correcta y legal de operar estos vehículos.

Guatemala y los países con los que mantiene relaciones comerciales en el sector eléctrico, basaron su normativa en la *Foundation of the International Civil Aviation Organization* (OACI). Este es un organismo especializado de la ONU, formado por 192 Estados miembros. La OACI vela por el cumplimiento del convenio sobre aviación civil internacional (Convenio de Chicago) creado en 1944 y firmado por 52 Estados con la finalidad de que los reglamentos en cada Estado fueran lo más uniforme posible.

## **4.1. Regulaciones para la operación de drones**

Los drones, aunque son artefactos tecnológicos capaces de brindar múltiples soluciones, también pueden causar incidentes y accidentes si se hace mal uso de ellos.

Por lo anterior, se han creado normativos y reglamentaciones que regulan la operación de las aeronaves no tripuladas según una región o país en específico.

### **4.1.1. Regulaciones internacionales**

Se tomará como referencia México, las repúblicas de El Salvador y Honduras, países con los que el INDE mantiene una relación comercial a través del sistema eléctrico interconectado, esto significa que los cuatro países están conectados por medio de líneas de transmisión, por esta razón se especificará la normativa de uso de drones en estos países.

#### **4.1.1.1. México**

La institución que regula los vehículos aéreos en México es la Dirección General de Aeronáutica Civil, esta institución es la encargada de establecer los requerimientos para operar un sistema de aeronave piloteada a distancia en el espacio mexicano.

La Circular Obligatoria CO AV-23/10 R4 más actualizada fue emitida el 25 de julio de 2017, y fue desarrollada tomando como fundamento el Anexo 8, titulado “Aeronavegabilidad” establecido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

La circular divide los requerimientos de operación según el uso al que este destinado la aeronave y el tamaño. La aeronave de 2 Kg está clasificada como Micro de 2.001 Kg a 25 Kg como pequeño y de 25.001 Kg o más como RPAS grande.

Las aeronaves destinadas para el sector eléctrico, por lo general clasifican en la categoría de RPAS pequeño con uso comercial, por lo que todo el material de esta norma que se proporcione será enfocado a clasificación de Drones.

Todos los RPAS de esta categoría deben tener autorización para ser operados emitida por la Autoridad de Aeronáutica. Para registrar la aeronave debe llenarse un formulario en la página web designada para dicha función y 10 días hábiles después de emitido dicho registro le será entregado una copia original de la inscripción.

La aeronave debe portar una placa de identificación de material no inflamable y los operadores deberán estar autorizados para realizar cualquier procedimiento con el vehículo.

#### **4.1.1.2. República de El Salvador**

La regulación de los vehículos aéreos no tripulados en la República de El Salvador está regida por la Autoridad de Aviación Civil (AAC), y lleva por nombre de RAC VANT. La primera edición de esta normativa fue emitida en julio del 2016, mientras la versión más reciente fue publicada el 20 de febrero de 2018.

La ACC se fue desarrollada tomando como bases el Anexo 02 de AOCI, también utilizo como referencia los siguientes documentos:

- La circular 328 Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) de la OACI.
- Doc. 10019, Manual de la Organización de aviación Civil Internacional (*Manual remotely piloted aircraft systems*).
- Parte 107 de las regulaciones FAR de EE. UU.
- Propuesta de regulación JAA (Antecesor de EASA) de Europa.

La Autoridad de Aviación Civil con esta normativa establece las condiciones de uso y operación de los vehículos aéreos no tripulados que operan en el espacio aéreo salvadoreño.

Estas condiciones reducen al mínimo el peligro al que están expuestas las personas, los bienes u otras aeronaves, al compartir un espacio con los vehículos no tripulados, para esto es crucial identificar tanto la nave, su propietario y los operarios.

Para identificar las aeronaves y al propietario, se deberá llenar un formulario de inscripción en la cual se coloca la información de la persona responsable y la información del vehículo, una vez cumplido este requisito la ACC proporcionará una placa con un código el cual sirve como identificación de la aeronave, esta placa debe ir fija a la estructura del vehículo, ser clara y visible.

Del mismo modo como se registra el vehículo se deben identificar los operadores de la aeronave, quienes llenarán un formato de inscripción solamente para propósitos de censo, y no asegura la competencia de los pilotos.

#### **4.1.1.3. Honduras**

La institución encargada de normar el espacio aéreo en Honduras es la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil, actualmente su reglamentación no se encuentra aprobada por la OACI, por lo que el 20 de agosto del 2017 publicaron en la página de la AHAC un comunicado donde se da a conocer que el Congreso Nacional aprobó las nuevas reformas de la Ley de Aeronáutica Civil en el cual será incorporada a través de una RAC, las condiciones de iniciación aprendizaje, prácticas de vuelo y operaciones de los sistemas de aeronaves piloteadas a distancia.

En las reformas serán incorporados los nuevos anexos y normativa dictada por la OACI para obtener una certificación internacional que permita operar el transporte aéreo nacional e internacional de forma segura y ordenada.

#### **4.1.2. Regulaciones nacionales**

En Guatemala, la organización responsable de la manipulación de aeronaves no tripuladas es la Dirección General de Aeronáutica Civil abreviada como DGAC. Esta dependencia administra y vela por el cumplimiento de las normas que regulan la utilización del espacio aéreo en Guatemala.

Debido a los avances tecnológicos, los sistemas de aeronaves piloteados a distancia forman parte del sistema aeronáutico de Guatemala, y se emitió la

RAC-101, la cual establece las pautas de manipulación de los Drones dentro del espacio aéreo de Guatemala. La base de su redacción son las disposiciones de la OACI, establecida por medio de anexos y documentos

La RAC-101 está dividida en tres partes, en la subparte “A” se define todo lo referente a aeronaves no tripuladas, en la subparte “B” el aeromodelismo y en la subparte “C” fuegos artificiales. La subparte que será de utilidad para operación de Drones es la subparte “A” en este apartado se podrá encontrar el reglamento para operar estas aeronaves.

La DGAC ofrece una lista de escuelas privadas de aviación autorizadas para que una persona particular o personal de empresas aprenda los principios teóricos y prácticos para operar aeronaves tripuladas o no tripuladas de manera segura y dentro del marco legal guatemalteco; dicha lista puede observarla en anexo número 3

#### **4.1.3. Comparación de regulaciones**

En la siguiente tabla se detallarán las condiciones de vuelo bajo la cuales deberán operar los drones, según el reglamento de cada país, se realizó una tabla comparativa para contrastar las condiciones de vuelo que deben cumplirse en Guatemala, México y la República de El Salvador. No se incluyó la República de Honduras porque carece de reglamentación oficial para aeronaves no tripuladas (drones).

Cada país estableció sus condiciones, pero todos tomaron como referencia los Anexos de la OACI, por esta razón las condiciones son similares.

Tabla XXIII. Comparación entre reglamentaciones

	<b>Guatemala</b>	<b>México</b>	<b>El Salvador</b>
<b>Peso límite de aeronave</b>	-----	25 Kg	25 Kg
<b>Categorías</b>	<p><b>Grande</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avión: 150 Kg</li> <li>• Helicóptero: 100 Kg.</li> </ul> <p><b>Micro</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso total <math>\geq</math> 100 g</li> </ul> <p><b>Pequeño</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0.1 &lt; \text{peso} &lt; 150</math> kg</li> </ul>	<p><b>Micro</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Peso} \leq 2</math> Kg</li> </ul> <p><b>Pequeño</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2 &lt; \text{peso} \leq 25</math> kg</li> </ul> <p><b>Grande</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Pero} &gt; 25</math> Kg</li> </ul>	No especifica
<b>Línea visual del piloto</b>	-----	450 m o que el piloto sea capaz de ver la nave sin ayuda de ningún otro dispositivo que los lentes correctivos.	No se permiten vuelos más allá del alcance visual del piloto
<b>Altitud máxima</b>	121.92 m	122 m	121.92 m
<b>Velocidad máxima</b>	-----	161 km/h	70 km/h

Continuación de tabla XXIII.

	<b>Guatemala</b>	<b>México</b>	<b>El Salvador</b>
<b>Horario de vuelo</b>	Desde la hora oficial de puesta del sol a la hora oficial de salida del sol.	Desde la hora oficial de puesta del sol a la hora oficial de salida del sol.	Desde la hora oficial de puesta del sol a la hora oficial de salida del sol.
<b>Distancia mínima de vuelo de un aeropuerto internacional</b>	5.556 km		6 km
<b>Distancia mínima de vuelo de pistas autorizadas</b>	5.556 km contados desde el aeródromo.		2 km contados desde el perímetro de la pista.
<b>Número de personas máximas en el lugar de vuelo</b>	-----	12 personas	No se permiten operaciones sobre concentraciones de personas.
<b>Distancia mínima de vuelo de helipuertos autorizado</b>	-----	900 m contando desde el perímetro del helipuerto.	250 m contados desde el perímetro del helipuerto.

Continuación de tabla XXIII.

	<b>Guatemala</b>	<b>México</b>	<b>El Salvador</b>
<b>P R O H I B I C I O N E S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No operar la aeronave de una manera que amenace a las personas y objetos de su alrededor.</li> <li>• No operar aeronaves cerca de otras.</li> <li>• No operar la aeronave en zonas prohibidas o de riesgo, las mismas serán indicadas en la sección 4.2.2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe dejar caer ningún objeto de la RPAS.</li> <li>• No operar RPAS en zonas prohibidas.</li> <li>• No trasportar mercancías peligrosas.</li> <li>• No operar RPAS de manera negligente.</li> <li>• No operarse desde vehículos en movimiento.</li> <li>• No operar más de una aeronave al mismo tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se permite operar en áreas restringidas.</li> <li>• No se permite operar sobre propiedad privada.</li> <li>• No operar dos vehículos simultáneamente.</li> <li>• No se permite operar sobre un vehículo o plataforma en movimiento.</li> <li>• No se permite trasportar mercancías peligrosas.</li> <li>• No se permite soltar ni lanzar ningún objeto desde el vehículo.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Condiciones de vuelo**

A continuación, se exponen lineamientos básicos al realizar un vuelo utilizando un dron. La finalidad es crear una lista de elementos que faciliten un análisis previo al riesgo a volar; cada aeronave no tripulada es distinta, ya que, según el fabricante o modelo elegido tiene características de diseño y restricciones.

Se plantearán situaciones donde los factores dependen de las condiciones climatológicas (lluvia, viento fuerte, baja o alta temperatura, entre otros) o condiciones que dependen específicamente del lugar donde se quiere realizar una inspección aérea.

### **4.2.1. Consideraciones ambientales**

Se refiere a los factores ligados a condiciones climatológicas, que pueden predecirse, pero no pueden controlarse. Se listan los elementos que podrían comprometer al máximo el funcionamiento de la aeronave si no se contara con las medidas de prevención suficientes.

La persona a cargo deberá planificar, con base en un pronóstico del clima, para asegurarse de que las condiciones serán adecuadas. Cuando se desee efectuar el vuelo, es recomendable apoyarse en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) o alguna aplicación meteorológica móvil como *AccuWeather*.

Además, se deberá realizar una medición local, previo al vuelo, *in situ*, de parámetros como velocidad del viento, intensidad lumínica, humedad relativa y temperatura, entre otros que vayan a impedir realizar el vuelo.

En la actualidad, hay elementos portátiles para tener una pequeña estación meteorológica que detecte las condiciones para emprender el vuelo, se recomienda que, al menos, se tenga un dispositivo para medir el viento (anemómetro), temperatura (termómetro) e intensidad lumínica (luxómetro); ver anexo 1.

- Lluvia: a menos que el dron tenga una certificación IP que asegure su funcionamiento aún en condiciones de lluvia, ejemplo: IP 43
- Niebla o humo: reduce considerablemente o torna nula la capacidad de mirar a través de la cámara del dron.
- Viento: una aeronave tiene la capacidad de permanecer inmóvil en un sitio bajo fuerzas externas como el viento, pero cada una tiene características de diseño

Tabla XXIV. **Referencias de velocidad del viento máximo**

MARCA	MODELO	ALTITUD MÁXIMA
DJI	Phantom 4 e Inspire 1	10 metros/segundo <sup>19</sup>
DJI	Matrice 210 RTK	12 metros/segundo <sup>20</sup>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

- Granizo: elementos como el granizo podrían golpear la aeronave y poner en riesgo su integridad porque la desestabiliza o le quiebra alguna hélice.

<sup>19</sup> DJI. *Phantom 4 Pro/Pro+, User manual*. p.54.

<sup>20</sup> DJI. *Matrice 200 Series, M210 / M210 RTK User manual*. p.70.

- Temperatura: dato proporcionado por el fabricante, indica el rango de temperaturas donde la operación de la aeronave es aceptable.

