

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE RADIO BASE DE
TELECOMUNICACIONES POR MEDIO DE UN SISTEMA
MIXTO FOTOVOLTAICO Y CELDAS DE COMBUSTIBLE.**

**MODALIDAD DE PROYECTO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: IVÁN VALVERDE PICADO

TUTOR: ING. ÁLVARO ROJAS CAMACHO

LECTOR: MÁSTER BILLY RETANA PEÑA

SEDE ARANJUEZ

NOVIEMBRE, 2018

Contenido

1.	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.	Planteamiento del problema	1
2.	Objetivos.....	2
2.1	Objetivo general:.....	2
2.2	Objetivos específicos	2
3.	Justificación	3
4.	Proyecciones	4
	CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	5
5.	Marco Teórico	5
5.1	Estación Base	5
5.1.1	Criterios de clasificación:.....	6
5.1.2	Estaciones radio base alimentadas en corriente directa (DC):	9
5.2	Microred eléctrica	11

5.2.1	Características de una Microred.....	13
5.2.2	Desafíos en la operación de microrredes	14
5.2.3	Fuentes de potencia de una Microred	14
5.3	Generadores fotovoltaicos	16
5.3.1	Celdas solares.....	16
5.3.2	Tipos de celdas solares.....	18
5.3.3	Ventajas de las celdas solares:	18
5.3.4	Aplicación de sistemas de paneles solares:.....	19
5.3.5	Componentes de un sistema solar fotovoltaico.....	20
5.3.6	Emplazamiento y disposición de los módulos solares	32
5.3.7	Radiación solar disponible	34
5.3.8	Cálculo de número y conexionado de los módulos solares	35
5.3.9	Cálculo de las baterías.....	37
5.3.10	Cálculo del regulador	38

5.3.11	Cálculo de dimensión del cableado y protecciones	39
5.4	Celda de combustible.....	43
5.4.1	Celdas de combustible que se utilizan a nivel comercial:.....	44
5.4.2	Celdas de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM) 44	
5.4.3	Integración de pilas de combustible en sistemas autónomos basados en energías renovables.....	47
5.4.4	Diseño y esquema de principio	48
5.5	Aspectos financieros	49
5.5.1	Valor actual neto	50
5.5.2	Tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR)	52
6.	Antecedentes.....	56
6.1	Generador basado en celdas de hidrógeno para el hogar DEMAG	56
6.2	Casas con almacenamiento de hidrógeno a través de energía solar.....	60
6.3	Evaluación técnica y económica de las diferentes tecnologías de celdas de combustible como respaldo en estaciones radio bases de telefonía celular.....	61

7.	Diagnóstico.....	64
8.	Limitantes.....	66
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		67
9.	Enfoque de la investigación.....	67
10.	Método de la Investigación.....	67
11.	Fuentes de información	70
12.	Variables o Categorías de Análisis.....	70
13.	Instrumentos	71
14.	Proceso para la recolección y análisis de datos	71
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		72
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		75
CAPÍTULO VI: PROPUESTA		78
15.	Diagrama Unifilar.....	80
15.1	Desarrollo	81

15.2	Estimación de consumo eléctrico de radiobase.....	81
15.3	Caso 1: Diseño con Celda de combustible y banco de Baterías.....	82
15.3.1	Cálculo de banco de baterías requerido:	82
15.3.2	Dimensionamiento, consumo y vida útil de la celda de combustible (caso 1):	83
15.4	Caso 2: Diseño con paneles solares y respaldo con banco de baterías y celda de combustible.....	84
15.4.1	Cálculo de número de paneles solares requeridos	85
15.4.2	Obtención de número de paneles en serie y en paralelo	86
15.4.3	Cálculo de banco de baterías requerido:	88
15.4.4	Cálculo de regulador de voltaje	88
15.4.5	Cálculo de los conductores requeridos.....	90
15.4.6	Dimensionamiento, consumo y vida útil de la celda de combustible (caso 2):	92
15.5	Análisis financiero de los casos de diseño	95
15.5.1	Determinación de costos de inversión inicial:	96

15.5.2	Proyección de costos para un periodo de 25 años.....	99
16.	Referencias	103
17.	Apéndices	106

Tablas

Tabla 1:	Interpretación del VAN	51
Tabla 2:	Potencia generada Vs Potencia demandada.....	93
Tabla 3:	Horas de operación y consumo de Celda de combustible para caso 2	95
Tabla 4:	Costo inicial para el primer caso	96
Tabla 5:	Costo inicial para el segundo caso.....	98
Tabla 6:	Costos operativos del caso 1.....	100
Tabla 7:	Costos operativos del caso 2.....	101

