



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

**DISEÑO DE DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DEL USO DE DISPOSITIVOS
DESVIADORES DE VUELO, PARA REDUCIR LA MORTALIDAD DE AVES DEBIDO A
COLISIONES EN EL TENDIDO ELÉCTRICO DEL PET-2, ANILLO PACÍFICO SUR**

Rudy Antonio García Valdez

Asesorado por el MSc. Lic. José Roberto Ruiz Fumagalli

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DEL USO DE DISPOSITIVOS
DESVIADORES DE VUELO, PARA REDUCIR LA MORTALIDAD DE AVES DEBIDO A
COLISIONES EN EL TENDIDO ELÉCTRICO DEL PET-2, ANILLO PACÍFICO SUR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RUDY ANTONIO GARCÍA VALDEZ

ASESORADO POR EL MSC. LIC. JOSÉ ROBERTO RUIZ FUMAGALLI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DEL USO DE DISPOSITIVOS
DESVIADORES DE VUELO, PARA REDUCIR LA MORTALIDAD DE AVES DEBIDO A
COLISIONES EN EL TENDIDO ELÉCTRICO DEL PET-2, ANILLO PACÍFICO SUR**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 25 de mayo de 2015.



Rudy Antonio García Valdez



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

ADSE-MEAPP-0001-2015

Guatemala, 25 de mayo de 2015.

Director:
 Guillermo Antonio Punte Romero
 Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Rudy Antonio García Valdez** con carné número **2006-11538**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

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

Sin otro particular, atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Msc. Lic. José Roberto Ruiz Fumagalli.
 Asesor (a)

JOSE ROBERTO RUIZ FUMAGALLI
 LICENCIADO EN BIOLOGIA
 COLEGIADO No. 1591

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
 Coordinador de Área
 Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.
 M.Sc. Hidrología
 Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
 Director
 Escuela de Estudios de Postgrado



30/7/15

Cc: archivo
 /ec



REF. EIME 132.2015.

Guatemala, 31 de julio 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DEL USO DE DISPOSITIVOS DESVIADORES DE VUELO, PARA REDUCIR LA MORTALIDAD DE AVES DEBIDO A COLISIONES EN EL TENDIDO ELÉCTRICO DEL PET-2, ANILLO PACÍFICO SUR**, presentado por el estudiante universitario Rudy Antonio García Valdez, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Director

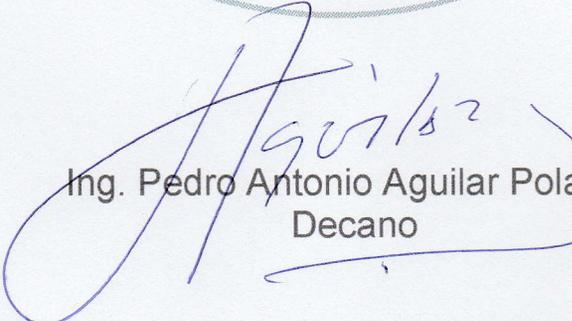
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





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 Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DEL USO DE DISPOSITIVOS DESVIADORES DE VUELO, PARA REDUCIR LA MORTALIDAD DE AVES DEBIDO A COLISIONES EN EL TENDIDO ELÉCTRICO DEL PET-2, ANILLO PACÍFICO SUR**, presentado por el estudiante universitario: **Rudy Antonio García Valdez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polar
Decano



Guatemala, agosto de 2015

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi creador y mi fuente de sabiduría y entendimiento.
Mis padres	Jorge Rudy García y Carolina Valdez. Su amor, apoyo, ejemplo y enseñanzas me han permitido alcanzar lo que tengo.
Mis hermanos	Paola García y Josué García. Por su aprecio y ayuda. Sus vidas me inspiran a ser mejor.
Mis amistades cercanas	José Ortega, Josué y David Alvarado, Frank Izaguirre y el resto de mi grupo, ustedes me han hecho ser mejor persona.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me abrió las puertas para llegar a ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme obtener conocimientos y enseñanzas que llevaré para toda mi vida.
Mis compañeros de la Facultad	Luis Lepe, Christian Serrano, Héctor Alvizures, Randolpho Sontay, Daniel García y Brayan Villela. Por su apoyo y amistad en todo momento.
TRECSA	Por permitir desarrollarme como profesional y apoyarme con mi trabajo de graduación.
MSc. Roberto Ruiz	Por asesorarme en mí trabajo de graduación y brindarme sus conocimientos amablemente.
Mis compañeros de estudio	Ingenieros Julio Barrios, Luis Sierra y Rafael Mejía, por su apoyo y amistad durante estos últimos años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	VII
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	7
5. ALCANCES	9
6. MARCO TEÓRICO.....	11
6.1. Condiciones bióticas y físicas del sector	11
6.2. Flora y fauna del sector y su adaptación con las líneas de transmisión	13
6.3. Consideraciones previas a la construcción de líneas de transmisión	15
6.4. Soluciones para reducir el conflicto entre aves y líneas de transmisión	16
6.5. Conflictos entre aves y líneas de transmisión.....	19
6.6. Dispositivos desviadores de vuelos de aves.....	20
6.7. Normativas ambientales y aspectos regulatorios.....	27

7.	PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL.....	29
8.	METODOLOGÍA	31
8.1.	Tipo de estudio.....	31
8.2.	Descripción de fases del estudio.....	31
8.2.1.	Fase 1: Revisión bibliográfica de fuentes de información.....	31
8.2.2.	Fase 2: Determinación de tramos para la realización del estudio.....	32
8.2.3.	Fase 3: Búsqueda y conteo de aves muertas por colisiones con las líneas de transmisión	34
8.2.4.	Fase 4: Análisis beneficio/costo del equipo.....	35
8.2.5.	Fase 5: Determinación del dispositivo a utilizar.....	36
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	39
10.	CRONOGRAMA.....	41
11.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	43
12.	BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Nido construido sobre cable de alta tensión	14
2.	<i>Pitangussulphuratus</i> (pecho amarillo) sobre cable de alta tensión ..	15
3.	Tendido eléctrico de 230 kV, línea de transmisión Chixoy II – San Agustín.....	18
4.	Líneas de transmisión de 13,2 kV con desviadores de vuelo instalados.....	27
5.	Sistema Nacional Interconectado, PET-1-2009 y APS	32
6.	Trazo inicial Anillo Pacífico Sur.....	33
7.	Vista desde perfil de las torres y orientación de los recorridos para monitoreo	34
8.	Comparación de costo de desviadores.....	37
9.	Comparación de eficacia de desviadores	37
10.	Comparación de la cadencia de desviadores	38
11.	Relación semanas <i>versus</i> hallazgos.....	40

TABLAS

I.	Características y tipos de dispositivos desviadores de vuelos de aves	21
II.	Semanas <i>versus</i> hallazgos	39
III.	Cronograma de actividades	41
IV.	Resumen de los gastos presupuestados por el investigador.....	43

RESUMEN

Las líneas de transmisión son el medio por el cual se transporta energía eléctrica de una subestación a otra. Las líneas de transmisión de 230 kV son las de mayor voltaje en Guatemala, exceptuando la línea que interconecta con México de 400 kV. El SNI, previo al PET-01-2009, era un sistema vulnerable propenso a fallas y a salidas continuas por las mismas, por lo que era necesario fortalecer la red eléctrica existente en los niveles de voltaje de 69, 138 y 230 kV.

El PET-2 era un proyecto que vendría a fortalecer el PET-01-2009; sin embargo no salió a licitación pública; debido a que en determinado momento se dieron a conocer las propuestas, el Anillo Pacífico Sur que era uno de los anillos propuestos en el PET-2, fue solicitado por una empresa filial de la Empresa Energía de Bogotá, quien ganó la licitación del PET-01-2009, en consorcio con Eléctricas de Medellín, para desarrollar dicho proyecto. Las obras de construcción iniciaron en el segundo trimestre del 2015, luego de haber cumplido con las normativas establecidas por los diferentes órganos regulatorios.

Uno de los requisitos solicitados previo a la construcción era que al realizar el EIA se analizara si era necesario instalar dispositivos desviadores de vuelo de aves, ya que un tema de mucho debate por las empresas ambientalistas a nivel mundial, es que las líneas de transmisión afectan ecosistemas y que la construcción de las mismas interrumpe el vuelo de las aves, las hace colisionar y en algunos casos ocasiona su muerte.

Debido a que instalar estos dispositivos representa un costo extra para el proyecto, es conveniente determinar primero si es necesario instalar los mismos

y si el resultado exige su instalación; hay que saber en qué puntos instalarlos. Por lo cual se tiene contemplado escoger por lo menos 2 lugares en los cuales existan líneas de transmisión de 230 kV instaladas y que no tengan dispositivos desviadores de vuelos colocados, para monitorear si existen colisiones de aves y si ocurren, con qué frecuencia se presentan.