Tabla XXV. Referencia de temperatura límite

MARCA	MODELO	TEMPERATURA MÁXIMA
DJI	Phantom 4	$0^{\circ} < T < 40^{\circ}\text{C}$
DJI	Inspire 1	$-10^{\circ} < T < 40^{\circ}\text{C}$
DJI	Matrice 210 RTK	$-20^{\circ} < T < 45^{\circ}\text{C}$

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

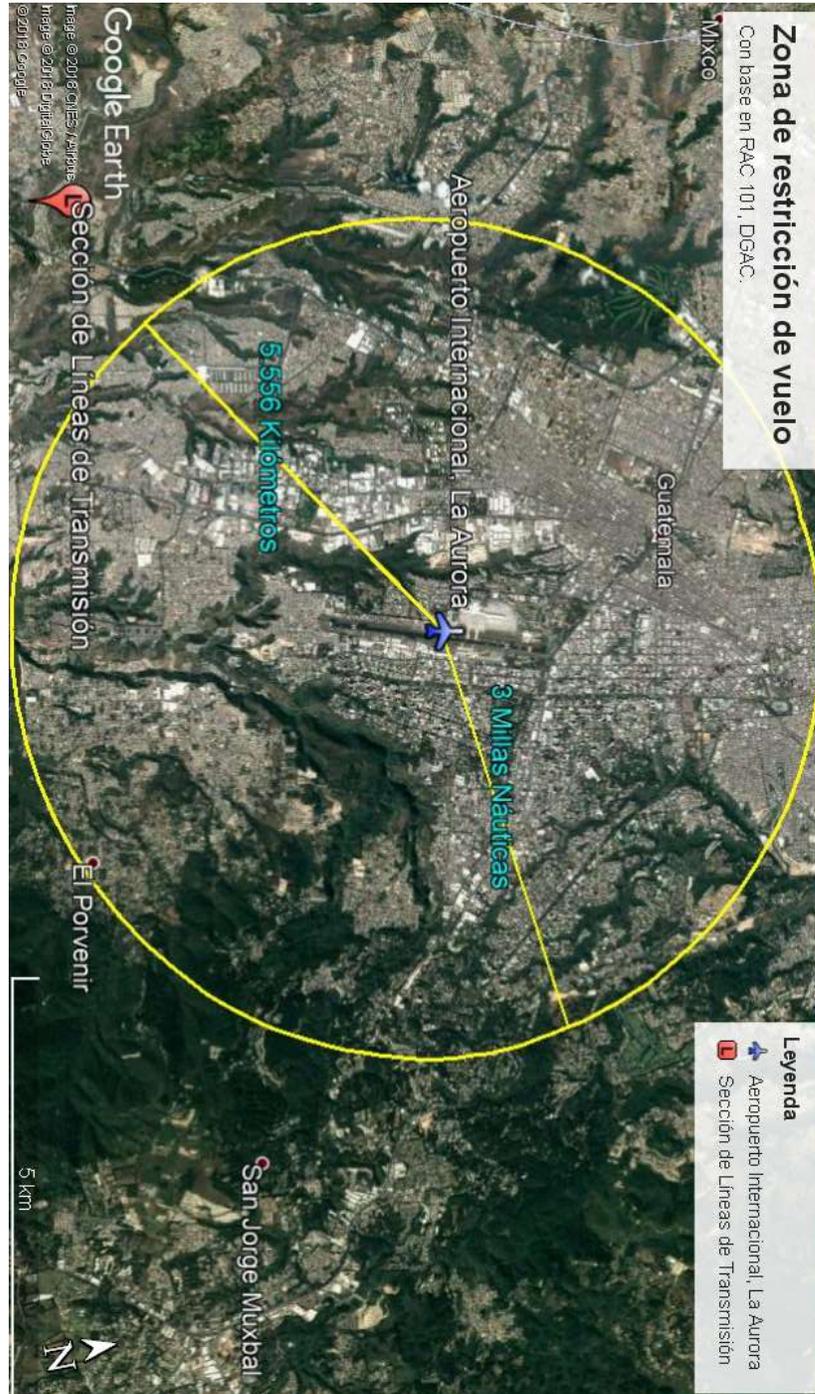
#### 4.2.2. Consideraciones situacionales

En estas consideraciones el operador del dron debe emplear su conocimiento legal y su criterio para decidir si es seguro o no realizar el vuelo.

- **Espacio aéreo controlado (*no-fly zone*):** la posición donde se desee realizar un vuelo exige la verificación de no estar dentro de alguna zona prohibida o donde el espacio aéreo se encuentre controlado.

Algunos fabricantes de aeronaves no tripuladas han incluido, dentro de sus plataformas de vuelo, parámetros de referencia para indicar si se encuentra o no dentro del marco legal del país; se tomará como referencia lo estipulado en el RAC 101.

Figura 45. Área de espacio aéreo controlado



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

- Aves, afectación del dron con su entorno: una investigación de la Universidad de *Montpellier*, en Francia, indagó acerca del impacto que tienen los drones sobre las aves. Realizaron 204 acercamientos de vuelo con una aeronave no tripulada y en el 80% de las pruebas se observó que la velocidad, el color y la repetición no afectaban las aves hasta los 4 metros de distancia. Aunque no se registraron cambios en las conductas de las aves no se descarta que pueda causarles estrés.

El impacto que han generado estas aeronaves en el medio ambiente ha sido positivo, debido a que se han encontrado varias aplicaciones beneficiosas para este como la vigilancia de reservas naturales, la biodiversidad, el medio ambiente y la siembra masiva de árboles contra la deforestación.

Siempre que el usuario sea consiente y no invada de una forma agresiva el espacio de la fauna, y cumpla con las normativas del país, esta nueva tecnología no amenaza al medio ambiente, al contrario, puede colaborar en su progreso.

Un ave puede arremeter contra la aeronave no tripulada para proteger su entorno y si siente que ella misma está amenazada, sus crías o su nido.

- Elevación sobre el nivel del mar: dato brindado por el fabricante, cada dron debe tener en su ficha técnica la mayor altitud en la que puede operar antes de que disminuya el funcionamiento de este.

Se tomará como referencia ciertos modelos de drones de la marca DJI.

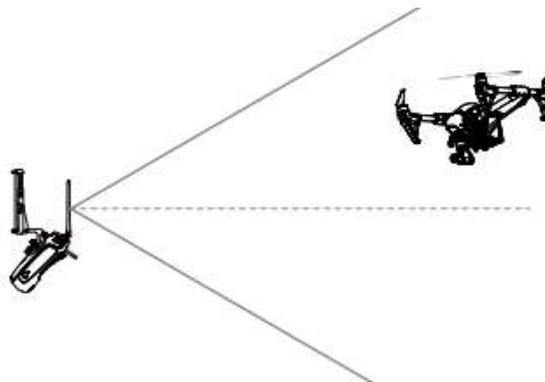
Tabla XXVI. **Ejemplo de altitudes máximas**

MARCA	MODELO	ALTITUD MÁXIMA
DJI	Phantom 4	6 000 metros <sup>21</sup>
DJI	Inspire 1	4 500 metros <sup>22</sup>
DJI	Matrice 210 RTK	3 000 metros <sup>23</sup>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

- **Obstrucciones:** los edificios, estructuras metálicas, árboles o vegetación en general pueden bloquear la señal GPS al ser un obstáculo entre la comunicación entre el dron y el control remoto.

Figura 46. **Esquema de transmisión óptima, libre de obstáculos**



Fuente: DJI. *Inspire 1, user Manual*. p.30.

<sup>21</sup> DJI. *Phantom 4 Pro/Pro+, User manual*. p.54.

<sup>22</sup> DJI. *Inspire 1, User manual*. p.46.

<sup>23</sup> DJI. *Matrice 200 Series, M210 / M210 RTK User manual*. p.75.

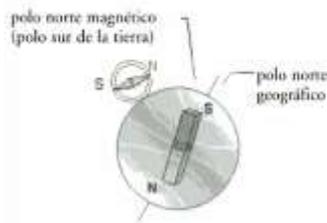
- Zonas pobladas: Dentro de la Reglamentación de Aeronáutica civil (RAC) 101, de la República de Guatemala, punto número 5, define un área poblada como:

Una zona relacionada con la operación de un avión no tripulado, si la zona tiene una densidad de población suficiente para algunos aspectos de la operación, o algún evento que pueda ocurrir durante la operación, en particular; una falla en la aeronave que pueda poner en riesgo excesivo la vida, la seguridad o la propiedad de alguien o algo que está en dicha zona y que no está relacionado con la operación.<sup>24</sup>

México, en cambio, dentro de su reglamentación, expresa más puntualmente el concepto, en su capítulo 8, numeral 1, sub numeral 2 (8.1.2) estableciendo como prohibido volar sobre un grupo que supere la cantidad de 12 personas.

- Campos electromagnéticos: si un dron se encuentra dentro de un campo electromagnético, constante o variable, este influirá sobre la brújula interna de la aeronave; dicha influencia podría modificar la dirección hacia donde indica que se encuentra el polo norte, arrojando lecturas erróneas respecto del verdadero polo norte magnético de la tierra.

Figura 47. **Representación de campo magnético terrestre**



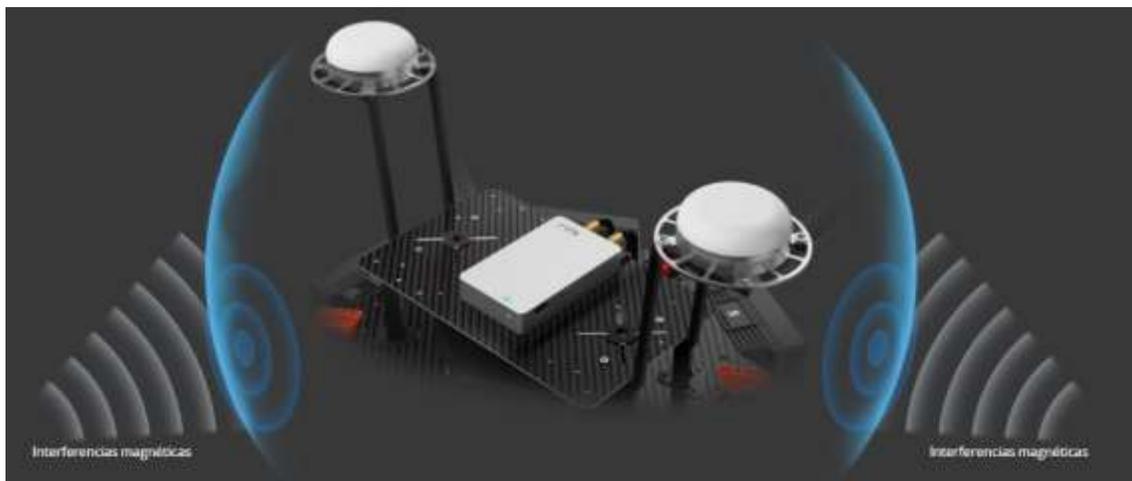
Fuente: GONZÁLEZ, Arnaldo. *¿Qué es el magnetismo?*. p.17.

<sup>24</sup> DGAC. *Regulaciones de Aeronaves no Tripuladas, Aeronaves de Modelismo y Fuegos Artificiales*. p.2.

- Posibles soluciones: si la referencia magnética del dron se ve interferida, entonces debemos de utilizar otro sistema como el geoposicionamiento global (GPS).

El fabricante DJI ofrece un producto para evitar problemas de interferencia electromagnética al brindar posicionamiento con precisión de un centímetro tanto en vertical como en horizontal.

Figura 48. **Fotografía de D-RTK de la marca DJI**



Fuente: DJI. <https://www.dji.com/es/d-rtk/info>, consulta: 16 de marzo de 2018

- Ciertos drones poseen restricciones que están configuradas de fábrica, las cuales, podrían evitar que se inicie el vuelo, si detectara una condición sumamente insegura (hablando de interferencias electromagnéticas).

- Líneas de transmisión: a pesar de que este trabajo de graduación insta a utilizar aeronaves no tripuladas, existe un riesgo inherente al movilizar el dron a través de los cielos; ya que, un operador inexperto podría colisionarlo contra una estructura de soporte o un conductor de fase de la línea de transmisión.
- Posibles soluciones: ciertos fabricantes, como DJI, a través de su aplicación móvil DJI GO Ground Station Pro, de la plataforma Apple iOS, permite aplicar restricciones a la movilidad del dron.

Figura 49. **Fotografía de conductores de fase**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Isologotipo de aplicación Ground Station Pro**



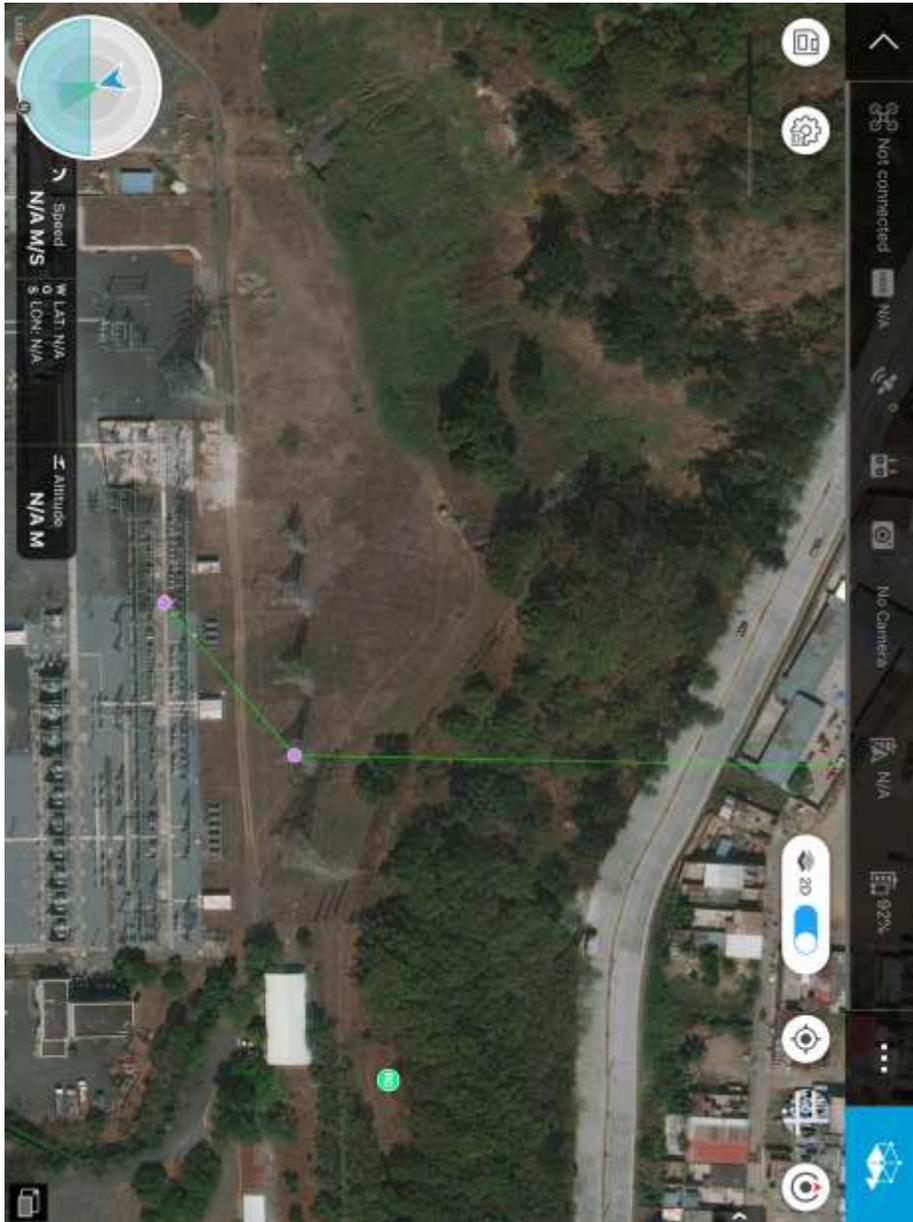
Fuente: Ground Station Pro for iOS

Dentro de la aplicación, se delimita un polígono que será una jaula virtual que impedirá que la aeronave salga de ella; esta aplicación podemos utilizarla para impedir que el dron se acerque demasiado a una línea de transmisión.

