

# Estudio de prefactibilidad para la provisión de energía eléctrica, sistemas redundantes y sistemas de protección para el Proyecto de Control y Vigilancia por Radares para la Reserva Marina de Galápagos

Betancourt Garcés Franklin Damián, Ing. Xavier Segovia, Ing. Aguilar Darwin  
Departamento de Eléctrica y Electrónica  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí, Ecuador

damian.betancourt@me.com, xsegovia@ecuagraphics.com.ec, dlaguilar@espe.edu.ec

**Resumen**—El presente documento estudia la conexión y protección eléctrica de las estaciones componentes del Proyecto de Control y Vigilancia por Radares para la Reserva Marina de Galápagos (RMG).

## I. INTRODUCCIÓN

EL Proyecto de Control y Vigilancia por Radares para la RMG, está auspiciado por WWF y WildAid, fundaciones internacionales que aportan con proyectos tecnológicos para la conservación de las áreas protegidas.

Para este propósito se establecen tres estaciones radar en los puertos principales de la región (Pto. Villamil – Isla Isabela, Pto. Baquerizo – Isla San Cristóbal, Pto. Ayora – Isla Santa Cruz), los cuales deben estar ubicados en zonas estratégicas para controlar la aproximación y zarpe de las embarcaciones de la RMG. Para integrar toda la información en un solo centro de control, se establece una estación repetidora en el cerro Crocker, Isla Santa Cruz.

## II. SITUACIÓN ELÉCTRICA ACTUAL

Para la estación radar Isabela, se determina la curva de potencia del transformador más cercano, Figura 1, mediante un analizador de redes, marca Circuitor, modelo AR5L. De esta manera se establece que el transformador monofásico de 75 kVA, 7620/110/220, se encuentra trabajando al 86% de su potencia nominal, sin contar con la demanda de la estación, razón por la cual se recomienda su reemplazo.

En el caso de la estación radar San Cristóbal, el lugar determinado no cuenta con conexión a la red pública de la empresa eléctrica local, por lo que se debe desarrollar una línea de media tensión trifásica subterránea, de 285 m. Para la estación radar Santa Cruz se obtiene la curva de potencia del transformador monofásico de 25 kVA, 7970/110/220, Figura 2. De esta manera se determina que el transformador presenta una demanda del 28% de su potencia nominal.

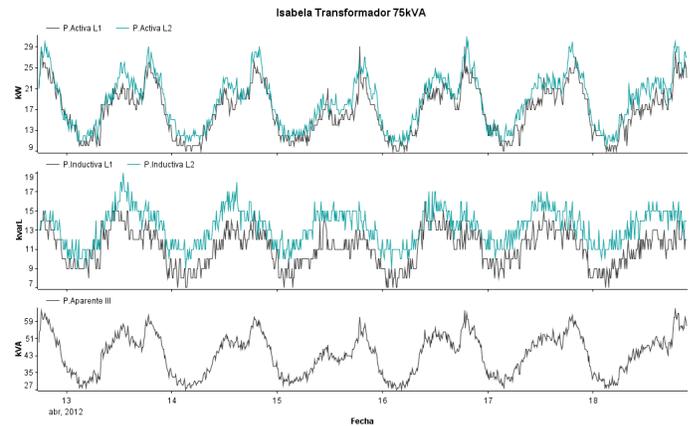


Figura 1. Potencia activa, reactiva y aparente, transformador 75kVA

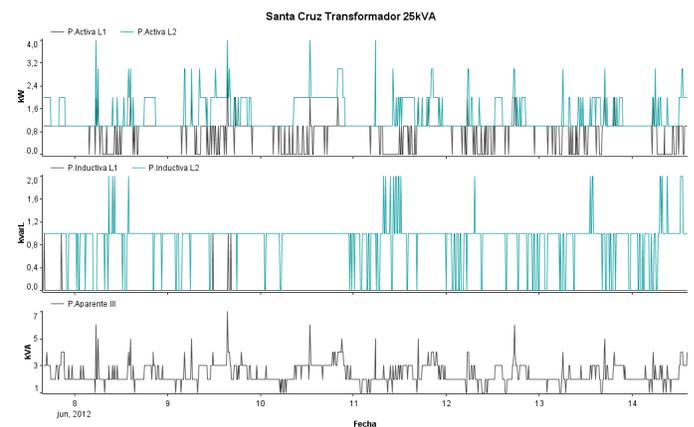


Figura 2. Potencia activa, reactiva y aparente, transformador 25kVA

La estación repetidora cerro Crocker, se encuentra dentro del Parque Nacional Galápagos (PNG) y no existe posibilidad de conexión con la red eléctrica.