INTRODUCCIÓN

El plan de expansión de transporte 2012-2021, denominado también “PET-2” determina la construcción de 6 “lotes” o “anillos”, entre los cuales se encuentra el Anillo Pacífico Sur, el cual consiste en la construcción de 4 subestaciones nuevas, reconfiguración a 2 subestaciones y ampliación a 1 subestación existente, así como la construcción de más de 90 kilómetros de líneas de transmisión a 230 kV, (kilovoltios) en 6 municipios del departamento de Escuintla.

La instalación del tendido eléctrico de cualquier proyecto crea un impacto sobre la avifauna del área. A menudo se aprecia en líneas de transmisión y de distribución, la presencia de nidos sobre el tendido eléctrico. En esta zona geográfica ya se cuenta con torres y cableado de alta tensión y es notorio que las aves se encuentran adaptadas a ellas e inclusive las utilizan en algunas ocasiones para sus anidamientos.

En los capítulos 1 y 2 se hará referencia a los problemas más comunes que existen entre aves y líneas de transmisión encontrados en diversas fuentes bibliográficas. Asimismo, se conocerán las soluciones planteadas e implementadas en los últimos años, ya que los accidentes de aves en instalaciones eléctricas, generan preocupación en las entidades relacionadas con el transporte y distribución de energía y en las que están dedicadas a la conservación de la naturaleza.

Varios trabajos científicos en países de Europa principalmente, han puesto de manifiesto desde hace años, que los accidentes en líneas eléctricas, colisión y electrocución, constituyen puntualmente una de las causas más importantes de

mortalidad de algunas especies de aves y un motivo determinante de la reducción de sus poblaciones.

Para la reducción de accidentes y erradicación del problema de las colisiones o electrocuciones, se han implementado diversas acciones, algunas muy rigurosas como ejecutar variantes en trazos de la línea de transmisión a instalar, así como la modificación de las estructuras (torres o postes), lo cual implica un mayor costo que pudiera significar a la larga una inviabilidad del proyecto. Sin embargo, en el capítulo 3 se presentara el sistema más estudiado y más efectivo reportado en diversas bibliografías, el cual consiste en la colocación en el cable de guarda de dispositivos para el desvío de vuelo de aves. Se analizarán sus tipos, características y funcionamiento del mismo.

En el capítulo 4 se mencionarán las principales normativas ambientales y los aspectos regulatorios que habrá que tener en consideración a lo largo del proyecto.

El capítulo 5 tiene como objetivo presentar los resultados encontrados en campo, luego de la realización de monitoreos y recorridos, describiendo los hallazgos e información relevante que pueda otorgar un panorama referente a la implementación de los dispositivos desviadores de vuelos de aves y que además otorgue una idea de las principales necesidades a cubrir en este sector, previo a la instalación de las nuevas líneas de transmisión.

Con base en lo observado y principalmente percatado, se llegará a una toma de decisión respecto de la instalación de los dispositivos desviadores de vuelo de aves.

Es importante mencionar que los resultados en otros países fueron importantes luego de la implementación de los dispositivos desviadores de vuelo; la reducción en las muertes de las aves fue notoria, creando con esto un impacto positivo. A lo largo de los años, se ha ido modificando el diseño de los desviadores de vuelo, ya que al estar expuestos a la intemperie, algunos presentaban un tiempo de vida corto, reduciendo así su eficacia.

Los materiales han ido cambiando y cada vez es más rentable la colocación de estos dispositivos en las líneas de transmisión.

1. ANTECEDENTES

Desde los años ochenta, diversos estudios hacen mención a que el impacto de las líneas de transmisión no ha sido positivo para muchas especies de aves que se convierten en víctimas, principalmente por colisiones con los cables conductores. “Varios casos revelan que las aves de mediano y gran porte son más susceptibles a los accidentes con líneas de transmisión, dentro de ellas, las aves acuáticas como gansos, patos y garzas, que se ven involucradas con mayor frecuencia” (Heijins, 1980, p. 68).

La mayoría de centrales generadoras, independientemente de la tecnología con la cual generan electricidad, se encuentran en lugares lejanos a los puntos de demanda; por lo que es necesaria la instalación de un tendido eléctrico como medio de transporte a un nivel de voltaje elevado; en este caso torres de alta tensión, las cuales tienen una altura de 30 – 50 metros (algunas sobrepasan esta altura dependiendo del sector).

El Ministerio de Energía y Minas determina que “los planes de expansión de transmisión, sean elaborados con el objetivo de cumplir con la política energética vigente, la cual contempla la diversificación de la matriz energética en el largo plazo que trata de incentivar la eficiencia en la producción de energía eléctrica, a partir del ingreso de plantas generadoras e interconexiones internacionales que disminuyan y establezcan los costos de producción de la energía, obteniendo en Guatemala precios de energía eléctrica competitivos” (Ministerio de Energía y Minas, 2009, p. 1).

Un plan de expansión de transmisión, al momento de ser adjudicado, debe contar con un estudio de impacto ambiental (EIA) aprobado, el cual, entre otros temas, hace énfasis al cuidado permanente de la flora y fauna del sector. Por ende para el cuidado de la fauna intrínsecamente está el cuidado principal de las aves, ya que la fauna terrestre no tendrá contacto con el tendido eléctrico; es para las aves que significa el mayor riesgo.

En Guatemala no se tenía registro de instalación de dispositivos desviadores de vuelo hasta antes de la construcción del proyecto SIEPAC, el cual tiene como función interconectar por medio de una línea de transmisión de 230 kV de 1790 kilómetros de longitud a los países de Centroamérica, desde Guatemala hasta Panamá; el cual colocó dispositivos desviadores de vuelo en ciertos tramos de la línea de transmisión Panaluya – San Nicolás (Honduras), especialmente en los tramos donde la línea cruza ríos, como por ejemplo en el río Motagua (Integración de sistemas eléctricos y de comunicación - EPR, s.f.).

En el 2007 se evidenció que “los desviadores de vuelos de aves habían sido implementados en países de Europa principalmente; aunque también en Colombia, Chile, Perú y en países africanos como Sudáfrica se han implementado y se ha determinado que generan para las aves un impacto visual y audible (al momento de existir fuerte viento), haciendo posible que las aves en vuelo perciban la línea de transmisión y así eviten la colisión. Se estima que en la mayoría de estos países se lograron reducir las colisiones hasta en un 80 %” (Manzano F, 2007, p. 38).

Sin embargo, a pesar de estos resultados, en Guatemala este recurso no ha sido implementado en su totalidad, ya que otras líneas de transmisión pudieran requerir la instalación de dispositivos desviadores, pero no se han tomado mayores acciones al respecto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la construcción del Anillo Pacífico Sur, existe el riesgo como en cualquier proyecto de infraestructura eléctrica, de que las aves migratorias y residentes del sector puedan llegar a tener dificultades con la adaptación del tendido eléctrico. Para el Anillo Pacífico Sur será necesario el monitoreo del sector en líneas de transmisión existentes, para determinar si será conveniente la instalación de dispositivos desviadores de vuelo de aves.

La pregunta principal a formularse es: “¿Existe la necesidad de utilizar dispositivos desviadores de vuelos en el Anillo Pacífico Sur?”; ya que por ser un sector principalmente dedicado a actividades agrícolas, será preciso determinar si se han presentado colisiones en las líneas existentes y cercanas a la construcción del Anillo Pacífico Sur. “Si se determinasen colisiones, la opción de la instalación de desviadores de vuelo de aves será necesaria, ya que su efectividad para la reducción de colisiones de aves que puedan provocar incluso su muerte, se puede disminuir” (Manzano F, 2007, p. 41).

Para determinar la necesidad de utilizar dispositivos desviadores de vuelos surgirán otras preguntas como: ¿De qué manera se determinará esta necesidad de instalar desviadores de vuelo de aves? ¿Qué tipo de desviadores de vuelos se pueden utilizar? ¿Es económicamente rentable la instalación de estos dispositivos?, ya que al momento de realizar el estudio de impacto ambiental, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para los proyectos de infraestructura eléctrica establece como un compromiso principal, el especial cuidado del medio ambiente y esto incluye el monitoreo del sector y buen trato de la flora y fauna del mismo.

Por lo tanto, aunque sea necesaria una inversión aún mayor a la contemplada, habrá que respetar la normatividad y la reglamentación establecida, para cumplir con las acciones de cuidado requeridas.