Es importante que la empresa de transporte tenga el registro de la posición GPS de sus estructuras de soporte, para crear un trazo preliminar de la línea y delimitar de forma precisa las restricciones de operación; ejemplo de ello puede observarse en la figura 51 a través del trazo de línea en color verde.

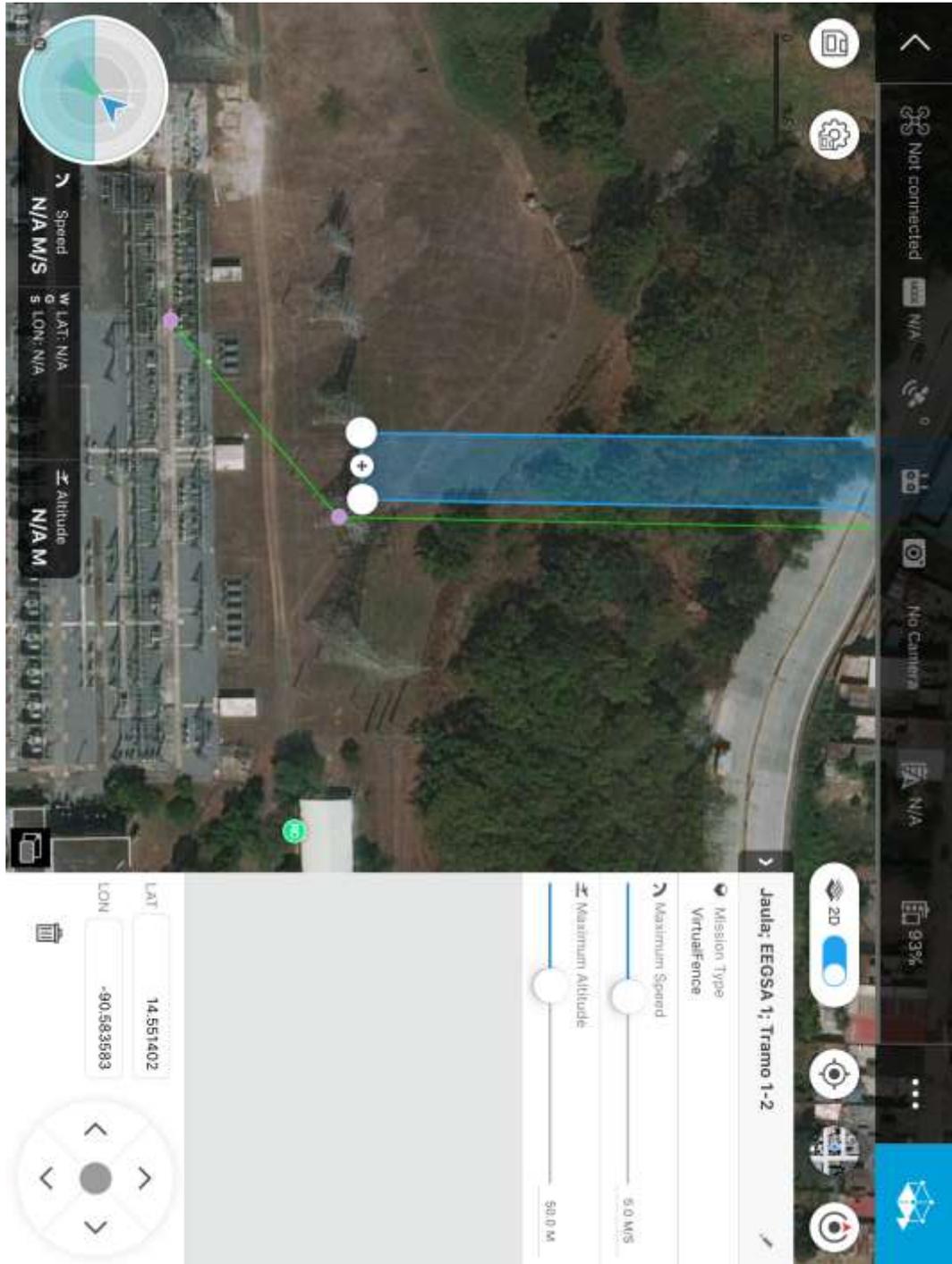
La denominada “jaula” tiene tanto la capacidad de restringir el paso del dron fuera del área de color azul evitando colisiones, así como de limitar la velocidad de traslación (1 a 12 m/s) y la altitud máxima para inspeccionar.

Figura 51. Interfaz gráfica de aplicación GSP



Fuente: Ground Station Pro for iOS

Figura 52. Jaula virtual dentro de GSP



Fuente: Ground Station Pro for iOS.



## **5. PROPUESTA DE ACCIÓN**

En este capítulo se estructurará un plan de mantenimiento predictivo a aplicar en la Sección de Líneas de Transmisión del Sistema Central de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE; como propuesta para poner en marcha la inspección visual aérea, a través de aeronaves no tripuladas (drones).

Esta propuesta está destinada a las líneas en 69 kilo voltios exceptuando la línea Escuintla – Cocalles y las líneas en 138 kilo voltios a excepción de la línea Calderas – Palín 2, ya que, según las tablas número -XXI y XXII no reciben inspección aérea.

El porcentaje, de líneas revisadas de forma aérea es del 53,33%, pero se estima, que al incluir las 3 líneas en 69 kilo voltios y la línea en 138 kV., aumente en un 33,33% llegando al 86,67% de líneas inspeccionadas a través del espacio aéreo.

Este trabajo no incluye las líneas de transmisión Escuintla – Cocalles porque es de fácil acceso por tierra y es más económico seguirla revisando de esta manera. Tampoco se incluye la línea Calderas – Palín porque está en una zona montañosa de difícil acceso y se considera riesgosa la operación del dron.

### **5.1. Preparación Inicial**

Tras haber realizado el análisis a La Sección, en el capítulo 3, se identificaron los mantenimientos que ejecutan y sus necesidades, por lo que

para comenzar a estructurar el plan de mantenimientos se utilizará como base lo expuesto en el apartado 3.1.3.2.3 denominado inspecciones. El modelo de aeronave a utilizar se describirá en la sección 5.1.2.1.2.

#### **5.1.1. Identificación de los elementos**

Consiste en identificar aquellos elementos que se analizarán por medio de la inspección visual aérea; estos deberán tener propiedades que puedan ser parametrizables.

- Integridad física de la estructura de soporte.
- Integridad del Aislamiento.
- Vegetación Próxima a los conductores de fase.
- Construcciones próximas a estructuras de soporte.

#### **5.1.2. Determinación de la técnica de medida**

Se utilizará la técnica de mantenimiento predictivo denominado Inspección visual, en la categoría de examen visual remoto, ya que, será la aeronave no tripulada la que proveerá la información en tiempo real o en un archivo multimedia para su posterior análisis.

Un dron comercial es un vehículo relativamente pequeño, que tiene la capacidad de desplazarse por donde se le indique, siendo esta una ventaja para observar desde múltiples perspectivas según se logre posicionar, así como acceder en áreas de difícil acceso terrestre reduciendo el riesgo al personal que realiza inspección.

Se aplicarán los tres tipos de inspección visual vistos en el capítulo 3, siendo estos de caracterización para reconocer el estado o material de elementos, de defectología para detectar discontinuidades y de metrología para estimar longitudes entre elementos. La inspección visual aplica cuando no se utilizan cámaras o lentes con más de 50 aumentos ópticos (50X).

#### **5.1.2.1. Sugerencias de equipo**

La división empresarial del fabricante DJI da una lista de aplicaciones que pueden realizarse según un modelo de dron en específico, se mencionarán sugerencias de drones y una referencia no asequible.

Se seleccionarán las configuraciones que se consideran más aptas para el sector eléctrico, pero que, puede configurarse para otras actividades al ser versátil con accesorios y piezas intercambiables.

##### **5.1.2.1.1. DJI Matrice serie 210**

Dron con certificación IP43 y la capacidad de portar dos cámaras simultáneamente, tanto una cámara térmica como una digital de 30 alcances ópticos, brindando una autonomía de vuelo de 24 minutos con un rango de transmisión de 07 kilómetros; entre sus aplicaciones están:

- Líneas de transmisión: el fabricante DJI, hace énfasis en este modelo como el adecuado para realizar inspecciones eléctricas en estructuras de líneas de transmisión, brindando así el respaldo de la marca.

Figura 53. **Dron Matrice 210 RTK inspeccionando estructura**



Fuente: DJI. <https://enterprise.dji.com/energy>. consulta: 20 de abril de 2018

Figura 54. **Dron Matrice 210 RTK inspeccionando aislamiento**



Fuente: DJI. <https://enterprise.dji.com/energy>. consulta: 20 de abril de 2018

Figura 55. **Dron Matrice 210 RTK inspeccionando aislamiento**



Fuente: DJI. <https://enterprise.dji.com/energy>. consulta: 20 de abril de 2018

- Energía Nuclear
- Inspección de Puentes
- Búsqueda y rescate
- Termografía Infrarroja
- Energía Solar
- Energía Eólica
- Refinerías

Accesorios utilizados en la configuración:

- Cámara termográfica
  - Marca: Flir
  - Modelo: Zenmuse XT o Zenmuse XT2

- Cámara Digital
  - Marca: DJI
  - Modelo: Z30 (*zoom* óptico de 30 aumentos)
- Sistema de navegación avanzada
  - Marca: DJI
  - Modelo: D-RTK GNSS

Figura 56. **Dron Matrice 210 RTK con cámara**



Fuente: DJI. <https://www.dji.com/matrice-200-series>. consulta: 20 de abril de 2018.

#### **5.1.2.1.2. DJI Inspire 1**

Dron de gamma profesional, que ofrece autonomía de vuelo de aproximadamente 15 minutos, con un rango de transmisión de 05 kilómetros; entre sus aplicaciones están: búsqueda y rescate, termografía infrarroja, o en empresas de energía nuclear, solar, eólica o refinerías.

Figura 57. **Dron Inspire 1 con cámara**



Fuente: DJI. <https://www.dji.com/inspire-1>. consulta: 20 de abril de 2018.

- Cámara termográfica
  - Marca: Flir
  - Modelo: Zenmuse XT
  
- Cámara Digital
  - Marca: DJI
  - Modelo: X3 (12.4 megapíxeles)

#### **5.1.2.1.3. AEROHYBRIX**

Es un dron diseñado por la empresa española Aerocamaras. No se encuentra a la venta, pero la empresa lo utiliza en el mercado europeo para tercerizar servicios de inspección; se muestra de referencia como un modelo de aeronave que podría ser reproducido por otras empresas, en un futuro cercano, con finalidades mercantiles.

Esta aeronave no tripulada posee un motor híbrido (motor eléctrico y gasolina) que ofrece una autonomía de vuelo de hasta 4 horas con rango operativo de 180 kilómetros. Aerocamaras asegura que el dispositivo Aerohybrix es el único dron capaz de realizar tres tipos de inspecciones en el mismo vuelo, siendo capaz de portar una cámara de alta definición con sensor infrarrojo para realizar termografía y sensor ultravioleta para detectar efecto corona en elementos eléctricos; además de ser contra el agua.

Figura 58. **Imagen de dron Aerohybrix**



Fuente: AEROCAMARAS. <https://dronehibrido.com>. consulta: el 27 de mayo de 2018.

### **5.1.3. Estructuración de la base de datos**

En este apartado se define quién será la persona que realizará el mantenimiento, qué atributos debe tener el inspector, con qué frecuencia deberá de realizar el trabajo y establecer referencias de los valores que espera encontrar a través de la inspección visual.

### 5.1.3.1. Perfil del personal

Se presentará el perfil de una persona que califica como inspector visual, se tomará como base el “programa de entrenamiento en pruebas no destructivas aplicado en inspección visual nivel 1 y 2” extendido por la empresa mexicana Llog s.a.; quien, entre sus atributos, certifica personal como inspector visual.

- Poseer una escolaridad mínima de preparatoria (México), siendo el ciclo diversificado el equivalente en Guatemala.
- Poseer Experiencia mínima de 3 meses realizando inspección visual.
- Haber aprobado un examen visual que acredite que posee lo siguiente:
  - Agudeza visual cercana: este tipo de agudeza visual se mide empleando la carta “Jaeger” (ver anexo 4), de la cual, el inspector deberá leer las letras más pequeñas a una distancia de 30 centímetros.
  - Agudeza visual lejana: examen efectuado con el gráfico de “Snellen” (ver anexo 5), el inspector debe aprobar con una visión lejana de 20/20 tras haber sido evaluado a 6 metros del gráfico.
  - Discriminación cromática: el programa de certificación no establece un método de evaluación en específico, pero puede utilizarse alguno que acredite que la persona puede reconocer los colores.

Además, se sugiere que el operador debe contar con una edad biológica de 22 a 45 años, sin importar su sexo, solo su capacidad de visión, interpretación y de poseer la virtud de la serenidad.

