

**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA**

**CAMPUS HEREDIA**

Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Electromecánica

**Proyecto de Graduación**

*“Diseño del sistema de seguridad electrónica, sistema de puesta a tierra, pararrayos y su alimentación eléctrica autosustentable para las radio bases de telefonía celular en zonas remotas y conflictivas del Instituto Costarricense de Electricidad”*

**Autor**

Raymon Kinderson Obando

**Tutor**

Ing. Carlos Campos Hernández, MGP

**Fecha**

Abril de 2017



## TRIBUNAL EXAMINADOR



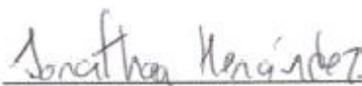
Firma

**M. en I. Andre Tabash Matamoros**  
Representante del Rector



Firma

**Ingeniero Carlos Campos, MGP**  
Tutor



Firma

**Lic. Jonathan Hernández Hernández**  
Lector

## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Diseño del sistema de seguridad electrónica, sistema de puesta a tierra, pararrayos y su alimentación eléctrica autosustentable para las radio bases de telefonía celular en zonas remotas y conflictivas del Instituto Costarricense de Electricidad por el estudiante: Raymon Kinderson Obando fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura Electromecánica de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Electromecánica:

  
Firma

**M. en I. Andre Tabash Matamoras**  
Representante del Rector

  
Firma

**Ingeniero Carlos Campos, MGP**  
Tutor

  
Firma

**Lic. Jonathan Hernández Hernández**  
Lector



## “Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

**Instrucción:** Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

**Yo (Nosotros):**

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Kinderson Obando Raymon Alonso.

De la Carrera / Programa: Licenciatura en electromecánica.

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Proyecto de graduación.  
titulado:

Diseño del sistema de seguridad electrónica, sistema de puesta a tierra, pararrayos y su alimentación eléctrica autosustentable para las radio bases de telefonía celular en zonas remotas y conflictivas del Instituto Costarricense de Electricidad.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 24 del mes abril del año 2017 a las 17:00 . Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

Raymon Kinderson Obando

Heredia, 31 de marzo de 2017

Señores  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado *Diseño del sistema de seguridad electrónica, sistema de puesta a tierra, pararrayos y su alimentación eléctrica autosustentable para las radio bases de telefonía celular en zonas remotas y conflictivas del Instituto Costarricense de Electricidad*, elaborado por el estudiante Raymon Kinderson Obando, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad Latina de Costa Rica, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



---

Ing. Carlos Campos Hernández, MGP

TUTOR

Heredia, 05 de abril de 2017

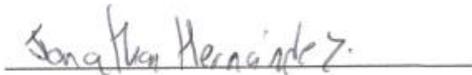
Señores  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado *Diseño del sistema de seguridad electrónica, sistema de puesta a tierra, pararrayos y su alimentación eléctrica autosustentable para las radio bases de telefonía celular en zonas remotas y conflictivas del Instituto Costarricense de Electricidad*, elaborado por el estudiante Raymon Kinderson Obando, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad Latina de Costa Rica, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Lic. Jonathan Hernández Hernández

LECTOR

San José, lunes 10 de abril de 2017

Señores

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Universidad Latina De Costa Rica

Estimados señores:

Leí y corregí el Proyecto de Graduación denominado *Diseño del sistema de seguridad electrónica, sistema de puesta a tierra, pararrayos y su alimentación eléctrica autosustentable para las radio bases de telefonía celular en zonas remotas y conflictivas del Instituto Costarricense de Electricidad* elaborado por el estudiante Raymon Kinderson Obando como requisito para optar por el grado profesional de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Corregí el trabajo en los siguientes aspectos: ortografía, puntuación, construcción de párrafos, vicios del lenguaje oral que se trasladan al escrito y otros relacionados con el campo filológico. Por lo tanto, considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación ya que cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Suscribe respetuosamente,



Melissa  
Sánchez. 11400 0537

Melissa Hernández Sánchez

Carné Número 0098

Asociación Costarricense de Filólogos

## **Agradecimientos**

A mi esposa, Melissa Castro Espinoza, quien me dio su apoyo incondicional y me animó cuando más lo necesité, sacrificando su tiempo para verme salir adelante.

Al ingeniero Carlos Campos por guiarme en esta nueva experiencia y por marcar mi vida como profesional con nuevos conocimientos.

A los ingenieros Halder Muñoz Peña y Andrés Araya Ramos, del Departamento de Diseño Civil y Electromecánico del Instituto Costarricense de Electricidad, quienes me orientaron en las necesidades de la empresa en el área de telefonía móvil para brindar el servicio en todo el territorio costarricense.

## **Dedicatoria**

Un agradecimiento muy especial a mi esposa, Melissa Castro Espinoza, por brindarme de su tiempo y apoyo incondicional.

Le agradezco a mi profesor y tutor, Ing. Carlos Campos, por ser mi guía en la elaboración de este proyecto.

## **Introducción**

En el año 1994, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) inició con la telefonía celular analógica y TDMA. Para entonces, únicamente se contaba con el servicio en zonas del Gran Área Metropolitana. Con la creciente necesidad de un medio de comunicación con mayor versatilidad, se migró a la tecnología GSM, luego a 3G y en la actualidad se utiliza el sistema 4G. Debido a ello, el ICE ha invertido mucho capital en ampliar el número de radio bases (RBS) para brindar el servicio a una mayor cantidad de clientes en el territorio nacional.

Al aumentar la cantidad de RBS en zonas alejadas se enfrenta un gran enemigo: el hampa, que ha ido en ascenso debido al aumento en el costo de la vida, así como la escasez de oportunidades de empleo en zonas rurales. El robo de las radio bases en zonas remotas y conflictivas se produce periódicamente, dejando a los usuarios sin el vital servicio. Los principales artículos hurtados son de cobre (cables de puesta tierra, barras de tierra, cables alimentadores de equipos, acometidas eléctricas y baterías de respaldo), por lo que la radio base pierde su alimentación eléctrica o queda expuesta a descargas atmosféricas.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de seguridad electrónica eficaz, que pueda ser monitoreado por el SOC (Centro Operaciones en Seguridad del ICE). Incluye video vigilancia inteligente compuesta por cámaras IP para intemperie, así como sistemas de intrusión con sensores de movimiento y contactos magnéticos de uso pesado, los cuales son capaces de alertar de forma local y remota la intrusión y, con base a ello, el sistema tomará acciones de defensa en el sitio de forma independiente, discriminando las variables programadas.

Además, se realizará el diseño eficaz del sistema de pararrayos y puesta a tierra de sus elementos interconectados. Mediante la normativa vigente del código eléctrico y los requerimientos de protección del ICE.

A pesar de que el ICE ha logrado colocar fluido eléctrico en un 99% del territorio nacional, hay zonas estratégicas como la Ruta 32, parques nacionales y reservas biológicas que han hecho que este sea de difícil acceso, complicando así la puesta en marcha de las RBS e impidiendo que el cliente goce de un servicio celular continuo.

Por lo tanto, se diseñará un sistema eléctrico para RBS que sea autosustentable por medio de paneles solares que suplan las necesidades eléctricas de la RBS como la alimentación del equipo de radio de telefonía celular, las luminarias, la luz de baliza (señalización) y sistemas de seguridad electrónica.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1. PROBLEMA Y PROPÓSITO.</b>	<b>2</b>
1.1 SÍNTOMA.	2
1.2 CAUSAS.	2
1.3 PRONÓSTICO.	2
1.4 CONTROL AL PRONÓSTICO.	3
1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.6 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.	4
1.7 OBJETIVO GENERAL.	5
1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	5
1.9 ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.	5
1.10 METODOLOGÍA.	6
<b>2. MARCO TEÓRICO.</b>	<b>8</b>
2.1 MARCO SITUACIONAL.	8
2.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL ICE.	8
2.3 MISIÓN DEL GRUPO ICE.	13
2.4 VISIÓN DEL GRUPO ICE.	13
2.5 UBICACIÓN ESPACIAL.	14
2.6 ORGANIGRAMA.	15
2.7 MARCO CONCEPTUAL O MARCO TEÓRICO DEL OBJETO DE ESTUDIO.	16
2.7.1 SISTEMAS DE CCTV E INTRUSIÓN.	16
2.7.2 MARCO LEGAL.	16
2.7.3 PORCENTAJE DE OCUPACIÓN EN TUBERÍAS CONDUIT.	16
2.7.4 CÁLCULO DE CALIBRES DE CONDUCTORES Y PROTECCIONES.	17
2.7.5 CÁLCULO DE ALIMENTADORES DE LOS RAMALES.	17
2.7.6 CAÍDA DE TENSIÓN EN LOS CONDUCTORES.	18
2.7.7 PUESTA A TIERRA.	21
2.7.8 TIERRA ÚNICA.	21
2.7.9 DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.	22
2.7.10 ÓRGANO REGULADOR DE LAS TELECOMUNICACIONES.	23
2.8 HIPÓTESIS.	24
2.9 LIMITACIONES.	24

2.10 ALCANCES.....	25
<b>3. DESARROLLO.....</b>	<b>26</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO CELULAR DEL INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD.....	27
3.2 AFECTACIÓN DE LAS RADIO BASES POR EL ROBO DE CABLE Y EQUIPO.....	28
3.3 CRITERIO DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE SEGURIDAD ELECTRÓNICA.....	29
3.3.1 UBICACIÓN DE EQUIPOS DE SEGURIDAD ELECTRÓNICA.....	29
3.3.2 RUTAS Y CANALIZACIÓN ADECUADA.....	29
3.3.2.1 CANALIZACIONES SUBTERRÁNEAS.....	29
3.3.2.2 CANALIZACIONES EXPUESTAS.....	30
3.3.2.3 CAPACIDAD DE CONDUCTORES EN LAS CANALIZACIONES.....	30
3.4 DISEÑO DE SISTEMA DE CCTV PARA RADIO BASES DE TELEFONÍA CELULAR.....	30
3.4.1 ALTURA DE INSTALACIÓN DE CÁMARAS.....	31
3.4.2 DETALLES DE CABLEADO DE DATOS Y ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE CCTV.....	32
3.4.3 GRADOS DE VISIÓN DE LA CÁMARA.....	33
3.4.4 CÁLCULO DE TUBERÍA CONDUIT EMT PARA LA INSTALACIÓN DE CABLEADO UTP.....	35
3.4.5 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DEL ÁREA DE OCUPACIÓN PARA EL CABLE UTP CAT 6.....	36
3.4.5.1 CÁLCULO DEL ÁREA INTERNA DE LA TUBERÍA EMT.....	37
3.4.5.2 CÁLCULO DEL ÁREA EXTERNA DEL CABLE UTP CAT 6.....	37
3.4.5.3 PORCENTAJE DE OCUPACIÓN EN TUBERÍA.....	37
3.4.6 CURVATURA DE TUBERÍA EMT Y LONGITUD DE CURVA.....	38
3.4.7 MATERIALES Y EQUIPO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CCTV.....	39
3.5 DISEÑO DE SISTEMA DE INTRUSIÓN PARA RADIO BASES DE TELEFONÍA CELULAR.....	40
3.5.1 TRANSMISIÓN DE DATOS DEL SISTEMA DE INTRUSIÓN.....	40
3.5.2 CÁLCULO DE LA CANALIZACIÓN PARA EL CABLEADO DE LOS DISPOSITIVOS DE INTRUSIÓN.....	41
3.5.3 CÁLCULO PARA LA CANALIZACIÓN DEL CABLEADO PARA LOS DISPOSITIVOS DE INTRUSIÓN.....	42
3.5.4 CÁLCULO DE ÁREA INTERNA DE TUBERÍA PVC.....	42
3.5.4.1 CÁLCULO DEL ÁREA DEL CABLE PARA INTRUSIÓN.....	43
3.5.4.2 PORCENTAJE DE OCUPACIÓN EN TUBERÍA.....	44
3.5.5 MATERIALES Y EQUIPO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE INTRUSIÓN.....	44
3.6 TRANSMISIÓN DE DATOS AL CENTRO DE MONITOREO DEL ICE SOC.....	46
3.7 DISEÑO DE PUESTA A TIERRA PARA LAS RADIO BASES DEL ICE.....	46
3.7.1 RESISTENCIA DEL TERRENO.....	47
3.7.2 CÁLCULO DE RESISTENCIA DEL TERRENO.....	48
3.7.3 CÁLCULO DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO MEDIANTE EL MÉTODO WENNER.....	50
3.7.4 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO USANDO EL FLUKE 1625 “EARTH GROUND TESTER KIT”.....	51

3.7.4.1 CONEXIÓN DE TELURÓMETRO PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	52
3.7.4.2 EJEMPLO DE MEDICIÓN DE TIERRAS. ....	53
3.7.5 FACTORES DE MAYOR IMPORTANCIA QUE AFECTAN LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	55
3.7.5.1 HUMEDAD DEL SUELO.....	55
3.7.5.2 COMPACTACIÓN DEL TERRENO. ....	56
3.8 DISEÑO DE MALLA PARA TIERRAS PARA LAS RBS. ....	56
3.8.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE POSEER UNA MALLA A TIERRA.....	56
3.8.2 CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADOR (ICC).....	57
3.8.3 SELECCIÓN DE CONDUCTOR DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA. ....	60
3.8.4 CÁLCULO DE LONGITUD DEL CONDUCTOR PARA LA MALLA DEL SPT. ....	63
3.8.5 CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LA MALLA DEL SPT POR EL MÉTODO LAURENT Y NIEMANN. ....	63
3.8.6 CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LA MALLA DEL SPT POR EL MÉTODO SVERAK. ....	64
3.8.7 ARREGLO DE LA MALLA POR MEDIO DE ELECTRODOS PARA EL SPT. ....	65
3.8.8 CARACTERÍSTICAS DEL ELECTRODO PARA LA MALLA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA RADIO BASE.....	65
3.8.9 CÁLCULOS DE RESISTENCIA DE LAS VARILLAS DE PUESTA A TIERRAS A INSTALAR. ....	67
3.8.10 FÓRMULA PARA PICAS CON LA CABEZA ENTERRADA A UNA PROFUNDIDAD H, ACOPLADAS EN PARALELO....	67
3.8.11 RESISTENCIA DE LA MALLA CON LOS CUATRO ELECTRODOS.....	69
3.9 RECALCULANDO MALLA DEL SPT DE LA RADIO BASE. ....	70
3.9.1 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA NUEVA MALLA L=48 METROS DE PUESTA A TIERRA POR EL MÉTODO SVERAK. ....	70
3.9.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LAS 8 VARILLAS DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA. ....	71
3.9.3 RESISTENCIA DE LA MALLA CON LOS 8 ELECTRODOS. ....	72
3.9.4 ESQUEMA TÍPICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA. ....	72
3.9.5 MATERIALES NECESARIOS PARA LA PUESTA A TIERRA DE LA TORRE DE TELECOMUNICACIONES .....	73
3.10 DISEÑO DE LOS CABLES PARA EQUIPOS Y OTROS ELEMENTOS PARA LA PUESTA A TIERRA. ....	74
3.10.1 MÉTODO DE INTERCONEXIÓN EQUIPOS Y ELEMENTOS PARA EL SPT.....	74
3.10.2 DIMENSIONAMIENTO DE BAJANTE DE PARARRAYOS. ....	76
3.10.3 DISEÑO DE CONDUCTORES PARA LA CONEXIÓN TIERRA SEGÚN LA ACOMETIDA.....	80
3.10.4 DISEÑO DE CONDUCTORES PARA LA CONEXIÓN DE TIERRA SEGÚN EL CIRCUITO A ALIMENTAR. ....	81
3.11 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO AUTOSUSTENTABLE PARA LAS RADIO BASES DEL ICE. ....	82
3.11.1 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	83
3.11.1.1 ESTIMACION DE RADIACION SOLAR .....	83
3.11.2 UBICACIÓN DE RADIO BASE PARA INSTALCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	84
3.11.3 UBICACIÓN DEL PARQUE NACIONAL .....	84

3.11.4	RADIACIÓN SOLAR APLICABLE A LA ZONA DEL PARQUE NACIONAL. ....	84
3.11.5	ESTIMACION DE CARGAS DE UNA RADIO BASE .....	86
3.11.6	DESGLOSE DE LAS CARGAS A CONECTAR .....	87
3.11.6.1	TOMACORRIENTE DE PREVISTA A UN VOLTAJE DE 110 V Y POTENCIA DE 200 W .....	87
3.11.6.2	LAMPARA LED TIPO COBRA (CRIPTON LED DE SILVANIA). ....	87
3.11.6.3	SISTEMA DE SEGURIDAD ELECTRÓNICA. ....	88
3.11.6.4	SISTEMA DE TELEFONÍA CELULAR APM 30 DE HUAWEI .....	89
3.11.6.5	SISTEMA DE BALIZAMIENTO .....	89
3.11.7	RESUMEN DE LAS CARGAS CONECTADAS A UNA RADIO BASE TÍPICA .....	89
3.11.8	CÁLCULO DE ARREGLO SOLAR PARA DETERMINAR LOS PANELES FOTOVOLTAICOS A UTILIZAR. ....	90
3.11.9	CÁLCULO DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL ÁNGULO DE ORIENTACIÓN DE LOS PANELES SOLARES. ....	93
3.11.10	CÁLCULO DEL BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO. ....	93
3.11.11	CÁLCULO DE MÓDULOS DE BATERÍAS .....	94
3.11.12	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DEL CONTROLADOR DE CARGA .....	95
3.11.13	CÁLCULO DEL INVERSOR DE 48 VDC A 120 VAC. ....	97
3.11.14	TOPOLOGÍA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	98
3.11.15	CÁLCULO DE CONDUCTORES DE CORRIENTE PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO. ....	98
3.11.15.2	CÁLCULO DE CONDUCTORES DEL REGULADOR DE CARGA AL BANCO DE BATERÍAS. ....	99
3.11.15.3	CÁLCULO DE CONDUCTORES DEL BANCO DE BATERÍAS AL INVERSO DE VOLTAJE .....	100
3.11.15.4	CÁLCULO DE CONDUCTOR PARA CIRCUITO DE ILUMINACIÓN .....	100
3.11.15.5	CÁLCULO DE CAÍDA TENSIÓN EN CIRCUITO DE ILUMINACIÓN .....	102
3.11.15.6	CÁLCULO DE CONDUCTOR PARA CIRCUITO DE RECEPTÁCULO.....	102
3.11.15.7	CÁLCULO DEL FACTOR DE DEMANDA PARA SISTEMAS DIFERENTES A ILUMINACIÓN Y RECEPTÁCULOS...	103
3.11.15.8	CÁLCULO DE CONDUCTOR ELÉCTRICO DEL INVERSOR AL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN.....	103
3.11.15.9	TABLA RESUMEN DE PROPUESTA EQUIPOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTÁICO .....	104
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>106</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>109</b>
<b>7.</b>	<b>GLOSARIO .....</b>	<b>113</b>
7.1	NOMENCLATURA .....	115
<b>8.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ampacidad permisible de los conductores aislados para tensiones de 0V a 2000V.....	17
Tabla 2: Alimentadores recomendados según sea el conductor de puesta a tierra. ....	18
Tabla 3: Cálculo de factor de corrección según tipo cable, canalización y Fp. ....	20
Tabla 4: Factor del sistema según sea monofásico o trifásico .....	21
Tabla 5: Robo de RBS de octubre 2016 a enero 2017.....	28
Tabla 6: Porcentaje de ocupación de canalizaciones en tubería conduit .....	30
Tabla 7: Rangos de vídeo de la cámara panorámica Optera número de parte IMM12027-1EP.....	31
Tabla 8: Lista de equipos para el sistema CCTV en RBS .....	39
Tabla 9: Lista de materiales para el sistema CCTV en RBS .....	39
Tabla 10: Lista de equipos para el sistema de intrusión para las radio bases. ....	45
Tabla 11: Lista de materiales para el sistema de intrusión en RBS. ....	45
Tabla 12: Valores de resistencia de terreno para la puesta a tierras según su aplicación. ....	48
Tabla 13: Resistencia de terrenos según su tipo. ....	49
Tabla 14: Parámetros de medición de Fluke 1625.....	51
Tabla 15: Transformador tipo poste de la marca Rymel, porcentaje de impedancia. ....	58
Tabla 16: Pérdidas en Watts para transformadores monofásicos sumergidos en aceite. ....	59
Tabla 17: Resumen del transformador a utilizar en un sitio típico para una RBS .....	59
Tabla 18: Planteo de valores necesarios para el cálculo del conducto de la malla del SPT.....	61
Tabla 19: Conductores en AWG y mm <sup>2</sup> comerciales. ....	62
Tabla 20: Requerimientos del núcleo de acero del electrodo tipo varilla de acero / cobre.....	65
Tabla 21: Características físicas de las varillas cooperweld de ERICO .....	66
Tabla 22: Características físicas y de instalación de la varilla del SPT.....	67
Tabla 23: Materiales necesarios para la puesta a tierra de una radio base de telefonía celular. ....	74
Tabla 24: Longitud máxima del conductor de cobre según la resistencia objetivo. ....	76
Tabla 25: Cables recomendados para bajantes de pararrayos.....	78
Tabla 26: Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna .....	81
Tabla 27: Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra según los alimentadores de los ramales de los circuitos .....	82
Tabla 28: Valores diarios medios anuales de la radiación solar global y el potencial total por distrito en Costa Rica .....	85
Tabla 29: Consumo en watts hora en un día de los sistemas de la radio bases de telefonía celular .....	90
Tabla 30: Factor de demanda de cargas de alumbrado.....	101
Tabla 31: Factores de demanda para cargas de receptáculos.....	103
Tabla 32: Tablero de distribución TA-1 .....	104
Tabla 33: Equipo necesario para la instalación del sistema fotovoltaico. ....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Cobertura celular en Costa Rica.....	14
Figura 2.2: Cobertura celular en ruta 32 Zurquí, coordenadas 10°03'59.6"N 84°00'22.8"W .....	14
Figura 2.3: Cobertura celular del ICE en ruta Parque Nacional Rincón de la Vieja.....	15
Figura 2.4: Organigrama de la Gerencia de Telecomunicaciones .....	15
Figura 2.5: Caída de tensión en circuito de alimentación.....	19
Figura 2.6: Tierra única en sistemas eléctricos.....	22
Figura 2.7: Configuración de sistemas fotovoltaicos.....	23
Figura 3.1: Cobertura celular del territorio de Costa Rica medido por la SUTEL a la marca Kölbi. ....	27
Figura 3.2: Diseño de sistema de vídeovigilancia IP.....	31
Figura 3.3: Cámara panorámica Optera número de parte IMM12027-1EP de Pelco. ....	32
Figura 3.4: Cableado del sistema CCTV a la red. ....	33
Figura 3.5: Cámara Optera 270° Pelco .....	34
Figura 3.6: Imagen de cámara Optera IMM12027-1EP de Pelco 270°. ....	34
Figura 3.7: Características de tubería EMT Rymco UL .....	35
Figura 3.8: Características de Cable UTP Panduit .....	36
Figura 3.9: Área de canalización y ocupación en tubo de 1”.....	38
Figura 3.10: Longitud de curvatura de tubería EMT. ....	38
Figura 3.11: Diseño del sistema de intrusión en RBS ICE. ....	40
Figura 3.12: Detalle de conexión de comunicación IP del sistema de intrusión mediante la Tlink 250.....	41
Figura 3.13: Características físicas de la tubería PVC conduit Tipo A de Durman.....	42
Figura 3.14: Cable 6 hilos sin pantalla para la conexión de equipo de intrusión.....	43
Figura 3.15: Tubería PVC 1/2” para la canalización del circuito de seguridad electrónica .....	44
Figura 3.16: Topología de transmisión de vídeo y datos. ....	46
Figura 3.17: Ejemplo del paso de corriente eléctrica por el terreno .....	49
Figura 3.18: Método de medición Wenner .....	50
Figura 3.19: Conexión de Fluke 1625 para la medición de tierras .....	52
Figura 3.20: Medición de tierra en Canoas de Alajuela para futura RBS.....	54
Figura 3.21: Variación de la resistencia del terreno en función al porcentaje de humedad. ....	55
Figura 3.22: Valores estándar a considerar para la malla del SPT. ....	57
Figura 3.23: Transformador de 34.5 Kv Primario y 120/240V Secundario. ....	58
Figura 3.24: Ejemplo de electrodos para malla de puesta a tierra. ....	65
Figura 3.25: Efecto de apantallamiento de los electrodos .....	66
Figura 3.26: Varilla de puesta a tierra enterrado a una distancia h.....	68
Figura 3.27: Cobertura de nueva malla a diseñar. ....	70
Figura 3.28: Sistema de puesta a tierra de una radio base típica. ....	73
Figura 3.29: Ejemplo de interconexión de sistemas .....	75

Figura 3.30: Anillo de puesta a tierra .....	76
Figura 3.31: Radio base típica auto soportada de altura de 30 metros SNPT .....	77
Figura 3.32: Ángulo de protección de la punta franklin .....	79
Figura 3.33: Punta captadora múltiple de acero inoxidable.....	79
Figura 3.34: Parámetros de protección de la punta captora múltiple.....	80
Figura 3.35: Cobertura celular del ICE en ruta Parque Nacional Rincón de la Vieja, coordenadas 10°47'19.9"N 85°17'21.3"W .....	83
Figura 3.36: Radiación solar global diaria media anual de Costa Rica .....	84
Figura 3.37: Equivalencia de 1MJ a kWh .....	86
Figura 3.38: Cargas a conectar para la operación de una RBS y su voltaje de a alimentación.....	86
Figura 3.39: Equivalencias de consumo en watts.....	87
Figura 3.40: Luminara CRYPTON LED.....	88
Figura 3.41: Consumos eléctricos del APM 30 de Huawei .....	89
Figura 3.42: Consumos eléctricos de la luz de baliza.....	89
Figura 3.43: Panel fotovoltaico VBHN325SJ47 Panasonic .....	91
Figura 3.44: Dimensiones del panel fotovoltaico VBHN325SJ47 Panasonic .....	92
Figura 3.45: Batería a utilizar PVX-2580L .....	94
Figura 3.46: Conexión de banco de baterías.....	95
Figura 3.47: Controlador de carga TriStar 45A .....	96
Figura 3.48: Inversor tipo -VICTRON MULTIPLUS C 48/5000/70-50.....	97
Figura 3.49: Topología de conexión del sistema fotovoltaico .....	98
Figura 3.50: Porcentaje máximo de caída de tensión en sistemas fotovoltaicos. ....	98

# **CAPÍTULO**

## **I**

# **1. PROBLEMA Y PROPÓSITO**

## **1.1 Síntoma**

El Instituto Costarricense de Electricidad, con el objetivo de llevar la telefonía móvil a todo el territorio nacional, nunca previó el grado de delincuencia que afectaría al país. Aún se observa que los diseños de la parte civil y electromecánica son iguales para todas las zonas, sean de altos índices de delincuencia o muy seguras. Por lo tanto, muchas de las RBS son muy fáciles de delinquir. Además, en zonas remotas es difícil el acceso al servicio eléctrico y por ello, la radio base no puede ser alimentada para su operación.

## **1.2 Causas**

- Entre las principales causas se pueden mencionar las siguientes: Aumento del costo de la vida y, por ende, aumento de la delincuencia en el país.
- Zonas geográficas del país con graves problemas de desempleo.
- Materiales de alto costo en RBS y de fácil acceso para el delincuente.
- Altos costos para la colocación de personal fijo u oficiales privados en las radio bases de telefonía celular.
- Al ampliar la telefonía celular en zonas remotas hay problemas con el acceso del servicio eléctrico para la RBS.

## **1.3 Pronóstico**

Debido al robo del equipo y material de la RBS, la misma queda expuesta a descargas atmosféricas que pueden dañar el equipo, dejándola fuera de operación y ocasionando pérdidas monetarias por la ausencia del servicio de telefonía móvil.

Al no combatir dicho problema por medio de sistemas de seguridad electrónica, las RBS se ven afectadas y el personal técnico debe brindar mantenimiento correctivo de manera constante, lo que aumenta los costos de operación de las RBS.

Sin un diseño autosustentable de las RBS, es imposible brindar el servicio de telefonía celular en parques nacionales, rutas estratégicas y zonas remotas del país, lo que perjudica a turistas nacionales y extranjeros, además de ocasionar descontento y una mala imagen para la empresa.

#### **1.4 Control al pronóstico**

- El diseño de los sistemas tendrá como prioridad proteger al personal de la institución y el equipo instalado, con el fin de mantener activo el servicio de telefonía móvil para los clientes.
- Se tomarán en cuenta las pautas contenidas en el Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y la Propiedad, para ejecutar un correcto diseño en los sistemas de seguridad electrónica y sistemas eléctricos.
- Se analizarán las tecnologías disponibles en el mercado para la correcta elección del equipo y su implementación en el diseño.
- Se utilizarán manuales, páginas web de proveedores de equipos y libros de sistemas de puesta a tierra y pararrayos para justificar el criterio del diseño de la protección de los sistemas eléctricos y la vida humana.
- Para el diseño de sistemas fotovoltaicos, se analizarán manuales, libros e información de la radiación solar en Costa Rica.
- Se examinará el consumo de las RBS de telefonía móvil en cuanto a potencia (watts), para calcular el cable conductor y los alimentadores de cada uno de sus subsistemas necesarios en un sitio de telefonía celular.