### III. DISEÑO

Se determinó la demanda total de potencia de las estaciones radar en 3.6 kVA, considerando las características nominales de los equipos y una reserva del 50% para los componentes de alimentación (cargador/fuente, inversor) y una reserva general del 50%.

#### III-A. Redes de Baja Tensión

Se estableció la sección de los conductores de acometida en baja tensión, empleando el método de cálculo por caída de tensión con lo cual se obtuvo los siguientes resultados para cada isla, Tabla I.

Tabla I  
ACOMETIDA BAJA TENSIÓN

Acometida BT	
Caida de tensión	2.5%
Conductor Cu	TTU
Sección acometida 3H Isabela	2.85 mm <sup>2</sup>
Sección acometida 3F San Cristóbal	2.00 mm <sup>2</sup>
Sección acometida 3H Santa Cruz	3.56 mm <sup>2</sup>
Calibre conductor	8 AWG

#### III-B. Redes de Media Tensión

Para la estación radar San Cristóbal, se diseñó una línea de media tensión trifásica subterránea a 13.2 kV de 285 m de longitud, Figura 3. El conductor especificado para esta aplicación es de cobre #2AWG, apantallado con aislamiento XLPE para 15 kV. En la cima del cerro Cantera de Piedra se instalará un transformador trifásico de 30 kVA tipo padmounted en configuración  $\Delta$ -Y.

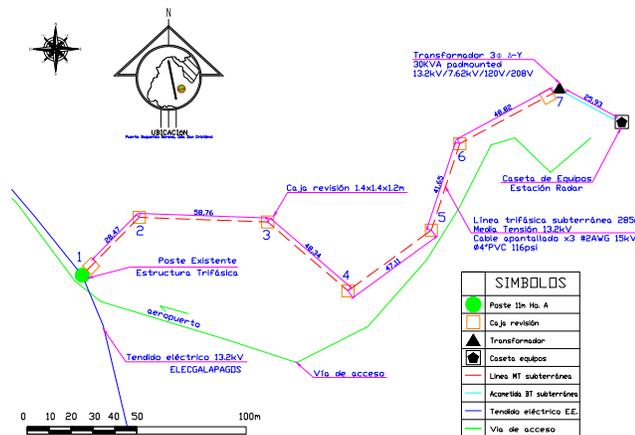


Figura 3. Implantación línea de media tensión 13.2kV, San Cristóbal

#### III-C. Sistemas Redundantes

La alternativa con mayor valoración para las estaciones radar, es el equipo cargador/fuente, el cual alimenta un sistema de acumulación caracterizado por un banco de baterías del cual se energizan los equipos DC y AC (mediante inversor). Con esta configuración se asegura que los equipos de la

estación nunca sufren de cortes de energía o transferencia de fuentes. Se dimensionó un sistema de acumulación compuesto por un banco de 7 baterías tipo AGM VRLA para cada estación radar, con un tiempo de autonomía de 4 horas.

Para la estación repetidora cerro Crocker, debido a su ubicación remota es necesario utilizar energías renovables como fuente principal de energía, empleando energía eólica y energía fotovoltaica.

#### III-D. Estación Eólica Fotovoltaica Crocker

Con el objetivo de alimentar mediante fuentes renovables redundantes a esta estación, se empleó una turbina de viento y un arreglo de seis módulos fotovoltaicos. Esta configuración aporta con 6579.31 Wh/día satisfaciendo la demanda de la estación calculada en 344.83 W. Se presentan las características de los módulos fv, Tabla II y la turbina eólica en la Tabla III.

Tabla II  
CARACTERÍSTICAS NOMINALES MÓDULOS FV

Módulos Fotovoltaicos Lorentz	
Modelo	Lorentz LC175-24M
Tipo	Silicio monocristalino
Potencia Pico	175 W
Tensión DC	24 V
Corriente Óptima	5 A
Corriente Cortocircuito	5.4 A

Tabla III  
CARACTERÍSTICAS NOMINALES TURBINA EÓLICA

Turbina Eólica Zonhan	
Modelo	Zonhan ZH750W
Potencia Nominal	750 W
Tensión DC	24 V
Velocidad viento de arranque	2.5 m/s
Diametro rotor	2.7 m

Se incorporó un controlador híbrido, Figura 4, capaz de controlar la turbina eólica, los módulos fv y cargar el sistema de acumulación de 24 baterías AGM VRLA, con un total de 4 días de autonomía.