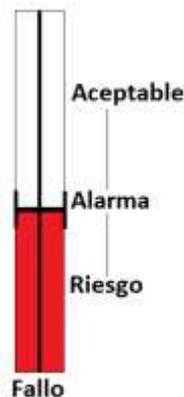
### 5.1.3.2. Frecuencia de chequeo

Corresponde a cada cuanto tiempo se realizará una visita a los elementos identificados en la sección 5.1.1; el chequeo aéreo se propone con frecuencia bimestral

### 5.1.3.3. Delimitación de alarmas

El proceso de parametrizar consiste en la delimitación de valores críticos, que definan una frontera entre lo que se considera aceptable o indica un mal funcionamiento; los valores seleccionados, fungirán de alarma, para que, si al momento de cotejar los resultados se encuentran fuera o próximo a salir del rango se coordine el mantenimiento preventivo.

Figura 59. Esquema de parametrización



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint.

Los parámetros de comparación pueden ser cualitativos o cuantitativos, dependiendo de si el valor numérico o si se encuentra sujeto a una interpretación subjetiva por un profesional o persona capacitada; se debe definir los parámetros de manera individual por cada elemento a inspeccionar.

- Integridad física de la estructura de soporte
  - Tipo de parámetro: cualitativo.
  - Técnica: inspección de caracterización y de defectología.
  - Parámetros de caracterización: corresponde a valores puntuales, puede plantearse como una pregunta al inspector.
    - ¿Es estructura de poste o de celosía?
    - ¿El poste es de metal o de madera?
  - Parámetros de defectología: ¿se encuentra en riesgo el terreno?
- Integridad del aislamiento
  - Tipo de parámetro: cualitativo
  - Técnica: inspección de caracterización y de defectología
  - Parámetros de caracterización: ¿el aislamiento es de vidrio, porcelana o de polímero?

- Parámetros de defectología: corresponde a saber mirar y reconocer el defecto, en la sección 3.1.3.2.3 se dieron los lineamientos para el inspector visual.
  - Si es de vidrio, ¿está roto, sucio o flameado?
  - Si es de polímero, ¿se encuentra cristalizado?
  - Ver figura 33 y 34.
  
- Vegetación Próxima a los conductores de fase
  - Tipo de parámetro: cuantitativo.
  
  - Técnica: inspección de caracterización.
  
  - Parámetros de caracterización: ¿qué tipo de vegetación rodea la estructura de soporte?
  
  - Parámetros de metrología: la cámara fotográfica, de la aeronave propuesta, no posee la capacidad de determinar longitudes lineales; sin embargo, el operador puede realizar una estimación de la medición con base en la experiencia adquirida como inspector visual terrestre.

Utilizando un software especializado, como Pix 4D Mapper, se puede obtener longitudes para una medición cuantificable, con menos estimación.

#### **5.1.4. Evaluación financiera**

Se realizará una estimación de los costos que representará implementar las inspecciones aéreas por medio de aeronaves no tripuladas (drones), tanto de la inversión inicial como de los costos de mantenimiento, accesorios y repuestos; posteriormente, se realizará una proyección de gastos y “ahorros” que podría tener, la sección de Líneas de Transmisión, para ver la viabilidad del proyecto.

Es indispensable definir el recurso que se utilizará para implementar el proyecto, tanto recurso humano como material para ver su viabilidad, por lo que se presenta una lista de lo necesario.

- Recurso humano
  - 2 auxiliares de ingeniería.
  - 1 integrante del personal técnico.
  
- Equipo de oficina
  - Computadora de alto procesamiento gráfico.
  - Impresora.
  
- Equipo de protección personal
  - Casco con barbiquejo y cubre nuca.
  - Lentes oscuros y de seguridad (policarbonato).
  - Botas industriales.
  - Guantes de piel de cerdo.

- Inversión Inicial
  - 1 dron INSPIRE 1 V2.
  - 1 Tablet.
  - 1 GPS.
  - 5 baterías TB47.
  
- Herramienta
  - Machete tipo tradicional con vaina

Después de identificar los recursos necesarios, se identificarán, numéricamente, los egresos e ingresos que se proponen para el proyecto. Se clasificarán por categorías, según su frecuencia de ejecución (diario, mensual, bimestral, trimestral, cuatrimestral, semestral o anual).

- Egresos: contempla todo aquello que represente un desembolso.
  - Diarios: involucra el pago de viáticos al personal, siendo un monto de Q 130.00 diario por persona y un total de Q 390 por el conjunto de inspectores; así como el costo por utilización de cada batería.

Para facilidad de cálculo, se tomará un mes como veinte (20) días, trasladando así los costos diarios a mensuales si se multiplican por el número antes mencionado.

- Mensual: se considera el mantenimiento al vehículo utilizado para realizar inspecciones, así como veinte veces los costos diarios. No se consideran salarios, ya que, no se pretende contratar operarios, sino utilizar que actualmente ya labora en la institución.
  - Bimestrales: se considera un mantenimiento menor al Dron, equivalente a lubricación, limpieza y ajuste de piezas.
  - Semestrales: involucra un mantenimiento “mayor” al dron, consistente en reemplazo de piezas, de ser necesario.
  - Anuales: reemplazo sistemático de todas las baterías del dron, asumiendo que las mismas fueron utilizadas más de 200 veces.
- Ahorros: ya que la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE es una entidad no lucrativa, se analizarán los recursos que la institución logrará dejar de gastar, tras haber implementado las aeronaves no tripuladas; considerando que la inversión no asciende de los Q 60 000,00 quetzales es muy probable que el proyecto resulte viable.
    - Diarios: se considera como un ahorro diario, el reducir el monto de viáticos, ya que, de una inspección con nueve personas se enviaría solo a tres, siendo .780 quetzales.
    - Anual: se estima un ahorro de aproximadamente Q20 000,00 en sanciones impuestas por fallas de líneas, tomando en cuenta que con el dron se tendrá una mejor capacidad de detectar problemas incipientes.

Tabla XXVII. **Proyección de egresos y ahorros del proyecto**

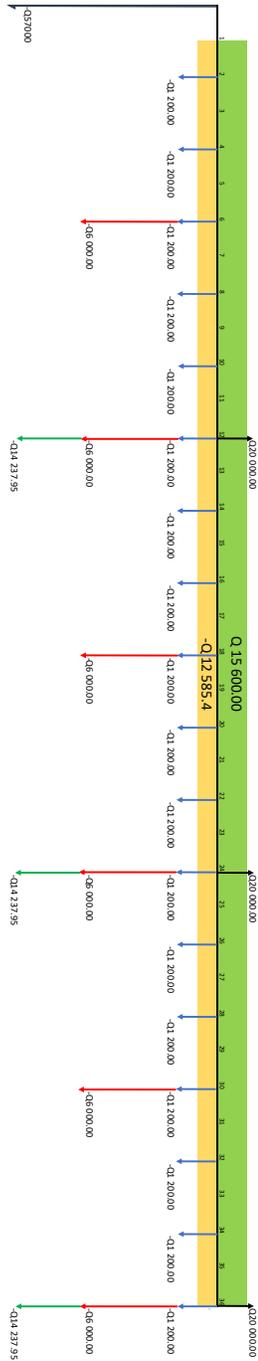
<b>Frecuencia</b>	<b>Egresos</b>	<b>Ahorro</b>
<b>Inversión Inicial</b>	- Q57 000,00	-----
<b>Diario</b>	- Q 450,00	+ Q 780,00
<b>Mensuales</b>	- Q12 600,00	-----
<b>Bimestral</b>	- Q1 200,00	-----
<b>Semestral</b>	- Q6 000,00	-----
<b>Anual</b>	- Q14 230,00	+ Q20 000,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

El flujo de movimientos deberá ser representado gráficamente a través de una línea de tiempo, desde el periodo inicial (0), donde se realiza la inversión inicial, hasta el tiempo de vida del proyecto, en este caso se establece de 36 meses o 3 años.

La figura 61 muestra a través de flechas ascendentes y descendentes aquellos meses donde se efectúan gastos o se obtienen ingresos puntuales, y a través de un rectángulo se representan movimientos distribuidos o constantes a lo largo de toda la vida del proyecto.

Figura 60. Gráfico del posible flujo de efectivo del proyecto



#### 5.1.4.1. Cálculo según valor actual neto

También conocido como valor presente neto (VPN), consiste en trasladar todos aquellos movimientos, que se muestran en la figura 61, al punto de origen de la línea de tiempo, con la intención de comparar los ingresos y los egresos en el mismo instante, donde la tasa de interés tiene el mismo valor de capitalización.

Este cálculo tiene fundamento en las *Normas del Sistema Nacional de Inversión de Inversión Pública (SNIP), Ejercicio fiscal 2018*, extendido por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), de la República de Guatemala; el cual, en su apartado 2.1.18, presenta el VAN como un indicador válido para una evaluación financiera.

El Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos, del SNIP, en su capítulo cuarto y apartado 11.1 da los lineamientos para interpretar el valor anual neto del proyecto y las tasas de interés, para tomar una decisión.

Tabla XXVIII. **Decisiones con base en el VAN**

RESULTADO	DECISIÓN
Positivo	VAN mayor que cero
Indiferente	VAN igual a cero
Negativo	VAN menor que cero

Fuente: SNIP. *Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos*. p.54.

Tabla XXIX. **Decisiones con base en el TIR.**

RESULTADO	DECISIÓN
TIR > 12%	Se acepta
TIR = 12%	Es indiferente
TIR <12%	Se rechaza

Fuente: SNIP. *Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos*. p.55.

- Consideraciones: se toma como banco oficial el Banco de Guatemala, siendo la moneda por utilizar el Quetzal.,

La comisión Nacional de Energía Eléctrica, en su artículo 79, de la Ley General de Electricidad, brinda un parámetro de tasas de actualización (interés) de entre 7% y 13% real anual, estando así lo expuesto en tabla XXIX dentro del marco legal de SEGEPLAN y Eléctrico. Se realizará el cálculo con ambos valores extremos.

Ya que el proyecto se planteó en meses, es necesario trasladar las tasas de interés de su carácter anual a una tasa efectiva mensual, la explicación de las ecuaciones se encuentra en el apéndice 2.

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{n}\right)^m - 1 = \left(1 + \frac{7\%}{1}\right)^{\frac{1}{12}} - 1 = 0,00565 = 0,565\%$$

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{n}\right)^m - 1 = \left(1 + \frac{13\%}{1}\right)^{\frac{1}{12}} - 1 = 0,01236 = 1,024\%$$

Tabla XXX. **Movimiento de egresos al presente**

VAN (-) EGRESOS	ECUACIÓN	$i_e = 7\%$ anual	$i_e = 13\%$ anual
		$i_e = 0.565\%$ mensual	$i_e = 1.024\%$ mensual
Inicial	-----	-Q 57 000,00	-Q 57 000,00
Mensual	$12\ 585 \left( \frac{(1 + i_e)^{36} - 1}{i_e(1 + i_e)^{36}} \right)$	-Q 408 884,29	-Q 377 358,84
Bimestral	$\sum_{j=1}^{18} 1200 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{2j}} \right)$	-Q 19 438,93	-Q 17 899,27
Semestral	$\sum_1^6 6\ 000 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{6j}} \right)$	-Q 32 033,58	-Q 29 226,55
Anual	$\sum_1^3 14\ 238 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{12j}} \right)$	-Q 37 365,01	-Q 33 618,09
<b>SUBTOTAL</b>		<b>-Q554 721,21</b>	<b>-Q515 102,75</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla XXXI. **Movimiento de ahorros al presente**

VAN (+) AHORROS	ECUACIÓN	$i_e = 7\%$ anual	$i_e = 13\%$ anual
		$i_e = 0.565\%$ mensual	$i_e = 1.024\%$ mensual
Mensual	$15\ 600 \left( \frac{(1 + i_e)^{36} - 1}{i_e(1 + i_e)^{36}} \right)$	Q506 841,07	Q467 763,04
Anual	$\sum_1^3 20\ 000 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{12j}} \right)$	Q52 486,321	Q47 223,052
<b>SUBTOTAL</b>		<b>Q559 327,391</b>	<b>Q514 986,092</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Se realiza una suma aritmética del VAN (-) con el VAN (+) calculado al 7% y al 13%, posteriormente se compara según tabla número XXVIII.

$$VAN_{NETO} = VAN(+)_7\% + VAN(-)_7\% = Q559\,327,39 - Q554\,721,21 \approx Q4\,606,18$$

$$VAN_{NETO} = VAN(+)_13\% + VAN(-)_13\% = Q514\,986,09 - Q515\,102,75 \approx -Q116,66$$

Tabla XXXII. **Evaluación del VAN neto.**

TASA ANUAL	VAN	DECISIÓN
7%	Q4 606,18 > 0	Se acepta
13%	-Q116,66 < 0	Se rechaza

Fuente: SNIP. *Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos*. p.54.

Se identificará la tasa que se denominará TIR, que devolverá un VAN con valor igual a cero; para ello se interpola, según los resultados plasmados en tabla XXII.

$$TIR = i_{13} + \frac{(i_{7\%} - i_{13\%}) * (0 - VPN(-))}{VPN(+)-VPN(-)} = 13 + \frac{(7 - 13) * (0 - -116,66)}{4\,606,18 - -116,66} = 12,85$$

Se determinó que la TIR es de 12,85% efectivo anual, el cual, si se compara con la tabla XXIX, es mayor a 12%, por lo que se considera aprobado el proyecto con las consideraciones antes descritas.