#### **1.5 Formulación del problema**

El Instituto Costarricense de Electricidad no cuenta, en la actualidad, con infraestructura de seguridad electrónica ni un sistema autosustentable de energía eléctrica para las radio bases en zonas remotas y conflictivas del país. Al ser las RBS violentadas por el hampa, no envían inmediatamente una señal de notificación del evento al centro de monitoreo del ICE antes de

quedar fuera de servicio la telefonía celular, ocasionando que el tiempo para atender, el daño sea mayor por parte del personal de seguridad y mantenimiento de la institución.

### **1.6 Sistematización del problema**

Los diseños de los sistemas de seguridad electrónica, puesta a tierra, pararrayos y alimentación eléctrica autosustentable en las radio bases de telefónica móvil del Instituto Costarricense de Electricidad permitirán un mayor control y monitoreo del estado de los activos de la institución en el negocio de la telefonía celular. De esta forma, se logrará detectar inconsistencias graves o leves que comprometan el correcto funcionamiento de las RBS para que el departamento de seguridad y mantenimiento pueda tomar acciones con el fin de mantener el servicio de telefonía celular activo o para reducir de manera considerable el tiempo de mantenimiento.

Para el sistema de seguridad electrónica, se utilizarán sistemas de circuito cerrado de televisión IP de alta tecnología y reconocimiento acoplado mediante el sistema de intrusión.

El sistema de puesta a tierra y pararrayos contará con puntas franklin, bajantes de conductor eléctrico y varillas para tierra, según la normativa vigente del NFPA-70 (*Código Eléctrico Nacional*) y de la NFPA-780 (*Normativa para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayería*).

El sistema eléctrico autosustentable se realizará mediante paneles fotovoltaicos, controladores de carga, bancos de baterías e inversores de onda senoidal.

## **1.7 Objetivo General**

Diseñar los sistemas de seguridad electrónica, puesta a tierra, pararrayos, alimentación eléctrica autosustentable para la operación de las RBS del ICE.

## **1.8 Objetivos Específicos**

- Estimar los dispositivos de seguridad electrónica necesarios para proteger y notificar al centro de monitoreo del ICE ante un eventual robo.
- Calcular el sistema de puesta a tierra y pararrayos, aplicando la normativa vigente del código eléctrico.
- Realizar cálculos de consumos de equipos de telefonía celular para diseñar paneles fotovoltaicos para la alimentación autosuficiente de los sistemas eléctricos que se requieren operar.
- Realizar cálculo del área y componentes necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico.

## **1.9 Estado actual de la investigación**

Las RBS de telefonía celular del Instituto Costarricense de Electricidad no cuentan con sistemas de seguridad electrónica debido a que no se ha hecho una inversión en estos dispositivos, por lo que es de interés para la empresa verificar la factibilidad del proyecto, como una nueva herramienta para combatir los robos y así proteger los activos de la institución.

Por otra parte, la empresa ha tenido inconvenientes con la instalación de las RBS en zonas remotas y conflictivas del país, debido a que son desatendidas. Es por eso, por lo que muchas veces ha optado por no brindar el servicio de telefonía celular.

Un sistema autosustentable de energía eléctrica para alimentar los sistemas de la RBS ayudaría a brindar un mejor servicio de telefonía celular en zonas en que no cuentan con servicio eléctrico, por ejemplo, la carretera 32 hacia el Zurquí y diferentes parques nacionales del país. Esto facilitaría la comunicación para los clientes, por lo que dichos proyectos resultan de interés para la institución, al tiempo que ayudarían a combatir los problemas de robo de cable y equipo en RBS. A su vez, podrían aportar comunicación celular para los usuarios en zonas remotas, generando mayores ingresos económicos y fortaleciendo la imagen de la empresa.

### **1.10 Metodología**

El proyecto busca utilizar métodos de investigación y aplicación en el diseño tomando como referencia las recomendaciones que da el NEC 2008 para la seguridad de la vida y la propiedad para los diseños de la seguridad electrónica, sistemas eléctricos y puesta a tierra.

Se utilizará la NFPA 780, normativa para la instalación de sistemas de protección contra rayería, con el fin de disponer de los dispositivos y del cableado de la mejor manera para proteger a las personas y el inmueble de la institución de las descargas atmosféricas.

Para determinar los criterios para la instalación de puesta a tierra se utilizará el libro *Instalación de puestas a tierra*, (Montero, 1991) y *Sistemas de puesta a tierra diseñado con la IEEE-80* (Ramírez, 2010).

Para realizar el cálculo del sistema fotovoltaico, se determinará la radiación solar y la carga a respaldar por medio del *Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos* (Gasquet, 2004). También se utilizarán los principios eléctricos de cálculo de *Introducción del análisis de circuitos* (Boylestad, 2004), con el fin de precisar la carga en watts de los equipos y sistemas de la RBS, para establecer la carga total y tomarla como referencia para el cálculo del sistema fotovoltaico de alimentación eléctrica.

# **CAPÍTULO**

## **II**

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Marco Situacional**

Este proyecto se llevó a cabo en las radio bases del Instituto Costarricense de Electricidad ubicadas en diferentes zonas del territorio nacional, mediante un análisis que tomó en consideración cuáles han sido violentadas en los últimos meses e identificó zonas de alto riesgo del país. De esta manera, se han establecieron los sitios donde es necesario diseñar los sistemas. Realizando visitas a parques nacionales, rutas como los Canales de Tortuguero y 32 San José-Limón, específicamente en la zona del túnel Zurquí hacia Guápiles, se determinó la carencia de radio bases en dichas zonas, debido al faltante de servicio eléctrico, al robo de materiales y equipos, lo que perjudica al cliente y al turista nacional y extranjero. Por esta razón, nace la idea de implementar la propuesta de diseños de los sistemas de seguridad electrónica, sistema de pararrayos, sistema de puesta a tierra y alimentación de los equipos mediante sistemas fotovoltaicos.

Todo se realizará acorde a las normativas vigentes en el *Código Eléctrico Nacional*, con el fin de proteger la vida del personal técnico y el buen funcionamiento de los equipos.,

Por otra parte, el ICE debe solventar esta necesidad de cobertura zonas como las descritas para garantizar comunicación telefónica e internet móvil, servicios imprescindibles para la seguridad y la vida de las personas, por ejemplo, para solicitar ayuda en caso de un accidente o desastre natural.

### **2.2 Antecedentes Históricos del ICE**

La creación de esta entidad fue el resultado de una larga lucha de varias generaciones de costarricenses que procuraron solucionar, de manera definitiva, los problemas de la escasez de energía eléctrica en los años 40 y en apego de la soberanía nacional, en el campo de la explotación de los recursos hidroeléctricos del país. Como objetivos primarios, el ICE debe

desarrollar, de manera sostenible, las fuentes productoras de energía existentes en el país y prestar el servicio de electricidad.

Posteriormente, en 1963, se le confirió al ICE un nuevo objetivo: el establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas, radiotelegráficas y radiotelefónicas en el territorio nacional. Tres años más tarde, se instalaron las primeras centrales telefónicas automáticas y, a partir de entonces, las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo.

Con el devenir del tiempo, ha evolucionado como un grupo de empresas estatales, integrado por el ICE (sectores de electricidad y telecomunicaciones) y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), las cuales han trazado su trayectoria mediante diversos proyectos de modernización desarrollados en las últimas décadas.

La globalización de los mercados y la revolución tecnológica llevan a las empresas del Grupo ICE a redoblar esfuerzos con una clara orientación hacia el cliente, con los mejores y más innovadores productos y servicios, con menos recursos y en el menor tiempo posible.

### **Historia del sector telecomunicaciones del ICE**

A partir de la Segunda República, en 1949, el país evolucionó hacia un estado social de derecho, cuya principal aspiración era garantizar el adecuado funcionamiento de sus instituciones, y una convivencia libre y solidaria. El país buscaba alcanzar el progreso y el desarrollo en todos los campos. Dentro de ese nuevo escenario, el ICE desempeñó un papel fundamental en relación con su responsabilidad primigenia de solucionar el problema eléctrico, siendo ejemplo de buena organización; alta capacidad técnica, administrativa y financiera; lo que derivó en una gestión eficiente, acorde con las necesidades de la nación y a los signos de los tiempos.

Fueron estas condiciones las que hace 45 años permitieron que el Estado costarricense le concediera a la institución la gran responsabilidad histórica de convertir las

telecomunicaciones del país en una verdadera herramienta de crecimiento económico, social y tecnológico, que lo colocara en un lugar reconocido y privilegiado entre las naciones latinoamericanas.

En los años previos a 1963, el sistema de telefonía nacional estaba saturado y Costa Rica ocupaba el último lugar en materia de desarrollo telefónico en América Central. Las pocas centrales manuales existentes resultaban obsoletas, la demanda era creciente y el descontento en la población era generalizado. Modernizar las telecomunicaciones y expandirlas por todo el territorio nacional era, a partir de ese momento, no solo el principal objetivo, sino una obligación urgente.

### **Un mundo digitalizado**

El crecimiento industrial y tecnológico que experimentó el país a partir de 1985 puso en evidencia la necesidad de modificar el sistema de telecomunicaciones por uno que permitiera mayor dinamismo y la integración de nuevo servicios. Fue así como en ese año la institución sustituyó el sistema analógico de la central ubicada en San Pedro por uno digital.

Esta modernización de los sistemas permitió mayor rapidez en las comunicaciones, así como la incorporación de nuevos servicios como correo de voz, llamada en espera, desvío de llamadas y teléfono despertador, lo que otorgó una mayor efectividad en las telecomunicaciones.

El servicio de telefonía celular comenzó con tecnología analógica en el año 1994. Sin embargo, debido a sus limitaciones, el ICE modernizó el sistema con uno de la tecnología digital conocida como TDMA y, posteriormente, incorporó la tecnología GSM.

Con la llegada de estas dos tecnologías, el ICE pudo ofrecer servicios de valor agregado como mensajes de voz, transferencia de llamadas, llamada en espera, identificación de llamada y mensajes de texto. Adicionalmente, el sistema GSM facilitó el *roaming* internacional y el acceso a Internet, entre otras ventajas.

Los beneficios obtenidos por la población fueron notorios, situación que generó una creciente demanda de nuevas líneas y puso en evidencia la necesidad de reestructurar el *Plan de Numeración Telefónica* para que garantizara el éxito y la continuidad en las telecomunicaciones.

Así, en el año 1994 se amplió la numeración telefónica de 6 a 7 dígitos y 13 años después, pasó a ocho dígitos, asegurando una capacidad para la red de telefonía fija de 10 millones de números e igual cantidad para la red celular. Esta nueva estructura permitió contar con capacidad para administrar y proveer de manera eficaz la numeración nacional de telecomunicaciones.

Hoy, anillos de fibra óptica desde Peñas Blancas, en la frontera norte, hasta Paso Canoas, en la zona sur del país, y de costa a costa (Limón- Quepos), permiten brindar servicios de banda ancha tanto en las comunicaciones básicas como en las comunicaciones móviles, comunicaciones globales y comunicaciones IP; interconectando al ICE con las grandes empresas mundiales de telecomunicaciones.

Por otra parte, una robusta red IP de última tecnología e interconexión internacional, tanto por el océano Pacífico como por el Atlántico, con tres cables submarinos, garantizan una redundancia en las comunicaciones internacionales.

Además, redes adicionales de acceso le permiten al ICE ofrecer conectividad para servicios con velocidades desde los 6 Mbps (megabits por segundo) hasta 1 Gbps (gigabits por segundo), lo que garantiza que cualquier servicio desarrollado en la red IP pueda tener el ancho de banda y la calidad requeridos para su funcionamiento y, a la vez, permite a los clientes disfrutar de diferentes servicios en una misma infraestructura de acceso.

Junto con estas redes, las inalámbricas como el WiMAX permiten dar soluciones de conectividad de forma confiable a empresas que no cuentan con cobertura por medio de la red tradicional.

Estas modernas redes se acompañan de diversos servicios complementarios que dan facilidades de comunicación, tanto para llamadas locales como para comunicaciones internacionales.

A partir del año 2009, el ICE dispuso ampliar su cartera de servicios con la introducción en el país de la tecnología móvil 3G (UMTS), de plataformas para IPTV y para VoIP (televisión y voz sobre el protocolo de Internet), que le permiten incursionar como un operador Triple Play, es decir, envío instantáneo de voz, datos y video. Actualmente, está incursionado con la tecnología 4G para la telefonía móvil, para proveer al cliente velocidades de acceso mayores a 100 Mbit/s en movimiento y 1 Gbit/s en reposo, manteniendo una calidad de servicio de punta a punta de alta seguridad que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

Hoy, el ICE es el operador dominante del mercado, pues cuenta no solo con la fidelidad de los usuarios, sino con una estructura organizativa de primer nivel con presencia a lo largo y ancho de Costa Rica. Con estas condiciones favorables, la institución continúa avanzando en su lucha por reducir la brecha digital, dotando al país de una conectividad de alta calidad y ancho

de banda en cada rincón y en cada pueblo, de tal forma que el mundo de las oportunidades sea accesible para cada uno de los habitantes. (Instituto Costarricense de Electricidad, 2001)

### **2.3 Misión del Grupo ICE**

“Ser la corporación, propiedad de los costarricenses, que ofrece soluciones de electricidad y telecomunicaciones, contribuyendo con el desarrollo económico, social y ambiental del país” (Instituto Costarricense de Electricidad, 2001).

### **2.4 Visión del grupo ICE**

“Ser una corporación líder, innovadora en los negocios de electricidad y telecomunicaciones en convergencia, enfocada en el cliente, rentable, eficiente, promotora del desarrollo y bienestar nacional, con presencia internacional” (Instituto Costarricense de Electricidad, 2001).

## 2.5 Ubicación espacial

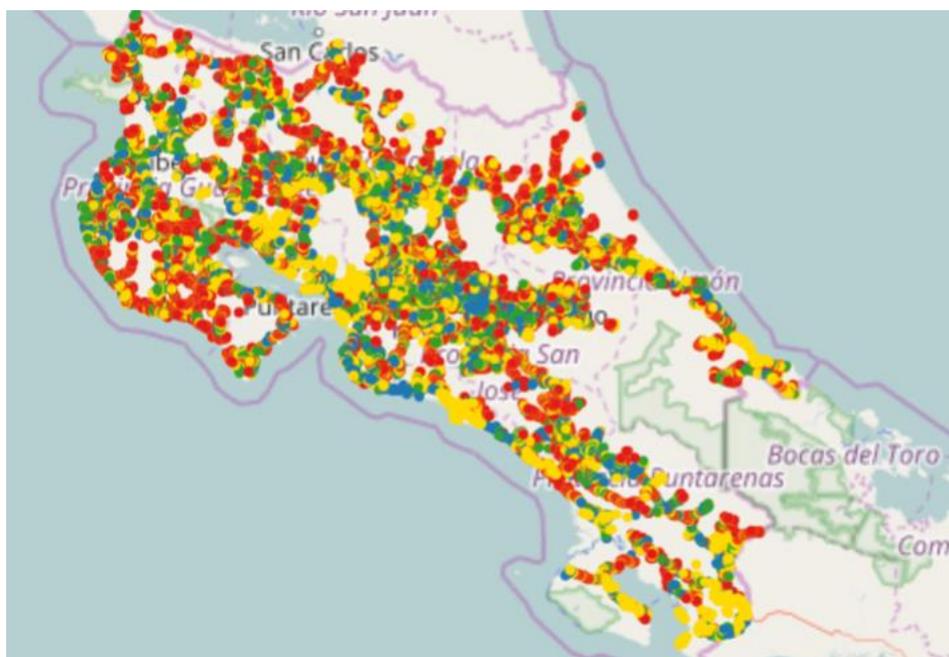


Figura 2.1: Cobertura celular en Costa Rica  
Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2009

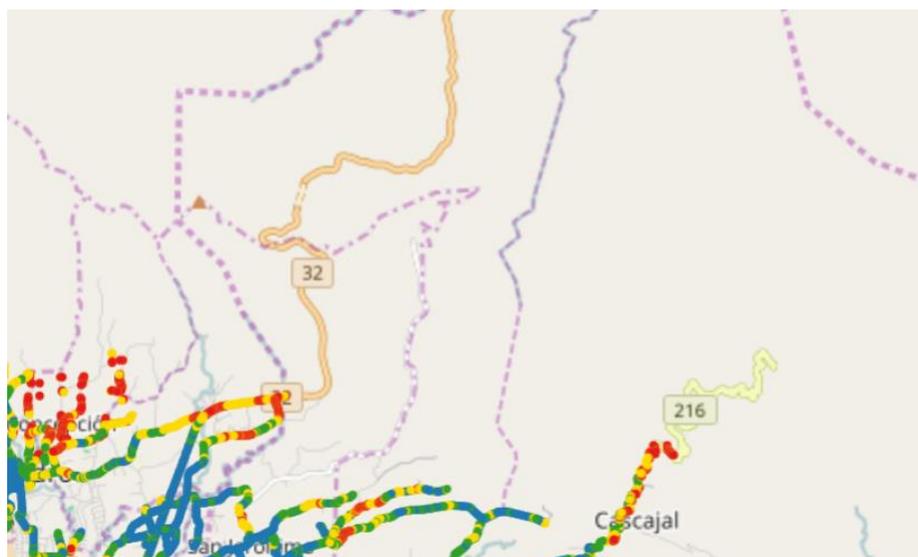


Figura 2.2: Cobertura celular ruta 32 Zurquí coordenadas  $10^{\circ}03'59.6''N$   $84^{\circ}00'22.8''W$   
Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2009

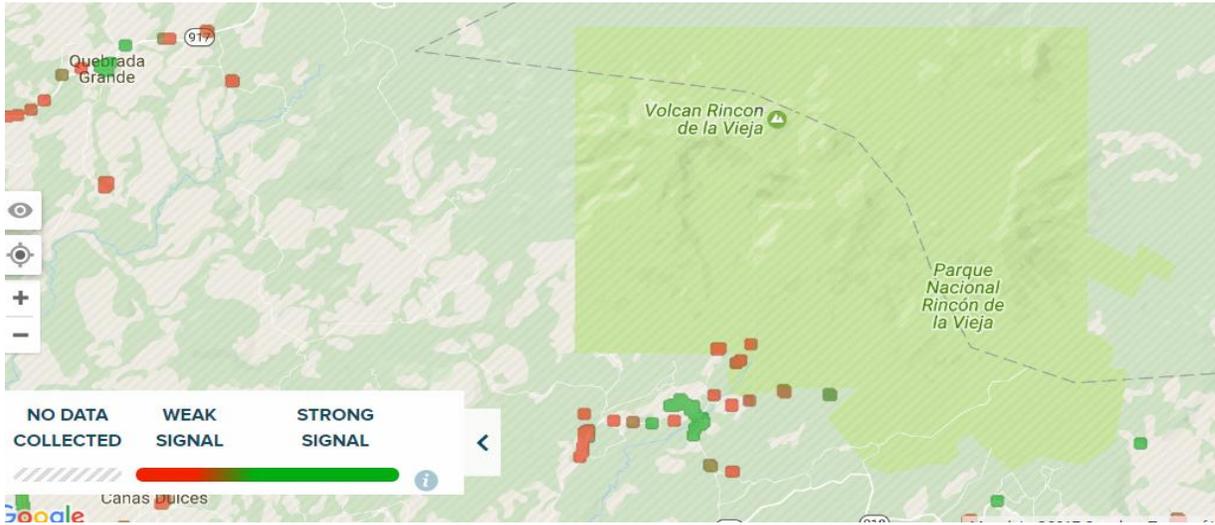


Figura 2.3: Cobertura celular ICE ruta Parque Nacional Rincón de la Vieja

Fuente: opensignal.com, 2005

## 2.6 Organigrama del Instituto Costarricense de Electricidad

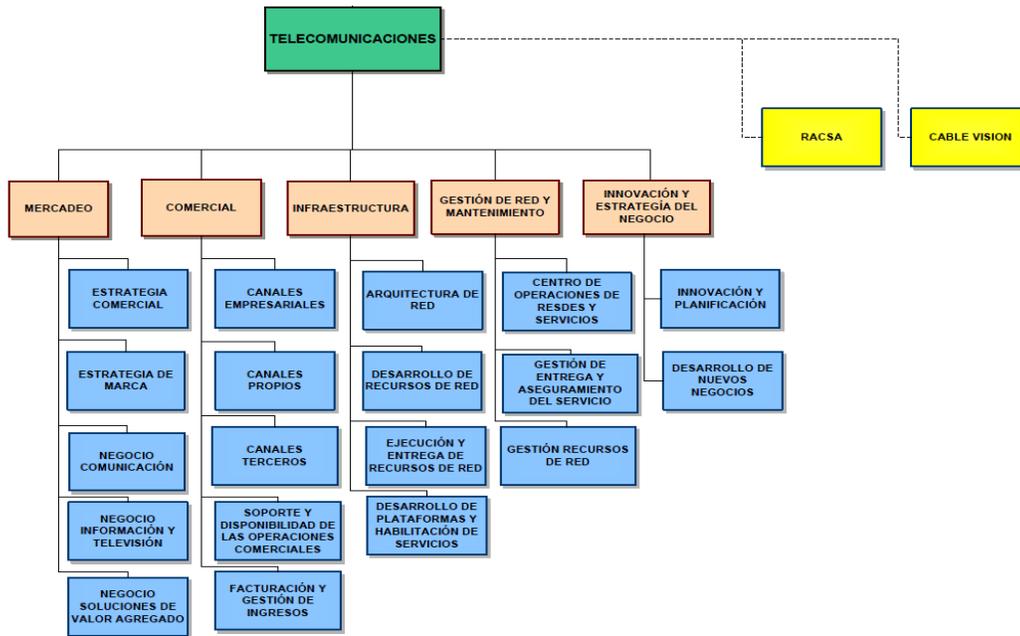


Figura 2.4: Organigrama Gerencia Telecomunicaciones

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2009

## **2.7 Marco Conceptual o Marco Teórico del Objeto de Estudio**

### **2.7.1 Sistemas de CCTV e intrusión**

Cuentan con cámaras de videovigilancia y videograbadores que pueden estar en el sitio o en otra ubicación. Si poseen tecnología IP, podrán ser direccionados adonde se tenga conexión a Internet. Los dispositivos de seguridad electrónica estarán colocados de tal manera que cubran los elementos a monitorear.

El diseño de los diferentes sistemas se deberá realizar con base al NEC 2008, en su versión en español debido a algunas consideraciones del marco legal.

### **2.7.2 Marco legal**

Todo ingeniero o persona que presta servicios eléctricos debe conocer que el CFIA es el ente regulador del profesional y las construcciones en Costa Rica, según el *RTCR 458:2011 Reglamento de oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad*:

“Artículo 1º-Oficialícese como *Código Eléctrico de Costa Rica para la seguridad de la Vida y de la Propiedad*, la norma NFPA-70, en su última versión en español denominada NEC 2008, con la excepción del artículo 90 y de aquellos artículos que se encuentren afectados en este reglamento” (2012).

Es importante realizar la instalación tomando en cuenta cada uno de los puntos del código eléctrico para garantizar las instalaciones más seguras.

### **2.7.3 Porcentaje de ocupación en tuberías conduit**

Para los diferentes sistemas a instalar, se deberá emplear lo establecido por el NEC sobre la ocupación máxima de conductores eléctricos, que señala que no deberá superar el 40% de uso cuando haya más de dos conductores alojados en la canalización. De acuerdo con el inciso

344.22 del NEC 2008, con este procedimiento se realizará el cálculo de la tubería para la canalización del cableado. El tipo de tubería dependerá de la zona de instalación en las cuales habría canalización expuesta o no expuesta, lo que se definirá según las recomendaciones del NEC 2008: PVC conduit o EMT conduit.

## 2.7.4 Cálculo de calibres de conductores y protecciones

Para realizar el cálculo de los conductores eléctricos de toda la instalación de los sistemas de la RBS se utilizará la Tabla 1.

Tabla 1: Ampacidad permisible de los conductores aislados para tensiones de 0V a 2000V.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o kcmil
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500

Fuente: NFPA 70®, 2008

## 2.7.5 Cálculo de alimentadores de los ramales

Para el cálculo de los alimentadores de los ramales, se indica que estos deberán soportar el 125% de cargas continuas instaladas en el sistema y su conductor de puesta a tierra. Se tomará

como referencia la Tabla 2 para el cálculo del conductor mínimo a instalar, en la cual se observa que el circuito mínimo ser de 15A.

Tabla 2: Alimentadores recomendados según sea el conductor de puesta a tierra.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: NFPA 70®, 2008

### 2.7.6 Caída de tensión en los conductores

Al realizar una instalación eléctrica, se deberá determinar la caída de tensión que hay entre la fuente y los terminales de la carga. Esta caída de voltaje va a depender de la distancia del conductor eléctrico, debido a la impedancia del mismo (resistencia y reactancia) que tienen los conductores eléctricos. La reactancia está determinada por: sección del cable, frecuencia de la fuente, longitud, material, tensión de operación.

En la siguiente Figura 2.5 se establecen los parámetros a considerar para la caída de tensión.

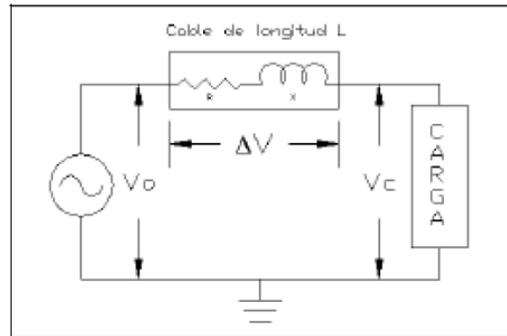


Figura 2.5: Caída de tensión en circuito de alimentación

Fuente: Espinoza y Fernández, 2015

La caída de tensión dependerá de la siguiente expresión:

$$\Delta V = V_0 - V_c$$

Fuente: Espinoza y Fernández, 2015

Donde:

$V_0 =$  Tensión de la fuente

$V_c =$  Tensión de llegada a la carga

$\Delta V =$  Caída de tensión en el conductor por su impedancia

Por lo tanto, respetando las recomendaciones del código eléctrico, una caída de tensión de circuitos ramales no deberá ser mayor al 3%, y en la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana, no puede superar el 5%, para ofrecer una eficiencia de funcionamiento razonable. Los diseños deberán mantener estos rangos, debido a que equipo sensible se verá afectado y trabajará de forma incorrecta ocasionado daño al mismo.

Para determinar la caída tensión en los conductores, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Caída de tensión} = \frac{\text{factor corrección} \times \text{Corriente(A)} \times \text{Distancia (m)} \times \text{factor sistema}}{30.48}$$

Fuente: Espinoza y Fernández, 2015

Las siguientes son tablas a utilizar para aplicar la formula anterior:

Tabla 3: Cálculo de factor de corrección según tipo cable, canalización y Fp.