3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el subtema “Manejo ambiental en el sector energético”, de la línea de investigación “Evaluación de Impactos Ambientales en el Sector Energético y Aspectos Institucionales y Legales”, el diseño de investigación tiene como objeto plantear la solución a la posible problemática que se pudiera presentar entre aves y la instalación del tendido eléctrico en el PET-2, Anillo Pacífico Sur.

Debido a los problemas de adaptación entre la fauna y las líneas de transmisión, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) determina necesario establecer acciones de control, seguimiento y vigilancia ambiental, para determinar accidentes o colisiones de aves que pudiesen ocurrir debido a la instalación de las líneas de transmisión de 230 kV del Anillo Pacífico Sur, así como de otro proyecto de infraestructura eléctrica.

“La tasa de mortandad de aves acuáticas debido a colisiones con el tendido eléctrico cercano a ríos, lagos y bosques, llegó a ser alarmante desde 1980 a 1995 en América Latina; por lo cual en diversos países se optó por una solución que a nivel de ingeniería no creara un fuerte impacto ambiental ni económico y redujera los accidentes de aves que colisionaban con el tendido eléctrico, provocando en algunas fuertes golpes que las incapacitaban o inclusive en algunas provocaba la muerte instantánea” (Rosselli, 2003, p. 43).

“A pesar de que se ha evidenciado que los problemas de electrocución en aves son más probables en líneas que transportan un nivel de voltaje inferior a 34,5 kV, debido a la separación que existe entre los conductores entre fases o

entre una fase y el cable de guarda, siempre existe una probabilidad de que las aves se posen sobre una línea de transmisión de alto voltaje debido al diámetro y el peso de estos conductores” (Rivera, s.f., p. 705).

En el caso de Guatemala, por estar en Centroamérica y ser esta una zona que adquiere una posición de corredor de aves migratorias, las cuales migran de Sudamérica a Norteamérica y viceversa, se encuentra en ciertos períodos del año con recorridos extensos de ellas, aunado a las aves propias del sector, las cuales por su entorno se encuentran en constante movilidad. Por esta y otras razones, la legislación ambiental de Guatemala establece la necesidad de realizar un estudio de impacto ambiental para proyectos que involucren la interacción con la flora y fauna del país, ya que como ha sucedido en muchos países, la flora y fauna han tenido que adaptarse al tendido eléctrico instalado.

Ante la incertidumbre de accidentes en el área y debido a que no hay estudios puntuales sobre rutas migratorias, el estudio de impacto ambiental no exige la instalación de dispositivos desviadores de vuelo, sin embargo el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales establece en la Resolución 02588-2014/DIGARN/EPISA/ohmc/cfo, expediente Núm. EIA-0061-14, los compromisos ambientales que se deben tener al momento de la realización de este proyecto, indicando en el punto XXVI que se debe: “establecer acciones de control, seguimiento y vigilancia ambiental (monitoreo) para identificar accidentes, colisiones y/o muerte de especies de aves y murciélagos, ocasionados por las líneas de transmisión y las subestaciones eléctricas” (MARN, 2014).

Será necesario determinar en campo si es necesaria la instalación de los dispositivos desviadores de vuelo, y de ser necesarios, identificar en qué tramos sería conveniente su instalación.

4. OBJETIVOS

General

Determinar la necesidad de la instalación de dispositivos desviadores de vuelo de aves, para reducir la mortalidad de aves debido a colisiones en el tendido eléctrico del PET-2 (Plan de expansión de transporte 2012-2021), Anillo Pacífico Sur”.

Específicos

1. Presentar las condiciones bióticas y físicas del sector donde se construirá el Anillo Pacífico Sur.
2. Determinar la correlación que ha existido entre las aves y las líneas de transmisión, así como los principales conflictos y las maneras en las cuales se han solucionado los mismos.
3. Presentar los principales tipos de dispositivos desviadores de vuelo de aves que se han fabricado y utilizado en la actualidad.
4. Dar a conocer las normativas ambientales y los aspectos regulatorios que debe respetar el PET-2.
5. Presentar y discutir los resultados encontrados, para determinar si es necesaria la instalación de los dispositivos desviadores de vuelo de aves en el Anillo Pacífico Sur.

5. ALCANCES

Con base en la literatura para conservación de aves, que se relaciona con líneas de transmisión, la solución más viable si se presentaran muertes de aves, es la instalación de dispositivos desviadores de vuelos. La modificación de las estructuras de las líneas de transmisión representa un alto costo y es una solución demasiado extrema.

En los “antecedentes” se hace mención que con un funcionamiento muy sencillo, en el cual el impacto para las aves es visual y en determinadas ocasiones audible, se ha comprobado que los desviadores de vuelos de aves logran reducir hasta en un 80 % las colisiones de aves en las líneas de transmisión.

Estos valores brindan de por sí un panorama amplio sobre la eficacia y utilización de estos dispositivos para proyectos de infraestructura eléctrica que deban converger con la flora y fauna de una determinada región.

La implementación de estos dispositivos incentiva a otras empresas a la utilización de los mismos, por la necesidad que pueda surgir o por precaución.

La principal necesidad que se va a cubrir es evitar que se presenten colisiones de aves en las líneas de transmisión del Anillo Pacífico Sur; sin embargo al no presentarse muertes de aves ocasionadas por la actividad humana, se beneficia al ecosistema en general, ya que el ciclo de la naturaleza se mantiene indemne.

Los desviadores de vuelos de aves surgen como una necesidad para mitigar el problema de las aves con el tendido eléctrico. El PET-1-2009, por ser un proyecto de infraestructura que atraviesa varios municipios a lo largo del país, tiene contemplada la instalación de más de 6,000 dispositivos desviadores de vuelos solo en el departamento de Izabal, por la cercanía a río Dulce, río Polochic y el lago de Izabal, por lo que la necesidad de la mitigación de este problema en otros municipios es mayor; por tanto es necesario determinar si en el departamento de Escuintla también existe una necesidad similar a cubrir.

Por encontrarse este proyecto en el departamento de Escuintla, la región a cubrir para realizar el estudio y así tomar la decisión de implementar los dispositivos desviadores de vuelo, es en los municipios donde ya se encuentran energizadas algunas líneas de transmisión cercanas y donde el acceso al monitoreo no sea complicado, como por ejemplo los municipios de Siquinalá, La Democracia o Escuintla.

La investigación se podría ver limitada por la falta de acceso a terrenos privados para realizar el monitoreo, así como las condiciones climáticas que se pudieran presentar en el sector.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Condiciones bióticas y físicas del sector

El proyecto debe considerar varios aspectos, siendo uno de los más importantes, los geológicos del sector, los cuales indican que toda la parte media del departamento de Escuintla se caracteriza por afloramientos de rocas sedimentarias aluvionales con suelos de composición arenosa y limosa, así como abundantes cantos rodados y bloques en las planicies de inundación, producto de la erosión, transporte y sedimentación de las rocas volcánicas de las partes altas del departamento hacia el extremo septentrional.

Estas rocas volcánicas del norte son predominantemente flujos piroclásticos, depósitos pumíticos, andesitas, basaltos y riolitas que forman las tierras volcánicas terciarias y recientes de los edificios volcánicos de Agua y de Fuego, así como de complejos montañosos y paleovolcanes del Terciario, en sectores entre Escuintla – Santa Lucía Cotzumalguapa al sur, y las faldas de los volcanes recientes al norte.

El proyecto se ubicará en las planicies de las partes medias de las cuencas de los ríos María Linda, Achiguate y Acomé. La cubierta de sedimentos de la zona no permite observar características geológicas distintivas como fallas, alineamientos o afloramientos rocosos, pues se trata de una planicie bastante homogénea.

La planicie costera del Pacífico, donde se encuentra el proyecto, se originó en el Cuaternario como resultado de la erosión, transporte y deposición de las rocas volcánicas, que forman parte del cinturón volcánico.

Otro aspecto importante a considerar es el viento del sector. Respecto de la velocidad del viento promedio, en marzo del 2013 se presentó el valor más alto, siendo este de 6,07 km/h. Además, en septiembre del 2012 se presentó el valor más bajo, siendo este de 3,76 km/h. Respecto de la velocidad del viento máxima, en noviembre de 2012 se presentó el valor más bajo con 19,00 km/h y en septiembre del mismo año se presentó el valor más alto con un promedio de 46,03 km/h. Por lo que el fuerte viento del sector en determinadas épocas del año podría afectar el vuelo de las aves y así su interferencia con las líneas de transmisión.