### 5.1.4.1. Cálculo según CAUE

El costo uniforme equivalente consiste en realizar el procedimiento del VAN, de trasladar los valores al presente y luego crear un flujo uniforme de movimientos; por lo que se calculó nuevamente el valor actual neto de los egresos, pero ahora utilizando el valor de la TIR, según vemos en tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. **Movimiento de egresos al presente, según TIR**

VAN (-) EGRESOS	ECUACIÓN	$i_e = 12.852\%$ anual
		$i_e = 1.012\%$ mensual
Inicial	-----	-Q57 000,00
Mensual	$12\ 585 \left( \frac{(1 + i_e)^{36} - 1}{i(1 + i_e)^{36}} \right)$	-Q 378 095,72
Bimestral	$\sum_{j=1}^{18} 1200 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{2j}} \right)$	-Q 17 935,23
Semestral	$\sum_1^6 6\ 000 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{6j}} \right)$	-Q 29 291,93
Anual	$\sum_1^3 14\ 238 \left( \frac{1}{(1 + i_e)^{12j}} \right)$	-Q 33 704,961
<b>SUBTOTAL</b>		<b>-Q516 027.841</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

$$CAUE = VAN(-) * \left( \frac{TIR(1+TIR)^{\text{vida de proyecto}}}{(1+TIR)^{\text{vida de proyecto}-1}} \right) = 516\ 027.841 \left( \frac{1.012\%(1+1.012\%)^{36}}{(1+1.012\%)^{36}-1} \right) = Q17\ 176$$

El valor obtenido de Q17 176 puede interpretarse de tal manera que si a través del dron, se puede ahorrar al menos esa cantidad, el VAN neto será positivo y por ende el proyecto sería viable.

### 5.1.4.2. Cálculo según rendimiento

Si se tienen cinco baterías y una capacidad aproximada de vuelo de 15 minutos teóricos de vuelo cada una, se utilizará únicamente el 70% de la carga de batería, ya que, es necesario conservar 30% de carga para el aterrizaje; dejando así 10,5 minutos de vuelo por batería y una longitud a recorrer de 650 metros para que en ningún momento el operador pierda de vista la unidad.

El estudio se efectuó con base en un ciclo de 288 días laborales y efectuando la actividad a diario, es decir que el personal se dedicaría exclusivamente a realizar inspección aérea por medio de dron.

Tabla XXXIV. Línea de transmisión bajo propuesta

No.	kV	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Longitud Línea	Promedio Vanos más largos	Cantidad de tramos
A	69	Guatemala Sur - EEGSA 1	7,32 km	518,7 m	26
B	69	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	7,31 km	540,6 m	25
C	69	Guatemala Sur - Chimaltenango	14,90 km	523,0 m	43
D	138	Palín II - Palín II	0,24 km	200,0 m	3

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXXV. Costos de inspección con dron en líneas propuestas

D R O N	No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Costo Total	Costo por Kilómetro	Costo por Tramo
	A	Guatemala Sur - EEGSA 1	Q20 156	Q2 754	Q776
	B	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	Q20 156	Q2 758	Q806
	C	Guatemala Sur - Chimaltenango	Q28 218	Q1 894	Q656
	D	Palín II - Palín II	Q4 031	Q -----	Q1,344

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

### 5.1.4.2.1. Comparación de costos

Con motivo de efectuar una comparación, se realizaron los cálculos para las mismas líneas de transmisión, pero realizados en helicóptero, considerando que esas líneas no se han patrullado, de esa manera, se asumirán los siguientes tiempos de contratación.

Tabla XXXVI. **Proyección de tiempo para líneas propuestas**

LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Horas	Minutos
Guatemala Sur - EEGSA 1	0,138 horas	8,27 min
Guatemala Sur - EEGSA 2,3	0,138 horas	8,26 min
Guatemala Sur - Chimaltenango	0,281 horas	16,84 min
Palín II - Palín II	0,150 horas	9,00 min
<b>SUBTOTALES</b>	<b>0,707 Horas</b>	<b>42,42 min</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Para que la comparación sea equivalente, se asume el mismo personal que consistía en dos auxiliares de ingeniería y un elemento del personal técnico, así como las mismas líneas y dimensionales.

Tabla XXXVII. **Costos de inspección con helicóptero**

HELICÓPTERO	No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Costo Total	Costo por Kilómetro	Costo por Tramo
	A	Guatemala Sur - EEGSA 1	Q4 096	Q584	Q158
	B	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	Q4 096	Q584	Q164
	C	Guatemala Sur - Chimaltenango	Q4 966	Q345	Q116
	D	Palín II - Palín II	Q1 086	-----	Q362

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XXXVIII. **Comparación de revisiones, costo total**

No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Dron	Helicóptero	Relación Dron/ Helic
		Costo Total	Costo Total	
A	Guatemala Sur - EEGSA 1	Q20 156	Q4 096	4,92 veces
B	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	Q20 156	Q4 096	4,92 veces
C	Guatemala Sur - Chimaltenango	Q28 218	Q4 966	5,68 veces
D	Palín II - Palín II	Q4 031	Q1 086	3,71 veces
<b>PROMEDIO</b>		<b>Q72 561</b>	<b>Q14 244</b>	<b>5,09 veces</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016

Tabla XXXIX. **Comparación de revisiones, costo por kilómetro**

No	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Dron	Helicóptero	Relación Dron/ Helic
		Costo por km	Costo por km	
A	Guatemala Sur - EEGSA 1	Q2 754	Q584	4,72 veces
B	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	Q2 758	Q584	4,72 veces
C	Guatemala Sur - Chimaltenango	Q1 894	Q345	5,49 veces
D	Palín II - Palín II	-----	-----	----- veces
<b>PROMEDIO</b>		<b>Q7 405</b>	<b>Q1 512</b>	<b>4,90 veces</b>

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2016.

Tabla XL. **Comparación de revisiones, costo por tramo revisado**

No.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Dron	Helicóptero	Relación
		Costo por Tramo	Costo por Tramo	
A	Guatemala Sur - EEGSA 1	Q776	Q158	4,92 veces
B	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	Q806	Q164	4,92 veces
C	Guatemala Sur - Chimaltenango	Q656	Q116	5,68 veces
D	Palín II - Palín II	Q1 344	Q362	3,71 veces
<b>PROMEDIO</b>		<b>Q3 582</b>	<b>Q799</b>	<b>4,48 veces</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

De las tablas se infiere que, en promedio, la revisión con dron resulta de 4,48 a 5,09 veces más caro que realizarlo con helicóptero, pero debe considerarse que el dron realizó una revisión de aproximadamente 10,5 minutos por tramo y la revisión por medio de helicóptero es de unos 35 a 55 segundos; siendo la revisión del dron 11,45 veces más larga.

La línea Palín II – Palín II, de la tabla XXIX no presenta el dato del costo por kilómetro porque la longitud total de la línea es de 240 metros, siendo su extensión total menor a un kilómetro.

## **5.2. Implementación**

Este paso consiste en la puesta en marcha de lo definido en la sección 5.1, recapitulando, se utilizará un dron con marca DJI y modelo Inspire 1 para implementar un plan piloto dentro de la sección de líneas de transmisión; el plan consiste en aplicar la inspección visual remota a elementos tales como estructuras de soporte, aislamiento, y la vegetación próxima a los conductores de fase.

### **5.2.1. Pruebas en campo**

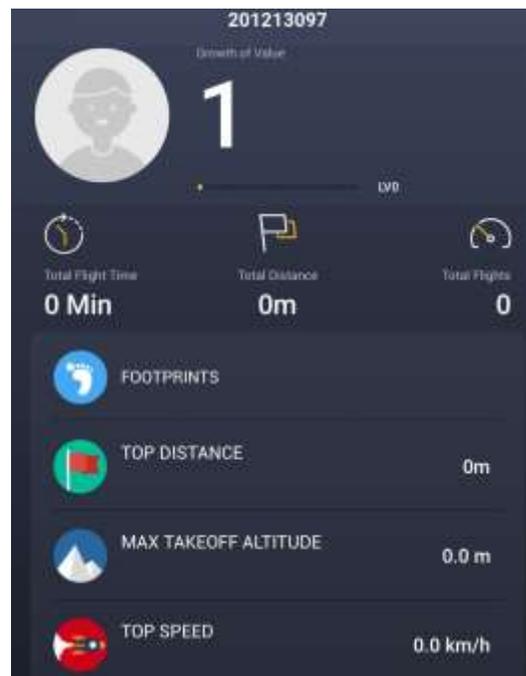
Se efectuaron ensayos de inspección con el dron para obtener contenido multimedia que fuera capaz de mostrar los alcances descritos en los capítulos que preceden.

Las responsabilidades de maniobrar una aeronave no tripulada, no difiere en gran medida de las de conducir un automóvil, solo que el piloto fue extraído del mismo, por lo que es necesario practicar constantemente para ir mejorando los resultados.

Cada vuelo realizado es registrado en una bitácora, así muestra cuántos vuelos se han realizado, tiempo de vuelo acumulado, altitud máxima, posición GPS, cantidad de fotos capturadas por vuelo entre otros factores. Estos registros se almacenan automáticamente en la aplicación móvil del dron y pueden ser consultados para cerciorarse que no se ha violentado ningún parámetro indicado en el capítulo 4.1.2.

Para brindar retroalimentación, la aplicación móvil tiene la capacidad de replicar un vuelo realizado, trazando la ruta que siguió el dron, velocidad horizontal y vertical registrada, batería de la aeronave, altitud, advertencias reportadas, maniobras de control realizadas a través de las palancas de mando y la ubicación exacta en que fueron tomadas las fotografías.

Figura 61. **Extracto de registro de vuelo del usuario 201213097**



Fuente: elaboración propia.

Se mostrarán fotografías que logren transmitir, al inspector, la información necesaria para efectuar un dictamen con base en los parámetros elegidos y las alarmas establecidas. Entre las fortalezas de un dron está el grabar en alta resolución, que, a criterio, resulta de mayor utilidad que observar una fotografía, mas no se puede compartir dichos archivos en este trabajo escrito.

Figura 62. **Vista de estructura de poste**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

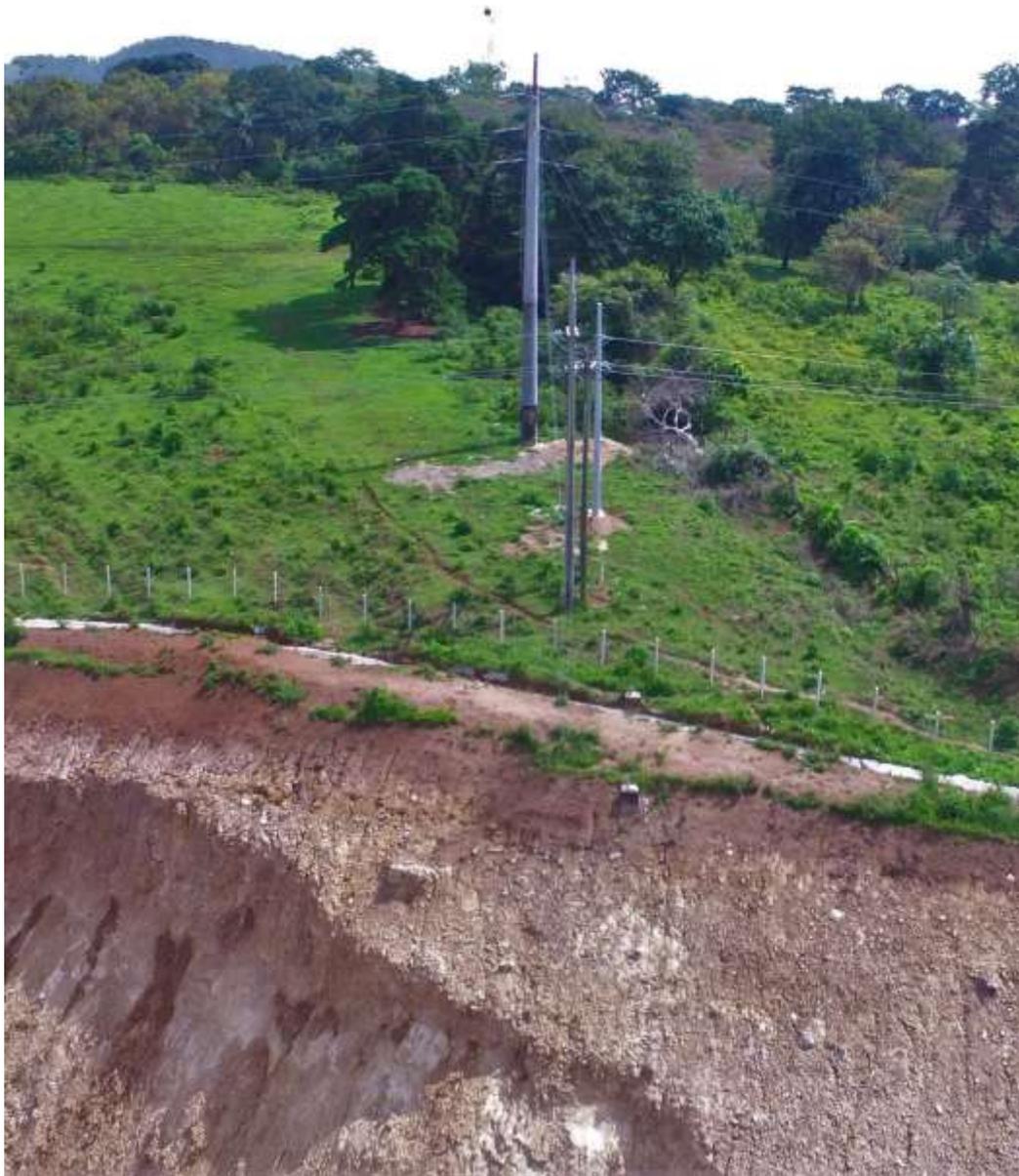
Figura 63. **Vista de estructura de celosía**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

La figura 63 se muestra una estructura de celosía en 230 kV tipo transposición y, en la 62, dos estructuras de poste de concreto, ninguno con problemas en el terreno ni de vegetación.

Figura 64. **Vista local de talud en riesgo**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

Figura 65. **Vista panorámica de talud en riesgo**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

En la figura 64 y 65 se observan tres estructuras de soporte, tipo poste de concreto, que se encuentran próximas a un sendero; a través del dron se puede determinar que en el terreno ha habido deslizamientos que comprometen el talud del mismo y por ende a la línea de transmisión.