Conductor Size AWG or kcmil	Magnetic Conduit (Steel)					Nonmagnetic Conduit (Aluminum or Nonmetallic)				
	Load Power Factor, %					Load Power Factor, %				
	60	70	80	90	100	60	70	80	90	100
<b>Copper Conductors</b>										
14	0.3390	0.3910	0.4430	0.4940	0.5410	0.3370	0.3900	0.4410	0.4930	0.5410
12	0.2170	0.2490	0.2810	0.3130	0.3410	0.2150	0.2480	0.2800	0.3120	0.3410
10	0.1390	0.1590	0.1790	0.1980	0.2150	0.1370	0.1580	0.1780	0.1970	0.2150
8	0.0905	0.1030	0.1150	0.1260	0.1350	0.0888	0.1010	0.1140	0.1250	0.1350
6	0.0595	0.0670	0.0742	0.0809	0.0850	0.0579	0.0656	0.0730	0.0800	0.0849
4	0.0399	0.0443	0.0485	0.0522	0.0534	0.0384	0.0430	0.0473	0.0513	0.0533
2	0.0275	0.0300	0.0323	0.0342	0.0336	0.0260	0.0287	0.0312	0.0333	0.0335
1	0.0233	0.0251	0.0267	0.0279	0.0267	0.0218	0.0238	0.0256	0.0270	0.0266
1/0	0.0198	0.0211	0.0222	0.0229	0.0213	0.0183	0.0198	0.0211	0.0220	0.0211
2/0	0.0171	0.0180	0.0187	0.0190	0.0170	0.0156	0.0167	0.0176	0.0181	0.0169
3/0	0.0148	0.0154	0.0158	0.0158	0.0136	0.0134	0.0141	0.0147	0.0149	0.0134
4/0	0.0130	0.0134	0.0136	0.0133	0.0109	0.0116	0.0121	0.0124	0.0124	0.0107
250	0.0122	0.0124	0.0124	0.0120	0.0094	0.0107	0.0111	0.0112	0.0110	0.0091
300	0.0111	0.0112	0.0111	0.0106	0.0080	0.0097	0.0099	0.0099	0.0096	0.0077
350	0.0104	0.0104	0.0102	0.0096	0.0069	0.0090	0.0091	0.0091	0.0087	0.0066
500	0.0100	0.0091	0.0087	0.0080	0.0053	0.0078	0.0077	0.0075	0.0070	0.0049
600	0.0088	0.0086	0.0082	0.0074	0.0046	0.0074	0.0072	0.0070	0.0064	0.0042
750	0.0084	0.0081	0.0077	0.0069	0.0040	0.0069	0.0067	0.0064	0.0058	0.0035
1000	0.0080	0.0077	0.0072	0.0063	0.0035	0.0064	0.0062	0.0058	0.0052	0.0029
<b>Aluminum Conductors</b>										
12	0.3296	0.3811	0.4349	0.4848	0.5330	0.3312	0.3802	0.4328	0.4848	0.5331
10	0.2133	0.2429	0.2741	0.3180	0.3363	0.2090	0.2410	0.2740	0.3052	0.3363
8	0.1305	0.1552	0.1758	0.1951	0.2106	0.1286	0.1534	0.1745	0.1933	0.2115
6	0.0898	0.1018	0.1142	0.1254	0.1349	0.0887	0.1011	0.1127	0.1249	0.1361
4	0.0595	0.0660	0.0747	0.0809	0.0862	0.0583	0.0654	0.0719	0.0800	0.0849
2	0.0403	0.0443	0.0483	0.0523	0.0535	0.0389	0.0435	0.0473	0.0514	0.0544
1	0.0332	0.0357	0.0396	0.0423	0.0428	0.0318	0.0349	0.0391	0.0411	0.0428
1/0	0.0286	0.0305	0.0334	0.0350	0.0341	0.0263	0.0287	0.0322	0.0337	0.0339
2/0	0.0234	0.0246	0.0275	0.0284	0.0274	0.0227	0.0244	0.0264	0.0274	0.0273
3/0	0.0209	0.0220	0.0231	0.0241	0.0217	0.0160	0.0171	0.0218	0.0233	0.0222
4/0	0.0172	0.0174	0.0179	0.0177	0.0170	0.0152	0.0159	0.0171	0.0179	0.0172
250	0.0158	0.0163	0.0162	0.0159	0.0145	0.0138	0.0144	0.0147	0.0155	0.0138
300	0.0137	0.0139	0.0143	0.0144	0.0122	0.0126	0.0128	0.0133	0.0132	0.0125
350	0.0130	0.0133	0.0128	0.0131	0.0100	0.0122	0.0123	0.0119	0.0120	0.0101
500	0.0112	0.0111	0.0114	0.0099	0.0076	0.0093	0.0094	0.0094	0.0091	0.0072
600	0.0101	0.0106	0.0097	0.0090	0.0063	0.0084	0.0085	0.0085	0.0081	0.0060
750	0.0095	0.0094	0.0090	0.0084	0.0056	0.0081	0.0080	0.0078	0.0072	0.0051
1000	0.0085	0.0082	0.0078	0.0071	0.0043	0.0069	0.0068	0.0065	0.0058	0.0038

Fuente: Espinoza y Fernández, 2015

Para determinar el factor del sistema se utilizará la siguiente Tabla 4.

Tabla 4: Factor del sistema según sea monofásico o trifásico

Tipo de Circuito	Cantidades de conductores	Elementos de circuitos	Relaciones de los elementos	Factor del sistema
3Ø	4 o 3	Fase-Fase	ABC	1
3Ø	4	Fase-neutro	ABC y Neutro	0.577
1Ø	3	Fase-neutro	ABC y Neutro	0.577
1Ø	3 o 2	Fase-Fase	ABC	1.155

Fuente: Espinoza y Fernández, 2015

### 2.7.7 Puesta a tierra

Toda instalación que se realice deberá ir puesta a tierra, según lo establece el código eléctrico en lo que se refiere a cualquier elemento conectado a la tierra física, con el fin de evitar daños por descargas atmosféricas o por conductores eléctricos conectados erróneamente al equipo. La instalación de puesta a tierra de una torre celular deberá tomar en cuenta para su diseño la normativa NFPA-780 y NEC 2008.

### 2.7.8 Tierra única

Este apartado pretende que todas las puestas a tierras de equipos y sistemas tengan interconexión en un punto en común, con el fin de conseguir una igualdad de equipotencialidad en todos los sistemas puestos a tierra.

Manteniendo la equipotencialidad en el sistema, se logra evitar el ruido eléctrico en los sistemas y la electricidad estática generada por los cambios de la humedad relativa. En la Figura 2.6 se observa una interconexión de sistemas con una tierra única:

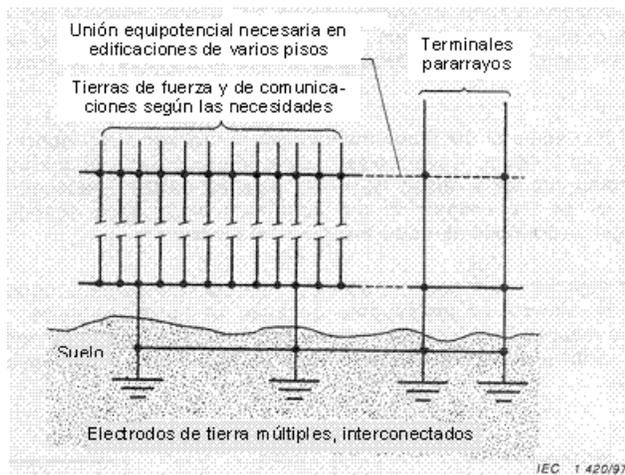


Figura 2.6: Tierra única en sistemas eléctricos

Fuente: Huete Serrano, 2008

En la figura anterior se observa cada sistema tiene su puesta a tierra, pero interconectadas con los demás para nivelar el potencial generado por los diferentes sistemas instalados.

### 2.7.9 Diseño de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos utilizan la energía solar para convertirla en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos acoplados, de tal forma que se pueda aprovechar la radiación solar. Esta energía tiene la ventaja de producir bajo impacto ambiental, debido a que no utiliza combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos constan de diferentes elementos:

**Generador fotovoltaico:** Es el encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica por medio de paneles solares.

**Baterías de almacenamiento:** Se encargan de almacenar la energía y entregar la corriente cuando no se está produciendo radiación solar como en la noche o en días nublados.

**Regulador de carga:** Protegen y garantizan el voltaje y la corriente enviada a las baterías por medio de los paneles solares.

**Inversor o alternador:** Es el que se encarga de convertir la corriente directa de las baterías o paneles solares a corriente alterna para suministrarla a la carga.

En la siguiente figura se observa el esquema de un sistema fotovoltaico:

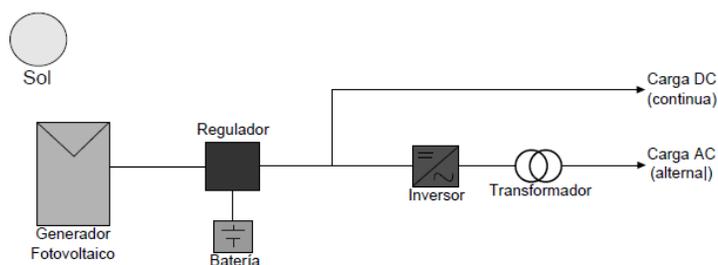


Figura 2.7: Configuración de sistemas fotovoltaico

Fuente: Barrantes Quirós, 2014

Por lo tanto, para el sistema fotovoltaico instalado en radio base, se emplearán los cálculos para determinar cada uno de los elementos con respecto a la carga a conectar al sistema.

### 2.7.10 Órgano regulador de las telecomunicaciones

La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL) es un órgano de desconcentración máxima, adscrito a la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Aresep); creada mediante la Ley 8660, publicada el 13 de agosto del 2008.

A la SUTEL le corresponde la aplicación de la regulación al sector de telecomunicaciones y asegurar la eficiencia, igualdad, continuidad, calidad, mayor y mejor cobertura e información, así como mejores alternativas en la prestación de los servicios de telecomunicaciones.

La SUTEL está conformada por un Consejo (órgano administrativo superior), cuyas principales funciones son:

- Imponer a los operadores la obligación de dar libre acceso a redes y servicios
- Incentivar la inversión en el sector.
- Otorgar autorizaciones y rendir dictámenes técnicos al Poder Ejecutivo para otorgar, ceder, prorrogar o extinguir concesiones o permisos.
- Administrar y controlar el uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- Resolver conflictos entre operadores y proveedores de servicios de telecomunicaciones.
- Homologar contratos de adhesión entre proveedores y abonados.
- Elaborar las normas técnicas.
- Fijar las tarifas de telecomunicaciones, según la ley.

## **2.8 Hipótesis**

Mediante el diseño de los sistemas de seguridad electrónica, pararrayos, puesta a tierra y la alimentación eléctrica con sistemas fotovoltaicos, se podrá brindar de manera segura la cobertura celular en zonas remotas y conflictivas de Costa Rica.

## **2.9 Limitaciones**

Los sistemas a diseñar deben ser estudiados y aprobados por los diferentes encargados de la administración de las radio bases de telefonía celular del Instituto Costarricense de Electricidad. Además, para la instalación se requiere que la empresa realice una inversión inicial en equipo electrónico y luego en recurso humano capacitado para la puesta en marcha del mismo en la zona.

## **2.10 Alcances**

Se suplirá con energías limpias y de seguridad electrónica las radio bases de telefonía celular en las zonas remotas y conflictivas.

# **CAPÍTULO**

## **III**

### 3. DESARROLLO

#### 3.1 Descripción del servicio celular del Instituto Costarricense de Electricidad

Las radio bases de telefonía celular son uno de los bienes más importantes para el Instituto Costarricense de Electricidad. Mediante su marca, Kolbi, ha podido brindar cobertura en el territorio nacional supervisado y normado, y a través de la Sutel, ha regulado el mercado de telefonía celular; sin embargo, aún existen zonas del territorio nacional que carecen del vital servicio.

En la siguiente figura se muestra la cobertura celular de la marca Kolbi a nivel nacional:

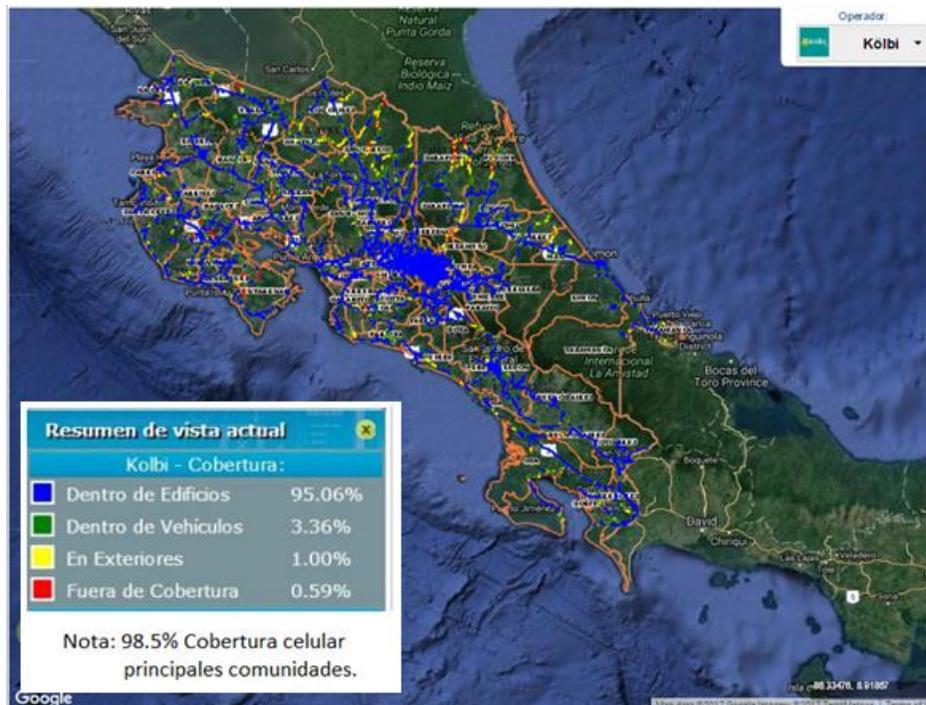


Figura 3.1: Cobertura celular del territorio de Costa Rica medido por la SUTEL a la marca Kolbi.

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2001

### 3.2 Afectación de las radio bases por el robo de cable y equipo

La afectación por robo de cable y equipos es un hecho constante. Debido a la alta tasa de desempleo, se ha visto un aumento en la delincuencia a nivel nacional, y las radio bases de telefonía celular no han sido la excepción, generando un impacto directo en la continuidad del servicio celular.

En la siguiente tabla se muestran las radio bases que han sufrido afectación por el hampa, repercutiendo en el fallo de la comunicación celular a los abonados de la marca Kolbi en el período de octubre del 2016 a enero del 2017.

Tabla 5: Robo de RBS de octubre 2016 a enero 2017

Reporte de averías														
Del 1/10/2016 00:00:00 al 02/01/2017 23:59:59														
# Reporte	Tipo Serv.	Prior.	Tipo reporte	Tipo afectación	Estado	Proceso	Grupo cierra	Servicio Sutel	Grado de afectación	Recurso o servicio	Tipo genérico	Daño reportado	Causa	Duración reporte
2016069544	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Acceso inalámbrico	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Limón Centro Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Intervención para diagnóstico de avería	10:49
2016071579	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Electromecánica y Civil	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Guapiles Rita Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, sabotaje	03:00
2016081785	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Abierto	Electromecánica y Civil	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Bananito Limón	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	04:00
2016081743	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Acceso inalámbrico	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	La Roxana Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	02:00
2016081744	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Electromecánica y Civil	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Guapiles 2 Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, sabotaje	03:00
2016081745	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Abierto	Electromecánica y Civil	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Puerto Viejo Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	07:00
2017081746	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Acceso inalámbrico	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Bribri Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	04:00
2017081725	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Electromecánica y Civil	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Tuba Creek Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, sabotaje	06:00
2017081787	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Abierto	Electromecánica y Civil	Zona Atlántica	Infraestructura	Masivo	Corales 2 Limón Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	10:00
2017081749	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Acceso inalámbrico	MTRO	Infraestructura	Masivo	San Sebastian Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	04:00
2017081753	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Electromecánica y Civil	MTRO	Infraestructura	Masivo	SJ Centro 1 Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, sabotaje	06:00
2017081751	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Abierto	Electromecánica y Civil	MTRO	Infraestructura	Masivo	Jardines 2	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	10:00
2017081758	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Acceso inalámbrico	MTRO	Infraestructura	Masivo	San Rafael Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, Robo.	04:00
2017081787	Infraestructura	1	Incidente	Interrupción	Cerrado	Electromecánica y Civil	MTRO	Infraestructura	Masivo	San Pedro 1 Huawei	HUAWEI - CELDAS	Robo con afectación servicio	Vandalismo, sabotaje	06:00

Fuente: Elaboración propia

Como detalle importante, en la Tabla 1 se identifican los sitios de telefonía celular afectados por el vandalismo, y los mismos no poseen dispositivos de seguridad electrónica que puedan notificar el estado de la radio base en tiempo real.

### **3.3 Criterio de diseño para el sistema de seguridad electrónica**

Para el diseño de la instalación del sistema de seguridad electrónica, se deberán considerar los siguientes puntos:

- Ubicación de equipos
- Rutas y canalización eléctricas
- Cargas eléctricas de los equipos

#### **3.3.1 Ubicación de equipos de seguridad electrónica.**

Los equipos de seguridad electrónica deberán ser ubicados estratégicamente donde no sean fáciles de manipular y tengan posibilidad de monitorear los equipos activos de la radio base.

#### **3.3.2 Rutas y canalización adecuada.**

La instalación deberá realizarse de forma que quede oculta para evitar manipulación del cableado, cumpliendo los requerimientos de establecidos por el código eléctrico nacional del 2008, que se encuentra vigente y aprobado por el Colegio de Ingenieros y Arquitectos.

##### **3.3.2.1 Canalizaciones subterráneas.**

Para todas las instalaciones que se encuentren bajo tierra, se deberán instalar canalizaciones de tubo conduit rígido de cloruro de polivinilo listado UL, sus accesorios y tornillería deben ser resistentes a la corrosión y podrán ser instalados directamente bajo tierra o

encerrados con concreto. Se podrá instalar esta tubería en lugares donde no existan daños físicos (NFPA 70®, 2008).

### **3.3.2.2 Canalizaciones expuestas.**

Las instalaciones que se encuentren expuestas se realizarán con tubería EMT y accesorios listados UL, debido a que esta provee resistencia a los daños físicos. (NFPA 70®, 2008).

### **3.3.2.3 Capacidad de conductores en las canalizaciones.**

Para albergar los conductores eléctricos y de datos, estos no deberán superar el porcentaje establecido en la siguiente tabla:

Tabla 6: Porcentaje de ocupación de canalizaciones en tubería conduit

<b>Número de conductores</b>	<b>Todos los tipos de conductores</b>
1	53
2	31
Más de 2	40

Fuente: NFPA 70®, 2008

## **3.4 Diseño de sistema de CCTV para radio bases de telefonía celular**

El ICE cuenta con más de 1230 RBS a nivel nacional, por lo que se requiere el diseño de sistemas de videovigilancia e intrusión para dar continuidad del servicio celular en zonas conflictivas o remotas.

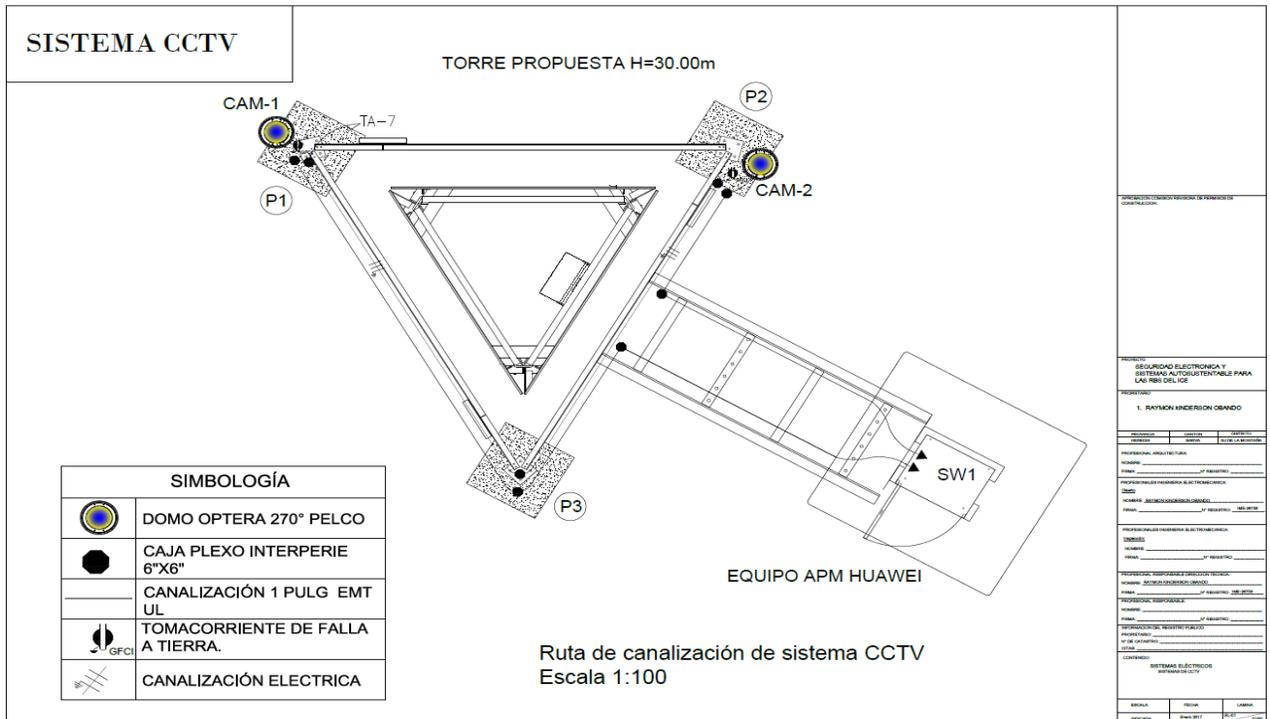


Figura 3.2: Diseño de sistema de video vigilancia IP

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1 Altura de instalación de cámaras.

La ubicación de las cámaras se realizará a una altura de 10 metros, tomando como referencia los rangos de la siguiente tabla prevista por Pelco:

Tabla 7: Rangos de video de la cámara panorámica Optera numero de parte IMM12027-1EP

#### GUÍA DE RANGOS\*

	180°	270° / 360°
<b>Detección</b>	88 m (290 ft)	36 m (130 ft)
<b>Clasificación</b>	48 m (160 ft)	21 m (70 ft)
<b>Reconocimiento</b>	32 m (105 ft)	13 m (45 ft)
<b>Identificación</b>	12 m (42 ft)	5 m (19 ft)

\*El rendimiento del rango varía según la configuración de la cámara, las condiciones de iluminación y las características de visualización.

Fuente: Pelco, 2016

Las características físicas de la cámara panorámica Optera se presentan en la siguiente figura:

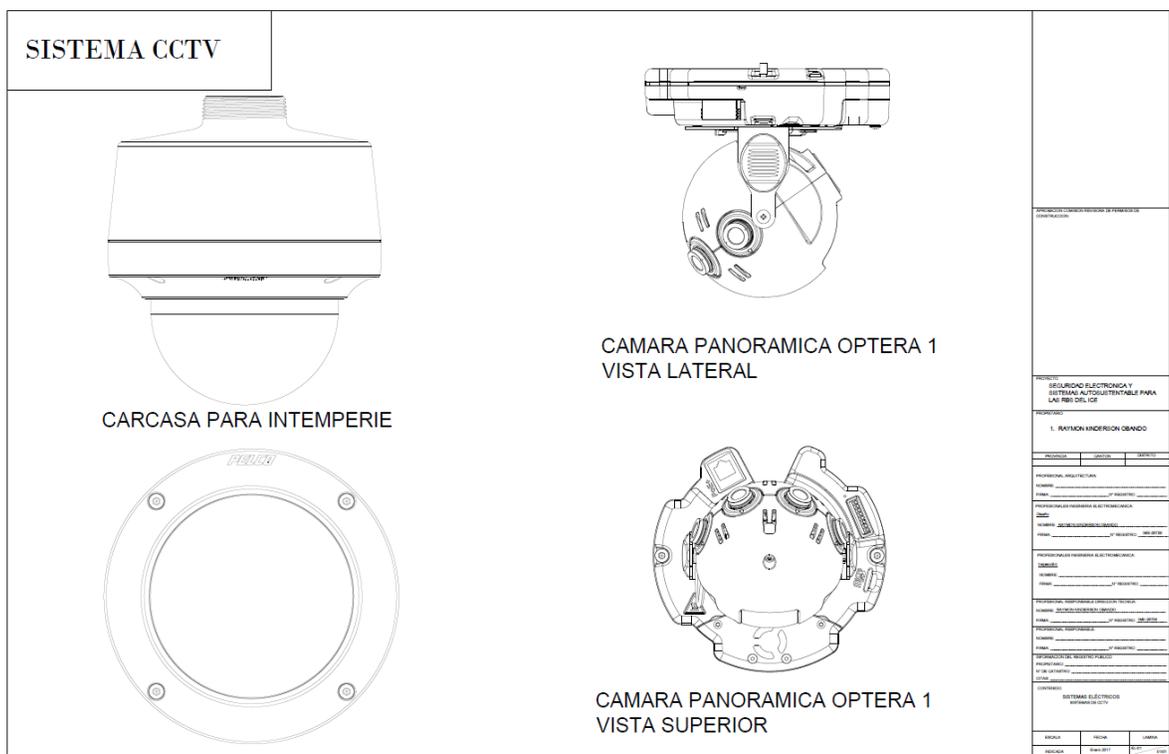


Figura 3.3: Cámara panorámica Optera numero de parte IMM12027-1EP de Pelco.

Fuente: (Pelco, 2016)

### 3.4.2 Detalles de cableado de datos y alimentación eléctrica de los equipos de CCTV.

El cableado del sistema se realizará con cable UTP categoría 6 para la transmisión de datos y será alimentado por un inyector PoE (POE20U560G de Pelco) para suministrar la alimentación eléctrica de las cámaras, la cual deberá cumplir con la norma IEEE 802.3at-2009, en la que suministrará un voltaje de -48 Vdc y hasta 25 W de potencia por cada inyector instalado.

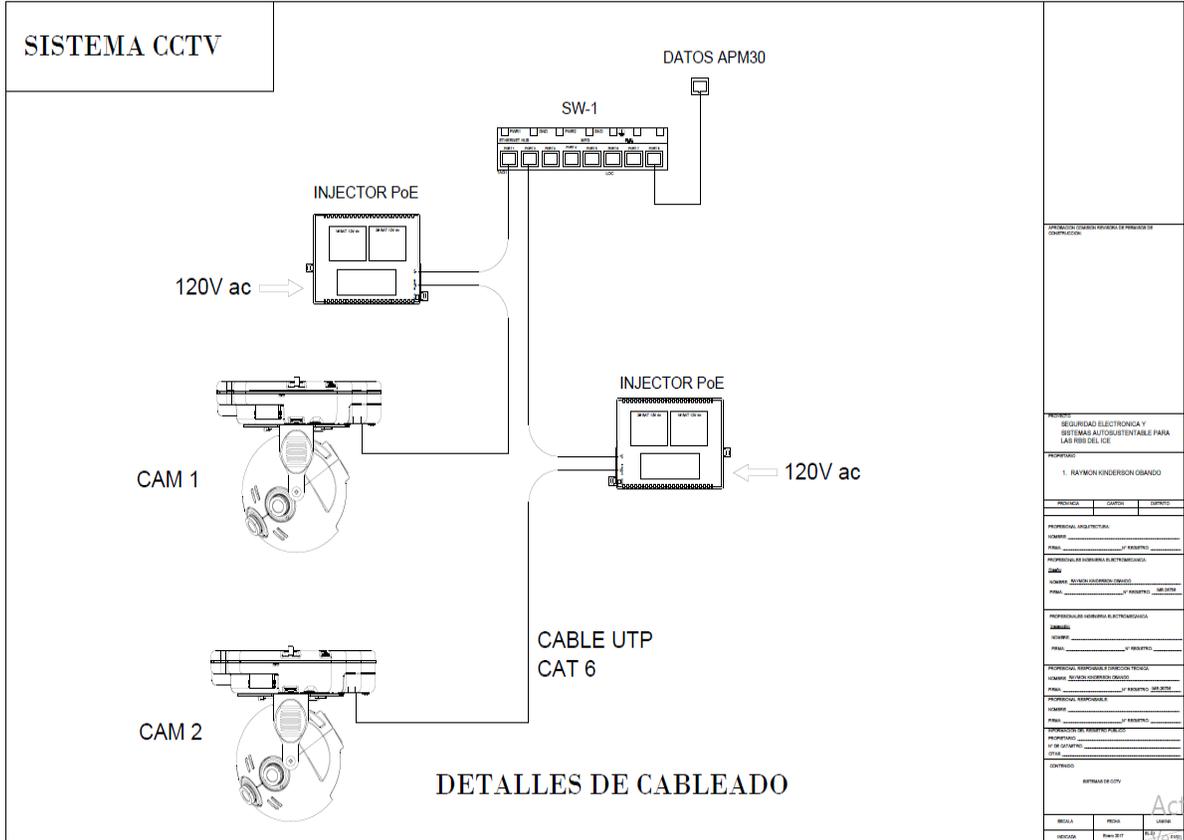


Figura 3.4: Cableado del sistema CCTV a la red.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3 Grados de visión de la cámara

La cámara panorámica de 270° Optera número de parte IMM12027-1EP, por sus características físicas y su visión de monitoreo, tiene la ventaja de disminuir la cantidad de cámaras necesarias para monitorear un área establecida. Así reduce tiempos de instalación y cargas eléctricas adicionales para el sistema eléctrico del sistema de videovigilancia.

La cámara a utilizar se detalla en la siguiente figura:



Figura 3.5: Cámara Optera 270° Pelco

Fuente: Pelco, 2016

Una imagen de 270° de la cámara Optera instalada en un parqueo, en la cual se ilustran sus diferentes ángulos de monitoreo a una altura de 10 metros, se presenta en la figura siguiente.