Figura 4. Controlador Eólico Fotovoltaico

#### III-E. Sistemas de Protección

Se dimensionaron protecciones termomagnéticas para los circuitos y equipo principal de cada estación, estos dispositivos están diseñados para ser empleados en condiciones de alta salinidad, humedad y temperatura. Además se incorporó como elemento de protección un supresor de transientes dimensionado para el equipo redundante cargador/fuente de las

estaciones radar. Se presentan en la Tabla IV los interruptores termomagnéticos para las estaciones. La Tabla V presenta las características del supresor de transientes.

Tabla IV  
SISTEMAS DE PROTECCIÓN, ESTACIONES RADAR Y ESTACIÓN CROCKER

Estaciones Radar		Estación Crocker	
Cargador/Fuente	15 A	Equipos AC	5 A
Baliza torre	5 A	Iluminación	5 A
Iluminación	5 A	Tomacorriente	5 A
Tomacorrientes	5 A	Módulos FV	40 A
A/C	8 A	Generador Eólico	40 A
Banco de Baterías	100 A	Banco de Baterías	80 A
Equipos DC	15 A	Inversor	25 A
Equipos AC	15 A		

Tabla V  
SUPRESOR DE TRANSIENTES, ESTACIONES RADAR

Supresores Leviton		
Modelo	51120-1	51120-3
Voltaje	120/240V AC, 1F	120/208V AC, 3F
Frecuencia	50/60 Hz	
Poder de ruptura	3 kA	
Máxima corriente de falla	50 kA	

Se especifica a continuación las protecciones en la estructura trifásica, para la línea de media tensión, Tabla VI.

Tabla VI  
PROTECCIONES LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN, SAN CRISTÓBAL

Descargador polimérico, clase 10 kV	3 u
Seccionador unipolar abierto, 15 kV, 10 kA, 100 A	3 u
Elemento Fusible, tipo K	3 x 2 A
Terminales premoldeadas para 15 kV	3 u

### III-F. Puesta a Tierra

Se diseñaron los sistemas de puesta a tierra para todas las estaciones, aplicando la norma IEC 62305 para el diseño de los sistemas de protección contra rayos (SPR's) y las prácticas de la IEEE Std. 80 en el cálculo de las mallas de puesta a tierra (PAT) para las casetas de albergue de equipos y el transformador trifásico 30 kVA padmounted. Se presenta en la Tabla VII los resultados obtenidos tras el diseño.

	Conductor Cu	Dimensiones	Profundidad	R
SPR	2/0 AWG	radio=5 m	0.5 m	6.4 $\Omega$
PAT Caseta	2 AWG	3.6x3.6 m	2 m	12.82 $\Omega$
PAT Trafo	2 AWG	3.6x3.6 m	2 m	12.82 $\Omega$

Tabla VII  
COMPONENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

La Figura 5 contiene la puesta a tierra para el sistema de protección contra rayos, el cual se compone de un dispositivo captador de sección 200 mm<sup>2</sup> con dos conductores bajantes de cobre 2/0 AWG[1]. La Figura 6 muestra el diseño geométrico de la malla de PAT.

Debido a la formación volcánica de las Islas Galápagos, sus suelos son rocosos poco profundos, por lo que es necesario

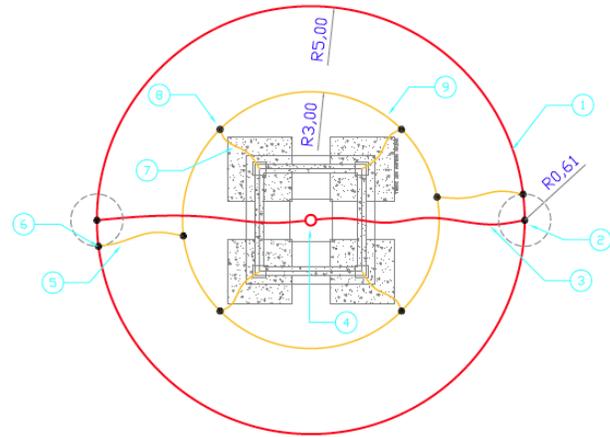


Figura 5. Sistema de protección contra rayos SPR

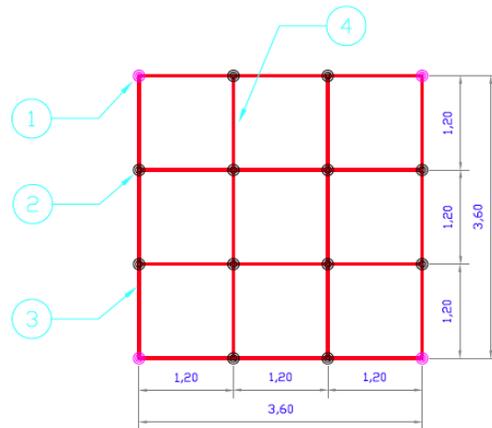


Figura 6. Malla de puesta a tierra

el reemplazo de este suelo por uno de menor resistividad y emplear productos de mejoramiento de suelo mediante compuestos minerales. Para el diseño se asumió una resistividad de 100  $\Omega$ m para el suelo mejorado.