En la figura 66 se utilizó la aeronave no tripulada para supervisar un mantenimiento efectuado a una estructura de poste, dentro de esta se observa que utiliza aislamiento de polímero y parte de él se encuentra de color blanco, por lo mismo amerita programar su cambio.

Figura 66. **Vista de reparación efectuada a poste**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

Figura 67. **Vista de aislamiento en estructura**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

Figura 68. **Vista local de aislamiento**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

La figura 68 evidencia la capacidad del dron de aproximarse a una línea de transmisión para inspeccionar la cadena de aislamiento. En esa fotografía se aprecia que la estructura de celosía posee aislamiento de vidrio, que el mismo se encuentra limpio y sin poseer discos rotos.

En la fotografía 69 puede apreciarse que la línea de transmisión cuenta solo con un conductor de hilo de guarda, en el capitel (de lado derecho) puede observarse que se encuentra desconectado y yace sobre la estructura de soporte.

Figura 69. **Vista local de capitel**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

Figura 70. **Vista de vegetación alrededor de estructura**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE.

Por último, se muestra un segmento de línea de transmisión donde hay vegetación creciendo en sus cercanías, pero aún se encuentran a una distancia considerable de la línea por lo que, en estos momentos, no resulta en una amenaza; se recomienda monitorear en dos meses.

Cuando se utilizan fotografías para analizar una situación, se torna un tanto complicado porque el campo visual se limita a una única perspectiva, lo ideal es alternar fotos con videos para mayor material para realizar un dictamen competente.

### **5.2.2. Validación de datos**

En el apéndice 3 se muestra la tabulación de los registros que yacían guardados en el dron de la Sección de Líneas de Transmisión, sumando un total de 61 vuelos (incluidos los del periodo de aprendizaje). Estos registros se utilizarán para conocer un poco cómo fue el proceso de adquisición de las pruebas de la sección 5.2.1.

**Tabla XLI. Resumen de vuelos efectuados por personal de líneas**

Cantidad de vuelos:	61
Vuelos sin GPS	6
Vuelo sin fotografías	26
Vuelo con rango de 1 a 10 fotografías	15
Vuelo con rango de 11 a 20 fotografías	12
Vuelo con más de 20 fotografías	8

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia que, de la totalidad de vuelos, en seis ocasiones no se registró actividad de GPS, representando un 9,84% de las veces, aunque un piloto experimentado debe ser capaz de efectuar vuelos aún en esas condiciones.

Se adoptará la premisa de que un vuelo sin fotografías es un vuelo no exitoso, ya que, no cumplió con su objetivo de recabar contenido multimedia para analizar. Esa condición se registró en veintiséis ocasiones. El 42,62% de los vuelos se clasificaron como fallidos; Este dato se considera aceptable ya que el personal aún se encuentra realizando pruebas de aprendizaje.

Se realizaron cálculos de estadística descriptiva, de los valores del apéndice 3, y se le brindará mayor énfasis en las variables tiempo y cantidad de fotografías.

Tabla XLII. **Estadística descriptiva del tiempo de vuelo**

<i>TIEMPO</i>	
Media	7,04918033
Error típico	0,57565654
Mediana	8
Moda	1
Desviación estándar	4,49602131
Varianza de la muestra	20,2142077
Rango	13
Mínimo	1
Máximo	14
Suma	430
Cuenta	61
Nivel de confianza (95.0%)	1,15148453

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XLII se aprecia que el vuelo mínimo fue de 1 minuto y el máximo de 14 minutos, pero siendo la media 7,049 minutos con una desviación estándar de 4,496 minutos.

Tabla XLIII. **Estadística descriptiva de la cantidad de fotografías**

<i>CANTIDAD DE FOTOGRAFÍAS</i>	
Media	8,49180328
Error típico	1,3541321
Mediana	5
Moda	0
Desviación estándar	10,5761098
Varianza de la muestra	111,854098
Rango	50
Mínimo	0
Máximo	50
Suma	518
Cuenta	61
Nivel de confianza (95.0%)	2,70866749

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo una media de 8,492 fotos con una desviación estándar de 10,576, siendo el resultado de  $8,492 \pm 10,576$  fotografías por vuelo y con un nivel de confianza del 95% se espera obtener al menos 3 fotografías en un vuelo realizado.

Se espera que, según los inspectores, vayan practicando, la cantidad de vuelos sin fotografías decrezca, teniendo así un mayor porcentaje de vuelos exitosos, ya que, el factor humano es el que más influencia tiene entre si un vuelo se efectuará con éxito o fracasará.

## CONCLUSIONES

1. El dron es una tecnología reciente, por lo que el alcance de las aeronaves se encuentra limitada por el tiempo de vuelo y las distancias que se pueden alejar del operador, por esta razón se recomienda la utilización de estas aeronaves para inspecciones locales.
2. Para el aprovechamiento máximo, el dron necesitará de elementos auxiliares que generalmente no vienen incluidos en el paquete de compra básica, como cámaras con sensores avanzados tales como espectrales o termográficos y su respectivo *software* para procesamiento avanzado de imágenes y video; por lo que es necesario que se considere la adquisición.
3. Este trabajo consideró e implementó una aeronave de gama media, en vista que es un plan piloto; los costos de operación resultaron relativamente altos en vista que la autonomía de vuelo del dron Inspire 1 promedia los 10,5 minutos en condiciones normales.
4. El cálculo del VAN resultó negativo, asumiendo una TIR del 07% anual, por lo que, bajo esa premisa, se considera rechazado e insostenible el proyecto por tener más egresos que ingresos.
5. El cálculo del VAN resultó positivo, asumiendo una TIR del 13% anual, siendo ambos valores aceptables dentro del marco legal eléctrico y ante la Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia

6. Se determinó, para un VAN igual a cero, una tasa interna de retorno del 12,85%, que según tabla XXIX es suficiente para aprobar el proyecto.
7. Se realizó una distribución mensual uniforme de los gastos proyectados, utilizando la TIR del 12,85%, cuantificando así diecisiete mil ciento setenta y seis quetzales (Q17 176); por lo que cualquier ahorro mayor a esa cantidad devuelve un valor actual neto positivo.
8. Dedicando 10,5 minutos de vuelo se determina que la inspección con dron resulta de 4,48 a 5,09 veces más caro que realizarlo a través de helicóptero, pero debe considerarse que el dron realizó una revisión aproximadamente 11,45 veces más larga, por lo que resulta más conveniente.
9. En el apartado 5.2.2, validación de datos, fue notorio que el proceso de aprendizaje influyó en los resultados, ya que se registran múltiples vuelos sin fotografías ni videos, pudiendo ser un vuelo de práctica o de reconocimiento.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el dron Matrice serie 210 RTK, o tecnología superior debido a su compatibilidad con accesorios que le permiten contra restar la interferencia electromagnética, la compatibilidad con cámaras termográficas y su compartimiento de baterías duales que le permite operar vuelos más extensos.
2. El operador del dron deberá asistir a capacitaciones formales, a alguna de las escuelas de aeronáutica certificadas por la DGAC, las cuales se encuentran listadas en el Anexo 3; además es recomendable asistir a una capacitación con el fabricante para conocer el alcance de la aeronave y hacer uso de su pleno potencial.
3. Es importante que el operador de la aeronave conozca a profundidad los reglamentos que establece cada país para uso del dron en su espacio aéreo, en Guatemala existen escuelas en la cuales el operador de la aeronave puede instruirse y dominar los requisitos que exige la DGAC para uso de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo guatemalteco.
4. La resolución del monitor, donde serán visualizadas las imágenes extraídas de la aeronave, deberá ser igual o superior al de las fotografías, esto permitirá que el análisis de las imágenes sea más sencillo y preciso.

5. Conocer las recomendaciones y el alcance tecnológico de la aeronave que está siendo operada. Y conocer las recomendaciones de los fabricantes bajo las cuales puede ser operada la aeronave, puede utilizarse como guía el manual de usuario proporcionado por el fabricante donde expresan los parámetros de vuelo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARRECIS VILLATORO, Daniel Fernando. *El mantenimiento predictivo en la vida útil de los equipos primarios de una subestación eléctrica. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 145 p.
2. CAMARENA, Juan. *Diseño de estructuras para líneas de transmisión, programa de capacitación.* Costa Rica: Mater Litho, 2003. 124 p.
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas de diseño y operación de instalaciones de distribución.* [en línea]. <[www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/05%20NTDOID.pdf](http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/05%20NTDOID.pdf)>. [Consulta: 12 de febrero de 2018].
4. \_\_\_\_\_ . *Normas técnicas de diseño y operación del sistema de transporte de energía eléctrica.* [en línea]. <[www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/06%20NTDOST.pdf](http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/06%20NTDOST.pdf)>. [Consulta: 12 de febrero de 2018].
5. \_\_\_\_\_ . *Normas técnicas de calidad del servicio de transporte y sanciones.* [en línea]. <[www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/07%20NTCSTS.pdf](http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/07%20NTCSTS.pdf)>. [Consulta: 12 de febrero de 2018].

6. CORBETTA, Perrigiorgio. *Metodología y técnicas de investigación social*. Argentina: Río de Plata, 2007. 304 p. ISBN: 9788448156107.
7. DJI. *Inspire 1, User manual*. Versión 2.2, 2017, [en línea]. <[https://dl.djicdn.com/downloads/INSPIRE+1+series/20171221/INSPIRE\\_1\\_V2.0\\_User\\_Manual\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/INSPIRE+1+series/20171221/INSPIRE_1_V2.0_User_Manual_EN.pdf)>. [Consulta: 1 de marzo de 2018].
8. \_\_\_\_\_. *Matrice 200 Series, M210 / M210 RTK User manual*. Versión 1.2, 2018, [en línea]. <[https://dl.djicdn.com/downloads/M200/20180428/M200\\_User\\_Manual\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/M200/20180428/M200_User_Manual_EN.pdf)>. [Consulta: 1 de marzo de 2018].
9. \_\_\_\_\_. *Phantom 4 Pro/Pro+, User manual*. Versión 1.4, 2017, [en línea]. <[https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_pro/20171017/Phantom\\_4\\_Pro\\_Pro\\_Plus\\_User\\_Manual\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20171017/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_EN.pdf)>. [Consulta: 1 de marzo de 2018].
10. FINK Donald y Wayne, Beaty. *Manual de Ingeniería Eléctrica*. 13a ed. México: Oceano De México, 1996. 214 p. ISBN: 9701008731, 9789701008737.
11. HAYT, William Jr. *Teoría Electromagnética*. 7a ed. México: Mcgraw Hill, 2006. 582 p. ISBN: 9701056205, 9789701056202.
12. HELLRIEGEL, Don. *Administración un enfoque basado en competencias*. 11a ed. México: Cengage Learning, 2009. 627 p. ISBN: 978-607-481-455-2.

13. HERNÁNDEZ, Fernández y Baptista. *Metodología de la investigación*. 4a ed. México: Mcgraw Hill, 2006. 850 p. ISBN: 9701057538, 9789701057537.
14. Instituto Nacional de Electrificación. *Manual de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Electrificación*. Guatemala: 2018, 151 p.
15. \_\_\_\_\_. *Ley orgánica del Instituto Nacional de Electrificación –INDE- Decreto No. 64-94 Y sus Reformas*. Guatemala: 2010, 40 p.
16. LAUGHTON, M.A. *Electrical Engineer's Reference Book*. 16a ed. Gran Bretaña: Newnes, 2002. 1504 p. ISBN: 0080523544, 9780080523545.
17. MARTIN, José Raúll. *Diseño de Subestaciones Eléctricas*. 3a ed. México: Mcgraw Hill, 1992. 510 p. ISBN: 9684222327, 9789684222328.
18. MEM. *Acuerdo gubernativo 93-96*. [en línea]. <[www.cnee.gob.gt/pdf/marcolegal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf](http://www.cnee.gob.gt/pdf/marcolegal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf)>. [Consulta: 23 de abril de 2018].
19. SEGEPLAN. *Normas del Sistema Nacional de Inversión Pública de Ejercicio Fiscal 2018*. Guatemala. 2018. 133 p.
20. \_\_\_\_\_. *Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos*. Guatemala. 2013. 58 p.

21. STEVENSON, William; Grainger, John. *Análisis de sistema de potencia*. México: Mcgraw Hill, 1999, 740 p. ISBN: 9701009088, 9789701009086.
  
22. ZAPATA, Óscar. *Herramientas para elaborar tesis e investigaciones*. México: Pax. 2005. 295 p. ISBN: 9688604860, 9789688604861.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Demostración de la potencia eficaz

Corriente alterna:  $I(t) = I_{ac} \sin(\omega t)$

Corriente Continua:  $I_{dc}$

Potencia en A.C. = Teorema de Parseval =  $\frac{1}{T} \int_0^T [Z * I_{ac} \sin(\omega t)]^2 dt$

T = Periodo =  $2\pi$

$\omega = 2\pi * f$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Potencia en C.C. =  $P = I_{dc}^2 * Z$

Potencia en A.C. = Corriente alterna

$$1. \frac{Z}{T} \int_0^T [I_{ac} \sin(\omega t)]^2 dt = I_{dc}^2 * Z$$

$$2. \frac{1}{T} \int_0^T I_{ac}^2 \sin^2(\omega t) dt$$

Cuando Z es constante

$$3. \frac{Z}{T} \int_0^T I_{ac}^2 * \sin^2(\omega t) dt$$

Se sustituye con identidad de Senos cuadrados  $\sin^2(\omega t) = \frac{1}{2}(1 - \cos(2\omega t))$

$$4. \frac{Z}{T} \int_0^T I_{ac}^2 * \frac{1}{2}(1 - \cos(2\omega t)) dt$$

Continuación de apéndice 1.

$$5. \frac{Z}{2T} \int_0^T I_{ac}^2 (1 - \cos(2wt)) dt$$

$$6. I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T} \int_0^T (1 - \cos(2wt)) dt$$

Se separará en dos integrales

$$7. I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T} \int_0^T (1) dt = (I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T}) * t \Big|_0^T = (I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T}) * T - 0 = (I_{ac}^2 * \frac{Z}{2})$$

Se trabajará la otra integral

$$8. I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T} \int_0^T (-\cos(2wt)) dt = I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T} * \left( -\frac{1}{2W} \sin(2wt) \right) \Big|_0^T$$

$$I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T} * \left( -\frac{1}{2W} \sin(2WT) \right) - I_{ac}^2 * \frac{Z}{2T} * \left( -\frac{1}{2W} \sin(2w * 0) \right) = 0$$

Se iguala la ecuación 8 con la Potencia en C.C.

$$9. (I_{ac}^2 * \frac{Z}{2}) = I_{dc}^2 * Z$$

Se elimina Z y sacamos raíz cuadrada

$$10. \sqrt{I_{ac}^2 * \frac{1}{2}} = I_{dc}^2 = \frac{I_{ac}}{\sqrt{2}} = I_{dc}$$

El valor en corriente continua es  $\sqrt{2}$  veces menor que el valor necesario en ac.