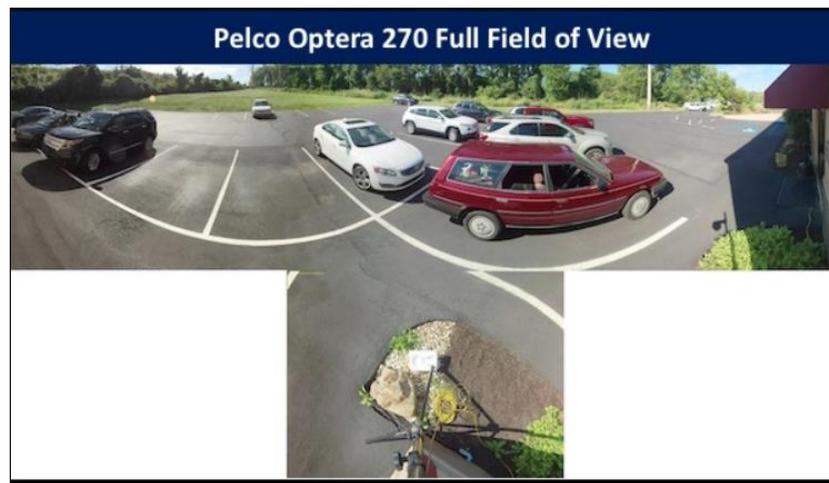


Figura 3.6: Imagen de cámara Optera IMM12027-1EP de Pelco 270°.

Fuente: Pelco, 2016

### 3.4.4 Cálculo de tubería conduit EMT para la instalación de cableado UTP

Para la instalación eléctrica, se deberá utilizar tubería conduit certificada por la norma UL y la cantidad de cable alojado en la misma no deberá de superar el 40% del área de ocupación, por lo que se realizan los diferentes cálculos para corroborar que el diámetro de la tubería es el indicado. En la siguiente figura se presentan las características de la tubería EMT para realizar el cálculo adecuado cumpliendo con la normativa vigente:

**Tubería Conduit Marca Rymco®**  
**Bajo la Norma UL**

**Tubería EMT / Electrical Metallic Tubing EMT Steel**

Diámetro Nominal Nominal Size	Peso 10 tramos Weight 10 Unit Lengths		Diámetro Externo (1) Outside Diameter (1)		Espesor Nominal (2) Nominal Thickness (2)		Color de cinta Tape Color	Piezas x atado Pieces x bundle	Piezas x paquete Pieces x lift	
	in.	mm.	lb.	kg.	in.	mm.				in.
1/2"	16	30	13.6	0.706	17.93	0.042	1.07	Black	10	700
3/4"	21	46	20.9	0.922	23.42	0.049	1.25	Red	10	500
1"	27	67	30.4	1.163	29.54	0.057	1.45	Blue	10	300
1 1/4"	35	101	45.8	1.510	38.35	0.065	1.65	Red	5	200
1 1/2"	41	116	52.6	1.740	44.20	0.065	1.65	Black	5	150
2"	53	148	67.1	2.197	55.80	0.065	1.65	---	---	120
2 1/2"	63	216	98.0	2.875	73.03	0.072	1.83	---	---	61
3"	78	263	119.3	3.500	88.90	0.072	1.83	---	---	51
3 1/2"	91	349	158.3	4.000	101.60	0.083	2.11	---	---	37
4"	103	393	178.3	4.500	114.30	0.083	2.11	---	---	30

Nota: Tolerancias Aplicables  
 Note: Applicable Tolerances

Largo/Length: 10 Ft. (3.05m) +/- 1/4 in. (+/- 6.35mm)  
 (1) 1/2" - 2" +/- 0.006 in. (16 - 53 +/- 0.13mm), 3 1/2" +/- 0.010 in. (63 +/- 0.25mm),  
 3" +/- 0.015 in. (78 +/- 0.38mm), 3 1/2" - 4" +/- 0.020 in. (91 - 103 +/- 0.51mm)  
 (2) Solo informativo no requerimiento UL. For info. Only not a UL requirement.

Fabricado bajo la Norma **UL-797**.

Galvanizado en línea por Inmersión en Caliente en el Exterior  
 Recubrimiento de zinc, resistente a la corrosión  
 Pintura interior deslizante anticorrosiva

**TUBOS METÁLICOS RÍGIDOS DE ACERO TIPO LIGERO Y SUS  
 ACCESORIOS PARA LA PROTECCIÓN DE CONDUCTORES  
 ELÉCTRICOS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.**

Producto de Exportación



Figura 3.7: Características de tubería EMT Rymco UL

Fuente: Rymco, 2014

Las características de cable UTP para la transmisión de datos de las cámaras de video vigilancia se presentan en la siguiente figura:

## Especificaciones Técnicas del Cable UTP Cat 6 TX 6000 Panduit

### TX6000™ UTP Cableado de Cobre

#### Especificaciones

El cable de Categoría 6 excede a la norma de categoría 6 IEC 61156-5 y ANSI/TIA/EIA-568-C.2. Los conductores son AWG 23 con aislamiento de polietileno de alta densidad. Los conductores están trenzados por pares, separados por una barrera divisora y envueltos todos ellos por una cubierta LSZH.



#### Información Técnica:

<b>Rendimiento eléctrico:</b>	Canal certificado en una configuración de 4 conectores de hasta 100 metros, cumple y supera la norma ISO 11801 Clase E y ANSI/TIA/EIA-568-C.2 para frecuencias de hasta 250 Mhz
<b>Conductores/Aislantes:</b>	Cobre sólido 23 AWG aislado con polietileno de alta densidad HDPE
<b>Tasa de inflamabilidad:</b>	IEC 60332-1, IEC 60754-1 y -2, IEC 61034-2
<b>Cumplimiento PoE:</b>	con IEEE 802.3af e IEEE 802.3at para aplicaciones PoE
<b>Tensión de Instalación:</b>	110N (25lbf) máximo
<b>Temperatura:</b>	0° a 50°C (32° to 122°F) en instalación
<b>Cubierta del cable:</b>	LSZH
<b>Diámetro de cable:</b>	5.7 mm (0.224 in.)
<b>Dimensiones y pesos:</b>	12 kg/305m (28 lbs./1000 ft.)
<b>Empaquetados:</b>	caja de 305m (1000 ft.), o bobina de 500m (1640 ft.), embalaje testado según ISTA proc.1A

### PANDUIT™

#### SPECIFICATION SHEET

<b>Sistema de Cableado de Cobre TX6000™</b>	
<b>Cable de Cobre UTP TX6000™ UTP Copper Cable</b>	
<b>LSZH:</b>	PUL6004*
<b>Módulo Jack Mini-Com® TX6™ PLUS UTP</b>	
<b>Módulo Jack:</b>	CJ688TG**
<b>Latiguillos TX6™ PLUS UTP LSZH</b>	
<b>1 metro:</b>	UTPSPL1***MY
<b>2 metros:</b>	UTPSPL2***MY
<b>3 metros:</b>	UTPSPL3***MY
<b>5 metros:</b>	UTPSPL5***MY
<b>Paneles de Parqueo Angulares DP6™ PLUS Punchdown</b>	
<b>24-puertos, 1U:</b>	DPA24688TGY
<b>48-puertos, 2U:</b>	DPA48688TGY
<b>Paneles de Parqueo Planos DP6™ PLUS Punchdown</b>	
<b>12-puertos:</b>	DP12688TGY
<b>24-puertos, 1U:</b>	DP24688TGY
<b>48-puertos, 2U:</b>	DP48688TGY
<b>Sistema Punchdown GP6™ PLUS Categoría 6</b>	
Ver catálogo o página web ( <a href="http://www.panduit.com">www.panduit.com</a> ) para	

### Especificaciones Adicionales:

Test Mecánico	
Resistencia a la Rotura	>400 N (90 lbf.)
Radio mínimo de Curvatura	4 x diámetro del cable
Test Eléctrico	
Velocidad Nominal de Propagación (NVP)	67%

Figura 3.8: Características de Cable UTP Panduit

Fuente: PANDUIT, 2003

### 3.4.5 Cálculo del porcentaje del área de ocupación para el cable UTP Cat 6

Para realizar este cálculo se deberá determinar el área interna de la tubería EMT conduit para la canalización del sistema de video vigilancia y área externa del cable UTP y en el procedimiento siguiente se calculará el porcentaje de ocupación de la tubería con el cable instalado.

### 3.4.5.1 Cálculo de área interna de tubería EMT.

Debido a que la tubería es circular, se empleará la fórmula del área del círculo para calcular el área de ocupación.

Área del círculo

$$A = \pi r^2$$

Fuente: Boylestad, 2004

$$A_{int} = \pi x \left[ \frac{\phi Ext - 2(espesor)}{2} \right]^2$$

$$A_{int} = \pi x \left[ \frac{29.54mm - 2(1.45mm)}{2} \right]^2$$

$$A_{int} = 557.38mm^2$$

### 3.4.5.2 Cálculo del área externa del cable UTP Cat 6

$$\phi \text{ Cable UTP} = 5.7 \text{ mm}$$

$$R \text{ Cable UTP} = 2.85 \text{ mm}$$

$$A = \pi(2.85mm)^2$$

$$A = 25.51mm^2$$

### 3.4.5.3 Porcentaje de ocupación en tubería

$$\frac{(25.51mm^2 \times 100\%)}{557.38mm^2} = 0.045 \times 100$$

$$\% \text{ Ocupación} = 4.5 \%$$

Mediante este procedimiento, se verifica que la tubería es la indicada para realizar la instalación del cable de datos, debido a que no supera más del 40%. La curvatura del cable no deberá ser menor a cuatro veces el diámetro del cable, según lo estable el proveedor.

Se utilizará tubería EMT 1" conduit, debido que ofrece un porcentaje de ocupación adecuado del 4.57% y una curvatura de más 10 veces el diámetro del cable.

En la siguiente figura se observa el área de ocupación de la tubería:



Figura 3.9: Área canalización y ocupación en tubo de 1"

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.6 Curvatura de tubería EMT y longitud de curva

Para la instalación de la tubería conduit EMT y donde se requiera el cambio de dirección a 90 grados, se utilizará la dobladora correspondiente al diámetro del tubo, respetando las siguiente tabla para realizar las curvaturas en tubo sin que se vea deformado o quebrado su diámetro original:

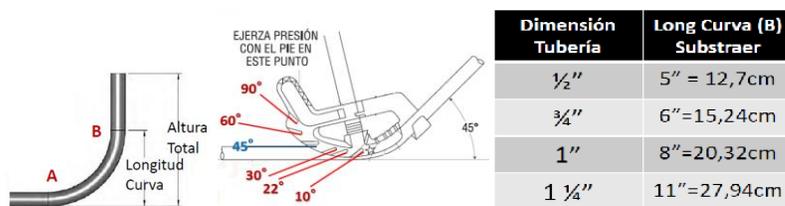


Figura 3.10: Longitud curvatura de tubería EMT.

Fuente: GREENLEE, 2002

### 3.4.7 Materiales y equipo para la instalación del sistema de CCTV

Para realizar la instalación del sistema de CCTV se requiere el equipo y material necesario especificado en las siguientes tablas:

Tabla 8: Lista de equipos para el sistema CCTV en RBS

Sistema de video vigilancia para RBS Equipo					
Ítem	Cantidad	Unidad	N° Parte	Marca	Descripción
1	2	Unidades	IMM12027-1EP	Pelco	Optera™ Series Panoramic IP Camera 270°
2	2	Unidades	POE20U560G	Pelco	Series High-Power, Single-Port Injector

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Lista de materiales para el sistema CCTV en RBS

Sistema de video vigilancia para RBS Materiales				
Ítem	Cantidad	Unidades	Descripción	Marca
1	5	Unidades	Tubería conduit EMT de 1" UL	RYMCO
2	10	Unidades	Gaza EMT de 1" 2 huecos UL	Topaz
3	4	Unidades	Unión EMT 1" compresión UL	Topaz
4	4	Unidades	Conector EMT 1" compresión UL	Topaz
5	2	Unidades	Caja rectangular IP 55 750°C155 x 110 x 74 mm UL	Legrand
6	30	Metros	Cable UTP Cat 6 UL	Panduit
7	2	Unidades	Placas marfil rectangulares UL	Panduit
8	2	Unidades	Conectores Rj45 hembra Cat 6 UL	Panduit
9	4	Unidades	Conector Rj45 macho Cat 6 UL	Panduit
10	4	Unidades	Tubo PVC conduit tipo "A" 1/2" UL	Amanco
11	4	Unidades	Uniones PVC conduit tipo "A" 1/2"	Amanco
12	8	Unidades	Gazas EMT de 1/2" 2 huecos UL	Topaz
13	4	Unidades	Tubería conduit EMT de 1/2" UL	RYMCO
14	2	Unidades	Caja rectangular IP 55 750°C360 x 270 x 124 mm	Legrand
15	4	Unidades	Conectores EMT compresión 1/2" UL	Topaz
16	3	Unidades	Uniones EMT 1/2" compresión UL	Topaz
17	25	Metros	Cable THHN 12 AWG Color Rojo	Viacon
18	25	Metros	Cable THHN 12 AWG Color Blanco	Viacon
19	25	Metros	Cable THHN 12 AWG Color Verde	Viacon
20	2	Unidades	Toma corriente GFCI	Bticino
21	2	Unidades	Caja rectangular EMT UL 1/2" y 3/4"	Topaz
22	6	Unidades	Conector de ojo para cable 12 AWG	Conica
23	6	Unidades	Conector de cono con resorte p/ 12 AWG	3M
24	1	Unidades	Interruptor de AFCI de 20A 1 polo	Square D

Fuente: Elaboración propia



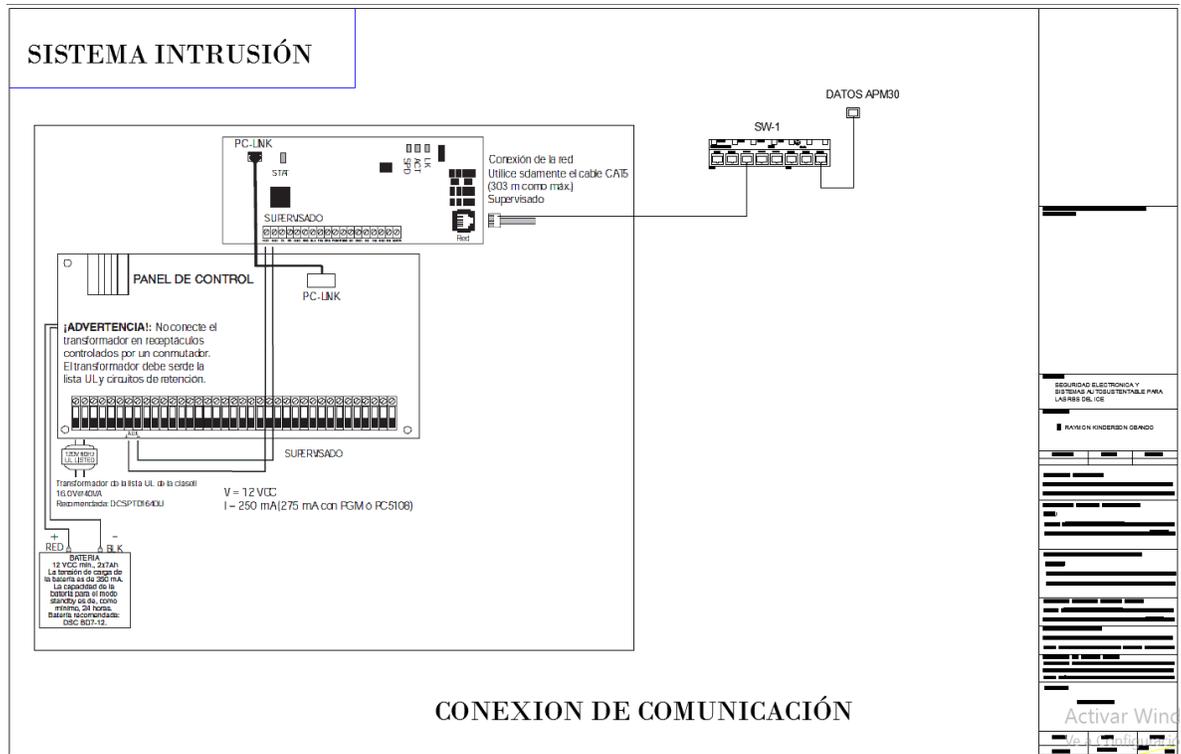


Figura 3.12: Detalle de conexión de comunicación IP del sistema de intrusión mediante la Tlink 250.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2 Cálculo de la canalización para el cableado de los dispositivos de intrusión

Debido a que la canalización tiene que realizarse bajo tierra la tubería conduit, es necesario que sea resistente a la corrosión, según lo establece el NEC 2008, que recomienda la tubería PVC conduit tipo A. En la siguiente figura se precisan las características físicas del tubo a utilizar:

Características	Norma Aplicable	DIÁMETROS										
		Medida	13	19	25	32	38	50	60	75	100	150
Díámetro Exterior	NMX-E-021-SCFI	mm	21.3	26.7	33.4	42.2	48.3	60.3	73	88.9	114.3	168.3
Espesor de pared	NMX-E-021-SCFI	mm	1.5	1.5	1.5	1.6	1.9	2.3	2.7	2.8	3	4.1
Díámetro entrada casquillo	NMX-E-021-SCFI	mm	21.7	27.1	33.8	42.6	48.9	60.9	73.6	89.5	114.9	169.1
Díámetro terminal casquillo	NMX-E-021-SCFI	mm	21.4	26.8	33.4	42.2	48.3	60.4	73	88.9	114.3	168.3
Longitud del casquillo min.	NMX-E-021-SCFI	mm	17.5	18.3	22.2	23.6	27.8	29.4	44.4	47.6	50.8	76.2
Longitud final del tramo	NMX-E-021-SCFI	mts	3 y 6	3 y 6	3 Y 6	3 y 6	3 y 6	3 y 6	3 y 6	3 y 6	3 y 6	3 y 6
Resistencia al Impacto	NMX-E-029-SCFI	kgf.m	2	3	6	9	11	14	15	16	16	16
Aplastamiento	NMX-E-014-SCFI	%	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Deformación bajo carga	NMX-E-025-SCFI	kgf.m	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Combustibilidad	NMX-E-208-SCFI	-										
Resistencia a la acetona	NMX-E-015-SCFI	%					Autoextinguible					
							Sin ataque					



Ambas tuberías se fabrican de acuerdo con la norma NMX-E-012-VIGENTE, se surten en color verde olivo con un extremo abocinado y con una longitud total de 3 metros, salvo necesidades del cliente.

Figura 3.13: Características físicas de la tubería PVC conduit Tipo A de Durman

Fuente: Durman, 2014

### 3.5.3 Cálculo para la canalización del cableado para los dispositivos de intrusión

Para determinar el área de ocupación de la tubería conduit PVC, se usará el área del cable y la cantidad máxima que debe albergar.

### 3.5.4 Cálculo de área interna de tubería PVC

$$A = \pi r^2$$

Fuente: Boylestad, 2004

$$A_{int} = \pi x \left[ \frac{\phi_{Ext} - 2(\text{espesor})}{2} \right]^2$$

$$A_{int} = \pi x \left[ \frac{21.3mm - 2(1.5mm)}{2} \right]^2$$

$$A_{int} = 263.02mm^2$$

Las características físicas del cable seis hilos para conexión de dispositivos de intrusión se presentan en la siguiente figura:

<b>Honeywell</b>	
<b>GENESIS SERIES</b>	
<b>Low Voltage Cable</b>	
<b>Part No. 2106</b>	
Description:	22 AWG 6/C STR CMR-CL2R-FT4
Specifications:	UL Standards 13 & 444; NEC Articles 725 & 800
<b>Construction:</b>	
Conductor	22 AWG 7/30 Stranded Bare Copper
Insulation	Polypropylene
Insulation Thickness	0.006" nom.
Insulation Colors	Blk, Wht, Red, Grn, Brn, Blu
Insulation Diameter	0.042 nom.
Lay Length	4.0" nom
<b>Jacket</b>	PVC
Jacket Thickness	0.015" nom.
Jacket Diameter	<b>0.158" nom.</b>
Legend (Ink Print)	HONEYWELL P/N 2106 6C22 3038058 (ETL) CL2R OR CMR C(ETL)US FT4 SUN RES (RoHS) W/O #XXXXXX-XXXXXX XXXX FT DEVICEZONE A B C D E F 1 2 3 4 5 6 7 8 9
<b>Properties</b>	
Temperature Rating	-20 to 60 °C
Operating Voltage	300 Volts max.
Capacitance	15 pF/ft nom.
Impedance	100 Ohms nom.
DC Resistance	16.5 Ohms/M' at 20°C
Flame Rating	UL 1666 (Riser), CSA FT4

Figura 3.14: Cable de seis hilos sin pantalla para la conexión de equipo de intrusión

Fuente: HoneywellCable, 2016

### 3.5.4.1 Cálculo del área del cable para intrusión

$$\phi \text{ Cable 6 hilos sin pantalla} = 0.158 \text{ Pulg} = 4.01 \text{ mm}$$

$$R \text{ Cable 6 hilos sin pantalla} = 2.005 \text{ mm}$$

$$A = \pi r^2$$

Fuente: Boylestad, 2004

$$A = \pi(2.005 \text{ mm})^2$$

$$A = 12.62 \text{ mm}^2$$

Cada cable ocupa un área de  $12.62\text{mm}^2$  en la canalización del sistema de intrusión para el cableado de los dispositivos, donde la máxima cantidad de conductores serán tres en la canalización de PVC conduit de 12.5 mm de diámetro interno.

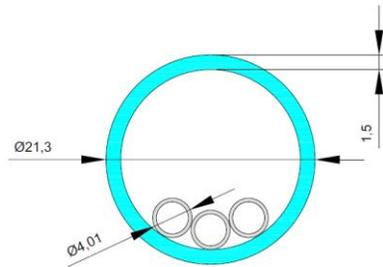
$$\text{Área total de conductores} = 12.62\text{mm}^2 \times 3$$

$$\text{Área total de conductores} = 37.89\text{mm}^2$$

### 3.5.4.2 Porcentaje de ocupación en tubería

$$\frac{(37.89\text{mm}^2 \times 100\%)}{263.02\text{mm}^2} = 0.144 \times 100$$

$$\% \text{ Ocupación} = 14.40 \%$$



Ocupación de cable de control 12.5mm (1/2") PVC.  
Dimensiones en milímetros

Figura 3.15: Tubería PVC 1/2" para la canalización del circuito de seguridad electrónica

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.5 Materiales y equipo para la instalación del sistema de intrusión

Para realizar la instalación del sistema de intrusión se requiere el equipo y material necesario especificado en las siguientes tablas:

Tabla 10: Lista de equipos para el sistema de intrusión para las radio bases

<b>Sistema de intrusión para RBS equipo</b>					
Ítem	Cantidad	Unidad	N° Parte	Marca	Descripción
1	1	Unidades	PC1832	DSC	Panel de alarma 1832 con gabinete
2	1	Unidades	36918	Legrand	Caja Atlantic 500x400x200mm IP 66
3	1	Unidades	SD-30W	Tyco	Sirena 30W 12 Vdc doble tono
4	1	Unidades	PK5500	DSC	Teclado alfa numerico
5	1	Unidades	TL250	DSC	Tarjeta de comunicación IP
6	3	Unidades	SM-226L	Seco Larm	Contacto magnetico pesado
7	4	Unidades	LC-171	DSC	Sensor de doble tecnologia PIR y MW para exterior
8	1	Unidades	TR40VA	DSC	Transformador de 120V AC a 16.5V AC 40VA
9	1	Unidades	BAT7.5	Dlux	Bateria de 12V DC 7.5 AH Dlux

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Lista de materiales para el sistema de intrusión en RBS

<b>Sistema de intrusión para RBS Materiales</b>				
Ítem	Cantidad	Unidades	Descripción	Marca
1	4	Unidades	Tubería conduit EMT de 1" UL	RYMCO
2	8	Unidades	Gaza EMT de 1" 2 huecos UL	Topaz
3	4	Unidades	Unión EMT 1" compresión UL	Topaz
4	4	Unidades	Conector EMT 1" compresión UL	Topaz
6	15	Metros	Cable UTP Cat 6 UL	Panduit
7	1	Unidades	Placas marfil rectangulares UL	Panduit
8	1	Unidades	Conectores Rj45 hembra Cat 6 UL	Panduit
9	2	Unidades	Conector Rj45 macho Cat 6 UL	Panduit
10	15	Unidades	Tubo PVC conduit tipo "A" 1/2" UL	Amanco
11	10	Unidades	Uniones PVC conduit tipo "A" 1/2"	Amanco
12	12	Unidades	Gazas EMT de 1/2" 2 huecos UL	Topaz
13	10	Unidades	Tubería conduit EMT de 1/2" UL	RYMCO
15	20	Unidades	Conectores EMT compresión 1/2" UL	Topaz
16	4	Unidades	Uniones EMT 1/2" compresión UL	Topaz
17	3	Metros	Cable THHN 12 AWG Color Rojo	Viacon
18	3	Metros	Cable THHN 12 AWG Color Blanco	Viacon
19	3	Metros	Cable THHN 12 AWG Color Verde	Viacon
20	1	Unidades	Toma corriente GFCI	Bticino
21	1	Unidades	Caja rectangular EMT UL 1/2" y 3/4"	Topaz
22	3	Unidades	Conector de ojo para cable 12 AWG	Conica
23	3	Unidades	Conector de cono con resorte p/ 12 AWG	3M
24	150	Metros	Cable 6 hilos para alarma sin shield	Honeywell

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Transmisión de datos al centro de monitoreo del ICE SOC

La transmisión se reanalizará por medio de la microondas o fibra óptica existente., La misma se enviará mediante el equipo RTN900 de Huawei a la red institucional para realizar la entrega de los paquetes de datos a la consola de monitoreo ubicado en el SOC.

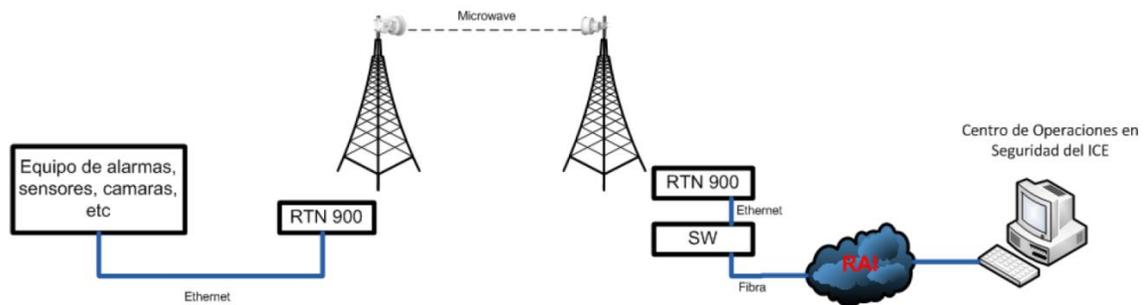


Figura 3.16: Topología de transmisión de video y datos.

Fuente: Elaboración propia

### 3.7 Diseño de puesta a tierra para las Radio Bases del ICE

Antes de realizar un diseño de puesta a tierra, se debe comprender la importancia de aterrizar los sistemas eléctricos, ya que ayudan a proteger al usuario y al equipo de la siguiente forma:

- Limita los transitorios de voltaje producidos por descargas atmosféricas.
- Protege al usuario y equipo por contactos no intencionales con líneas que tengan sobretensiones con respecto a la tierra 0V.
- Estabiliza y regula el voltaje del equipo con respecto al voltaje de referencia a tierra.
- Es requerido por NEC en el artículo 250.
- Garantiza la operación de los elementos de protección y opera el dispositivo de sobre corriente durante una falla eléctrica a tierra.

- Disipa cargas estáticas indeseables que provienen de la acumulación de las cargas electroestáticas.

La importancia de conectar los equipos a tierra mediante los electrodos es brindar una trayectoria cerrada a las descargas atmosféricas o fallas por contactos erróneos de las líneas de alimentación del equipo, para evitar así el choque eléctrico al usuario.

La resistencia total del sistema de puesta a tierra es la sumatoria algebraica de las siguientes partes del sistema:

- La resistividad del terreno.
- La resistencia del conductor que conecta el electrodo a tierra.
- La resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra física alrededor.

Al diseñar todo un sistema de puesta a tierra, se deberán tomar en cuenta diferentes factores como la composición del terreno, elementos a interconectar y dispositivos de protección necesarios. Se pretende establecer una unión equipotencial en cada uno de los elementos respetando las normas establecidas.

### **3.7.1 Resistencia del Terreno**

La resistencia del terreno se define como la oposición de la corriente eléctrica por el suelo físico, en la que esta resistencia va a depender de las composiciones del mismo.

Tabla 12: Valores de resistencia de terreno para la puesta a tierras según su aplicación.