Es importante mencionar que para satisfacer los requerimientos de seguridad establecidos por las normas empleadas se precisa agregar una capa superficial de terreno con resistividad elevada (>4000  $\Omega$ m), de esta manera los voltajes tolerables de contacto y paso aumentan considerablemente[2]. Para finalizar con el diseño es necesario equipotenciar las puestas a tierra mediante el conductor de mayor sección del sistema, en este caso 2/0 AWG.

### IV. ANÁLISIS DE COSTOS

Para realizar el estudio de costos de los sistemas que componen el proyecto, se empleó un análisis mediante precios unitarios para llegar a establecer el presupuesto total, la Tabla VIII contiene el presupuesto desglosado del proyecto.

Es importante ubicar el estudio presentado por este documento en la magnitud del Proyecto de Control y Vigilancia por Radares para la Reserva Marina de Galápagos, el cual cuenta con una inversión de \$ 480 000 USD destinados a establecer,

Tabla VIII  
PRESUPUESTO

Materiales	\$ 98 863.93 USD
Equipo	\$ 8 889.72 USD
Mano de obra	\$ 36 578.22 USD
Costos Indirectos	\$ 43 299.56 USD
Costo Total	\$ 187 631.43 USD

en la segunda reserva marina más grande del planeta, el primer sistema de control y vigilancia electrónica encargado de proteger 140000km<sup>2</sup> de reserva marina. Los diseños planteados en este proyecto de grado aseguran el concepto de protección de la Reserva Marina de Galápagos (RMG) mediante una densidad de inversión de 1.34 dólares por cada kilómetro cuadrado destinados a la conexión y protección eléctrica de las estaciones. Este costo resulta despreciable frente a la importancia e infinito valor de la RMG.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### V-A. Conclusiones

Para cada lugar estudiado se determinó la posibilidad de conexión eléctrica hacia la red pública, las curvas de potencia de los transformadores más cercanos y su capacidad de alimentar las estaciones del proyecto.

Las soluciones para la conexión hacia los sistemas de alimentación principal fueron diseñadas en su totalidad priorizando la posibilidad de conexión con la red de la empresa eléctrica local, desarrollando las redes de baja y media tensión requeridas. Se diseñaron los sistemas eléctricos empleando energías renovables, para las estaciones donde no existía posibilidad de conexión a la red eléctrica pública. Todas las normas y sugerencias de los organismos locales y nacionales fueron aplicadas.

Se garantizó mediante el uso de sistemas de alimentación redundante, el funcionamiento óptimo e ininterrumpido de las estaciones componentes del proyecto, empleando sistemas de acumulación de energía y fuentes de energía renovable redundantes. Las soluciones fueron propuestas en función de las capacidades físicas y requerimientos técnicos de cada estación, analizando diversas alternativas. Se tomó especial enfoque en asegurar que los dispositivos propuestos satisfagan las duras condiciones climatológicas de la región.

Se dimensionó todas las protecciones requeridas por los equipos y componentes de las estaciones, realizando un detallado análisis para cada componente. Los sistemas de puesta a tierra fueron diseñados para la protección contra rayos de las estructuras metálicas, puesta a tierra de equipos y puesta a tierra para una estación de transformación. Los métodos expuestos por las normas y prácticas internacionales fueron empleados.

### V-B. Recomendaciones

En Cerro Crocker se puede verificar la necesidad de una estación integral que provea mediante energías renovables a

las estaciones de telecomunicaciones existentes, los métodos de diseño y equipos presentados pueden ser directamente aplicados para la ejecución de una estación de energías renovables para la energización total de esta área.

Los sistemas redundantes de energías renovables podrán ser aplicados para todas las estaciones remotas de la RMG, asegurando el correcto funcionamiento de las mismas, por lo que se recomienda emplear los diseños planteados para toda la futura expansión del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEC, "62305 protection against lightning," p. 53, 2006.
- [2] IEEE, "Std. 80-2000 guide for safety in ac substation grounding," p. 27, 2000.



**Damián Betancourt G.** Nació en Quito, Ecuador el 14 de Septiembre de 1986. Realizó sus estudios primarios y secundarios en la provincia de Galápagos, en 2006 se gradúa de Bachiller en Colorado, Estados Unidos. El mismo año ingresa a la Escuela Politécnica del Ejército en Sangolquí, Ecuador. En 2012 egresa de la Carrera de Ingeniería Electrónica Automatización y Control.