Fuente: elaboración propia

## Apéndice 2. Formulario de Ingeniería Económica

Cambio de capitalización del interés

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{n}\right)^m - 1$$

Valor presente dado un pago distribuido

$$P = A \left( \frac{(1 + i_e)^n - 1}{i(1 + i_e)^n} \right)$$

Valor presente dado un valor futuro

$$P = F \left( \frac{1}{(1 + i_e)^n} \right)$$

Valor futuro dado un valor presente

$$F = P(1 + i_e)^n$$

Pago distribuido dado un valor presente

$$A = P \left( \frac{i(1 + i_e)^n}{(1 + i_e)^n - 1} \right)$$

Donde:

m= número de periodos a capitalizar

n = cantidad de meses en que se capitaliza la tasa dada

i = tasa de interés dada

A = Anualidad o pago uniforme

F = Valor situado en un punto futuro

P = Valor situado en un punto presente

Fuente: elaboración propia

### Apéndice 3. Memoria de cálculo, costos de utilización de drones

Se determinará la cantidad de días que requiere dedicar a cada línea con base en las capacidades del dron y las características de las líneas de transmisión de la tabla anterior; se cuantificará el costo por kilómetro de línea realizada, así como por revisar un solo tramo de la línea.

Tabla XLIV. Líneas de transmisión bajo propuesta.

No.	kV	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Longitud Línea	Promedio de los vanos más largos	Cantidad de Tramos
1	69	Guatemala Sur - EEGSA 1	7,32 km	518,7 m	26
2	69	Guatemala Sur - EEGSA 2,3	7,31 km	540,6 m	25
3	69	Guatemala Sur - Chimaltenango	14,90 km	523,0 m	43
4	138	Palín II - Palín II	0,24 km	200,0 m	3

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016

Para comenzar a realizar los cálculos, es necesario establecer ciertas premisas:

- Dron por utilizar: Inspire 1 V2
- Cantidad de días laborales: 288 <días>
- Cantidad de baterías: 5 <unidades>
- Autonomía de vuelo por batería: 10,5 <minutos / batería>
- Longitud aproximada por batería: 650 <metros / batería>
- Capacidad diaria aproximada: 3 250 <metros / día>
- Rendimiento de vehículo: 50 <kilómetros / galón>
- Costo del galón de diésel 22 <Quetzales / galón>

Continuación de apéndice 3.

Se realizará el ejercicio, como memoria de cálculo, para la línea Guatemala Sur – Chimaltenango.

$$\#baterías_{por\ tramo} = \frac{Longitud_{del\ vano}}{Longitud_{por\ batería}} = \frac{523\ m}{650\ \frac{m}{batería}} = 0.8046\ \frac{unidades}{tramo}$$

Lo anterior establece que con una batería es suficiente para revisar un tramo entre dos estructuras, ahora es necesario cuantificar cuántos días se necesitarían para revisar toda la línea

$$\#baterías_{por\ línea} = (\#baterías_{por\ tramo}) * (cantidad\ de\ tramos)$$

$$\left(0,8046\ \frac{unidades}{tramo}\right) (43\ tramos) = 34,59846\ unidades$$

Para determinar el número de días se dividirá la cantidad de baterías dentro de la cantidad de baterías que puede utilizar la sección de líneas, en este caso son cinco por día.

$$\# Días = \frac{\#baterías_{por\ línea}}{baterías\ disponibles} = \frac{34,59846\ unidades}{5\ \frac{unidades}{día}} = 6,92\ días \approx 7\ días$$

Cada miembro del personal asignado, por comisión asignada, devengará viáticos de desayuno y almuerzo, siendo el equivalente a 130 quetzales por día, así como se estima un recorrido de 100 kilómetros diarios, siendo aproximadamente 44 quetzales de combustible diésel consumidos.

Continuación de apéndice 3.

$$Viáticos = 130 * (\# \text{ Personas}) = 130(3) = 390 \frac{\text{Quetzales}}{\text{día}}$$

$$Combustible = \# \text{ Días} * \frac{(\text{Kilómetros})(\text{Coste}_{\text{Diesel}})}{(\text{Rendimiento})} \frac{(100)(22 \frac{Q}{gal})}{(50 \frac{km}{gal})} = 44 \frac{\text{Quetzales}}{\text{día}}$$

La inversión realizada será distribuida por cada vez que se utilice el, de tal manera se considerará la inversión inicial, así como gastos anuales consistente en reemplazo de hélices, baterías extra, mantenimiento a vehículos y al dron.

Tabla XLV. **Costos distribuidos del dron**

ELEMENTO	COSTO	VIDA ÚTIL	MONTO DISTRIBUIDO
INSPIRE 1 TB47	Q40 614,82 Quetzales	3 año(s)	Q48,35 Quetzales / día
Gastos periódicos	Q14 237,95 Quetzales	1 año(s)	Q50,85 Quetzales / día
Vehículo	Q189 750,00 Quetzales	5 año(s)	Q135,54 Quetzales / día
Batería	Q11,853,95 Quetzales	200 usos	Q59,27 Quetzales / día
<b>SUBTOTAL</b>			<b>Q293,98 Quetzales / día</b>

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 3.

Tabla XLVI. **Costos distribuidos de mantenimiento al dron**

TIPO	COSTO UNITARIO	FRECUENCIA	COSTO	MONTO DISTRIBUIDO
Servicio menor	Q1 200 Q/manto	7 Mantos / año	Q8 400 Q / Rev	Q30.00 Q / Día
Servicio mayor	Q6 000 Q/manto	2 Mantos / año	Q12 000 Q / Rev	Q42.86 Q / Día
<b>SUBTOTAL</b>				<b>72.86 Q / Día</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Costos distribuidos de mantenimiento al vehículo**

TIPO	COSTO UNITARIO	FRECUENCIA	COSTO	MONTO DISTRIBUIDO
Servicio Menor	Q3 000 Q/manto	5 Mantos / año	Q15 000 Q / Rev	Q53,57 Q / Día
Servicio Intermedio	Q4 000 Q/manto	6 Mantos / año	Q12 000 Q / Rev	Q42,86 Q / Día
Servicio Mayor	Q7 000 Q/manto	2 Mantos / año	Q14 000 Q / Rev	Q50,00 Q / Día
<b>SUBTOTAL</b>				<b>146,43 Q / Día</b>

Fuente: elaboración propia.

Los costos totales por utilización de equipo y servicios de mantenimiento son de Q513,27 por cada día de utilización y si le agregamos los Q390 de viáticos y Q44 de combustible se obtiene un total de: Q947,27 quetzales al día.

Continuación de apéndice 3.

Se añadirá la variable salarios que, para 8 horas laboradas, de todo el personal seleccionado, corresponde a Q3 083,83 quetzales el día, se multiplica la cantidad de días que se habían obtenido para determinar el costo total que resultará de revisar la línea de transmisión.

$$\text{Costo Total} = (3\ 083,83 + 947,27) \frac{\text{Quetzales}}{\text{día}} * 7 \text{ día} = 28\ 217,7 \text{ Quetzales}$$

Considerando que la línea de transmisión tiene una longitud total de 14,9 km y un vano promedio de 523 metros, es posible distribuir el costo de la siguiente manera:

Tabla XLVIII. **Costo de revisión de línea con dron**

COSTO POR TRAMO COMPLETO DE LÍNEA	COSTO POR KILÓMETRO	COSTO POR TRAMO
Q28 217,7 Q	Q 1 893,805 Q/km	Q990,46 Q/Tramo

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tabulación de vuelos**

No.	GPS	DISTANCIA <metros>	TIEMPO <minutos>	FOTOS <unidades>
1	NO	624	2	0
2	NO	13	2	0
3	NO	672	4	0
4	SI	128	4	5
5	SI	613	11	0
6	SI	47	2	0
7	NO	1 017	11	0
8	SI	153	6	0
9	SI	719	13	0
10	SI	1 002	10	31
11	SI	809	13	8
12	SI	10	2	0
13	SI	519	13	13
14	SI	1 862	13	50
15	SI	1 098	12	5
16	SI	5	1	0
17	SI	26	2	0
18	SI	315	9	5
19	SI	2 356	14	27
20	SI	2 065	13	18
21	SI	1 239	12	17
22	SI	1	1	0
23	SI	206	8	18
24	si	1	1	0
25	SI	112	4	0
26	SI	1	1	0
27	SI	837	13	20
28	SI	9	1	0
29	SI	52	3	0
30	SI	864	10	25

Continuación de apéndice 4.

31	SI	759	12	7
32	SI	991	12	21
33	SI	609	12	9
34	SI	1 244	11	0
35	SI	11	1	0
36	SI	1 059	10	7
37	SI	251	4	0
38	SI	557	7	18
39	SI	1 574	11	9
40	SI	10	2	0
41	SI	1 747	10	14
42	SI	82	3	0
43	SI	171	4	4
44	SI	139	3	7
45	SI	1 222	13	17
46	SI	958	12	23
47	SI	3	1	1
48	NO	2	2	0
49	SI	1 283	11	23
50	SI	1 092	9	18
51	SI	57	9	26
52	NO	0	1	0
53	SI	129	3	0
54	SI	1 635	8	7
55	SI	71	6	4
56	SI	984	11	15
57	SI	212	4	0
58	SI	800	10	20
59	SI	692	9	15
60	SI	153	5	10
61	SI	109	3	1

Fuente: elaboración propia.

# ANEXOS

## Anexo 1. Ficha técnica de medidor ambiental LM8000

**DAGATRON**  
Equipos de medición

Plaza Tetuan, 15 bajos  
08010, Barcelona

info@dagatron.es  
Telf: 932449000

**Dagatron.es**  
Tienda online

### Medidor ambiental »Luxómetro » Termo anemómetro » LM 8000 Multifunción (4 en 1) Anemómetro, temperatura, humedad, iluminancia.

Termo anemómetro digital multifunción, capaz de realizar las siguientes medidas: velocidad de aire, temperatura ambiente, temperatura industrial con termopar tipo K, humedad relativa, medida de iluminancia (lux) y flujo luminoso (candelas). Puede medir la velocidad del aire entre 0.2m/s y 30m/s y la temperatura ambiente y del aire que pasa por la turbina. De gran utilidad por su tamaño, prestaciones y fiabilidad. De fácil manejo. Gracias a la posibilidad de realizar diferentes medidas ambientales (4 en 1) es recomendable para uso general en la industria, aire acondicionado, conductos de aire, rejillas difusoras de aire, estudios del medio ambiente, etc.

#### Características:

	LM8000
Equipo multifunción digital (4 en 1)	*
Medidas de velocidad de aire	*
Medidas de temperatura, ambiente e industrial (1300°C) tipo K	*
Medida de humedad relativa	*
Medida de lux / candelas	*
Conversión en °C y °F	*
Equipo controlado por microprocesador	*
Auto apagado	*
Aparición de símbolos en pantalla	*
Manejable, ergonómico y fácil de usar	*
Selección de rango: auto rango	*

#### Especificaciones:

<b>Medidas de VELOCIDAD DE AIRE</b>	
Rango	0.4m/s a 30m/s
Resolución / Precisión	0.1 m/s / ±(3%)
<b>Medidas de TEMPERATURA</b>	
Rango temperatura ambiente en termopar K (con sonda)	0 a 50°C Rango -100° C a 1300° C
Resolución / Precisión	0.1° / ±(1% de lec. ) +1° C
<b>Medidas de HUMEDAD</b>	
Rango	10% a 95%
Resolución	0.1% HR / ±(4% de lecturas) + 1.2%
<b>Medidas de LUX</b>	
Rango	0 a 20.000Lux
Resolución	1Lux / ±(5% de lecturas) + 8 dig.
<b>Otras especificaciones</b>	
Sensor de velocidad de aire	Turbina de vinilo de baja fricción
Sensor de humedad	Capacitivo
Lectura de medidas vel. aire en	nudos, m/s, km/h, mph
Normas	CE
Alimentación	1 batería de 9V
(6P22) Tamaño	156 x 60 x 33 mm
Peso	160g.

Fabricante:  
HIBOK

Cód. 454



#### Accesorios Incluidos:

Batería  
Estuche  
Instrucciones  
en castellano

Fuente: DAGATRON. [www.dagatron.es/medidores-ambientales/99-medidor-ambiental-multifuncion-lm8000a.html](http://www.dagatron.es/medidores-ambientales/99-medidor-ambiental-multifuncion-lm8000a.html). consulta: 25 de marzo de 2018.