UTILIZADA PARA	Valor máximo de resistencia de puesta a tierra $\Omega$
Estructuras de líneas de transmisión	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión $V \geq 115KV$	1
Subestaciones de media tensión de uso exterior en poste	10
Subestaciones de media tensión de uso interior	10
Protección contra rayos	4
Neutro de acometida en baja tensión	25
Descargas electrostáticas	25
Equipos electrónicos sensibles	5

Fuente: Ramírez y Cano, 2010

Para la puesta a tierra en sistemas de telecomunicaciones, se deberá usar un valor máximo de resistencia en terreno de 5 ohm, con el fin de garantizar la correcta protección de los equipos y personal técnico.

### 3.7.2 Cálculo de resistencia del terreno

La resistencia del terreno se calcula en la relación del paso de la corriente por un cubo de un metro de terreno. Se expresa en  $\rho = \Omega \cdot m$ . Fórmula a aplicar:

$$R(\Omega) = \frac{\rho}{1m}$$

Fuente: Ramírez y Cano, 2010

Para establecer la resistencia del terreno, se hace pasar una corriente (I) por metro cúbico de terreno donde la oposición a esa corriente establece la resistencia del terreno aplicando la ley ohm en la siguiente fórmula:

$$I = \frac{V}{R}$$

Fuente: Boylestad, 2004

Esa oposición a la corriente va a depender de compuestos químicos del terreno, salinidad, humedad, temperatura, estratigrafía, presión y variaciones estacionales.

En la siguiente figura se establece el paso de la corriente por el terreno:

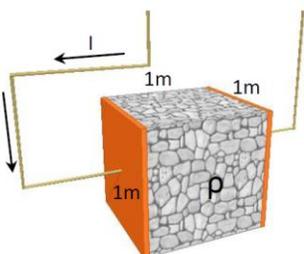


Figura 3.17: Ejemplo del paso de corriente eléctrica por el terreno

Fuente: Ramírez y Cano, 2010

En la siguiente tabla se establecen los valores estándar de resistencia para diferentes terrenos según composición:

Tabla 13: Resistencia de terrenos según su tipo

Naturaleza del terreno	Resistividad ( $\Omega\cdot m$ )
Terrenos pantanosos	< 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Fuente: Ramírez y Cano, 2010

### 3.7.3 Cálculo de la medición de la resistencia del terreno mediante el método Wenner

Para realizar una medición de la resistencia del terreno, se requiere utilizar el método Wenner, aceptado universalmente y desarrollado en 1915 por el Dr. Frank Wenner, miembro de la agencia de estándares de EE.UU. Es un método fácil de emplear y muy preciso para medir la resistencia de las capas profundas del suelo, por lo que su utilización es muy demandada para realizar estos cálculos.

El procedimiento consiste en medir la resistencia del terreno por medio de cuatro electrodos (picas) enterradas a una profundidad “b” espaciadas en línea recta a una distancia “a”, por medio de los electrodos (picas) externas se inyectará una corriente “I” y el potencial “V” por los electrodos internos será medido aplicando la ecuación de la ley de Ohm.

La resistencia medida corresponde al volumen del suelo cilíndrico de radio “a” encerrados entre los electrodos internos.

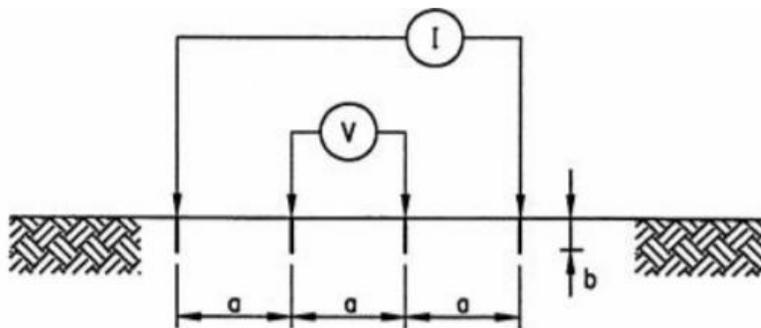


Figura 3.18: Método de medición Wenner

Fuente: EPM, 2014

Para establecer la variable de la resistividad del suelo con la profundidad del mismo, se cambia la distancia entre electrodos desde unos pocos metros hasta la distancia igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra para cubrir el área donde se instalará la malla.

### 3.7.4 Medición de la resistividad del terreno usando el FLUKE 1625 “Earth Ground Tester Kit”

Para realizar la medición de tierras donde se construirá la radio base, se recomienda usar el Fluke 1625, debido a su precisión de medición y a su cálculo automático. Puede efectuar la medición con tres a cuatro picas, por lo que el óptimo es el método de las cuatro picas en la que el equipo puede realizar mediciones de resistencia de terreno de  $0.020\Omega$  a  $19.99K\Omega$ . Es ideal para medir las diferentes resistencias de los terrenos, con una exactitud de un 2% en lectura y un 5% en errores de manejo del equipo. En la siguiente tabla se aprecian los valores de fábrica al utilizar las cuatro picas de medición:

Tabla 14: Parámetros de medición de Fluke 1625

#### R UN 4 polos medición de la resistencia de tierra (IEC 1557-5)

posición del conmutador	Resolución	Rango de medición	Exactitud	errores de manejo
R UN 4 polos	0,001 $\Omega$ a 10 $\Omega$	0,020 $\Omega$ a 19,99 k $\Omega$	$\pm$ (2% lectura + 3 d)	$\pm$ (5% lectura + 3 d)

Principio de medición: Corriente de tensión / tensión de medición

Medición	$V_m = 48 \text{ V ac}$
Corriente de cortocircuito	$> 50 \text{ mA}$
frecuencia de medición	128 Hz
Sonda de resistencia ( $R_s + R_{ES}$ )	Max. 100 k $\Omega$
tierra auxiliar resistencia del electrodo ( $R_{MARIDO}$ )	Max. 100 k $\Omega$
Error adicional de $R_{MARIDO}$ y $R_s$	$R_{MARIDO} \text{ k } \Omega \dots R_{s1} \text{ k } \Omega / R_{s4} \text{ } \Omega \dots 0,2\%$
El seguimiento de $R_s$ y $R_{MARIDO}$ con el indicador de error de selección de	
rango automática	

Fuente: Fluke Corp, 2015

### 3.7.4.1 Conexión de telurómetro para la medición de la resistividad del terreno

Para efectuar la medición de la resistencia del terreno se debe realizar la conexión del equipo y las 4 picas, como se observa en la siguiente figura:

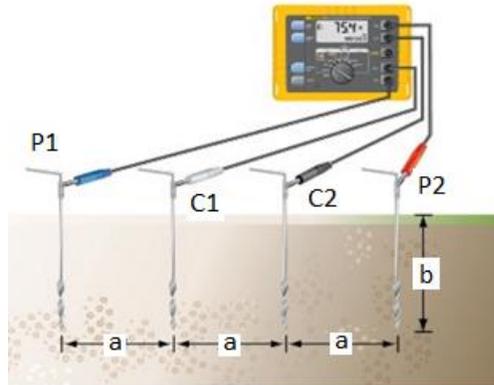


Figura 3.19: Conexión de Fluke 1625 para la medición de tierras

Fuente: Fluke Corp, 2015

Donde se insertarán cuatro electrodos en línea recta a una misma distancia (a) y profundidad de penetración (b), se calculará la resistividad del terreno mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Fuente: Duche Zabala y Umaña, 2013

Dónde:

$\rho$  = Resistividad promedio a la profundidad (a) en  $\Omega \cdot m$ .

$a$  = Distancia de electrodos en metros.

$b$  = Profundidad enterrada de picas.

$a$  = Distancia de electrodos en metros.

$R$  = Lectura de telurómetro Fluke 1625 en  $\Omega$ .

Sin embargo, si se tiene que:

$$a > 20b$$

Si la longitud ( $a$ ) es mayor a veinte veces ( $b$ ) la longitud de la profundidad de las picas, se utiliza la siguiente fórmula simplificada:

$$\rho = 2\pi a R$$

Fuente: Duche Zabala y Umaña, 2013

$\rho$  = Resistividad promedio a la profundidad ( $a$ ) en  $\Omega$ . m.

2 = Constante establecida.

$\pi \approx 3.1415 \dots$

$a$  = Distancia de electrodos en metros.

$R$  = Lectura de telurómetro Fluke 1625 en  $\Omega$ .

Por lo que indica, si las picas se insertan en el terreno 0.30 centímetros, la distancia de cada una debe ser mayor a seis metros para poder utilizar la fórmula simplificada.

### 3.7.4.2 Ejemplo de medición de tierras

En el terreno de 400 metros cuadrados con 20 m de frente y 20 m de fondo en Canoas de Alajuela, se obtuvo una resistencia de 3.02 ohm en el sitio donde se instaló cada pica de medición a 7 metros, en época seca.



Figura 3.20: Medición de tierra en Canoas de Alajuela para futura RBS.

Fuente: Elaboración propia

Planteo de datos:

$a = 7$  metros.

$$R = 3.02\Omega$$

$$\rho = 2\pi a^2 R$$

$$\rho = 2\pi \times 7^2 \times 3.02\Omega$$

$$\rho = 132.82\Omega \cdot m$$

La resistividad de  $132.82 \Omega \cdot m$  corresponde a un hemisferio de terreno de un radio de 7 metros de profundidad.

Se recomienda que se realicen diferentes mediciones de la resistividad del suelo para evitar resultados erróneos debido a que el terreno no es 100% homogéneo y puede que el suelo tenga alteraciones o paso de tuberías que modifiquen la medición del mismo.

Para la instalación de las picas de medición, se recomienda que las mismas sean instaladas de forma perpendicular al terreno.

### 3.7.5 Factores de mayor importancia que afecta la medición de la resistividad del terreno

#### 3.7.5.1 Humedad del suelo

Este es uno de los factores que podrían ocasionar un mal diseño en el sistema de puesta a tierra debido a que la saturación de agua en el suelo varía según las estaciones del año, por ejemplo, lo recomendable sería realizar la medición de la resistencia del terreno en época seca, debido a que es el escenario que nos brinda la medición de resistencia del terreno más alta.

La corriente eléctrica circula con mayor facilidad en los terrenos húmedos, debido a que las sales del agua crean una mayor conductividad en el terreno, haciendo que la resistencia al paso de la corriente sea menor en época lluviosa en el terreno a medir.

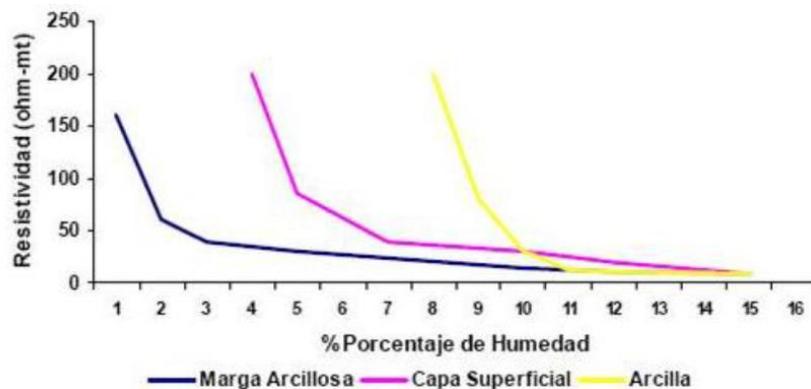


Figura 3.21: Variación de la resistencia del terreno en función al porcentaje de humedad.

Fuente: González Longatt, 2010

Analizando la anterior figura, se logra apreciar que la humedad del terreno es inversamente proporcional a la resistencia medida por lo que se debe tener en consideración para la realización de los cálculos.

### **3.7.5.2 Compactación del terreno.**

Cuando se realicen las mediciones, el terreno debe ser compactado para que la pica haga un buen contacto con el terreno y así asegurar la conductividad eléctrica del terreno, por ende, una menor resistencia.

La medición del terreno se deberá realizar una vez finalizados los movimientos de tierra en la construcción.

Se debe evitar realizar las mediciones si se nota suavidad en el terreno (material de relleno no compactado), pues esto produce que la pica posea pobreza de contacto y entonces arroje resultados erróneos a la hora de realizar la medición.

## **3.8 Diseño de malla para tierras para las RBS**

Se debe comprender que para un correcto diseño de puesta a tierra en donde la circulación o permanencia de personas en la radio base, se debe evitar las tensiones de paso o de contacto que superen los umbrales de soportabilidad. Cuando se presente una falla eléctrica, el diseño del sistema de puesta a tierra debe proteger en primera instancia la seguridad de las personas, por lo que se considera la corriente máxima de paso o contacto que puede soportar de manera segura el ser humano. Por esta razón, el diseño debe estar fundamentado por las tensiones máximas que soporta el ser humano.

### **3.8.1 Características que debe poseer una malla a tierra**

- La malla de puesta a tierra debe tener una resistencia baja y debe dar una característica sólida al sistema de una conexión a tierra.

- Debe conducir corrientes de falla sin provocar gradientes de potencial peligrosos en otras partes del sistema.
- Los cambios de clima no deben de generar variables de resistencia considerables en el sistema.
- La corriente de falla al pasar no debe de circular por más tiempo de lo establecido.

En la siguiente figura, se establecen los valores estándar a considerar para el diseño e instalación de la malla de puesta a tierra:

<p>Los espaciamientos típicos entre conductores (D) están en el rango:  <math>15\text{m} &gt; D &gt; 3\text{m}</math></p> <p>Las profundidades típicas (h) están en el rango:  <math>1.5\text{m} &gt; h \geq 0.5\text{ m}</math></p> <p>Los calibres típicos de conductores (ACM) están en el rango:  <math>500\text{ MCM} &gt; A_{\text{CM}} \geq 2/0\text{ AWG}</math></p> <p>El diámetro del conductor de la malla tiene un efecto despreciable sobre la tensión de malla.</p> <p>El área del sistema de puesta a tierra (A) es el factor más importante en la determinación de la resistencia de malla (Rg). Entre mayor sea A, menor será Rg y por lo tanto, es menor la elevación del potencial de tierra (GPR).</p>
--

Figura 3.22: Valores estándar a considerar para la malla del SPT.

Fuente: Herrera y Castro, 2003

### 3.8.2 Cálculo de cortocircuito de transformador (Icc)

Para calcular la corriente de cortocircuito, se utilizarán las características del transformador instalado en el sitio, debido a que el dicho cálculo es importante para el diseño de la malla del sistema de puesta a tierra.



Figura 3.23: Transformador de 34.5 Kv Primario y 120/240V Secundario.

Fuente: Elaboración propia

Para establecer las características del transformador y los datos para el cálculo de  $I_{cc}$ , se requieren los datos de placa del mismo. En la siguiente tabla, se establece la impedancia de los transformadores de distribución tipo poste de la marca Rymel:

Tabla 15: Transformador tipo poste de la marca Rymel, % de impedancia

POTENCIA (KVA)	CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO (VECES LA CORRIENTE NOMINAL)	IMPEDANCIA (%) (@240 V)	IMPEDANCIA (%) (@277 V)
5-25	40	2.5	2.88
50-100	35	2.86	3.3
167-500	25	4	4.62

**Nota:** Para esta tabla aplica la tolerancia especificada en la norma IEEE C57.12.00-2000, punto 9.2. Para unidades con valores de impedancia mayores a 2.5%, la tolerancia deberá ser de +/- 7.5%, mientras que para unidades con impedancia igual o menor a 2.5%, la tolerancia deberá ser de +/- 10%.

Fuente: RymelCR, 2016

En la Tabla 16 se muestran los valores generales de pérdidas de los transformadores monofásicos sumergidos en aceite.

Tabla 16: Perdidas en Watts para transformadores monofásicos sumergidos en aceite.

POTENCIA (KVA)	P NUCLEO (W)	P DEVANADOS (W)	P TOTAL (W)
10	48	2.5	2.88
15	63	180	245
25	90	300	390
37.5	128	400	258
50	150	510	660
75	200	710	910
100	270	950	1220
167	395	1450	1845
250	500	2050	2550
333	600	3000	3600
500	810	3800	4610

Fuente: RymelCR, 2016

Para obtener los valores de la siguiente tabla resumen, se establecen los parámetros usados por la empresa Rymel de Costa Rica, los cuales cumplen con la norma IEEE C57.12.00-2000 de las tolerancias del Porcentaje de impedancia para transformadores.

Tabla 17: Resumen del transformador a utilizar en un sitio típico para una RBS

<b>Valores nominales del transformador</b>	
Potencia nominal	25 KVA
Número de fases primario	1 Fase
Impedancia	2.5%
Voltaje primario	34.5 KV
Voltaje secundario	120/240 V
Corriente en el primario máxima	0.73A
Corriente en el secundario máxima	102.5A

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la corriente en el secundario:

$$I_{sec} = KVA/VLL$$

Fuente: Duche Zabala & Umaña, 2013

$$I_{sec} = \frac{25000VA}{240V}$$

$$I_{sec} = 104.5 A$$

Entonces se tiene que la corriente de corto circuito es:

$$I_{cc} = I_{sec} \times \left[ \frac{100}{Z\%} \right]$$

Fuente: Duche Zabala & Umaña, 2013

$$I_{cc} = 104.5A \times \left[ \frac{100}{2.5} \right]$$

$$I_{cc} = 4180 A$$

Por lo tanto, se cumple que la corriente de corto circuito constituye a 40 veces la corriente nominal del secundario.

### **3.8.3 Selección de conductor de la malla de puesta a tierra**

Tomando como ejemplo los datos medidos de resistividad  $\rho$  del terreno ubicado en Canoas de Alajuela para calcular el conductor de puesta a tierra se usará una fórmula. En este caso  $t$ , para el cálculo de conductor a utilizar, será la siguiente:

$$A_c = I \left( \frac{33t}{\log \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)} \right)^{1/2}$$

Fuente: Duche Zabala & Umaña, 2013

Donde:

$A_c$ = sección del conductor en milésimas circulares (CM)

$I$ = Corriente máxima de falla.

$T_m$ = Temperatura máxima en los nodos de la malla (450 °C con soldadura y 250 °C con sujeción de perno).

$T_a$  = Temperatura ambiente (30 °C).

$t$  = Tiempo máximo de despeje de la falla (s).

El tiempo máximo de despeje de falla se determina de la siguiente manera: “La selección de  $T_f$  y  $T_s$  puede resultar en la combinación más pesimista de factores de decremento de corrientes de falla y corrientes permitidas por el cuerpo humano. Valores típicos para  $T_f$  y  $T_s$  están en el rango de 0.25 s a 1 s” (Ramírez C. y Cano P, 2010, p. 21).

Tabla 18: Planteo de valores necesarios para el cálculo del conducto de la malla del SPT

Resistividad del terreno $\rho$	132.82 $\Omega$ .m
Área del terreno	400 m <sup>2</sup>
Tensión del primario	34.5KV
Corriente de cortocircuito	4 180 A
Tiempo máximo de falla	0.3 s

Fuente: Elaboración propia

$$Ac = I \left[ \frac{33t}{\log \left( \frac{Tm - Ta}{234 + Ta} + 1 \right)} \right]^{1/2}$$

$$Ac = 4180A \left[ \frac{33 * 0.3s}{\log \left( \frac{450^\circ C - 30^\circ C}{234 + 30^\circ C} + 1 \right)} \right]^{1/2}$$

$$Ac = 20454.14 \text{ CM}$$

La conversión de los CM a mm<sup>2</sup> se realizará de la siguiente manera:

$$1 \text{ CM} = 5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$20454.14 \text{ CM} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2}{1 \text{ CM}}$$

$$20454.14 \text{ CM} = 10.22 \text{ mm}^2$$

Al realizar una comparación con los conductores comerciales, se obtiene lo siguiente:

Tabla 19: Conductores en AWG y mm<sup>2</sup> comerciales.

AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL (AWG-KCM)	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )
18	0.8235
16	1.307
14	2.082
12	3.307
10	5.26
8	8.367
6	13.3
4	21.15
2	33.62
1	42.41
1/0	53.48
2/0	67.43
3/0	85.01
4/0	107.2
250	126.7

Fuente: Herrera y Castro H., 2003

Según los cálculos realizados, el calibre del conductor es el de su dimensión comercial más cercana al de menor resistencia. Por lo tanto, corresponde a 6 AWG; sin embargo, respetando los calibres típicos para la confección de la malla este es de 2/0 AWG de cable de cobre desnudo. Así se logra rigidez en la instalación y resistencia a la corrosión.

### 3.8.4 Cálculo de longitud del conductor para la malla del SPT

Para calcular la cantidad de conductor de la malla para la radio base –en la cual se define que va ser de tendencia cuadrada– se empleará la siguiente fórmula:

$$L_{conductor} = 2A + 2B$$

Fuente: Duche Zabala y Umaña, 2013

Donde:

A= Largo de la malla.

B= Ancho de la malla.

$$L_{conductor} = 2 \times 6\text{m} + 2 \times 6\text{m}$$

$$L_{conductor} = 24 \text{ m}$$

### 3.8.5 Cálculo de resistencia de la malla del SPT por el método Laurent y Niemann

Para realizar el cálculo de la resistencia de la malla, se utilizará el método de Laurent y Niemann. De esta manera, será posible conocer su valor aproximado. Con este fin se aplicará la siguiente fórmula:

$$R = 0,443\rho \left( \frac{1}{\sqrt{A\gamma}} + \frac{1}{L} \right)$$

Fuente: Duche Zabala y Umaña, 2013

Donde:

R es la resistencia en  $\Omega$ .

$A\gamma$  = Área de la malla de puesta a tierra en  $\text{m}^2$ .

$\rho$  = Resistividad del suelo en  $\Omega.m$ .

L= Longitud total del conductor en m.

$$R = 0.443(132.82\Omega.m) \left( \frac{1}{\sqrt{36m^2}} + \frac{1}{24m} \right)$$

$$R = 12.25\Omega$$

### 3.8.6 Cálculo de resistencia de la malla del SPT por el método Sverak

Se observa que el resultado anterior da lugar a un valor muy elevado. Por esta razón, se va a comprobar con el método de Sverak mediante la siguiente fórmula:

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_r} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

Fuente: Duche Zabala y Umaña, 2013

Donde:

$R_g$ = es la resistencia de la malla en  $\Omega$ .

A= Área de la malla de puesta a tierra en  $m^2$ .

Lt= Longitud total del conductor en m.

$\rho$  = Resistividad del suelo en  $\Omega.m$ .

h = Profundidad de la malla en m, la profundidad de la malla será de 0.8 metros.

$$R_g = 132.82\Omega.m \left[ \frac{1}{24m} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 36m^2}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.8m \times \sqrt{20 \times 36m^2}} \right) \right]$$

$$R_g = 10.70\Omega$$

Se comprueba que el resultado mediante este método es mayor a los  $5\Omega$  establecidos. A causa de este resultado, se deberá realizar un arreglo con electrodos con el fin de disminuir la resistencia de la malla de puesta a tierra.

### 3.8.7 Arreglo de la malla por medio de electrodos para el SPT

Para realizar una mejora de la resistencia total de la malla de puesta a tierra, se dispondrá de electrodos ubicados a una distancia de dos veces su longitud. Esta elección se debe a que estos son usados para descargas atmosféricas.

Su instalación se realizará de forma similar a la siguiente figura:

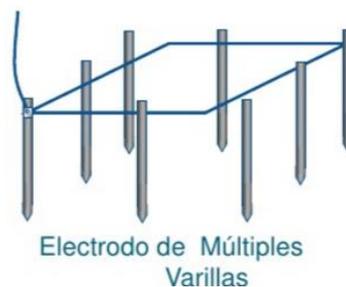


Figura 3.24: Ejemplo de electrodos para malla de puesta a tierra.

Fuente: Ingenia, 2006

### 3.8.8 Características del electrodo para la malla del sistema de puesta a tierra de la radio base

El electrodo tipo varilla debe tener núcleo de acero al carbono SAE 1010/1020, recubierto de cobre electrolítico brillante, libre de imperfecciones, con grado de pureza mayor al 95% y sin trazas de zinc. Además, debe estar listado por *Underwriters Laboratories (UL, ULC Listed)*.

Por otra parte, el electrodo debe cumplir con la siguiente tabla:

Tabla 20: Requerimientos del núcleo de acero del electrodo tipo varilla de acero / cobre

Código SAE o AISI	Resistencia a la tracción $R_m$		Límite de fluencia $R_e$		Alargamiento en 50 mm [%]	Dureza Brinell
	[kgf/mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[kgf/mm <sup>2</sup> ]	[MPa]		
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143

Fuente: Comité de Protecciones y Puesta a Tierra (CP&PT) ICE, 2013

El revestimiento de cobre sobre la varilla precisa ser aplicado electrolíticamente. En cualquier punto, el revestimiento de cobre se hace mediante electro depósito anódico. Así, se obtiene una película con espesor mínimo de 0,254 mm

En la siguiente tabla se observan las características de la varilla a usar:

Tabla 21: Características físicas de las varillas cooperweld de ERICO

Catalogo	Diámetro		Longitud (m)	Espesor del Recubrimiento de Cobre (mm)
	Normal Pulgadas	Real mm		
613400	3/4	17.30	3.0	0.254
613480	3/4	17.30	2.4	0.254
615800MEX01	5/8	14.30	3.0	0.254
615880	5/8	14.30	2.4	0.254
615950	5/8	15.88	1.5	0.254
615900MEX01*	5/8	15.88	3.0	0.254
693400MEX	3/4	19.05	3.0	0.254

\* Esta varilla cumple con la especificación CFE-56100-16.

NOTA: También producimos otros diámetros y longitudes sobre pedido.

Fuente: ERICO, 2016

Para la instalación de electrodos de descargas atmosféricas, la distancia de instalación horizontal debe tener una longitud específica cuando su objetivo es drenar el rayo a tierra. Esta debe ser dos veces la longitud del electrodo a instalar. Con ello, el rayo puede drenar a tierra sin que esta se sature.

En la siguiente figura se muestra el efecto que tiene el rayo en los electrodos si estos se colocan muy juntos. En este caso, sufren el efecto de apantallamiento.

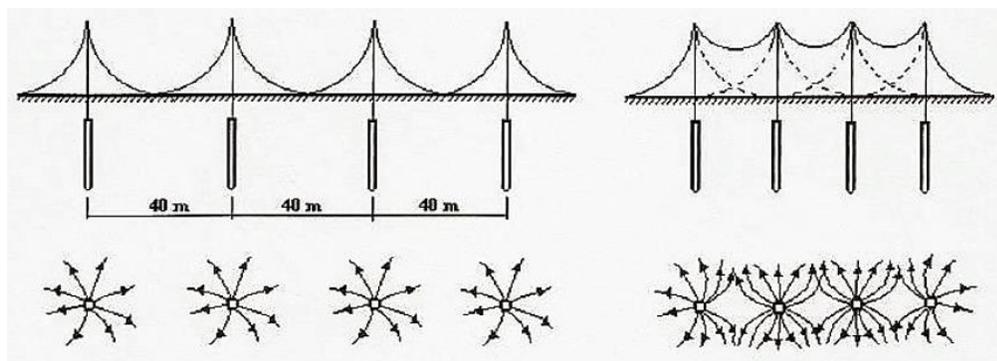


Figura 3.25: Efecto de apantallamiento de los electrodos

Fuente: Herrera y Castro Hernandez, 2003

Si no se estima una correcta longitud para la colocación de las varillas, el rayo drenara incorrectamente. Como consecuencia de esta mala disposición, se podrían generar diferenciales de potencial en el terreno capaces de dañar al técnico o al equipo electrónico.

### 3.8.9 Cálculos de resistencia de las varillas de puesta a tierra a instalar

Para determinar la resistencia de las varillas instaladas en paralelo, en la siguiente tabla se define la cantidad de varillas del sistema de puesta a tierra

Tabla 22: Características físicas y de instalación de la varilla del SPT.

<b>Varillas para sistema de puesta tierra</b>	
Cantidad a instalar	4 unidades
Longitud de la pica	3 metros
Diámetro de la pica	$\frac{3}{4}$ " (17.30mm)
Radio de la pica	8.65 mm
Profundidad de enterramiento de la pica	0.8m
Separación de cada pica	6 m

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.10 Fórmula para picas con la cabeza enterrada a una profundidad h, acopladas en paralelo

Con objetivo de calcular la resistencia de las varillas a instalar, se hará uso de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\rho}{2\pi nL} \ln \frac{h(2a+L)}{a(2h+L)} + \frac{\rho}{2\pi n(L+h)} \left[ \ln \frac{2h+L}{h} + \sum_1^{n-1} \ln \frac{D_n+h+L}{D_n} \right]$$

Fuente: Moreno Clemente, 1991, p. 8

Donde:

$\rho$ = Resistividad del terreno, en ohmios metro.



$$R = \frac{132.82\Omega \cdot m}{2\pi \times 4 \times 3m} \ln \frac{0.8m(2 \times 8.65 \times 10^{-3}m + 3m)}{8.65 \times 10^{-3}m(2 \times 0.8m + 3m)}$$

$$+ \frac{132.82\Omega \cdot m}{2\pi \times 4(3m + 0.8m)} \times \left[ \ln \frac{2 \times 0.8m + 3m}{0.8m} + \sum_1^{4-1} \ln \frac{6m + 0.8m + 3m}{6m} \right]$$

$$R = 1.761 \ln 60.66 + 1.390 \left[ \ln 5.75 + \ln \frac{49}{30} + \ln \frac{49}{30} + \ln \frac{49}{30} \right]$$

$$R = 11.71\Omega$$

### 3.8.11 Resistencia de la malla con cuatro electrodos

El conjunto de malla y las cuatro varillas de puesta a tierra se encuentran en paralelo con respecto a la tierra física. Tomando esto en cuenta, es posible definir la fórmula para calcular la nueva resistencia de la siguiente manera:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{\text{malla}}} + \frac{1}{R_{\text{varillas}}}$$

Fuente: Moreno Clemente, 1991

Por lo tanto, sería:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{12.25\Omega} + \frac{1}{11.71}$$

$$R_t = 5.98\Omega$$

En este resultado se aprecia una mejoría en la resistencia de la malla a través del arreglo de las varillas de puesta a tierra. Tal mejora fue (aproximadamente) del 50% . Sin embargo, aun así no se obtienen los 5 Ohm establecidos para las RBS. Por esto se recomienda lo siguiente:

- Ampliación del área a cubrir de la malla de puesta a tierra.
- Colocación de mayor cantidad de electrodos.