Figuras

Figura 1:	Estación Base exterior.....	7
-----------	-----------------------------	---

Figura 2: Esquema básico de alimentación AC para radiobase.....	8
Figura 3: Esquema básico de alimentación DC para radiobase.....	11
Figura 4: Diagrama general de diversos elementos que pueden ser parte de una microrred eléctrica.....	12
Figura 5: Partes de paneles solares	21
Figura 6: Ubicación de regulador de carga de sistema fotovoltaico.....	22
Figura 7: Inversor	27
Figura 8: Cable tipo PV ZZ-F.....	28
Figura 9: Definición de la orientación e inclinación del módulo fotovoltaico	33
Figura 10: Ángulo azimut e inclinación del módulo fotovoltaico.....	34
Figura 11: Proceso básico de funcionamiento de una celda de hidrógeno.	46
Figura 12: Vista satelital del Albergue Base Crestones.....	64
Figura 13: Área en la que se ubicará la radiobase	65
Figura 14:Conexión de paneles en serie y paralelo.....	87

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

En primer lugar, dedico este trabajo a mi familia, que a lo largo de mi vida me ha brindado su apoyo, cariño y comprensión, además de los múltiples consejos que me han ayudado a tomar buenas decisiones y que me han impulsado a estudiar y salir adelante.

También, agradezco a mi novia que a lo largo de 3 años ha sido un apoyo incondicional que me ha impulsado a seguir adelante con mi carrera y me ha comprendido en los momentos más difíciles de la carrera en los que el trabajo y estudio consumían la mayor parte de mi tiempo.

Extiendo, también, mi más sincero agradecimiento a los compañeros y amigos de carrera con los que he compartido estos años y en especial a todos aquellos con los que en algún momento me reuní fuera de clases para estudiar y prepararnos para los exámenes.

Por último y no menos importante, agradezco a todos los profesores en especial a mi tutor de tesis que de manera íntegra y profesional me han compartido gran parte de sus conocimientos y experiencias en el campo en donde se desempeñan, procurando en todo momento formar profesionales de calidad.

RESUMEN

La investigación consiste en un estudio para determinar la mejor alternativa, para alimentar eléctricamente a una radiobase de telecomunicaciones que se pretende instalar en las cercanías del albergue Base Crestones ubicado en el Cerro Chirripó que por ser Parque Nacional cuenta con condiciones y regulaciones especiales que impiden utilizar fuentes que generen impacto al medio ambiente.

Basado en datos estadísticos de una radio base de características similares a la que se desea construir en el sitio se realizó el cálculo del consumo estimado, y basado en el dato se analizaron 2 posibles casos para dar solución al problema planteado, la primera que contempla el uso de celda de combustible y banco de baterías, y la segunda que consiste en la implementación de un sistema integrado por paneles solares, banco de baterías y celda de combustible.

Desde una línea investigativa cualitativa se enfrentan los costos de ambas alternativas y los rendimientos en cuanto combustible y costos operativos para determinar la opción más rentable y que se apegue a las condiciones específicas de la localidad.

El desarrollo de este proyecto se encuentra paso a paso de los cálculos que se realizaron de ambas propuestas y que hacen concluir en que la mejor opción para dar solución a la situación planteada es la propuesta o caso número dos que contempla generador fotovoltaico, baterías y celda de combustible debido a los costos inferiores respecto de la primera propuesta.

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

Rumbo a la cima del Cerro Chirripó, se encuentra el Albergue Base Crestones, el cual es un punto fundamental para el descanso y estadía de visitantes e investigadores, pero actualmente, no se cuenta con acceso a telefonía e Internet celular en la zona, lo cual puede representar una problemática y generar inconvenientes que dificulten la comunicación en caso de una emergencia o el acceso a Internet para quienes se encuentren en labores de investigación; es por esto por lo que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), estudia la posibilidad de instalar una radiobase aledaña al albergue.