## Anexo 2. Condiciones meteorológicas de departamentos de Guatemala

Localidad	Elevación Msnm).	Temperaturas	Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Humedad	Velocidad de Viento
		Max - Min (CÂ°)	Max - Min	(Milímetros)	Total /Hrs/ Promedio Mes.	Relativa (en %)	(Km/hr.)
<b>Departamento de Alta verapaz</b>							
Coban	1 323	24,5 – 13,0	34,2 – 0,80	2 074,9	172,5	88	4.2
Cahabon	380	31,2 – 19,4	38,7 – 13,3	2 386,3	-99	81	-99
Chisec	140	31,4 – 20,1	38,3 – 13,8	2 477,5	168,3	84	3
Panzos	30	32,1 – 21,0	37,6 – 14,2	2 656,7	187	81	2.1
Panzos, papalha	120	31,5 – 20,4	36,8 – 14,8	1 911,4	-99	77	-99
<b>Departamento de Baja verapaz</b>							
Sn.Jeronimo	1 000	28,3 - 14,9	38,3 - 0,2	908,6	188,8	72	5,1
Cubulco	944	29,0 - 14,3	36,1 - 5,3	903,3	-99	79	-99
<b>Departamento de Chimaltenango</b>							
Sn,Martin Jilotepeque	1 800	23,4 - 12,2	29,8 - 4,8	1272,7	-99	78	-99
Santa Cruz Balanya	2 080	22,6 - 9,5	32,8 - -2,8	970,4	-99	77	-99
<b>Departamento de Chiquimula</b>							
Esquipulas	950	27,4 - 17,01	38,0 - 6,2	1551,6	186,4	83	6,8
Camotan	450	31,6 - 19,9	39,0 - 12,7	963,7	-99	70	-99
Ipala	828	29,8 - 17,5	36,5 - 10,8	920,1	-99	69	-99
<b>Departamento de Escuintla</b>							
Escuintla	730	29,4 - 18,1	36,5 - 10,0	3124,8	-99	79	-99
Escuintla,El chupadero	270	33,4 - 21,2	38,2 - 17,2	2755,3	-99	75	-99
Sta. Lucia Cotz. Camantulul	280	31.9 - 19.1	35.8 - 13.8	3516.1	-99	78	-99
Tiquisate	70	34.1 - 21.2	38.1 - 16.5	2016	-99	75	-99

Continuación del anexo 2.

<b>Departamento de Guatemala</b>							
Guatemala,INSIVUMEH	1 502	24,5 - 14,0	33,4 - 4,2	1 196,8	203,6	78	17,7
Guatemala,Florinda	1 470	25,4 - 15,7	34,5 - 7,0	1 310,3	-99	-99	-99
Sn, Miguel Petapa,	1 260	26,3 - 16,4	33,0 - 8,0	1 093,7	-99	-99	-99
Amatitlan	1 189	27,5 - 14,5	31,8 - 8,0	924	-99	76	-99
San José Pinula	1 650	22,8 - 11,7	28,8 - 3,9	1 639,3	166,9	84	-99
San Pedro Ayampuc	1 200	27,8 - 15,0	34,4 - 8,4	1 063,1	-99	74	-99
San Pedro Sacatepequez	1 400	25,8 - 13,9	36,5 - 5,0	1 031,9	-99	78	-99
Villa Canales	1 120	29,0 - 16,1	33,9 - 8,1	1 523,9	173,8	78	-99
<b>Departamento de Huehuetenango</b>							
Huehuetenango	1 870	25,4 - 9,9	34,0 - -5,5	974,9	219	72	7,5
Cuilco	1 120	30,7 - 14,8	40,6 - 3,5	985,2	-99	71	-99
San Pedro Necta	1 700	24,8 - 13,2	33,5 - 0,4	1 475,3	-99	71	-99
San Pedro Soloma	2 260	19,3 - 7,4	29,0 - -3,0	2 138,8	-99	86	-99
Todos los Santos	2 480	18,6 - 6,8	27,0 - -3,0	1 256,3	99	85	-99
<b>Departamento de Izabal</b>							
Puerto Barrios	2	29,7 - 21,4	39,6 - 11,0	3 111,3	202,2	83	20,2
Livingston	10	31,6 - 20,4	42,0 - 10,0	1 825,6	-99	82	-99
Los Amates	76	32,7 - 21,4	43,5 - 13,0	1 800,3	-99	75	-99
<b>Departamento de Jalapa</b>							
Jalapa	1 760	21,7 - 8,7	29,8 - -4,0	1 002,8	-99	83	-99
Monjas	960	28,6 - 15,3	36,2 - 2,5	974,6	213,9	69	6,3
<b>Departamento de Jutiapa</b>							
Asunción Mita	478	32,5 - 21,6	40,5 - 10,0	1 241,3	246,5	66	20,1
Moyuta	10	33,6 - 19,9	40,0 - 5,2	1 389,4	228,4	76	2,1
Quezada	980	29,1 - 15,7	39,9 - 2,5	1 104,1	-99	77	-99

Continuación del anexo 2.

<b>Departamento de El Peten</b>							
Flores	123	31,4 - 20,0	42,0 - 9,0	1 553,1	-99	78	-99
Libertad	125	31,3 - 19,7	41,7 - 7,8	1 843,8	170,6	85	3
San Andres	60	32,8 - 19,7	44,0 - -99,0	1 633,2	194,6	82	-99
San Luis	10	31,2 - 20,2	42,5 - 2,0	4 125,8	-99	81	-99
Poptun	500	28,6 - 18,2	39,8 - 6,0	1 849,1	-99	82	-99
<b>Departamento de El Progreso</b>							
Morazan	370	34,3 - 19,7	44,2 - 7,5	780,5	-99	62	-99
<b>Departamento de Quetzaltenango</b>							
Olintepeque	2 380	21,7 - 5,8	29,6 - -11,5	842,5	201,5	75	7
<b>Departamento de Quiche</b>							
Chinique	1 880	23,0 - 10,2	31,5 - 0,0	1 543,9	-99	78	-99
Sacapulas	1 180	30,1 - 13,3	38,5 - 1,0	834,1	-99	66	-99
Chicaman	680	31,0 - 17,6	43,6 - 0,6	1 238,1	-99	74	-99
Chichicastenango	2 025	21,8 - 9,7	31,4 - -8,5	1 386,4	193,7	80	4,2
Nebaj	1 906	22,7 - 9,0	34,0 - -3,5	1 925,6	-99	78	-99
<b>Departamento de Retalhuleu</b>							
Retalhuleu	205	33,6 - 21,1	37,6 - 17,7	2 890,7	-99	71	-99
El Asintal	355	32,2 - 18,8	38,6 - 10,3	3 010,6	-99	75	-99
<b>Departamento de Sacatepéquez</b>							
San Lucas Sacatepequez	2 105	18,5 - 6,9	28,0 - -5,0	991,8	-99	85	-99
Santa Maria de Jesus	2 065	20,8 - 11,3	29,5 - -99,0	1 221,1	-99	-99	-99
<b>Departamento de San Marcos</b>							
San Marcos	2 420	20,0 - 6,0	28,0 - -8,0	1 026,5	-99	85	-99
Catarina	233	32,9 - 19,1	38,4 - 9,5	3 565,4	-99	76	-99
<b>Departamento de Santa Rosa</b>							
Cuilapa	737	31,1 - 16,4	34,8 - 9,1	1 552,3	-99	76	2,7
<b>Departamento de Sololá</b>							
San Lucas Toliman	1 562	26,2 - 13,5	36,3 - 3,0	1 011,7	179,2	79	-99
Santiago Atitlan	1 580	24,4 - 12,3	31,5 - 2,9	1010	-99	81	-99

Continuación del anexo 2.

<b>Departamento de Suchitepequez</b>							
<b>Mazatenango</b>	430	31,8 - 17,8	37,5 - 6,5	3 527,3	-99	80	-99
<b>San Juan Bautista</b>	670	29,2 - 20,0	36,1 - 13,0	3 204,3	176,3	75	1,4
<b>Departamento de Totonicapán</b>							
<b>Santa Lucia la Reforma</b>	1 840	26,5 - 10,7	37,0 - 0,0	938,7	-99	-99	-99
<b>Departamento de Zacapa</b>							
<b>Estanzuela</b>	210	34,1 - 21,2	45,0 - 7,0	652,3	232,7	70	8
<b>La Union</b>	8	25,9 - 17,9	38,5 - 4,4	1 592,1	-99	80	-99
<b>Rio Hondo</b>	260	33,5 - 20,3	42,0 - 9,0	721,3	-99	72	-99

Fuente: INSIVUMEH. [www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/estadisticas.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/estadisticas.htm). consulta: 20 de marzo de 2018.

Anexo 3. **Lista de escuelas aeronáuticas certificadas**

NOMBRE INSTITUCIÓN	NUMERO CERTIFICADO OPERATIVO
ESCUELA DE FORMACIÓN Y PROFESIONALIZACIÓN AERONÁUTICA - AEROTRAINING -	DGAC/EIA-01-2003
CÍRCULO AÉREO GUATEMALTECO	DGAC/EIA-02-2003
ESCUELA AÉREA WINGS	DGAC/EIA-03-2004
ACADEMIA DE ESTUDIOS AERONAUTICOS	DGAC/EIA-04-2004
ESCUELA TÉCNICA UNIVERSIDAD GALILEO	DGAC/EIA-05-2005
ACADEMIA DE AVIACION F-15	DGAC/EIA-06-2006
ESCUELA DE VUELO DE OCCIDENTE	DGAC/EIA-08-2011
FLIGHT INTERNATIONAL TRAINING CENTER	DGAC/EIA-09-2011
ESCUELA DE VUELO, S.A.	DGAC/EIA-10-2013
ESCUELA TECNICA DE AVIACION PROFESIONAL ETAP	DGAC/EIA-12-2012
ESCUELA AEROCENTER	DGAC/EIA-13-2012
SAFETY PILOT	DGAC/EIA-15-2013
AVIATION TECHNICAL ACADEMY - ATA -	DGAC/EIA-16-2015
SERVICIOS AÉREOS GLOBALES, S.A. -SAGSA-	DGAC/EIA-17-2015
ALTITUD	DGAC/EIA-18-2017

Fuente: DGAC. [www.dgac.gob.gt/sistema/uploads/2017/06/29/21\\_9371390240.pdf](http://www.dgac.gob.gt/sistema/uploads/2017/06/29/21_9371390240.pdf)

consulta: 20 de marzo de 2018.

## Anexo 4. Ejemplo de carta de Jaeger

$$V = 2.00 \text{ D}$$

A partir de los 40 años, gradualmente se torna cada vez más difícil enfocar los objetos para verlos de cerca, por ejemplo notará que tiene que alejar los brazos para leer el diario, un libro o el menú de un restaurante. Este es el resultado de un proceso denominado Presbicia. La presbicia es una consecuencia natural que nos afecta a todos. A

$$V = 1.75 \text{ D}$$

medida que el tiempo pasa, el cristalino (la lente natural del ojo humano) va perdiendo su capacidad de enfoque de los objetos a diferentes distancias. Por ello es importante visitar anualmente a su Médico Oftalmólogo para mantener y cuidar su salud visual. Luego con la receta visitará a su Profesional Óptico de confianza, que es un especialista para brindarle una

$$V = 1.50 \text{ D}$$

solución en lentes personalizadas a sus necesidades visuales. Su vista es única. Imagínesse todo lo que hace con ella y la importancia que tienen sus lentes en su vida cotidiana. Con ellas trabajamos, las utilizamos para la computadora, caminamos, manejamos el automóvil, practicamos deportes y disfrutamos a nuestros hijos. Las utilizamos para todo lo relativo a nuestra vida en general.

$$V = 1.25 \text{ D}$$

En promedio, utilizará sus lentes todos los días durante más de dos años de uso y por ello es importante que sean de alta calidad e incorporen más tecnología para ayudar a sus actividades cotidianas. OPULENS es una compañía que fabrica lentes con alta tecnología de avanzada para su visión. NOVAR con tecnología Freeform es una solución personalizada e integral para recuperar una perfecta visión de cerca, lejos y media distancia. Porque son las únicas que se

$$V = 1.00 \text{ D}$$

fabrican personalizadas a su medida, en función de sus necesidades y parámetros visuales. Siendo altamente transparentes, eliminando los molestos reflejos y con una mayor resistencia a las rayas.

A partir de los 40 años, gradualmente se torna cada vez más difícil enfocar los objetos para verlos de cerca, por ejemplo notará que tiene que alejar los brazos para leer el diario, un libro o el menú de un restaurante. Este es el resultado de un proceso denominado Presbicia. La presbicia es una consecuencia natural que

$$V = 0.75 \text{ D}$$

afecta a todos. A medida que el tiempo pasa, el cristalino (la lente natural del ojo humano) va perdiendo su capacidad de enfoque de los objetos a diferentes distancias. Por ello es importante visitar anualmente a su Profesional Óptico de confianza, que es un especialista para brindarle una solución en lentes personalizadas a sus necesidades visuales. Su vista es única. Imagínesse todo lo que hace con ella y la importancia que tienen sus lentes en su vida cotidiana. Con ellas trabajamos, las utilizamos para la computadora, caminamos, manejamos el automóvil, practicamos deportes y disfrutamos a nuestros hijos. Las utilizamos para todo lo relativo a nuestra vida en general.

$$V = 0.50 \text{ D}$$

En promedio, utilizará sus lentes todos los días durante más de dos años de uso y por ello es importante que sean de alta calidad e incorporen más tecnología para ayudar a sus actividades cotidianas. OPULENS es una compañía que fabrica lentes con alta tecnología de avanzada para su visión. NOVAR con tecnología Freeform es una solución personalizada e integral para recuperar una perfecta visión de cerca, lejos y media distancia. Porque son las únicas que se fabrican personalizadas a su medida, en función de sus necesidades y parámetros visuales. Siendo altamente transparentes, eliminando los molestos reflejos y con una mayor resistencia a las rayas.

Fuente: Cortesía de Opulens S.A.

Anexo 5. Ejemplo de carta de Snellen

<b>E</b>	1	20/200
<b>F P</b>	2	20/100
<b>T O Z</b>	3	20/70
<b>L P E D</b>	4	20/50
<b>P E C F D</b>	5	20/40
<b>E D F C Z P</b>	6	20/30
<b>F E L O P Z D</b>	7	20/25
<b>D E F P O T E C</b>	8	20/20
<b>L E F O D P C T</b>	9	
<b>F D P L T C E O</b>	10	
<b>P E R O L C F T S</b>	11	

Fuente: Cortesía de Oplens S.A.