### 3.9 Recalculando malla del SPT de la radio base

Debido a los resultados obtenidos de cálculos anteriores, se procede a mejorar la malla de puesta a tierra a través de dos métodos: con mayor longitud de conductor y mayor cantidad de varillas. De esta manera, se obtienen resistencias más bajas capaces de cumplir con los 5 ohm o menos.

La nueva malla a calcular se presenta en la siguiente figura:

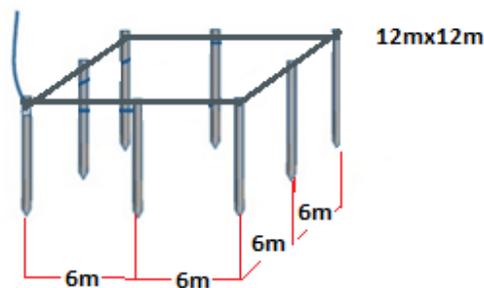


Figura 3.27: Cobertura de nueva malla a diseñar.

Fuente: Elaboración propia

La malla de puesta a tierra será de forma cuadrada, cuyos lados serán de 12 metros y contará con 8 electrodos de puesta a tierra.

#### 3.9.1 Cálculo de la resistencia de la nueva malla L=48 metros de puesta a tierra por el método Sverak

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

Fuente: Duche Zabala y Umaña, 2013

Donde:

$R_g$ = es la resistencia de la malla en  $\Omega$ .

A= Área de la malla de puesta a tierra en  $m^2$ .

$L_T$ = Longitud total del conductor.

$\rho$  = Resistividad del suelo en  $\Omega.m$ .

$h$  = Profundidad de la malla en m, la profundidad de la malla será de 0.8 metros.

$$Rg = 132.82\Omega.m \left[ \frac{1}{48m} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 144m^2}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.8mx\sqrt{20 \times 144m^2}} \right) \right]$$

$$Rg = 132.82\Omega.m \left[ \frac{1}{48m} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 144m^2}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.8mx\sqrt{20 \times 144m^2}} \right) \right]$$

$$Rg = 5.29\Omega$$

### 3.9.2 Cálculo de la resistencia de las 8 varillas del sistema puesta a tierra

Fórmula para picas con la cabeza enterrada a una profundidad  $h$ , acopladas en paralelo.

$$R = \frac{\rho}{2\pi nL} \ln \frac{h(2a+L)}{a(2h+L)} + \frac{\rho}{2\pi n(L+h)} \left[ \ln \frac{2h+L}{h} + \sum_1^{n-1} \ln \frac{D_n+h+L}{D_n} \right]$$

Fuente: Moreno Clemente, 1991, p. 8

Donde:

$\rho$ = Resistividad del terreno, en ohmios metro.

$L$ = Longitud de la pica, en metros.

$a$ = Radio de la pica, en metros.

$h$ = Profundidad de enterramiento de la cabeza de la pica, en metros.

$D_n$ = Separación de las picas en metros.

$n$ = Cantidad de picas a utilizar.

$$R = \frac{132.82\Omega \cdot m}{2\pi \times 8 \times 3m} \ln \frac{0.8m(2 \times 8.65 \times 10^{-3}m + 3m)}{8.65 \times 10^{-3}m(2 \times 0.8m + 3m)}$$

$$+ \frac{132.82\Omega \cdot m}{2\pi \times 8(3m + 0.8m)} \times \left[ \ln \frac{2 \times 0.8m + 3m}{0.8m} + \sum_1^{8-1} \ln \frac{6m + 0.8m + 3m}{6m} \right]$$

$$R = 0.880 \ln 60.66 + 0.70 \left[ \ln 5.75 + \ln \frac{49}{30} \right]$$

$$R = 7.24\Omega$$

### 3.9.3 Resistencia de la malla con los 8 electrodos

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{\text{malla}}} + \frac{1}{R_{\text{varillas}}}$$

Por lo tanto, sería:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{5.29\Omega} + \frac{1}{7.24\Omega}$$

$$R_t = 3.05\Omega$$

De esta manera, la resistencia de la malla del sistema de puesta a tierra se mantiene más abajo de los 5Ω. Así se obtiene una excelente resistencia al paso de la corriente de falla o las descargas atmosféricas.

### 3.9.4 Esquema típico para la instalación de un sistema de puesta a tierra

En la siguiente figura, se definen las conexiones y la confección del sistema de puesta a tierra en las radio bases de telefonía celular:

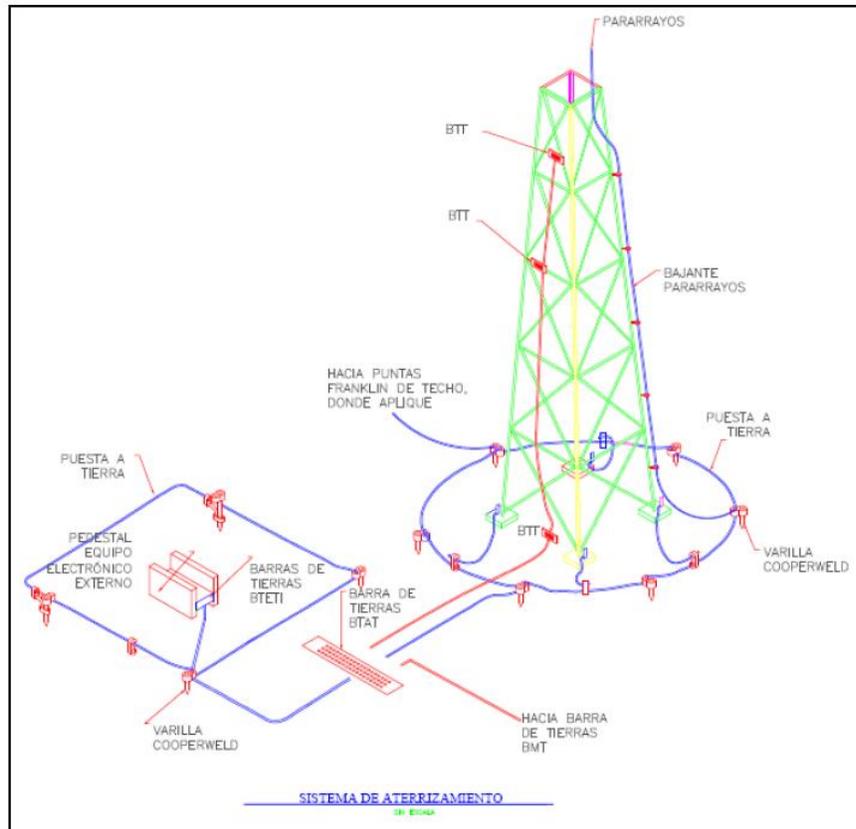


Figura 3.28: Sistema de puesta a tierra de una radio base típica.

Fuente: Comité de Protecciones y Puesta a Tierra, ICE, 2013

### 3.9.5 Materiales necesarios para la puesta a tierra de la torre de telecomunicaciones

En la tabla ubicada al final de este apartado se establecen los materiales típicos necesarios para la puesta a tierra de una torre de telecomunicaciones. Sin embargo, se debe aclarar que cada sitio es totalmente diferente. Por tal motivo, las cantidades de materiales necesarios estará sujeta a diferentes variables, como la resistividad del terreno, y deben de ser determinadas para un correcto diseño de puesta a tierra de una radio base de telefónica celular. En este caso, se contemplan los materiales necesarios para la instalación de la radio base de Canoas de Alajuela.

Tabla 23: Materiales necesarios para la puesta a tierra de una radio base de telefonía celular.

<b>Sistema de puesta a tierra para RBS materiales</b>				
Ítem	Cantidad	Unidades	Descripción	Marca
1	8	Unidades	Varilla para la puesta a tierra de 3m (d=3/4")	Erico
2	55	metros	Cable de cobre desnudo trenzado de 2/0 AWG	Viakon
3	16	Unidades	Soldadura exotérmica 65PLUSF20, CADWELD® PLUS	Erico
4	37	metros	Cable de cobre desnudo trenzado de 2/0 AWG	Viakon

Fuente: Elaboración propia

### 3.10 Diseño de los cables para equipos y otros elementos para la puesta a tierra

Para determinar el cable a utilizar, se debe delimitar el área de trabajo: la distribución de los equipos y los elementos a conectar. Estos son:

- Acometida eléctrica y alimentadores de corriente.
- Cerramiento.
- Torre de comunicaciones.
- Equipo electrónico de radio y de seguridad electrónica.
- Iluminación y balizamiento.

#### 3.10.1 Método de interconexión equipos y elementos para el SPT

Las radio bases de telefonía celular, debido a sus elementos interconectados, requieren utilizar el método de la conexión a tierra mediante un único punto. Así es posible mantener equilibrado el potencial a lo largo del sistema y se evitan sobretensiones peligrosas en los dispositivos, que puedan ser causadas por fallas eléctricas, descargas atmosféricas o electricidad estática.

Este método se deberá realizar mediante una barra principal de conexión a tierra que albergue cada uno de los sistemas a proteger.

En la siguiente figura se observan los diferentes equipos a conectar a tierra:

## SISTEMA DE TIERRA DE PUNTO ÚNICO

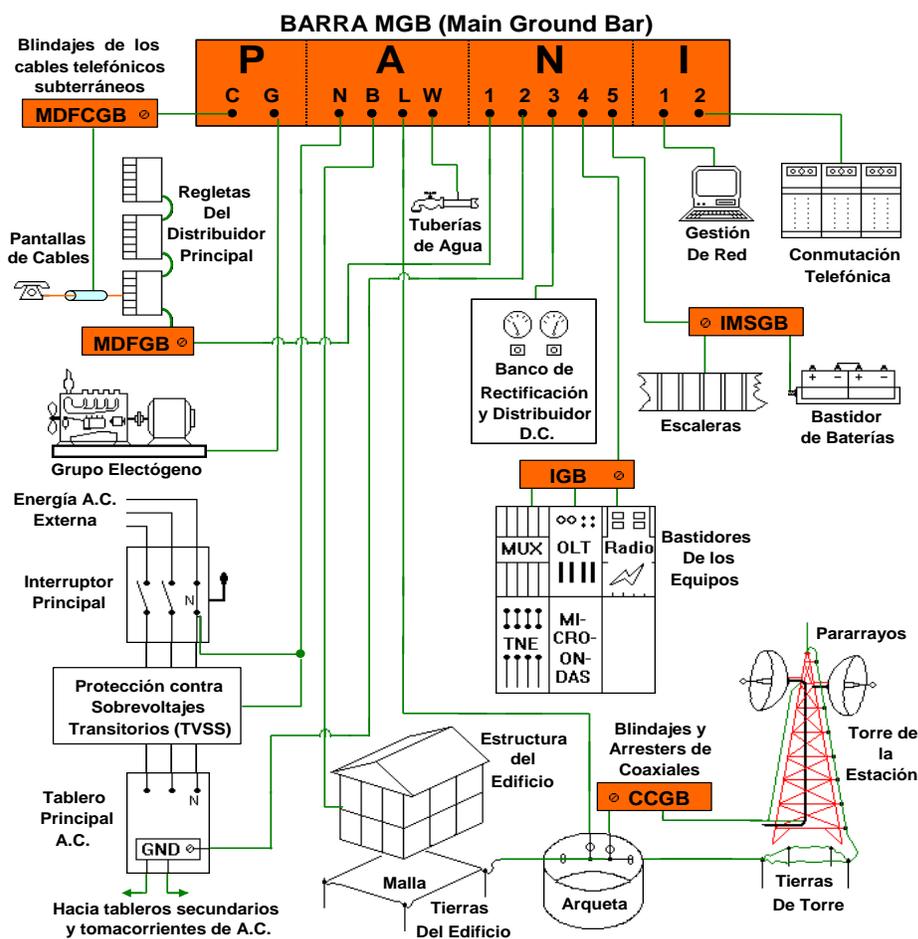


Figura 3.29: Ejemplo de interconexión de sistemas

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2001

En el caso de radio bases ubicadas en centrales telefónicas, se deberá realizar una malla de puesta a tierra para el edificio que sea independiente a la torre de telefonía celular. Ambas deberán de estar unidas para poder evitar potenciales peligros que afecten a las personas y a los equipos electrónicos. En la siguiente figura se establece dicha conexión:

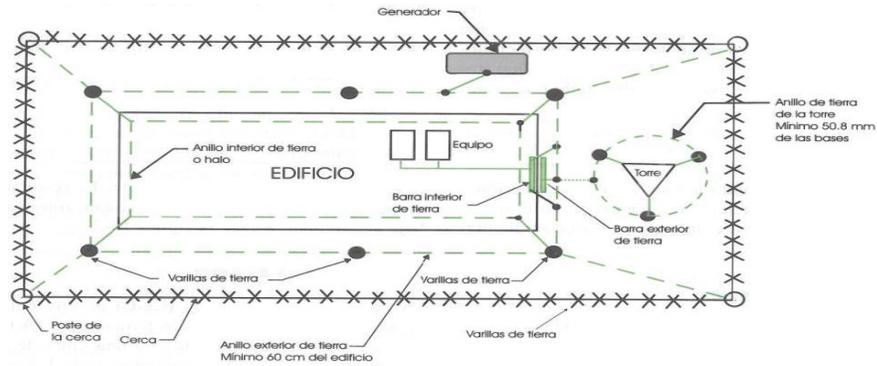


Figura 3.30: Anillo de puesta a tierra

Fuente: Díaz, 2001

### 3.10.2 Dimensionamiento de bajante de pararrayos

Para determinar el conductor vertical de bajante de rayo, es necesario establecer una resistencia objetivo, tomada de la siguiente tabla y en relación con la distancia y el calibre del conductor.

Tabla 24: Longitud máxima del conductor de cobre según la resistencia objetivo.

Calibre conductor	Resistencia CD [Ω/km]	Longitud máxima [m]	
		Resistencia objetivo	
		0.005 Ω	0.010 Ω
6 AWG	1.3480	3	6
4	0.8478	5	11
3 <sup>(2)</sup>	0.6726	7	14
2	0.5331	9	18
1 <sup>(2)</sup>	0.4229	11	23
1/0	0.3353	14	29
2/0	0.2631	18	37
3/0	0.2087	23	48
4/0	0.1657	30	60
250 kcmil	0.1444	34	69
300	0.1204	41	83
350	0.1030	48	97
400	0.0902	55	110
500	0.0722	69	138
750	0.0482	103	207

Notas: (1) Características del conductor de cobre al descubierto a 20°C.  
(2) Cuando el calibre sea de una medida no disponible comercialmente, se debe utilizar el inmediato superior.

Fuente: Comité de Protecciones y Puesta a Tierra, ICE, 2013

En la siguiente figura se establecerá la medida de altura típica de una radio base. Esto permite tener el parámetro de longitud de cable a utilizar:

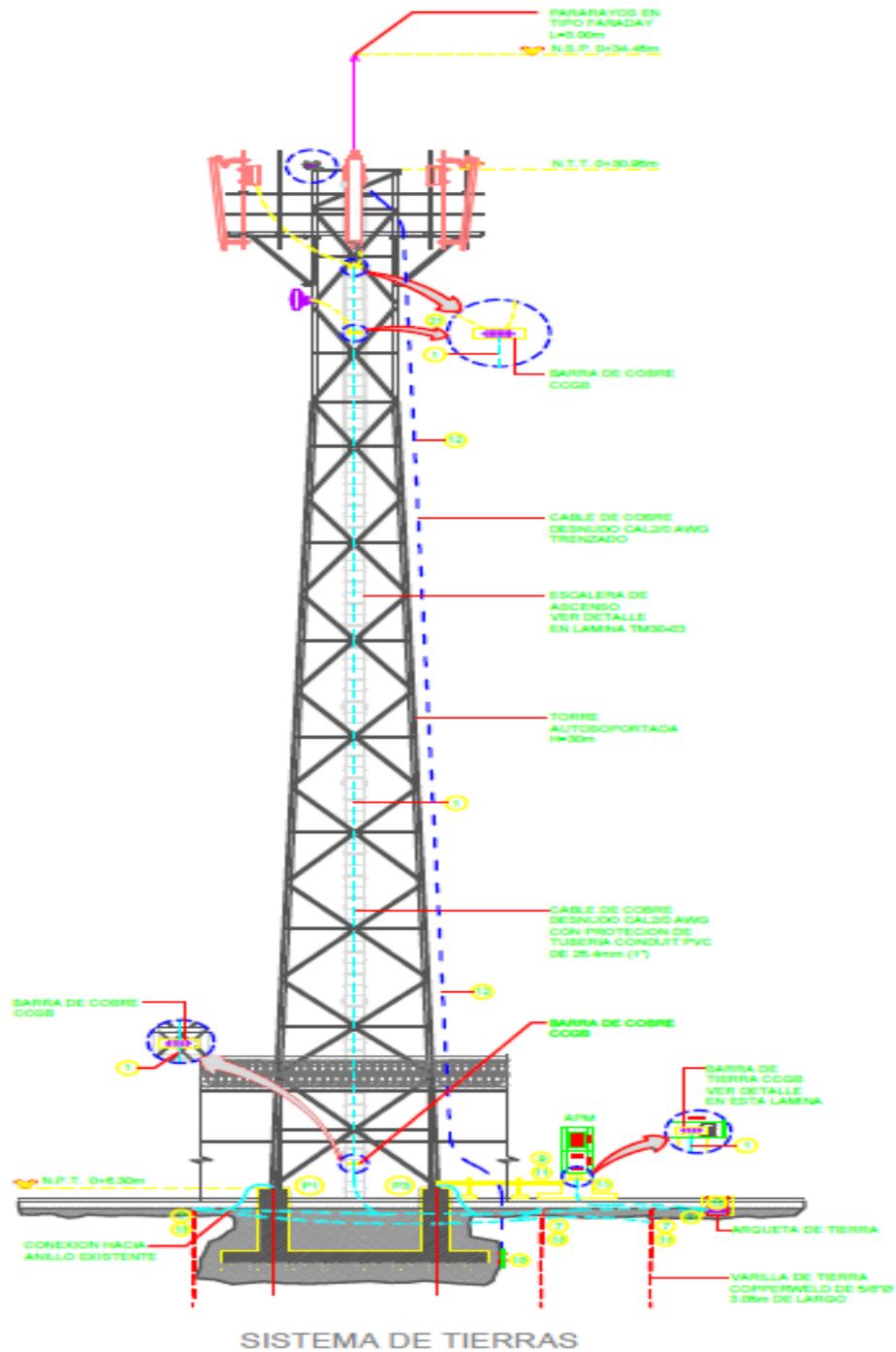


Figura 3.31: Radio base típica auto soportada de altura de 30 metros SNPT

Fuente: ICE, 2007

En el caso del cable de bajante para rayos se utilizará –como mínimo– 2/0 AWG en cobre trenzado. Así se establecerá una resistencia objetivo de  $0.010\Omega$  con una distancia máxima de 37 metros en caída vertical. Esta cumple a cabalidad con la altura de la radio base, cuya medida es de 30 metros.

Cable a utilizar para el pararrayos:

Tabla 25: Cables recomendados para bajantes de pararrayos



**CABLE VIAKON® PARA PARARRAYOS**

Número de Artículo	Designación	Metal	Clase	Número de hilos	Diámetro total aproximado	Peso total aproximado
	mm2				mm	kg / km
G080	29,0	Cu	I	29	9,7	275,7
K467	32,0	Cu	I	32	12,0	307,4
V141	50,0	Al	I	24	13,7	139,1
J015	58,0	Cu	II	28	13,7	532,6
<b>Q558</b>	<b>67,4</b>	<b>Cu</b>	<b>II</b>	<b>32</b>	<b>17,0</b>	<b>618,1</b>
V661	85,0	Cu	II	32	19,1	781,8
V137	90,0	Cu	II	28	17,3	846,4
AV53	107,0	Cu	II	32	21,4	982,3

NOTA: Datos aproximados sujetos a tolerancias de manufactura.

Fuente: Viakon, 2016

El bajante deberá ir unido a una punta franklin que canalizará la corriente del rayo a tierra. El mismo deberá formar un cono desde la proyección perpendicular del suelo. Se definirá una generatriz que será la línea de protección de la RBS contra el rayo.

En la siguiente figura se establece el ángulo de protección de la punta franklin:

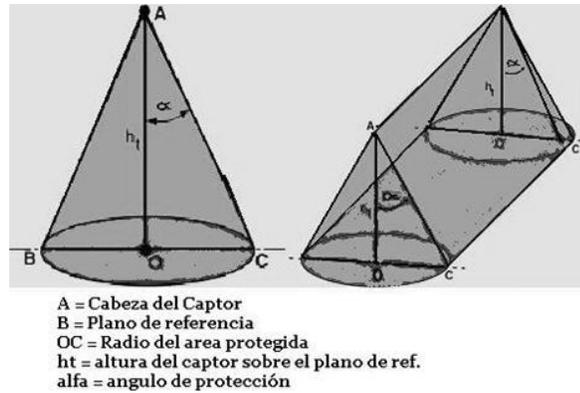


Figura 3.32: Ángulo de protección de la punta franklin

Fuente: Huete Serrano, 2008

Por lo tanto, se establece que se instalará una punta franklin captadora múltiple, tal y como se observa en la siguiente figura:

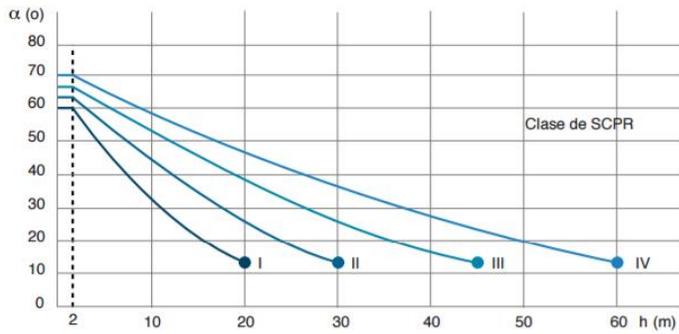


Figura 3.33: Punta captadora múltiple de acero inoxidable

Fuente: Ingesco, 2016

La punta protectora, si se instala a una altura de 30 metros, cubrirá el área de la RBS, según se establece en la siguiente figura:

a) Método ángulo de protección ( $\alpha$ )



- NOTA 1. No es aplicable para valores superiores a los marcados con ●. En estos casos sólo se aplican métodos de la esfera rodante y de la malla.
- NOTA 2. h (m) es la altura del captador por encima del plano de referencia de la zona a proteger.
- NOTA 3. El ángulo de protección ( $\alpha$ ) no varía para valores de h inferiores a 2 m.

b) Método de la esfera rodante y malla:

Clase de SCPR	Radio de esfera rodante (m)	Tamaño de la malla (m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

Figura 3.34: Parámetros de protección de la punta captora múltiple

Fuente Ingesco, 2016

### 3.10.3 Diseño de conductores para la conexión tierra, según la acometida

Para el diseño del conductor de puesta a tierra de la acometida se tomará como referencia la siguiente tabla del NEC 2008, la cual establece los calibres mínimos, según sea la acometida a utilizar.

Tabla 26: Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo <sup>a</sup> (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre <sup>b</sup>
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1 100	Más de 900 hasta 1 750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1 750	3/0	250

Notas:

1. Cuando se usan conjuntos múltiples de conductores para la entrada de la acometida como se permite en la sección 230.40, Excepción No. 2, el calibre equivalente del conductor más grande de entrada de la acometida se debe determinar por la mayor suma de las áreas de los conductores correspondientes de cada conjunto.

2. Cuando no hay conductores de entrada de la acometida, el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra se debe determinar por el calibre equivalente del mayor conductor de entrada de la acometida exigido para la carga que se va a alimentar.

<sup>a</sup> Esta Tabla también se aplica a los conductores derivados de sistemas de c.a. derivados separadamente.

<sup>b</sup> Véanse las restricciones de la instalación, en la Sección 250.64(A).

Fuente: NFPA 70®, 2008

### 3.10.4 Diseño de conductores para la conexión de tierra, según el circuito a alimentar

El diseño del conductor de tierra según el alimentador a utilizar para los circuitos eléctricos involucra la necesidad de un conductor específico. Este se determinará según la siguiente tabla.

Tabla 27: Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra según los alimentadores de los ramales de los circuitos

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: NFPA 70®, 2008

### 3.11 Diseño del sistema eléctrico autosustentable para las radio bases del ICE

Se realizará el diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar de energía eléctrica las radio bases que se encuentren ubicadas en parques nacionales o zonas donde no se cuente con fluido eléctrico.

Como se puede observar en la siguiente figura, existe una ausencia de cobertura celular en el Parque Nacional Rincón de la Vieja.

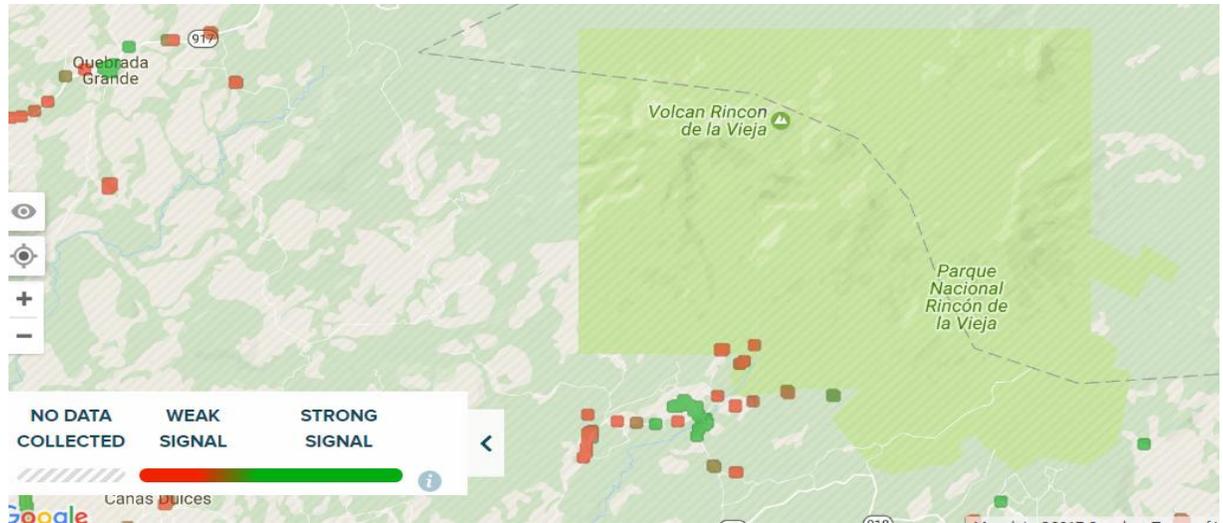


Figura 3.35: Cobertura celular del ICE en la ruta al Parque Nacional Rincón de la Vieja coordenadas  $10^{\circ}47'19.9''N$   $85^{\circ}17'21.3''W$

Fuente: (opensignal.com, 2005)

Debido al faltante de telefonía celular entre los habitantes, los turistas nacionales y los extranjeros –la principal fuente de ingresos de la zona– se ven afectados. Por este motivo, se propone sustentar la radio base con energía eléctrica fotovoltaica.

### 3.11.1 Cálculos para el diseño del sistema fotovoltaico

Para realizar los cálculos de sistema fotovoltaico, es imprescindible el estudio de la zona donde se va a brindar la solución. Los siguientes son factores que se deben considerar:

#### 3.11.1.1 Estimación de radiación solar

Para realizar la estimación de radiación solar, se deberá comprender que la misma es afectada por los siguientes parámetros:

- Latitud del lugar.
- Tipo de superficie.
- Cantidad de cielo cubierto de nubes.
- Contenido de vapor de agua y de aerosoles de la atmósfera.
- Día del año (posición de la órbita terrestre).