La actividad volcánica es otro tema a considerar, ya que el proyecto está a 22 km del volcán más cercano, siendo este el Pacaya y uno de los más activos en la actualidad. La actividad reciente que se describe tiene registrados 2 eventos de gran magnitud en los últimos 25 años, por lo cual la posibilidad de que un evento de este tipo afecte el proyecto es baja.

El análisis de cobertura vegetal llevado a cabo para el estudio de impacto ambiental evidenció que “el área está representada principalmente por cultivos, lo cual equivale a un 81,25 %; le siguen árboles dispersos con un 7,47 % y bosques de coníferos mezclados con árboles caducifolios con un 1,79 % del área de influencia directa. En vista de lo anterior, ya que el área principal es de cultivos, se estiman mínimos impactos considerables a entorno vegetal natural” (Everlife, 2013, p. 282).

El tipo de flora está ligada a la fauna del sector y se considera que existen hasta 91 especies de flora maderable y no maderable. De dichas especies hay algunas indicadoras, identificando a la Ceiba (*Ceiba pentandra*) y Guarumo (*Cecro piaobtusifolia*).

Se escogieron estas especies como referencia, por ser abundantes, fácilmente identificables y porque cumplen con los siguientes criterios: “son especies cuya presencia indica la presencia de un conjunto de otras especies y cuya ausencia indica la falta de tal juego entero de especies; son especies de las cuales cuya adición o sustracción a un ecosistema acarrea cambios sustanciales en la abundancia y ocurrencia de, por lo menos, una especie; son especies dominantes que proveen de una parte sustancial de la biomasa o del número de individuos en el área” (Everlife, 2013, p. 253).

6.2. Flora y fauna del sector y su adaptación con las líneas de transmisión

El estudio de impacto ambiental realizado para el Anillo Pacífico Sur, evidenció que dentro del área de influencia directa se presentan colibríes, águilas de cola corta y pájaros carpinteros.

“Estas especies de aves son generalistas y se encuentran en bosques, planicies y zonas arbustivas y hasta en ecosistemas intervenidos. Es importante mencionar las especies *Crotophaga sulcirostris*, *Sporophila minuta* y *Volatinia jacarina*; las cuales son características de entornos abiertos tal y como pastizales, sabanas o áreas de cultivos” (Everlife, 2013, p. 299).

Se estima que existen hasta unas 41 especies de aves, de las cuales 2 son migratorias únicamente en época de no reproducción (*Empidonax minimus* y *Zenaida asiática*) y 2 son migratorias transitorias o de paso (*Dendroica dominica* y *Dendroica fusca*).

En el área se observa un mosaico en el paisaje compuesto de parches de bosque conservado, plantaciones de caña y milpa y bosque de galería. Esto permite la disponibilidad de diversos microhábitats y nichos ecológicos para las distintas especies que requieren diferentes condiciones y características para su refugio y alimentación” (Everlife, 2013, p. 302).

Figura 1. **Nido construido sobre cable de alta tensión**



Fuente: Everlife, 2013, p. 31.

Figura 2. ***Pitangussulphuratus* (pecho amarillo) sobre cable de alta tensión**



Fuente: Everlife, 2013, p. 331.

6.3. Consideraciones previas a la construcción de líneas de transmisión

Para evitar problemas de colisión con líneas de transmisión, se deben tomar en cuenta ciertos aspectos, previo a la construcción; por ejemplo:

- Las líneas no deberían construirse sobre cuerpos de agua, salvo que sea realmente necesario.
- Las líneas no deben cruzar por lugares donde se congregan aves acuáticas.
- Las aves acuáticas no deben ser molestadas cuando se encuentren cerca de líneas existentes.

- Incrementar la visibilidad de las líneas, especialmente el cable guía, con dispositivos como desviadores de aves en vuelo.

Sin embargo, al estar en la necesidad de obviar alguna de las consideraciones antes citadas, por razones económicas o técnicas habrá que implementar soluciones, como la instalación de dispositivos desviadores de vuelos de aves.

6.4. Soluciones para reducir el conflicto entre aves y líneas de transmisión

Previo a analizar el conflicto entre aves y líneas de transmisión, hay que tomar en cuenta que las aves establecen una estrecha relación con los tendidos eléctricos. Al convertirse en elementos presentes en todo tipo de paisajes, los tendidos y sus apoyos (postes o torres) son utilizados por numerosas especies como posaderos (puntos elevados desde los que se domina visualmente una amplia superficie de terreno), lugares de reposo e incluso como plataformas de nidificación.

“En algunos lugares, la progresiva transformación del medio natural ha supuesto la disminución en el número de soportes naturales en los que muchas aves desarrollan sus actividades: los árboles. Los apoyos de tendidos eléctricos se han convertido así en unos excelentes sustitutos. Esta presencia frecuente de aves en los tendidos suele ocasionar problemas a las instalaciones eléctricas, que no siempre son tenidos en consideración” (Sevillana de Electricidad, 1995, p. 16).

Afortunadamente los conflictos entre aves y líneas de transmisión tienen varias soluciones; se cuenta con una serie de medidas para modificar las

estructuras causantes de electrocuciones y así mitigar el problema. Sin embargo, “la modificación de estructuras en líneas existentes puede resultar costosa y debe acompañarse de estudios de campo que identifiquen las estructuras causantes de electrocuciones y que sufren continuos cortes del suministro, para maximizar el costo-beneficio de estas operaciones” (Harness, 2001, p. 612).

La construcción de nuevas líneas de transmisión con lineamientos de “construcción amigables para las aves”, puede resultar inclusive económicamente viable.

Alemania fue uno de los primeros países en tomar medidas para evitar la electrocución de aves; se determinaron lineamientos para la construcción y diseño de las líneas, e incluso otros países europeos, como es el caso de Suiza, han adoptado dichas medidas.

“En la República de Eslovaquia mueren alrededor de 10 000 aves cada año a causa de electrocución en líneas de distribución de 22 kV, especialmente en postes terminales” (Bayle, 1999, p. 43).

En Israel, los buitres *griffon* y las cigüeñas blancas y negras mueren por electrocución, principalmente en líneas de distribución de 33 kV, causando daño a las estructuras y al suministro de energía. A partir del 2001 se han implementado esquemas de protección para aves que utilizan principalmente materiales aislantes.

En Rusia y Kazakhstan se utilizan líneas de distribución de 10 kV, las cuales causan una gran mortalidad de rapaces, inclusive han afectado las poblaciones de águila esteparia (*Aquila nipalensis*).

Un ejemplo claro del peligro que representan las líneas de distribución fue el caso de una línea de 11 kms dentro de una reserva natural, donde en octubre de 2000 se registró la muerte por electrocución de 200 cernícalos, 48 águilas esteparias, 2 águilas imperiales españolas, un águila de cola blanca y un buitre negro.

Las líneas de transmisión que transportan 34,5 kV o más, poseen en la parte más alta de su estructura un cable de guarda; este es el cable más delgado que se observa. En la actualidad se está cambiando el cable de guarda por uno de fibra óptica que permite la transmisión de información. Generalmente, este es el cable usualmente dañado por las aves.

Figura 3. **Tendido eléctrico de 230 kV, línea de transmisión Chixoy II – San Agustín**



Fuente: San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala.

6.5. Conflictos entre aves y líneas de transmisión

La creación de una infraestructura eléctrica, así como la construcción de edificios, puentes, carreteras, entre otros, tienden de determinada manera a la destrucción de hábitat para la fauna y flora silvestre. Los principales conflictos que enfrentan las aves en las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica son:

- Electrocutación
- Colisión
- Contaminación y daño por excretas
- Nidos en estructuras
- Daño a cable de fibra óptica

El número de cortes de energía causados por aves se traduce en un alto costo tanto para las comunidades que se quedan sin energía, como para las compañías de electricidad que deben coordinar equipos de mantenimiento para solucionar el problema.

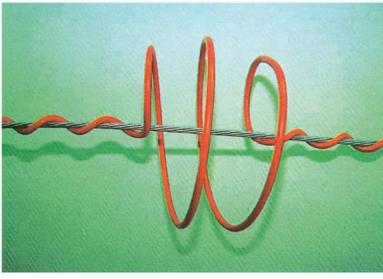
Como ejemplo puede mencionarse que “en un estudio de 10 años en Sudáfrica se encontró que 38 % de las fallas en las líneas eran causadas por aves; Pacific Gas & Electric de California reportó que las interrupciones relacionadas con aves son la tercera causa de interrupciones en su sistema y un reporte reciente estima que las interrupciones de energía y la calidad de la misma costó a la economía de California entre \$13.2 mil millones y \$20.4 mil millones cada año. Si las aves causan a nivel estatal un aproximado de 10 % de las fallas, las pérdidas por esta causa podrían llegar a 1 millón de dólares en los Estados Unidos” (Manzano F, 2007, p. 8).