En la siguiente figura se estima la radiación solar media anual en Costa Rica:

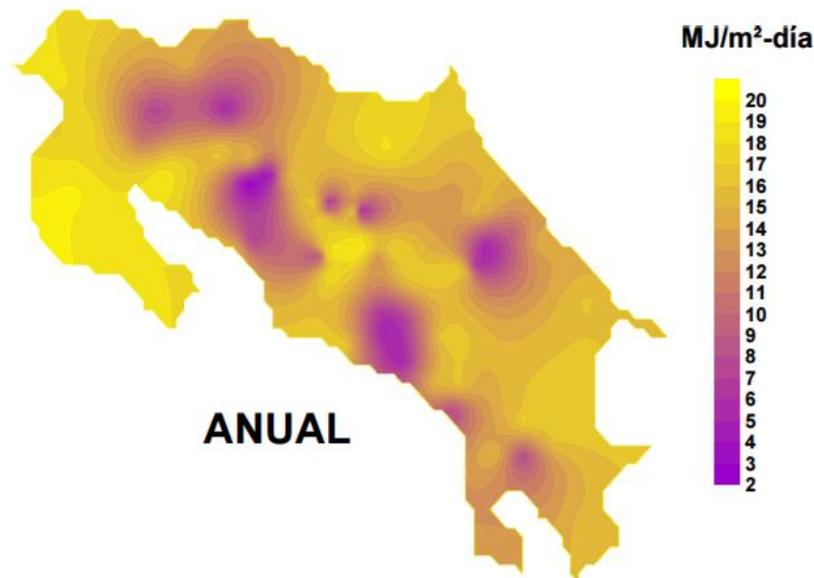


Figura 3.36: Radiación solar global diaria media anual de Costa Rica

Fuente: (WRIGHT GILMORE, 2006)

El mapa anterior de irradiación solar de Costa Rica está dado en  $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$ , el cual –dependiendo de su ubicación– varía de  $2\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$  a  $20\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$ . Por esto, es muy importante definir la zona de trabajo.

### 3.11.2 Ubicación de Radio Base para instalación del sistema fotovoltaico

En este caso, la zona de ubicación de la radio base de telefonía celular se realizará en el Parque Nacional Rincón de la Vieja.

### 3.11.3 Ubicación del parque nacional

Se ubica en el sector de Pailas, a 25 km de la ciudad de Liberia y a 20 km de calle de lastre en el distrito de Curubandé.

### 3.11.4 Radiación solar aplicable a la zona del parque nacional

En la siguiente tabla se analizan los diferentes valores diarios medios anuales de la radiación solar en Costa Rica. En caso de requerirse diferentes zonas del país, será necesario consultar los anexos donde se ubicarán las tablas según la zona.

Tabla 28: Valores diarios medios anuales de la radiación solar global y el potencial total por distrito en Costa Rica

Distrito	Cantón	Provincia	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Longitud (W)	Latitud (N)	Radiación global (MJ/m <sup>2</sup> .día)	Potencial (EJ/año)
MERCEDES	HEREDIA	HEREDIA	20496	4,25	-84,13507	10,00751	18,0	0,028
LLORENTE	FLORES	HEREDIA	6211	1,89	-84,16221	9,99862	18,0	0,012
SAN JOAQUIN	FLORES	HEREDIA	348	2,71	-84,15582	10,00739	18,0	0,018
HEREDIA	HEREDIA	HEREDIA	6823	2,99	-84,11825	9,99941	17,0	0,019
SAN FRANCISCO	HEREDIA	HEREDIA	12855	6,39	-84,11705	9,98707	16,0	0,037
CONCEPCION	SAN ISIDRO	HEREDIA	2456	7,98	-84,04147	10,04324	16,2	0,047
ANGELES	SAN RAFAEL	HEREDIA	7329	21,17	-84,09029	10,07139	16,0	0,124
CONCEPCION	SAN RAFAEL	HEREDIA	4699	22,76	-84,07125	10,04652	15,0	0,125
TURES	SANTO DOMINGO	HEREDIA	2933	3,85	-84,05857	9,99326	15,0	0,021
SANTO TOMAS	SANTO DOMINGO	HEREDIA	5603	3,51	-84,07760	9,97980	15,0	0,019
SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	HEREDIA	5263	0,79	-84,09251	9,98086	15,0	0,004
SAN VICENTE	SANTO DOMINGO	HEREDIA	5368	2,86	-84,08238	9,99197	15,0	0,016
SAN PABLO	SAN PABLO	HEREDIA	22208	8,33	-84,09573	9,99315	15,0	0,046
SANTIAGO	SAN RAFAEL	HEREDIA	7535	1,52	-84,10192	10,00708	17,5	0,010
SAN MIGUEL	SANTO DOMINGO	HEREDIA	6167	5,89	-84,05945	9,98454	15,0	0,032
PARACITO	SANTO DOMINGO	HEREDIA	1617	1,16	-84,03057	10,00309	15,0	0,006
PARA	SANTO DOMINGO	HEREDIA	2851	2,80	-84,03777	10,00549	15,0	0,015
SAN JOSE	SAN ISIDRO	HEREDIA	5630	11,39	-84,02253	10,03368	16,0	0,067
SANTA ROSA	SANTO DOMINGO	HEREDIA	6731	4,26	-84,10108	9,97422	17,0	0,026
ULLOA	HEREDIA	HEREDIA	6359	11,54	-84,13774	9,97668	16,0	0,067
SAN FRANCISCO	SAN ISIDRO	HEREDIA	4187	4,56	-84,06764	10,01130	15,5	0,026
SAN ISIDRO	SAN ISIDRO	HEREDIA	4974	2,65	-84,05516	10,01456	15,5	0,015
CADAS	CADAS	GUANACASTE	19622	193,52	-85,10589	10,44631	16,5	1,165
MOGOTE	BAGACES	GUANACASTE	3211	181,62	-85,27470	10,70151	9,5	0,630
<b>CURUBANDE</b>	<b>LIBERIA</b>	<b>GUANACASTE</b>	<b>1978</b>	<b>80,95</b>	<b>-85,39275</b>	<b>10,73441</b>	<b>14,2</b>	<b>0,420</b>

Fuente: (Wright Gilmore, 2006)

Por lo tanto, para la zona del Parque Nacional Rincón de la Vieja se tiene un índice de 14.2 MJ/m<sup>2</sup>.día de radiación global. Este valor se deberá convertir a kWh/día.m<sup>2</sup>

### Conversión de unidades

Se entiende que el Julio es la unidad del SI para definir el trabajo realizado por la fuerza de 1 newton en un desplazamiento de 1 metro, sin embargo, es igual a 1 vatio con intensidad a 1 amperio en un tiempo de 1 segundo.

En la siguiente figura se observa la equivalencia de 1MJ a kWh

Métrico	
kWh	0,2778
MJ	1

Figura 3.37: Equivalencia de 1MJ a kWh

Fuente: (ConversionUnit, 2017)

Conversión de MJ/m<sup>2</sup>.día -----x 0.2778-----kWh/m<sup>2</sup>.día

Por lo tanto, se entiende que 14.2MJ/m<sup>2</sup>.día es igual a 3.94476 kWh/m<sup>2</sup>.día

### 3.11.5 Estimación de cargas de una radio base

Para este cálculo, es importante contemplar las diferentes cargas en la radio base de telefonía celular. Estas comprenden lo siguiente.

- APM 30 de Huawei (3G)
- Sistemas de seguridad electrónica propuesta
- Circuitos de iluminación y balizamiento
- Circuito de 110 V ac prevista para laptop

En la siguiente figura se presentarán las cargas necesarias para la operación de una RBS típica.

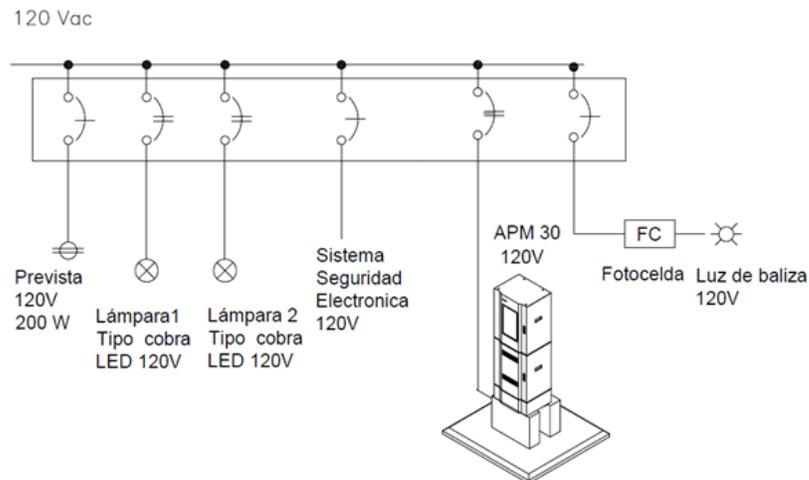


Figura 3.38: Cargas a conectar para la operación de una RBS y su voltaje de alimentación.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11.6 Desglose de las cargas a conectar

#### 3.11.6.1 Tomacorriente prevista a un voltaje de 110 V y Potencia de 200 W

En toda radio base es necesario realizar una prevista de 110 V para la conexión de pequeños artefactos. En este caso, se realiza la conexión de una computadora portátil en la que es necesario reservar 200 W para la configuración del equipo para telefonía celular.

En la siguiente figura se señala la carga típica de una computadora portátil.

Artefacto eléctrico	Potencia		Equivalencias en focos incandescentes (100 W)
	Watts	Kilowatts	
Cocina eléctrica (4 hornillas+horno)	4500	4,50	45
Secadora de ropa	4200	4,20	42
Ducha eléctrica	3700	3,70	37
Hervidor de agua	1700	1,70	17
Terma eléctrica	1500	1,50	15
Batidora	100	0,10	1
Luces de navidad (200 bulbos)	100	0,10	1
Computadora	100	0,10	1
Televisor 32" - LCD	100	0,10	1
Ventilador	100	0,10	1

Figura 3.39: Equivalencias de consumo en Watts.

Fuente: (Diario Gestión , 2015)

Sin embargo, existen modelos de computadoras que varían su consumo del promedio establecido. Por esto se determina que la potencia requerida o reservada con un factor de protección deberá ser de 200 W.

#### 3.11.6.2 Lámpara led tipo cobra (Criptón LED de Sylvania)

En la siguiente figura se establece la carga de las lámparas tipo cobra led a utilizar en las radio bases. Cada lámpara corresponde a 54 W.



Figura 3.40: Luminara CRYPTON LED

Fuente: Sylvania, 2017

### 3.11.6.3 Sistema de seguridad electrónica

La potencia utilizada para el sistema de seguridad electrónica corresponde a la suma de la potencia del sistema de cámaras de video vigilancia y la del sistema contra robo. Se distribuye de la siguiente manera:

Para la alimentación de las cámaras, dependerá del inyector PoE. Este corresponde a 19.6W por cada uno de los inyectores, según la norma de IEEE 802.3af.

El sistema contra robo corresponde a 50W y es el resultado de la suma de cada de uno de los elementos a conectar. Todos estos son dispositivos de bajo consumo.

### 3.11.6.4 Sistema de telefonía celular APM 30 de Huawei

Para la telefonía celular se requiere alimentar el APM 30. Esta es la carga más elevada del tablero de distribución: 3855 W.

En la siguiente figura se observa el consumo del APM 30

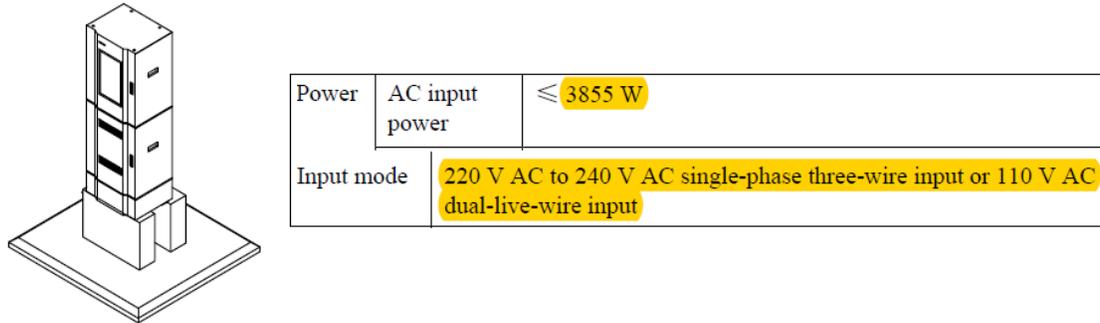


Figura 3.41: Consumo eléctrico del APM 30 de Huawei

Fuente: Huawei Technologies Co. LTD., 2007

### 3.11.6.5 Sistema de balizamiento

Este corresponde a la iluminación de seguridad que se ubica en la altura máxima de la torre de telefonía celular con una potencia máxima de 20W. En la siguiente figura se observa la carga de la luz de baliza para torres:



Figura 3.42: Consumo eléctrico de la luz de baliza.

Fuente: Rawelt, 2015

### 3.11.7 Resumen de las cargas conectadas a una radio base típica

En la tabla siguiente se observa: la cantidad y tipos de cargas conectadas en una radio base prototípica, su potencia promedio –como la potencia total que demanda el sistema

fotovoltaico y el consumo eléctrico diario aproximado– y la estimación de horas de uso para cada uno de los diferentes equipos a alimentar.

Tabla 29: Consumo en watts/hora en un día de los sistemas de la radio bases de telefonía celular

A-Cantidad	B-Sistema o equipo	D-Potencia (W)	E-Potencia (W) (AxD)	F-Horas de uso (h)	G-Energía(W/h) (FxG)
1	Sistema prevista laptop	200	200	2	400
2	Lampara led tipo cobra (Cripton LED de Silvania).	54	108	12	1296
1	Sistema de seguridad electronica	50	50	24	1200
1	Sistema telefonica celular APM 30	3855	3855	24	92520
1	Sistema de balizamiento	20	20	12	240
<b>Total Wh/d</b>					<b>95 656</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.11.8 Cálculo de arreglo solar para determinar los paneles fotovoltaicos a utilizar

Este es uno de los puntos más importante, debido a que mediante este cálculo se determinará la cantidad de paneles solares para convertir la energía solar a eléctrica.

Para el cálculo de los paneles solares necesarios se utilizará la siguiente formula:

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

Fuente: Carrillo Yáñez y Morales López, 2009

Donde:

M = Número de paneles fotovoltaicos.

Ec = Energía consumida diariamente por las cargas (Whr/día).

Fs = Factor de sobre dimensionamiento del sistema (10% a 20%)

Im = Corriente del módulo solar (máxima insolación 1Kw/m2)

Vm = Voltaje promedio de operación del módulo solar

Hp = Radiación de la localidad en el mes de menor insolación expresada en horas máximas de insolación.

NInv. = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en:

C.A. valores típicos 0.8 a 0.9

C.D. valor es de 1

$N_{Bat}$  = Eficiencia de carga de la batería 0.81 a 0.9 “0.81”.

Planteo de datos

$E_c = 95\,656\text{ Wh/día}$

$F_s = 20\%$

$I_m = 5.65\text{ A}$

$V_m = 57.6\text{ Vdc}$

$H_p = 3.94476\text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$

$N_{Inv} = 0.81$

$$M = \frac{(95656\text{Wh/día}) \times 1.20}{(5.65\text{A} \times 57.6\text{Vdc} \times 3.94476\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día} \times 0.81)}$$

$$M = 110.38$$

$$M \approx 111\text{ Paneles}$$

En la siguiente figura se establecen los paneles solares a utilizar para el diseño del sistema fotovoltaico.

Características Eléctricas (a CS)					
	Potencia máxima	(Pmax)	[W]	325	
	Tensión para máxima potencia	(Vmp)	[V]	57.6	
	Corriente para máxima potencia	(Imp)	[A]	5.65	
	Tensión en circuito abierto	(Voc)	[V]	69.6	
	Corriente en cortocircuito	(Isc)	[A]	6.03	
	Protección contra sobrecorriente		[A]		15
	Tolerancia de potencia a la salida		[%]		+10/-0*
	Voltaje máximo del sistema		[V]		1000

Figura 3.43: Panel fotovoltaico VBHN325SJ47 Panasonic

Fuente: Panasonic Corporation, 2016

Para poder determinar el área mínima libre de sombras, se tomarán en cuenta las dimensiones de cada panel solar, establecidos en la siguiente figura:

### Dimensiones y Peso

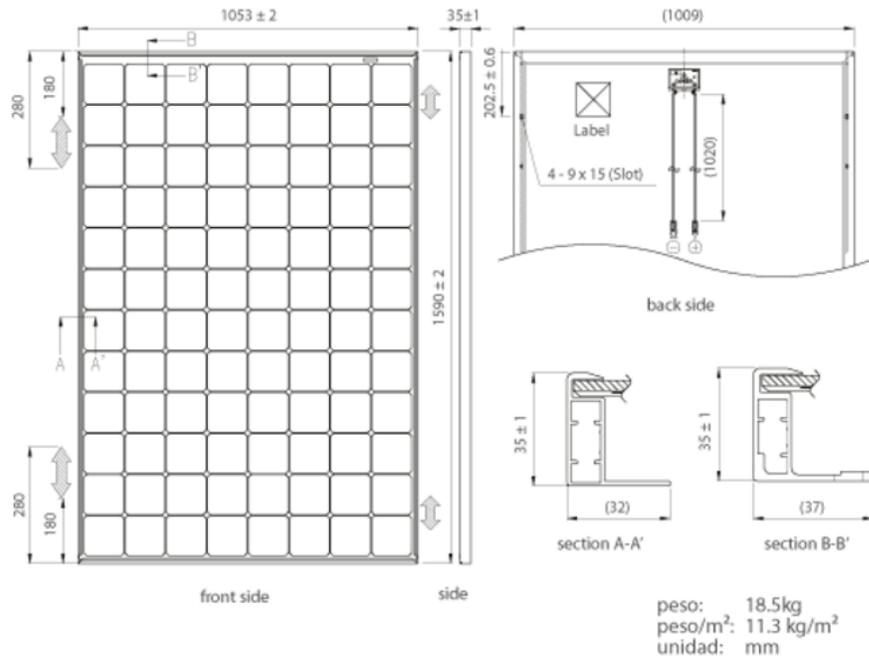


Figura 3.44: Dimensiones del panel fotovoltaico VBHN325SJ47 Panasonic

Fuente: PanasonicCorporation, 2016

Por lo tanto, se establece que el área mínima requerida es la siguiente:

Ancho= 1.053 m

Largo= 1.590 m

$$A_{panel} = A \times L$$

$$A_{panel} = 1.053m \times 1.590m$$

$$A_{panel} = 1.674m^2$$

El área requerida será la siguiente:

$$A_{total} = A_{panel} \times \text{Numero de paneles soales} \times 1.25$$

$$A_{total} = 1.674m^2 \times 111 \times 1.25$$

$$A_{total} = 232.30 m^2$$

Por lo tanto, el área mínima libre de sombra para realizar la instalación de los paneles es 232.30 m<sup>2</sup> de terreno.

### 3.11.9 Cálculo del ángulo de orientación de los paneles solares

Para establecer el ángulo de orientación se consulta al proveedor. Se toma como referencia la latitud del lugar para instalar los paneles fotovoltaicos hacia el sur y obtener la mayor captación de radiación solar.

$$\angle Inc = \angle lat + 1.14^\circ$$

Carrillo Yáñez & Morales López, 2009

$$\angle Inc = 10^\circ + 1.14^\circ$$

$$\angle Inc = 11.14^\circ \text{ al Sur geografico}$$

El panel solar tiene mayor eficiencia cuando los rayos inciden de forma perpendicular al plano del panel fotovoltaico, por lo tanto, a 11.14° al sur tendrá mejor rendimiento anual.

### 3.11.10 Cálculo del banco de baterías para el sistema fotovoltaico.

Para determinar la capacidad del banco de baterías se determinarán los días u horas en las que se requiere que el sistema sea autosuficiente. Se empleará la siguiente fórmula para establecer el parámetro:

$$C_B = \frac{A_U E_C}{V_B F_U F_1 N_{INV}}$$

Fuente: Carrillo Yáñez & Morales López, 2009

Donde:

CB = Capacidad del banco de baterías.

Au = Autonomía deseada en el banco de baterías (días).

Ec = Energía consumida diariamente.

VB = Voltaje nominal al cual trabajará el banco de baterías.

Fu= Para baterías con placa gruesa se utilizará un Fu= 0.8

F1=Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga. Corresponde a 1.35

Ninv= eficiencia del inversor en este caso será 0.9 por pérdidas a la conversión

Planteo de datos

Au= 3 días requeridos de autonomía solar.

$$E_c = 95\,656 \text{ Wh}$$

$$V_b = 48 \text{ Vcd}$$

$$CB = \frac{3 \text{ dias} \times 95656 \text{ Wh}}{48 \text{ Vcd} \times 0.8 \times 1.35 \times 0.9}$$

$$CB = 6150.72 \text{ Ah}$$

### 3.11.11 Cálculo de módulos de baterías

Para efectuar este cálculo es necesario conocer las características de las baterías, en especial su voltaje de trabajo y su corriente en amperios-hora. En la siguiente figura se define la batería a utilizar:

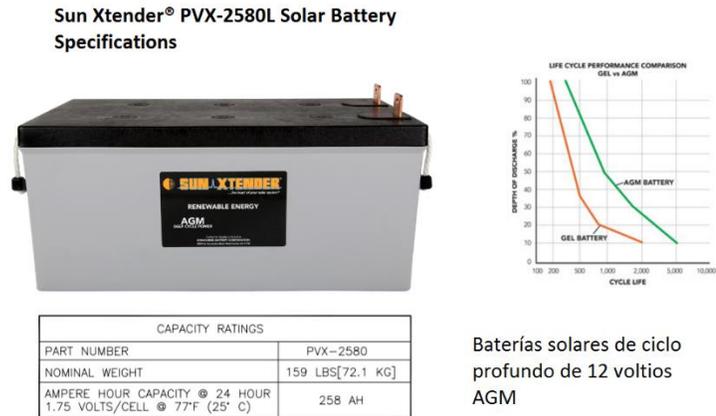


Figura 3.45: Batería a utilizar PVX-2580L

Fuente: SunXtender, 2017

Para realizar el cálculo de la cantidad necesaria de baterías, se deberá emplear la siguiente fórmula:

$$N_B = \frac{C \cdot R}{C_B}$$

Fuente: (Carrillo Yáñez & Morales López, 2009)

Donde:

NB = Número de baterías necesarias

CR = Capacidad de energía para el sistema

CB = Capacidad de la batería (Ah)

$$N_B = \frac{6150.72 \text{ Ah}}{258 \text{ Ah}}$$

$$N_B = 23.84 \approx 24 \text{ Baterias}$$

Será necesario instalar las baterías de la siguiente manera para poder cumplir con los 48Vdc requeridos y los 6150.72 Ah: en el primer módulo de baterías se conectarán 6 unidades en paralelo para mantener el voltaje en 12 Vdc y aumentar los amperios hora del módulo; posteriormente se conectará con otros módulos diseñados en serie para aumentar el voltaje a 48 Vdc.

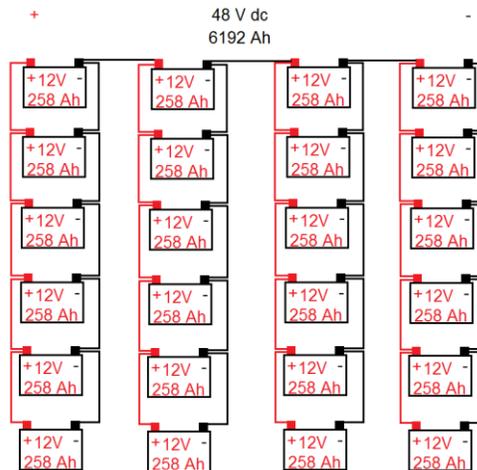


Figura 3.46: Conexión de banco de baterías.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11.12 Cálculo de la corriente del controlador de carga

Para determinar los controladores de carga, esta corresponderá a la corriente de cortocircuito del panel a utilizar. Se determina que el Panel fotovoltaico VBHN325SJ47 Panasonic tiene una  $I_{sc}=6.03$  amperios.

Por lo tanto, se determinará la corriente máxima con la formula siguiente:

$$I_{max} = I_{sc} N_p$$

Fuente: (Carrillo Yáñez & Morales López, 2009)

Donde:

$I_{sc}$ = Corriente de cortocircuito de panel fotovoltaico.

$N_p$ = El número de paneles necesarios para el proyecto.

$$I_{max} = 6.03A \times 111 \text{ Paneles fotovoltaicos}$$

$$I_{max} = 6.03A \times 111 \text{ Paneles fotovoltaicos}$$

$$I_{max} = 669.33 A$$

Al ser una corriente tan elevada, se deberá dividir la corriente por la corriente máxima del regulador a adquirir. En este caso, se utilizarán reguladores de 45 Amperios cada uno más el 25% de porcentaje de protección en la corriente  $I_{max}$ , según lo establece el proveedor.

Cantidad de controladores de carga necesarios:

$$N_c = \frac{I_{max} \times 1.25}{I_{cont}}$$

Fuente: (Gasquet, 2004)

Donde:

$N_c$ = Número de controladores.

$I_{cont}$ = Corriente del controlador a utilizar.

$I_{max}$ = Corriente máxima de paneles fotovoltaicos.

$$N_c = \frac{669.33A \times 1.25}{45A}$$

$$N_c = 18.59 \approx 19$$

En la siguiente figura se observa la ubicación del control de carga en el sistema fotovoltaico



Figura 3.47: Controlador de carga TriStar 45A

Fuente: (TechnoSun, 2017)

### 3.11.13 Cálculo del inversor de 48 Vdc a 120 Vac.

El cálculo del inversor requiere sumar la carga de la radio base en un tiempo dado, cuando se conecte la mayor carga. Por lo tanto, se deberá calcular la potencia total de la radio base:

$$P_{inv} = \sum (P1, P2, P3 \dots)$$

Fuente: (Gasquet, 2004)

$$P_{Inv} = P_{Laptop} + P_{Lamparas\ ext} + P_{Sistema\ Seg} + P_{APM30} + P_{Sistema\ de\ balizas}$$

$$P_{Inv} = 200W + 108W + 50W + 3855W + 20W$$

$$P_{Inv} = 200W + 108W + 50W + 3855W + 20W$$

4233 Watts

El proveedor del inversor recomienda un 10% o 20% más de la capacidad como factor de seguridad de la puesta en marcha.

$$P_{Inv} = P_t \times 1.20$$

$$P_{Inv} = 4233W \times 1.20$$

$$P_{Inv} = 5079.6W \approx 5000W$$

En la siguiente figura se propone el inversor a instalar para alimentar los sistemas de la radio base:



MultiPlus	12 Volt 24 Volt 48 Volt	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		Yes
PowerAssist		Yes
Transfer switch (A)		100
Input voltage range (V DC)		
Output		
Cont. output power at 25°C (VA) (3)		5000
Cont. output power at 25°C (W)		4000
Cont. output power at 40°C (W)		3700
Cont. output power at 65°C (W)		3000
Peak power (W)		10.000
Maximum efficiency (%)		94 / 95
Zero load power (W)		30 / 35
Zero load power in AES mode (W)		25 / 30
Zero load power in Search mode (W)		10 / 15

Figura 3.48: Inversor tipo -VICTRON MULTIPLUS C 48/5000/70-50

Fuente: Victron Energy BV, 2016

### 3.11.14 Topología de sistema fotovoltaico

En la siguiente figura se dispondrá de la topología de conexión que debe conectarse en paralelo al banco de baterías.

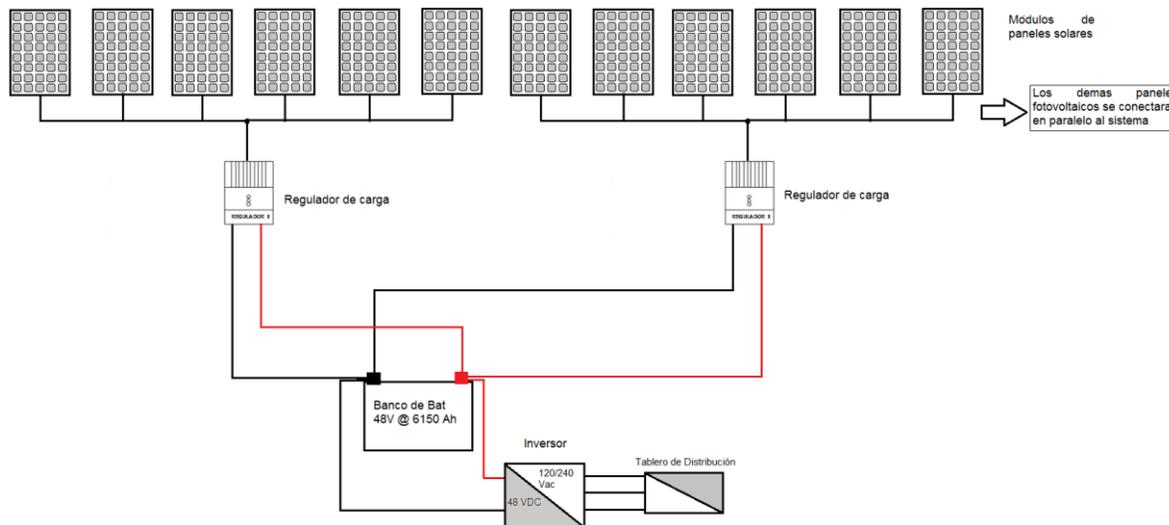


Figura 3.49: Topología de conexión del sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

### 3.11.15 Cálculo de conductores de corriente para el sistema fotovoltaico

Para realizar el cálculo de los conductores de corriente en cada una de las etapas del sistema fotovoltaico, será necesario cumplir con los diferentes porcentajes de caída de tensión.

ELEMENTOS	MAXIMA	RECOMENDADA
Paneles-regulador	3%	1 %
Reg-acumulador	1%	0.5%
Acu-inversor	1%	1%

Figura 3.50: Porcentaje máximo de caída de tensión en sistemas fotovoltaicos.

Fuente: Hmsistemas, 2017

#### 3.11.15.1 Cálculo del conductor de conjunto de paneles a regulador de carga de baterías

El cálculo de la corriente máxima, precisa el uso de la  $I_{sc}$  de cada panel. De esta manera se establece que cada conjunto de paneles en paralelo llevará, máximo, 6 paneles fotovoltaicos.

$$I_{max} = I_{sc} \times 6 \text{ paneles solares}$$

$$I_{max} = 6.03A \times 6$$

$$I_{max} = 36.18 A$$

Por lo tanto, se tiene el siguiente planteo:

$$I_{max} = 36.18 A$$

Vmax=57.06 Vdc

Longitud = 11 m

Cálculo de calibre de conductor

$$C_{cable} = \frac{2 \times L \times I}{K_{cu} \times V_{ct}}$$

Fuente: Hmsistemas, 2017

Donde:

Ccable = Calibre de conductor en mm<sup>2</sup>

2 = Constante

L= Longitud máxima del conductor eléctrico.

K= Constante (Cu=56 y Al=35).

Vct=Caída de tensión permitido en el conductor.

El 1% del voltaje de 57.06Vdc es igual a 0.57Vdc en todo el conductor.

$$C_{cable} = \frac{2 \times 11m \times 36.18A}{56 \times 0.57}$$

$$C_{cable} = 24.93 \text{ mm}^2 \approx 25 \text{ mm}^2$$

$$C_{cable} = 4 \text{ AWG}$$

Así, se establece que el calibre recomendado para la instalación del conjunto de paneles solares al regulador de carga de baterías es 4 AWG.

### 3.11.15.2 Cálculo de conductores del regulador de carga al banco de baterías

Para calcular el conductor del regulador del banco de baterías, se debe tener la distancia y el voltaje de trabajo del banco.

Cálculo de calibre de conductor.

Planteo de datos.

I=36.18A

V=48dc

L=10m

Vct=0.24V

Kcu=56

El 0.5% del voltaje de 48Vdc es igual a 0.24Vdc en todo el conductor.

$$C_{cable} = \frac{2 \times 15m \times 36.18A}{56 \times 0.57}$$
$$C_{cable} = 22.66 \text{ mm}^2 \approx 25\text{mm}^2$$
$$C_{cable} = 4 \text{ AWG}$$

Tras estos cálculos, se establece que el calibre recomendado para la instalación del regulador de carga al banco de baterías es 4 AWG.

### **3.11.15.3 Cálculo de conductores del banco de baterías al inverso de voltaje**

Para el cálculo del calibre de conductor del banco de baterías se deberá tener los siguientes datos.

Planteo de datos:

$$V = 48 \text{ Vdc}$$

$$I = 104.16A$$

$$L = 4m$$

$$K_{cu} = 56$$

El 1% de 48Vdc corresponde a 0.48 Vct.

$$C_{cable} = \frac{2 \times 4m \times 104.16A}{56 \times 0.48}$$
$$C_{cable} = 31 \text{ mm}^2 \approx 35\text{mm}^2$$
$$C_{cable} = 2 \text{ AWG}$$

Se obtiene que el calibre del conductor eléctrico del banco de baterías al inversor deberá ser 2 AWG. Dichos conductores están revisados por la tabla 310.16 de ampacidades permisibles del NEC 2008. En esta, el calibre propuesto soporta el paso de corriente establecida.

### **3.11.15.4 Cálculo de conductor para circuito de iluminación**

Determinar el factor de demanda del circuito de iluminación de la radio base se efectuará mediante la siguiente tabla, para usar su potencia al 100%:

Tabla 30: Factor de demanda de cargas de alumbrado

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (Volt-amperes)	Factor de demanda (%)
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120.000	35
	A partir de 120.000	25
Hospitales *	Primeros 50.000 o menos	40
	A partir de 50.000	20
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos*	Primeros 20.000 o menos	50
	De 20.001 a 100.000	40
	A partir de 100.000	30
Depósitos (almacenamiento)	Primeros 12.500 o menos	100
	A partir de 12.500	50
<b>Todos los demás</b>	<b>Volt-amperes totales</b>	<b>100</b>

Fuente: NFPA 70®, 2008

Por lo tanto, para dimensionar el conductor eléctrico se utilizará la potencia total del circuito de iluminación. Este no deberá ser menor al 14 AWG, según los requerimientos del código eléctrico; por lo tanto, se define la instalación del circuito de iluminación externa con cable 12 AWG THHN en tubería Conduit. Según las características del lugar de instalación será EMT o PVC.

La potencia del circuito de iluminación será:

$$P= 108W.$$

Cálculo de corriente de iluminación

$$I = \frac{P}{V}$$

Fuente (Boylestad, 2004)

Donde:

P= Potencia del circuito

I= Corriente del circuito

V=Voltaje del circuito

$$I = \frac{108W}{120V}$$

$$I = 0.9A$$

En este caso se deberá establecer que el circuito deberá soportar 125% de la corriente necesaria.

De este modo, se comprueba que cable trabaja correctamente con el interruptor termomagnético.

La corriente permisible del conductor eléctrico será de 20 A máximo, según lo estipulado en la tabla 310.16 del NEC 2008. En esta se establece la corriente máxima del conductor: en la sección 240.D se realiza dicha aclaración.

### 3.11.15.5 Cálculo de caída de tensión en circuito de iluminación

A pesar de que el cable del circuito de iluminación soporta la corriente de forma eficiente, este puede verse influenciado por la tensión del dispositivo debido a la caída de voltaje. Por ello, es importante realizar el cálculo debido, tomando en cuenta que el NEC 2008 solo permite una caída de voltaje del 3% en sus circuitos ramales.

Por lo tanto, se calculará la caída de tensión con la siguiente fórmula:

$$\text{Caída de tensión} = \frac{\text{factor corrección} \times \text{Corriente(A)} \times \text{Distancia (m)} \times \text{factor sistema}}{30.48}$$

Fuente: (Espinoza Cabezas & Fernández Carballo, 2015)

$$VCT = \frac{0.3410 \times 0.9A \times 15m \times 0.577}{30.48}$$

$$VCT = 0.087 V$$

$$\%CT = \frac{VCT}{\text{Voltaje nominal}} \times 100$$

$$\%CT = \frac{0.087V}{120V} \times 100$$

$$\%CT = \frac{0.087V}{120V} \times 100$$

$$\%CT = 0.072\%$$

En esta, se establece que el porcentaje de caída de tensión del circuito de iluminación corresponde 0.072% por lo que trabaja correctamente.

### 3.11.15.6 Cálculo de conductor para circuito de receptáculo

Para determinar el factor de demanda del circuito de tomacorrientes de la radio base, se establecerá usar su potencia al 100%, a través de la siguiente tabla:

Tabla 31: Factores de demanda para cargas de receptáculos  
en unidades diferentes de las de vivienda

Parte de la carga del receptáculo a la que se aplica el factor de demanda (volt-amperes)	Factor de demanda %
Primeros 10 kVA o menos	100
A partir de 10 kVA	50

Fuente NFPA 70®, 2008

Para este cálculo se establecerá en la tabla resumen del tablero de distribución TA-1

### 3.11.15.7 Cálculo del factor de demanda para sistemas diferentes a iluminación y receptáculos

En este caso, para los demás sistemas se utilizará el 100% de la carga dispuesta por el fabricante. Debido a su funcionamiento continuo y su calibre establecido, estará en la tabla resumen del tablero de distribución TA-1.

### 3.11.15.8 Cálculo de conductor eléctrico del inversor al tablero de distribución

En este punto se maneja corriente alterna para alimentar los diferentes sistemas de la radio base.

El inversor puede trabajar a tensiones de 120/240 Vac por lo que es necesario realizar el cálculo del calibre del conductor del inversor al tablero de distribución.

El cálculo se efectúa de la siguiente manera:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

Fuente: (Boylestad, 2004)

Por lo tanto, la potencia total de todos los sistemas de la radio base corresponde a:

$$P_t = 4213W$$

$$I = 17.55 \text{ A por cada una de las fases}$$

La corriente está distribuida en las dos fases. Por ello, se dimensiona el interruptor al 125% de la carga, donde la corriente es  $I = 21.94 \text{ A}$  por fase. Ante esto, propone un *breaker* principal de 30 A / 2 Polos termomagnéticos con una caída de tensión de 1.8%. En la siguiente tabla, se establece la propuesta del tablero de distribución.

Tabla 32: Tablero de distribución TA-1

TABLERO PRINCIPAL (TA-1)													
N.	DESCRIPCIÓN	VOLTAJE	DISYUNTOR			CONDUCTOR THHN			POTENCIA (W)	% CAIDA TENSION	CONDUIT (mm)	CARGA POR FASE	
			POLOS	AMPERIOS	TIPO	FASE	NEUTRO	TIERRA				A	B
1	Sistema Laptop	120	1	20	QOAFI	12	12	12	200	0,07	13	200	
2	Sistema de iluminación ext	120	1	20	QOAFI	12	12	12	108	0,01	13		108
3	Sistema de seguridad electronica	120	1	20	QOAFI	12	12	12	50	1	13	50	
4	Sistema de balizamiento	120	1	20	QOAFI	12	12	12	20	0,5	13		20
5													
7	Toma para APM 30	240	2	30	QO	10	10	10	3855	1,8	19		
												1927,5	1927,5
												2177,5	2055,5
	CARGA TOTAL CONECTADA	4233	W		CORRIENTE INSTALADA FASE A	18,15	A				FASES	NEUTRO	TIERRA
	CARGA TOTAL DEMANDADA	4233	W		CORRIENTE INSTALADA FASE B	17,13	A		ACOMETIDA THHN	2#8 AWG	1#8 AWG	1#8 AWG	
	CARGA CONECTADA EN FASE A	2177,5	W		CORRIENTE DEMANADA FASE A	18,15	A		DIAMETRO TUBERIA	25	mm		
	CARGA CONECTADA EN FASE B	2055,5	W		CORRIENTE DEMANADA FASE B	17,13	A		CORRIENTE DEMANDADA	17,64	A		
	FACTOR DE DEMANDA	1	%		CAPACIDAD EN BARRAS DEL TABLERO	70	A						
					CAPACIDAD DE INTERRUPTOR PRINCIPAL	30	A						

NOTA: TABLERO ELECTRICO DE EMPOTRAR, DE 8 ESPACIOS, MONOFÁSICO, CON INTERRUPTOR PRINCIPAL, IGUAL O SIMILAR AL MODELO: QO116L125G INTERIOR, QOC24U F/S CUBIERTA, CON INTERRUPTOR PRINCIPAL DE 70 A, IGUAL O SIMILAR AL MODELO QOM2100VH, DEBE INCLUIRSE BARRA DE TIERRAS Y BARRA DE NEUTROS.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11.15.9 Tabla resumen de propuesta de equipos para el sistema fotovoltaico

En la siguiente tabla se establecen las cantidades mínimas de los equipos para la instalación del sistema fotovoltaico anteriormente mencionado:

Tabla 33: Equipo necesario para la instalación del sistema fotovoltaico.

Materiales para el sistema fotovoltaico					
Ítem	Cantidad	Unidades	Descripción	N° Parte	Marca
1	111	Unidades	Panel fotovoltaico	VBHN325SJ4	Panasonic
2	24	Unidades	Baterías para sistemas fotovoltaico AGM	PVX-2580L	SunXtender
3	19	Unidades	Controlador de carga solar p/ baterías	TriStar 45A	TriStar
4	1	Unidades	Inversor de 48 Vdc a 120/240Vac	C 48/5000/70-	VictronEnergy

Fuente: Elaboración propia.

# **CAPÍTULO**

**V**

## 4. CONCLUSIONES

- Mediante el análisis de las RBS vandalizadas se logran determinar los artículos más propensos al robo. Por lo que se hace necesario que el sistema de seguridad electrónica logre el monitoreo a través de la instalación del equipo.
- Mediante la medición realizada al terreno de las RBS se logra determinar la resistividad del mismo, y se calcula el diseño del sistema de puesta a tierra para una resistencia inferior a los  $5 \Omega$  y del pararrayos para la protección de las descargas atmosféricas y fallas en las líneas de alimentación. Así se cumple con el artículo 250 de NEC 2008.
- Se determina, mediante cálculos, el consumo de potencia total de la RBS y así lograr diseñar el sistema fotovoltaico para la alimentación eléctrica de los sistemas de las RBS.
- Dadas las mediciones del área a instalar y la potencia demandada del equipo, se logra suplir mediante la conversión de energía solar a eléctrica los sistemas de la RBS, y se establecen los elementos del sistema fotovoltaico.

## 5. RECOMENDACIONES

- Al departamento OyM del ICE se le recomienda, debido a los diferentes climas de Costa Rica- utilizar canalizaciones y accesorios resistentes a la corrosión como tuberías, conduit EMT, IMC y RMC. En caso contrario, se ocasionaría una menor vida útil a los sistemas de la RBS, según su ubicación.
- Se recomienda al departamento de servicios móviles del ICE, encargado de diseñar los planos de las RBS, tomar en cuenta en el diseño del sistema de seguridad electrónica y la protección perimetral. Si no se fortalece ese punto, se podría ocasionar falsas activaciones que alerten al personal de monitoreo del ICE.
- El departamento de servicios móviles del ICE, al ejecutar el diseño de SPT, deberá realizar la medición de la resistividad del terreno durante la época seca. Si se realiza en época lluviosa, debido a que la humedad del terreno es mayor, se podrá generar un dato incorrecto a la hora de diseñar la malla del sistema de puesta a tierra. Tal situación desembocaría en una incorrecta protección para los equipos y el personal técnico en la época más crítica del año.
- Al departamento de OyM del ICE se le recomienda mantener la humedad del terreno de la RBS estable. Eso se realiza cubriéndolo con piedra cuarta y es necesario debido a que su resistencia es de  $10^9 \Omega.m$ . De este modo se evita la evaporación del agua retenida en el terreno y mantiene una resistencia baja y constante al SPT. Por otra parte, si no se hace, disminuye la resistencia de contacto del técnico y se vuelve propenso a diferencias de potenciales que resultan peligrosos ante una descarga atmosférica o falla eléctrica.
- Al departamento de servicios móviles del ICE se le recomienda realizar el diseño del sistema fotovoltaico. Es necesario ejecutar la medición de radiación solar del sitio en el peor mes de radiación solar, con el fin de realizar los cálculos de la cantidad de paneles

solares para la generación de energía eléctrica en sistemas de RBS, de no ser así podría trabajar el sistema fotovoltaico sobre exigido ocasionado desconexiones de los sistemas.

- Para poder disminuir la cantidad de paneles solares, el Departamento de servicios móviles del ICE debe utilizar equipo de telefonía celular de menor potencia, debido a que este, al funcionar las 24 horas del día, consume el 95% de la producción de los paneles. Será necesario buscar en el mercado equipos más eficientes o de menor potencia que cubran las necesidades dadas en cada sitio. De no ser así, el área requerida para la ubicación de los paneles solares sería muy extensa.
- Al Departamento de servicios móviles del ICE se le sugiere no superar el 3% de caída de tensión en Vdc –o lo que establezca el proveedor–, debido a que, si se supera la caída de tensión recomendable, los equipos trabajarán exigidos ocasionando un deterioro o daño irreversible de los equipos y del banco de baterías.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

### Libros:

- Barrantes Quirós, D. (2014). *Estudio de oportunidad de generación fotovoltaica para autoconsumo residencial en clientes de CNFL*. San José: Costa Rica.
- Boylestad, R. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. México: Pearson educación.
- Comité de Protecciones y Puesta a Tierra (CP&PT) ICE. (2013). *Manual para protecciones y sistemas de puesta a tierra*. San José: Costa Rica.
- Díaz, P. (2001). *Soluciones Prácticas para Sistemas Eléctricos de Distribución*. México: McGraw Will.
- Empresa de servicios públicos de Colombia. (2014). *Medida de resistividad eléctrica del suelo*. Medellín: Colombia.
- Gasquet, H. (2004). *Manual Teórico Práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. S. A. SOLARTRONIC: Cuernavaca (México).
- González Longatt, F. (2010). *Sistemas de Puesta a Tierra: Una Introducción a la Seguridad*. México.
- Huawei Technologies. (2007). *Manual del usuario APM30*. Shenzhen: China.
- Ingesco. (9 de Marzo de 2016). *Punta Captadora Múltiple*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017 de [http://www.ingesco.com/sites/default/files/productos/pdf/ft\\_punta\\_multiple\\_es.pdf](http://www.ingesco.com/sites/default/files/productos/pdf/ft_punta_multiple_es.pdf)
- Moreno Clemente, J. (1991). *Instalaciones de puesta a tierra en centros de transformación*. S. L. Ciencia: Malaga (España).
- NFPA 70®. (2008). *Código Eléctrico Nacional*. National Fire Protection Association: Boston.
- Ramírez Castaño, J. & Cano Plata, E. (2010). *Sistemas de puesta tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. Editorial Blanecolor Ltda.: Manizales, (Colombia).

## **Tesis**

- Carrillo Yáñez, J., & Morales López, J. I. (2009). Estudio para la electrificación con energías alternativas utilizando celdas fotovoltaicas para electrificar el poblado de caña colorada. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México.
- Duche Zabala, E., & Umaña, W. (2013). *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora el Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar*. Trabajo final de graduación. Univesidad Politécnica Salesiana. Guayaquil: Ecuador.
- Espinoza Cabezas, J., & Fernández Carballo, M. (2015). *Diseño de las instalaciones eléctricas de la propuesta arquitectónica terminal de buses y tren en la provincia de Heredia*. Trabajo Final de Graduación. U Latina. Heredia: Costa Rica.
- Herrera, J. & Castro, O. (2003). *Cálculo de la malla de puesta a tierra de una subestación*. Trabajo Final de Graduación. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Huete Serrano, M. (2008). *Sistema de puesta a tierra y protección para sistemas telecomunicaciones*. Universidad San Carlos de Guatemala.
- Wright Gilmore, J. (2006). Estudio del potencial solar en Costa Rica. ICE: San José.

## **Sitios web**

- ConversionUnit. (31 de Enero de 2017). *Unit Conversion Online*. Recuperado el 25 de Marzo de 2017 de
- Diario Gestión . (21 de Abril de 2015). <http://gestion.pe>. Recuperado el 25 de Marzo de 2017, de <http://gestion.pe/economia/que-gasta-mas-energia-laptop-olla-arrocera-2129621>
- Durman. (25 de Agosto de 2014). *PVC Conduct*. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de [http://www.durman.com.mx/vol01/pagina.nsf/Edif\\_CONDUIT/\\$FILE/catalogo.pdf](http://www.durman.com.mx/vol01/pagina.nsf/Edif_CONDUIT/$FILE/catalogo.pdf)
- ERICO. (17 de Julio de 2016). *Electrodos o varillas para tierra*. Recuperado el 23 de Marzo de 2017, de <https://www.erico.com/catalog/literature/E660S-LASP.pdf>

Fluke Corp. (23 de Enero de 2015). *Medición de la resistividad del terreno*. Recuperado el 21 de Marzo de 2017, de <http://www.fluke.com/fluke/boes/soluciones/resistencia-de-tierra/m%C3%A9todo-de-resistividad-de-suelos.htm>

General Cable. (07 de Octubre de 2012). *Wire and Cable Solutions - General Cable®*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017 de <http://es.generalcable.com/Soluciones-de-cables/General-Cable-/1ukt/>

Greenlee. (06 de Febrero de 2002). *CableOrganizer.com*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017, de <http://images1.cableorganizer.com/greenlee/benders/Hand-Bender-Instructions.pdf>

Hmsistemas. (8 de Febrero de 2017). *www.hmsistemas.es*. Recuperado el 27 de Marzo de 2017, de [http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora\\_seccion.php](http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_seccion.php)

HoneywellCable. (12 de Marzo de 2016). *www.honeywellcable.com*. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de <https://www.honeywellcable.com/CatalogDocuments/2102.pdf>

ICE. (2007). *Intranet*. Obtenido de <http://www.intranet.com>

INGENIA. (02 de Diciembre de 2006). *Medición de SPT*. Recuperado el 23 de Marzo de 2017, de <https://es.slideshare.net/ingenia-t/medicion-de-resistencia-de-tierra>

Instituto Costarricense de Electricidad. (10 de Octubre de 2001). *Historia del ICE*. Recuperado el 2 de Octubre de 2016 de [https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/AcercaDelGrupoICE/Qui%C3%A9nes%20somos/Historia%20del%20ICE!/ut/p/z1/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zizQMtHA093A183M09nA0cfUPMHA3NXY0MDc30w\\_Ep8PUy1Y8iRr8BDuBoQJx-PAqi8Bsfrh-FaoWFb7CxgaOhpY97iIWJobubIQEFjkboCrCEASFXFO](https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/AcercaDelGrupoICE/Qui%C3%A9nes%20somos/Historia%20del%20ICE!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zizQMtHA093A183M09nA0cfUPMHA3NXY0MDc30w_Ep8PUy1Y8iRr8BDuBoQJx-PAqi8Bsfrh-FaoWFb7CxgaOhpY97iIWJobubIQEFjkboCrCEASFXFO)

Instituto Costarricense de Electricidad. (02 de Febrero de 2009). *Mapa cobertura postpago*. Recuperado el 21 de Octubre de 2016, de [kolbi.cr: http://kolbi.cr/wps/portal/kolbi\\_dev/personas/mas\\_servicios/mapa\\_de\\_cobertura/cobertura\\_movil\\_postpago!/ut/p/z1/jZFNb4MwDIZ\\_Sw9csSnio7tFaOqgTGzSUFkuKLCM MqUkCqH8\\_UXaaVWX1Tfbz-vXsoFCA3Ril3FgZpQTEzZ\\_p3GbvKYkeNpjua-SHZJdEdYvZbQ9BFs4\\_gbSuogskGWYhXWQVzHQe\\_T4RxC](http://kolbi.cr/wps/portal/kolbi_dev/personas/mas_servicios/mapa_de_cobertura/cobertura_movil_postpago!/ut/p/z1/jZFNb4MwDIZ_Sw9csSnio7tFaOqgTGzSUFkuKLCM MqUkCqH8_UXaaVWX1Tfbz-vXsoFCA3Ril3FgZpQTEzZ_p3GbvKYkeNpjua-SHZJdEdYvZbQ9BFs4_gbSuogskGWYhXWQVzHQe_T4RxC)

opensignal.com. (04 de Noviembre de 2005). *opensignal.com*. (Amazon., Editor) Recuperado el 02 de Febrero de 2017, de <https://opensignal.com/networks/costa-rica/kolbi-ice-cobertura>

PanasonicCorporation. (8 de Diciembre de 2016). *N330/N325 (VBHN330SJ47 / VBHN325SJ47)*. Recuperado el 27 de Marzo de 2017 de <https://eu-solar.panasonic.net/en/solar-panel-vbhn325sj47-vbhn330sj47.htm>

Panduit. (20 de Diciembre de 2003). *TX6000™ UTP Cableado de Cobre*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017 de <http://www.panduit.com/heiler/SpecificationSheets/D-COSP261--WW-SPA-PUL6004-W.pdf>

Pelco. (6 de Febrero de 2016). *Optera™ Series Panoramic IP Camera*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017 de <https://www.pelco.com/panoramic-ip-cameras/wdr-low-light-performance-optera#tab/documents>

Rawelt. (5 de Mayo de 2015). *Productos Para Instalaciones Eléctricas*. Recuperado el 25 de Marzo de 2017 de <http://www.rawelt.com.mx>.

Rymco. (08 de Diciembre de 2014). *Rymco Pipe*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017 de [http://www.rymco.com.mx/sites/default/files/pdf/emt\\_0.pdf](http://www.rymco.com.mx/sites/default/files/pdf/emt_0.pdf).

RymelCR. (13 de Noviembre de 2016). *Trasformadores de Distribución Monofásicos*. Recuperado el 22 de Marzo de 2017 de <http://www.rymelcr.net/Monofasicos.html>.

SunXtender. (23 de Febrero de 2017). *12 Volt AGM Deep Cycle Solar Batteries*. Recuperado el 27 de Marzo de 2017, de [http://www.sunxtender.com/12\\_volt.php](http://www.sunxtender.com/12_volt.php).

SYLVANIA. (13 de Febrero de 2017). *Crypton Led 54*. Recuperado el 25 de Marzo de 2017, de <http://www.feilosylvania.com.ar/exterior/crypton-led-54/>

TechnoSun. (2 de Febrero de 2017). *Conversión de energía*. Recuperado el 27 de Marzo de 2017, de <http://www.technosun.com/es/productos/inversores-cargadores-convertidores.php#microinversores-autoconsumo>

## 7. GLOSARIO

**Conduit:** Tipo de canalización en tubería que se emplea tanto en instalaciones eléctricas en las cuales pueden ser PVC, EMT, IMC y RMC.

**Resistividad:** es la resistencia eléctrica específica de un determinado material. Se designa por la letra griega rho minúscula ( $\rho$ ) y se mide en ohm•metro ( $\Omega\cdot m$ ).

**Voltaje o tensión:** cantidad de voltios que actúan en un aparato o en un sistema eléctrico. De esta forma, el voltaje, que también es conocido como tensión o diferencia de potencial, es la presión que una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz ejerce sobre las cargas eléctricas.

**Corriente:** es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.

**Ampacidad:** la corriente máxima, en amperes, que puede llevar un conductor en forma continúa bajo las condiciones de uso sin exceder su capacidad térmica.

**Resistencia eléctrica:** es la oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado.

**Ley de ohm:** Establece que la diferencia de potencial que aparece entre los extremos de un conductor determinado es proporcional a la intensidad de la corriente que circula por el conductor y esta va hacer limitada por la resistencia.

**NFPA:** National Fire Protection Association, es la fuente principal mundial para el desarrollo y diseminación de conocimiento sobre seguridad contra incendios y de vida. Es una organización internacional que desarrolla normas para proteger del fuego a la gente, su propiedad y el medio ambiente. Sus publicaciones son traducidas a varios idiomas y referenciadas alrededor del mundo.

**CCTV:** Circuito cerrado de televisión usado para sistemas de cámaras de video vigilancia.

**Electrodo de puesta a tierra:** objeto conductor a través del cual se establece una conexión directa a tierra.

**Interruptor de circuito contra fallas a tierra (GFCI):** dispositivo destinado a la protección de las personas, que funciona des energizando un circuito o parte de este dentro de un período determinado, cuando una corriente a tierra supera los 20 mA.

**RBS:** radio base de telefonía celular mediante ondas de radio que envía a las terminales (celulares) se establece una comunicación con otros terminales.

**Radiación solar:** Es la energía emitida por la estrella llamada Sol.

## 7.1 Nomenclatura

RBS - Radio base de telefonía celular.

A - Amperio, unidad de corriente.

V - Voltio, unidad de voltaje.

$\Omega$  - Ohmios.

CA - Corriente alterna.

CD - Corriente directa.

Cu - Cobre.

Al - Aluminio.

$\rho$  - Resistividad del terreno.

Cd - Consumo Diario (Wh/día).

Cp - Potencia de captación de un panel fotovoltaico (kWp).

Cu - Capacidad disponible de la batería.

Kb - Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador.

kc - Coeficiente de pérdidas en el inversor.

kv - Coeficiente de pérdidas varias.

ka - Coeficiente de auto-descarga diaria de las baterías.

N - Días de autonomía de la instalación.

n: Número de aparatos del mismo tipo.

Fp - Factor de potencia.

ICE - Instituto Costarricense de Electricidad.

m - metro.

s - segundo.

SPT- Sistema de puesta a tierra

$\Omega.m$  - Ohmio – metro, unidad de resistividad.

NEC - Código Eléctrico Nacional.

IEEE - Instituto de Ingenieros Electricistas y Eléctrico.

CFIA - Colegio de Ingenieros y Arquitectos, Ente regulador del profesional.

## **8. ANEXOS**