La electrocución de aves en líneas eléctricas es resultado del rápido crecimiento de la población humana y su necesidad de energía. La electrocución de aves no solo afecta a las poblaciones de las especies involucradas, especialmente a las de rapaces y cuervos, sino que tiene a su vez un impacto considerable en la economía local. Al electrocutarse un ave, pueden quemarse sus plumas y causar un incendio, lo cual puede ocasionar la destrucción del hábitat de muchas especies” (Melcher, 1999, p. 221).

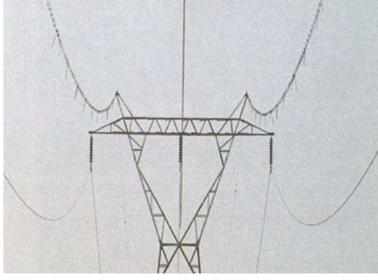
6.6. Dispositivos desviadores de vuelos de aves

Tal como se ha mencionado en párrafos anteriores, el sistema más estudiado y más efectivo reportado en la literatura es el marcaje del cable de guarda con dispositivos para el desvío de aves en vuelo. Entre los dispositivos disponibles en el mercado se encuentran varios tipos, los cuales varían en diseño y tamaño, siendo los más conocidos los que se muestran en la tabla I.

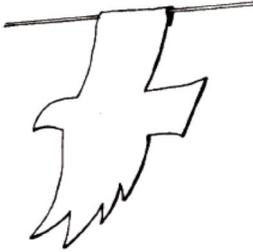
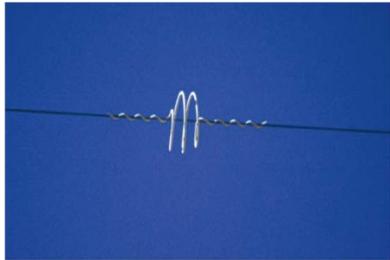
Tabla I. **Características y tipos de dispositivos desviadores de vuelos de aves**

CARACTERÍSTICA	TIPO DE DISPOSITIVO	
	Espiral de polipropileno	Tiras en "X" de neopreno sujetas por mordaza de elastómero con cinta luminiscente.
Imagen		
Soporte	En el cable de guarda o conductor.	En el cable de guarda o conductor.
Colocación	Manual	Robot o manualmente
Cadencia	Cada 5 metros (un solo cable), cada 10 metros al tresbolillo.	Cada 10 metros
Coste	Alto	Alto
Eficacia	Buena en colores blanco y naranja, muy buena en colores rojo y amarillo.	Buena
Durabilidad	Mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.	Mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.

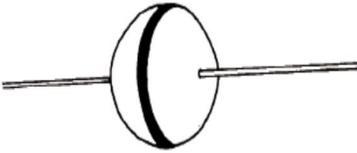
Continuación de la tabla I.

CARACTERÍSTICA	TIPO DE DISPOSITIVO	
	Abrazaderas negras de plástico colgantes I.	Abrazaderas negras de plástico colgantes II.
Imagen		
Soporte	Cable de guarda o conductor.	En el conductor
Colocación	Manual	Manual (grúa)
Cadencia	Cada 8 metros	Cada 15 metros, tres abrazaderas.
Coste	Bajo	Alto
Eficacia	No suficientemente contrastada.	Mala
Durabilidad	Mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.	Mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.

Continuación de la tabla I.

CARACTERÍSTICA	TIPO DE DISPOSITIVO	
	Silueta de aves fluorescentes de plástico	Espira blancal de polipropileno
Imagen		
Soporte	Cable de guarda	En el cable de guarda o conductor.
Colocación	Manual (helicóptero)	Manual (carriculín)
Cadencia	De 5 a 10 metros	Cada 5 metros (un solo cable), cada 10 metros al tresbolillo.
Coste	Muy alto	Alto
Eficacia	Desconocida	Buena
Durabilidad	Desconocida	Mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.

Continuación de la tabla I.

CARACTERÍSTICA	TIPO DE DISPOSITIVO	
	Espira amarilla de polipropileno	Bolas amarillas con banda negra vertical
Imagen		
Soporte	En el cable de guarda o conductor.	Cable de guarda
Colocación	Manual (carriculín)	Manual
Cadencia	Cada 5 metros (un solo cable), cada 10 metros al tresbolillo.	Cada 75-100 metros
Coste	Alto	Alto
Eficacia	Muy buena	Buena
Durabilidad	Mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.	Desconocida

Continuación de la tabla I.

CARACTERÍSTICA	TIPO DE DISPOSITIVO
Imagen	
Soporte	En el cable de guarda o conductor.
Colocación	Manual
Cadencia	Cada 5 metros (un solo cable), cada 10 metros al tresbolillo.
Coste	Bajo
Eficacia	Muy buena
Durabilidad	Mayor de tres años

Fuente: elaboración propia, con base en: Baena, 2012, p. 179.

Como recomendación, los mejores colores a utilizar en los dispositivos son el gris y amarillo por las características que presentan. Al usarse dos colores se asegura la visibilidad de los dispositivos en diferentes condiciones de luz. Estudios realizados sugieren que los dispositivos amarillos o blancos son más visibles en condiciones pobres de luz, ya que el rojo es más visible durante el día. No se recomienda usar otros colores, ya que con el paso del tiempo tienden a decolorarse.

“En Sudáfrica se realizaron estudios que compararon la efectividad de los espirales y de las aletas. El resultado mostró una mayor efectividad de las aletas, por lo que se ha incrementado su uso a partir del 2001” (Manzano, 2007, p. 40).

Un estudio en el Parque Nacional Doñana en España determinó que el mejor tipo de dispositivo para evitar la colisión de aves es el de aspa vertical, fabricado en PVC y dotado de tiras catadióptricas que refractan la luz. Resultó ser el más eficaz para evitar colisiones de aves, pues al refractar la luz alerta mejor sobre la presencia de los cables. El aspa vertical es más fácil de instalar que el espiral, ya que no requiere interrumpir el suministro eléctrico para su instalación o reposición.

Según las características de la mayoría de desviadores, se recomienda colocar los dispositivos dejando 5 metros entre cada uno. “En caso de colocarse en cables paralelos, se pueden colocar a intervalos de 10 metros, con lo que se logra una vista como si estuvieran separados cada 5 metros” (Manzano, 2007, p. 40).

Figura 4. **Líneas de transmisión de 13,2 kV con desviadores de vuelo instalados**



Fuente: Kent New. *Líneas de transmisión*. www.kentonline.co.uk.

Consulta: 05 de junio 2015.

6.7. Normativas ambientales y aspectos regulatorios

Los estudios de impacto ambiental deben realizarse para cualquier proyecto que se encuentre en el listado taxativo que emite el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Los proyectos de infraestructura eléctrica tales como el tendido de líneas de transmisión, se encuentran en la categoría “A”, categoría que lo denomina como un proyecto que pudiese representar un alto impacto ambiental.

En los apartados “Planteamiento del problema” y “Justificación” se hace referencia al estudio de impacto ambiental que hubo que realizar para la adjudicación del Anillo Pacífico Sur del PET-2. Como resultado de dicho estudio,

el MARN emitió la resolución 02588-2014/DIGARN/EPSA/ohmc/cfo, expediente Núm. EIA-0061-14, en donde se indica en el punto XXVI, que se debe “establecer acciones de control, seguimiento y vigilancia ambiental (monitoreo) para identificar accidentes, colisiones y/o muerte de especies de aves y murciélagos, ocasionados por las líneas de transmisión y las subestaciones eléctricas”.

Asimismo, es necesario recordar que la Constitución Política de la República de Guatemala contiene 16 artículos relacionados con los recursos naturales y ambientales. Se han promulgado leyes para la protección de los recursos hídricos, tierras y bosques del país. Sin embargo, cabe recordar que la Constitución de la República de Guatemala, en su artículo 129, establece como urgencia nacional la electrificación del país.

Si bien la investigación será sobre el impacto que genera el tendido eléctrico para las aves, el proyecto y su desarrollo también abarcan temas relacionados con el medio físico, biótico, cultural, socioeconómico y obviamente el transporte de energía eléctrica, por lo que es importante considerar los decretos 68 – 86 (Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente), el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (Acuerdo Gubernativo 431-2007), la Ley Forestal decreto número 101-96, la Ley de Áreas Protegidas, decreto número 4-89 y la Ley General de Electricidad.

También podría ser importante considerar reglamentos para descarga de aguas, manejo de residuos y niveles de ruido; tomar en cuenta el Código de Salud y la Ley de Protección del Patrimonio Cultural, entre otros.

7. PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

ANTECEDENTES

RESUMEN

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. CONDICIONES BIÓTICAS Y FÍSICAS DEL ANILLO PACÍFICO SUR
2. CORRELACIÓN ENTRE LAS AVES Y LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
 - 2.1. Consideraciones previas a la construcción de líneas de transmisión
 - 2.2. Adaptación de la flora y fauna con las líneas de transmisión
 - 2.3. Conflictos entre aves y líneas de transmisión
 - 2.4. Soluciones para reducir el conflicto entre aves y líneas de transmisión
3. DISPOSITIVOS DESVIADORES DE VUELOS DE AVES
 - 3.1. Tipos de dispositivo y características principales
 - 3.2. Análisis beneficio/costo del equipo

4. **NORMATIVAS AMBIENTALES Y ASPECTOS REGULATORIOS**

4.1. **Estudio de impacto ambiental**

4.2. **Leyes aplicables a proyectos eléctricos**

5. **PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

8. METODOLOGÍA

8.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio a realizar es descriptivo, en el cual la información es recolectada sin cambiar el entorno, es decir, no hay manipulación. En ocasiones se conocen como estudios “correlacionales” o “de observación”. Los estudios descriptivos se llevan a cabo para demostrar las asociaciones o relaciones entre las cosas en el entorno (University of San Diego, 2014).

8.2. Descripción de fases del estudio

Para determinar la necesidad de la implementación de los dispositivos, es necesario llevar a cabo 5 fases, las cuales son:

8.2.1. Fase 1: Revisión bibliográfica de fuentes de información

Las fuentes bibliográficas de investigaciones llevadas a cabo en otros países otorgarán un panorama de la problemática real y la manera de resolver la misma. Hay factores que se deben tomar en cuenta y considerarse desde el inicio, ya que facilitarán la investigación.

Es necesario precisar las variables a estudiar y que podrían ser objeto de medición tanto en las fuentes bibliográficas como en el estudio de campo. Principalmente las variables serían aves, alturas, distancias, vanos, conductores, entre otros.

8.2.2. Fase 2: Determinación de tramos para la realización del estudio

El objetivo es realizar una visita de reconocimiento a las áreas cercanas a la ubicación del proyecto, para ubicar las líneas de transmisión existentes y escoger tramos para efectuar una búsqueda de aves heridas o fallecidas, como consecuencia de colisiones con las líneas de transmisión. Idealmente las áreas a seleccionar deberán tener fácil acceso y estar preferentemente sobre áreas de pastoreo o cultivos de bajo porte, que permitan la observación de aves. La siguiente imagen muestra el SNI (Sistema Nacional Interconectado) a la fecha, con las instalaciones existentes con una franja sólida, el PET-1-2009 que aún no está en operación con franja punteada y el Anillo Pacífico Sur (APS) con una franja de doble línea.

Figura 5. Sistema Nacional Interconectado, PET-1-2009 y APS

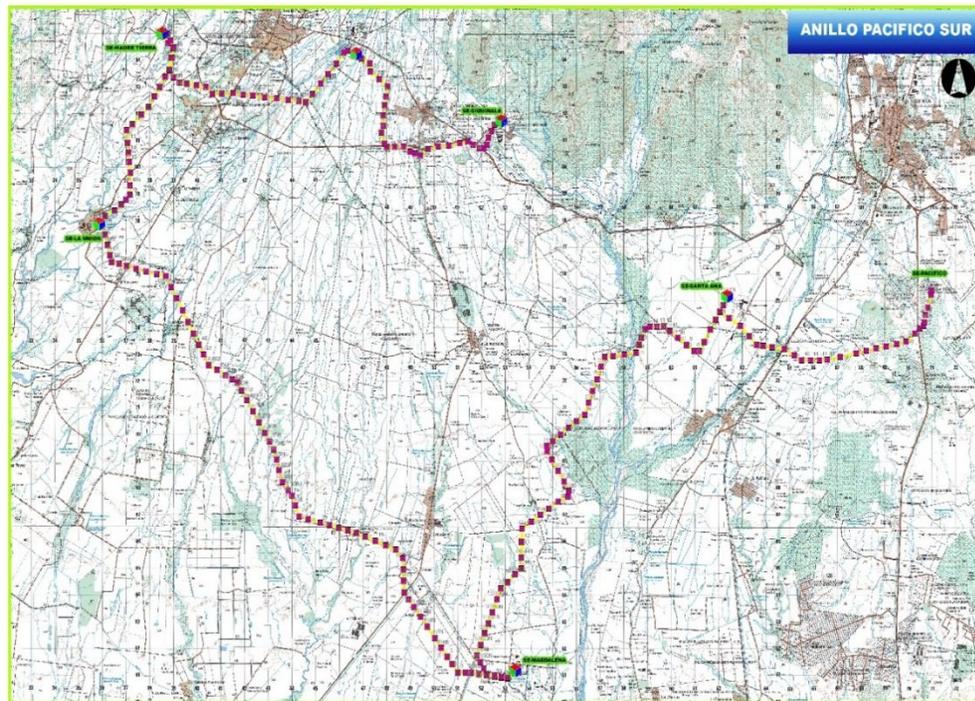


Fuente: elaboración propia.

El Anillo Pacífico Sur, tal como se mencionó previamente, se encuentra ubicado en el departamento de Escuintla. El trazo de las líneas de transmisión se muestra con mayor detalle en la siguiente imagen, en la cual la línea punteada es el trazo del proyecto Anillo Pacífico Sur.

A la fecha, dicho proyecto se encuentra en las primeras labores de construcción; en el mismo se está efectuando un reconocimiento a los predios de las subestaciones y se negocia con los propietarios la obtención del derecho de paso para los sitios de torre.

Figura 6. **Trazo inicial Anillo Pacífico Sur**

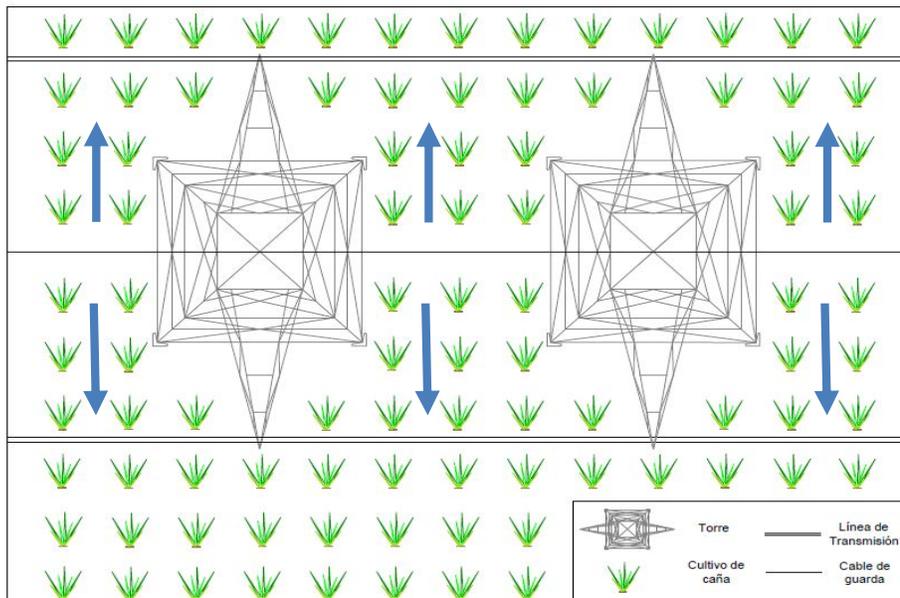


Fuente: elaboración propia.

8.2.3. Fase 3: Búsqueda y conteo de aves muertas por colisiones con las líneas de transmisión

En esta fase se resolverá la pregunta principal del diseño de investigación, ya que es casi imposible ver y contar las colisiones por observación directa; el estimativo del total de colisiones se basa en la búsqueda de cadáveres debajo de las líneas. La búsqueda se realiza tal como se muestra en la imagen siguiente, en la cual se recorre el terreno debajo de las líneas de manera perpendicular al vano de la línea, en una franja de 200 metros de ancho (100 metros a cada lado del centro de la línea), según lo recomendado para líneas de esta tensión, buscando e identificando cuerpos o restos de aves que presumiblemente han colisionado con la línea de transmisión (Anderson, 1978, p. 77).

Figura 7. Vista desde perfil de las torres y orientación de los recorridos para monitoreo



Fuente: elaboración propia.

La línea de transmisión a 230 kV que se encuentra cercana es la línea Escuintla I – Siquinalá, la cual será la referencia para la observación de aves y cadáveres que pudiesen presentarse según se tiene contemplado. Cabe mencionar que dicha línea de transmisión no cuenta con dispositivos desviadores de vuelo.

8.2.4. Fase 4: Análisis beneficio/costo del equipo

En el marco teórico se pueden observar algunas de las clases de dispositivos desviadores de vuelos de aves que existen a la fecha. Escoger uno de estos dispositivos quedará a criterio del cliente; lo ideal sería escoger el modelo más efectivo aunque su costo sea mayor.

El análisis beneficio/costo para un sector como el Anillo Pacífico Sur habrá que determinarlo luego del monitoreo a realizar, lo cual indicará la decisión a tomar. Aquí se resolverá otra de las preguntas planteadas al inicio, en relación con la rentabilidad de la instalación de estos dispositivos.

Generalmente para este tipo de proyectos, el análisis beneficio/costo tendrá un papel secundario, debido a que aunque sea mayor el costo de la instalación, se debe cumplir con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en cuanto a la preservación de la flora y fauna. Por lo tanto, si fuera un número considerable de muertes por colisiones al año, será necesario contar con los dispositivos en los tramos que se consideren más recurrentes para las colisiones de aves.

8.2.5. Fase 5: Determinación del dispositivo a utilizar

Rosseli valida la fórmula presentada por Meyer (1978), en la cual se determina una fórmula que permitirá determinar la tasa de colisión de aves en un ensayo realizado, siendo la siguiente:

$$TC = (NTC/TV)*100$$

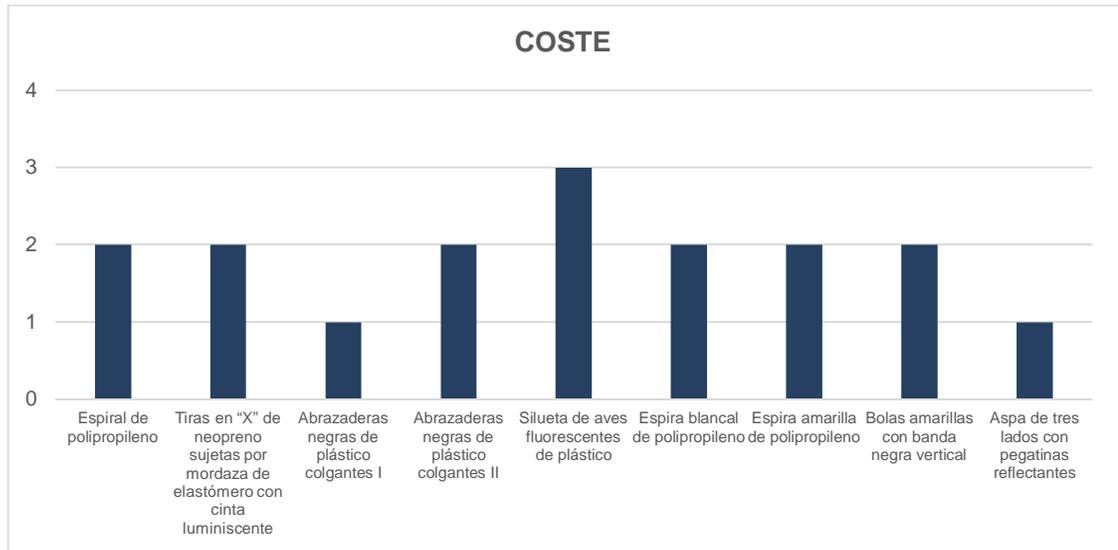
Donde, TC = tasa de colisiones; NTC = número total de colisiones (aquí se involucra la cantidad de cadáveres localizados, los errores de medición, de hábitat, entre otros) y TV = número total de vuelos en 1 día (Rosselli, 2003, p. 46).

La fórmula anterior sería un apoyo para la rectificación de los valores a recopilar. En caso de que el resultado de la fórmula anterior y lo observado en los monitoreos indicaran que las colisiones de las aves del sector son muy recurrentes, se procederá a determinar la cantidad de dispositivos a instalar y los sitios en los cuales se colocarán los mismos.

Con base en los dispositivos más comunes presentados en el marco teórico, será necesario hacer la comparación de los dispositivos para escoger un modelo. Las principales características a comparar son: costo, durabilidad y cadencia. Esta última será importante porque determinará la cantidad de dispositivos a emplear.

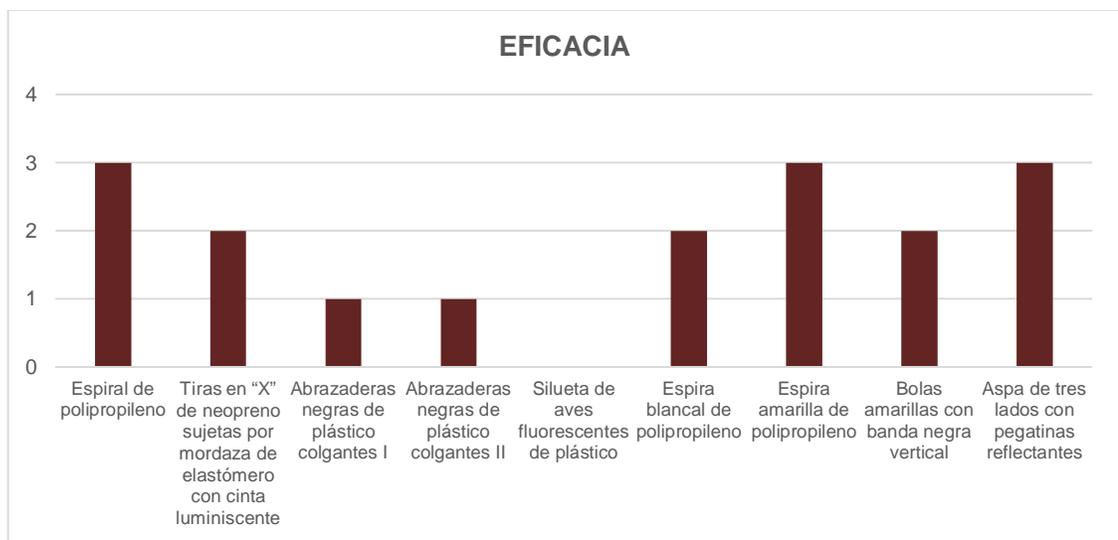
Para el costo y la eficacia, definiendo 1 como “bajo”, 2 como “alto” y 3 como “muy alto”, las gráficas resultantes serán las siguientes:

Figura 8. Comparación de costo de desviadores



Fuente: elaboración propia.

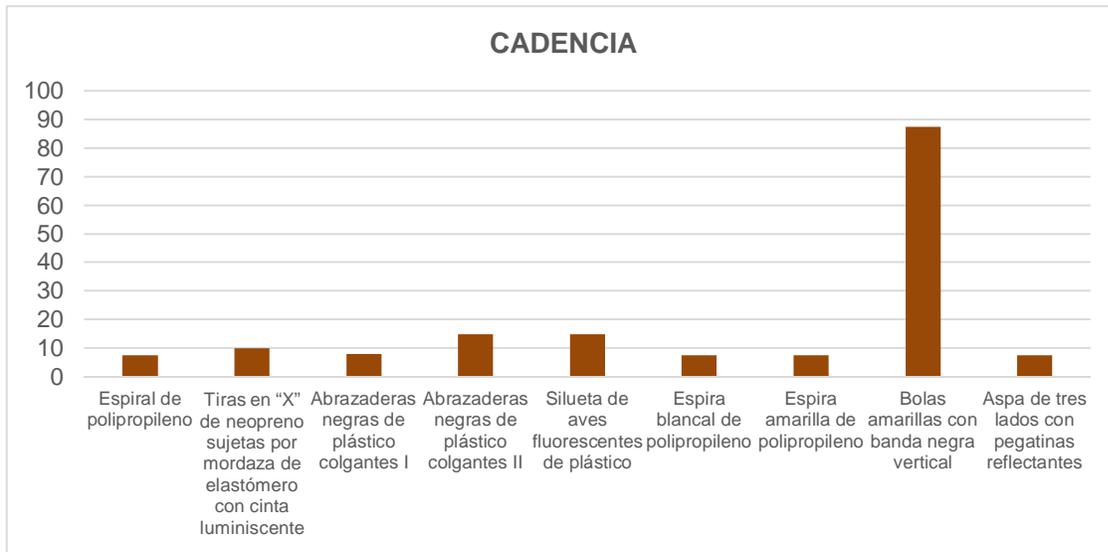
Figura 9. Comparación de eficacia de desviadores



Fuente: elaboración propia.

Para la cadencia, la gráfica comparativa será la siguiente:

Figura 10. **Comparación de la cadencia de desviadores**



Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de reducir costos, obtener la mayor eficacia y contar con la mayor durabilidad del equipo, los dispositivos espirales toman una ventaja sobre los demás; por ende en la mayoría de casos en los cuales se requiere la instalación de dispositivos desviadores de vuelos de aves, se han utilizado por su costo y efectividad los dispositivos espirales. Aunque es necesario mencionar que generalmente los dispositivos de "aletas" se han utilizado más para líneas de distribución y los "espirales" para líneas de transmisión.

Ya que las líneas del proyecto son de transmisión, de ser necesaria su instalación, el tipo de dispositivo recomendado sería el espiral, ya sea en color blanco, rojo o amarillo.

9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La búsqueda y localización de cadáveres está sujeta a varias fuentes de error relacionadas con la dificultad de encontrar los cuerpos heridos de aves o cadáveres de las mismas en campo. El error principal es el humano, ya que se utilizará un estudio de estadística descriptiva con base en lo observado. Para reducir estas fuentes de incertidumbre también se deben determinar las causas de la muerte de aves, por ejemplo: el ataque de un depredador, la muerte por una riña con un ave de su misma especie, una colisión en otro sitio, entre otros.

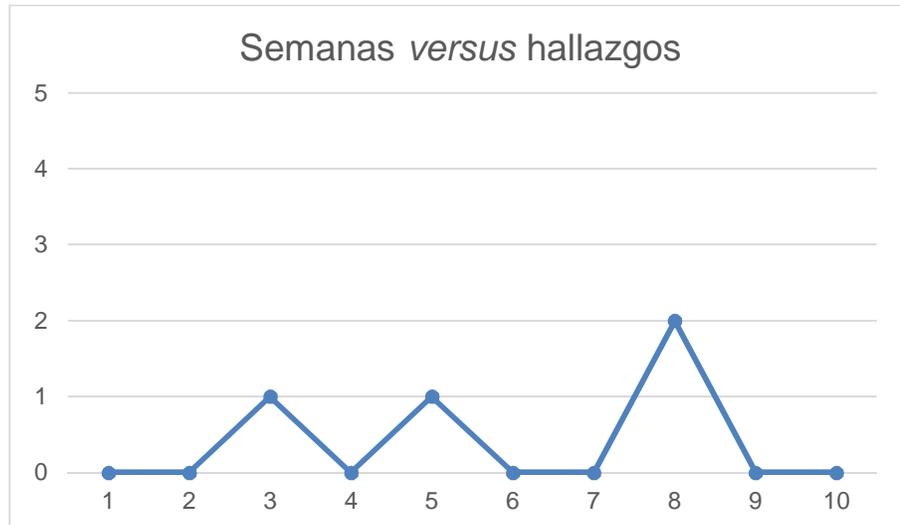
Para un mayor análisis se utilizará un modelo similar a una gráfica de control de Shewart. Los gráficos de control de este tipo constituyen una herramienta estadística utilizada para evaluar la estabilidad de un proceso. En este caso el proceso será la localización de cadáveres en un “n” número de semanas. Para tomar un ejemplo, el análisis hipotético sería de la siguiente manera:

Tabla II. **Semanas versus hallazgos**

Semanas	Hallazgos
1	0
2	0
3	1
4	0
5	1
6	0
7	0
8	2
9	0
10	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Relación semanas versus hallazgos**



Fuente: elaboración propia.

La recurrencia de eventos determinará la toma de decisión respecto de si es necesaria la instalación de los dispositivos o no. Un patrón a seguir será de que por lo menos se evidencie un ave muerta a la semana en el trazo de la línea de transmisión. Un accidente cada mes o cada dos meses, prácticamente determinará que no es necesaria la instalación de los dispositivos y sería una inversión innecesaria.

El dispositivo a escoger, básicamente será determinado por el precio del producto. Aunque según las fuentes bibliográficas analizadas previamente y lo determinado en el apartado anterior, el dispositivo utilizado con mayor frecuencia es el espiral amarillo por sus características.

11. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el desarrollo del estudio es necesario realizar salidas de campo por aproximadamente 2 meses al sector donde se necesita recopilar información, lo cual representará el mayor costo en la fase de investigación. Sin embargo, ya que la empresa que realizará el proyecto requiere determinar si es necesaria la inversión, la cual incluye algunos de los gastos que se enlistarán. De esta manera, la inversión y los recursos necesarios estimados, serán los siguientes:

Tabla III. **Resumen de los gastos presupuestados por el investigador**

Descripción		Cantidad	Costo
Recurso humano	Personal de campo	2	Q 0,00
	Otros	1	Q 300,00
	Asesor	1	Q 2 500,00
Materiales	Hojas	500	Q 25,00
	Impresiones	500	Q 150,00
	Cámara fotográfica	1	Q 0,00
	GPS	1	Q 0,00
	Computadora	1	Q 0,00
	Otros	1	Q 300,00
	Insumos	Energía eléctrica	1
	Internet	1	Q 500,00
	Telefonía	1	Q 500,00
	Otros	1	Q 300,00
	Alimentación en campo	1	Q 500,00
	Gasolina	1	Q 0,00
	Peaje	---	Q 0,00
TOTAL			Q 5 575,00

Fuente: elaboración propia.

Estas cantidades son estimadas, ya que pudieran existir actividades y costos aún no contemplados. Asimismo, la empresa responsable cubrirá la mayoría de costos aquí descritos, por lo que el valor estimado se mantendrá en este rango. Se concluye que es factible llevar a cabo este trabajo de investigación.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON, William. Waterfowl collisions with power lines at a coal-fired power plant. USA: 1978. 6 p.
2. BAENA FERRER, Miguel Ángel. Aves y tendidos eléctricos, del conflicto a la solución. Sevilla, España: Teresa Vicetto, 2012. 187 p.
3. BAYLE, Patrick. Preventing birds of prey problems at transmission lines in western Europe. Washington: 1999. 6 p.
4. BEAULAURIER, Diane. Mitigation of bird collisions with transmission lines. Boneville, Oregon: Boneville Power Administration USA, Dept. of Energy, 1981. 83 p.
5. DE LA ZERDA, Susana. Efectos de las líneas de transmisión sobre la fauna colombiana. Medellín, Colombia: Interconexión Eléctrica S. A. 1997. 156 p.
6. Everlife. Estudio de impacto ambiental, plan de expansión del sistema de transporte 2012-2021. Guatemala, 2013. 1231 p.
7. GONZÁLEZ RIVERA, Gonzalo. Medidas de mitigación de impactos en aves silvestres y murciélagos. México, 2014. 84 p.

8. HARNESS, Richard. Electric-utility structures associated with raptor electrocution in rural areas. USA: Wildlife Society Bulletin, 2001. 12 p.
9. HEIJINS, René. Bird mortality from collision with conductors of maximum tension. *Ökologie der Vögel* 2. Alemania, 1980. 19 p.
10. Integración de sistemas eléctricos y de comunicación - EPR. [en línea]. Obtenido de: <http://www.eprsiepac.com>. [Consulta: 08 de mayo 2015].
11. JANSS, Guyonne. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wire marking. En: *Journal of field ornithology*. USA, 1998. 10 p.
12. Kent News (28 de marzo de 2015). [en línea]. Obtenido de: <<http://www.kentonline.co.uk/sheerness/news/diverting-bid-to-stopswans-hitt-a65824>>. [Consulta: mayo de 2015].
13. MANZANO, Fischer. Principales conflictos entre aves y líneas de energía eléctrica. México, 2007. 82 p.
14. MELCHER, Cynthia. Raptor electrocutions: the unnecessary losses continue. En: *Journal of Colorado Field Ornithologist*. Colorado, USA, 1999. 3 p.
15. MEYER, James. Effects of transmission lines on bird flight behavior and collision mortality. USA: BPA report, 1978. 199 p.

16. Ministerio de Energía y Minas. Plan de expansión sistema de transporte 2008-2018. Guatemala: MEM, 2009. 52 p.
17. ROSSELLI, Loret; DE LA ZERDA, Susana. Mitigación de colisión de aves contra líneas de transmisión. Colombia, 2003. 21 p.
18. SEVILLANA DE ELECTRICIDAD, IBERDROLA y REE. Análisis de impactos de líneas eléctricas sobre avifauna de espacios naturales y protegidos. España, 1995. 32 p.
19. University of San Diego. [en línea]. Obtenido de: <http://ori.hhs.gov/education/products/sdsu/espanol/res_des1.htm>. [Consulta: 20 de marzo de 2015].