Debido a limitantes como las condiciones geográficas, falta de una carretera y de tratarse de un área de conservación, para el ICE es inviable llevar la red eléctrica Nacional hasta las inmediaciones del albergue; situación que podría solventarse generando electricidad en el sitio, para suplir de forma autónoma las necesidades energéticas de la radiobase, haciendo uso de fuentes de energía renovables y de bajo impacto ambiental, como lo son el caso de la generación solar y la de celdas de combustible. Esto genera la siguiente interrogante:

¿Cuál es el diseño de un sistema de generación de corriente eléctrica compuesto por generadores fotovoltaicos y celdas de combustible, capaz de alimentar y brindar autonomía a una radio base de telecomunicaciones, instalada en las cercanías del Albergue Base Crestones?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general:

Diseñar un sistema híbrido de generación eléctrica fotovoltaica y de celdas de combustible, para una radio base de telecomunicaciones que se desea construir en las cercanías de Albergue Base Crestones sin disponibilidad de conexión a la red eléctrica comercial, de acuerdo con los respectivos estudios técnico y financiero del proyecto.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Determinar la opción de diseño más factible económicamente, para realizar el proyecto, mediante el análisis financiero de los casos propuestos.
- 2) Seleccionar el tipo y cantidad de equipos por utilizar, para satisfacer las necesidades energéticas, tomando como referencia datos estadísticos del consumo eléctrico de radiobases de características similares, además del estudio y comparación de características técnicas y costos, de las alternativas de equipos disponibles.
- 3) Diseñar el diagrama unifilar del sistema recomendado, incluyendo el tipo y cantidad de equipos por utilizar y conexiones, cumpliendo con las regulaciones de decretos y código eléctrico, con el fin de que pueda ser fácilmente interpretado.

3. Justificación

Es de vital importancia hacer posible el diseño de una fuente de corriente eléctrica adecuada a los requerimientos y condiciones de la ubicación en cuestión, ya que de esta manera será posible desarrollar el proyecto de hacer llegar la telefonía e Internet celular a la zona, beneficiando, tanto a los funcionarios que operan el albergue como a los visitantes.

De acuerdo con el Cuadro 29 N° de visitas de personas residentes y no residentes por ASP y categoría de protección, del informe SEMEC (p. 60) del 2017, durante el año 2016 la cantidad de visitantes al Parque Nacional Chirripó fue de 8 443 personas, lo cual es una cifra bastante significativa que sirve como referencia del número de individuos que se pueden ver beneficiados por el proyecto de acceso a telecomunicaciones en la zona.

La principal ventaja de recurrir a una micro red eléctrica con generadores fotovoltaicos y celdas de combustible es que, puede realizarse el proyecto sin necesidad de introducir líneas de transmisión eléctrica, que, según Plan de Manejo del Parque Internacional La Amistad Talamanca, es una actividad no permitida por ser considerada de impacto ambiental severo (p. 62), además, debido a las características de bajo ruido de funcionamiento, cero emisiones de contaminantes en el caso de los paneles solares y bajas emisiones de las celdas de combustible, el proyecto es de muy bajo impacto ambiental, lo cual es idóneo para llevarse a cabo en dicha zona.

4. Proyecciones

El alcance que el presente trabajo tiene es la entrega en forma digital (CD) de las memorias de cálculo, planos de ubicación de los equipos por utilizar, diagrama unifilar, presupuestos de los costos de los materiales y los sistemas de paneles solares, banco de baterías y celdas de combustible, de manera tal que si se demuestra que el proyecto es viable pueda ser tomado en cuenta para ser implementado por parte del ICE.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

5. Marco Teórico

5.1 Estación Base

De acuerdo con Párraga (2009) estación base se define y se describe de la siguiente manera:

En comunicaciones por radio, una estación base es una instalación fija de radio para la comunicación bidireccional. Se usa para comunicar con una o más radios móviles o portátiles. Las estaciones base normalmente se usan para conectar radios bidireccionales de baja potencia, como, por ejemplo, la de un teléfono móvil, un teléfono inalámbrico o una computadora portátil con una tarjeta WiFi. La estación base sirve como punto de acceso a una red de comunicación fija (como la Internet o la red telefónica) o para que dos terminales se comuniquen entre sí yendo a través de la estación base. (...)

Normalmente, está compuesta por un mástil al cual están unidas tres grupos de una o varias antenas equidistantes. El uso de varias antenas produce una diversidad de caminos radioeléctricos que permite mejorar la recepción de la información. (...)

Además, la Estación Base dispone de algún medio de transmisión, vía radio, satélite, par telefónico o cable, para efectuar el enlace con la Central de Conmutación de Telefonía Móvil Automática, que a su vez, encamina la llamada hacia el teléfono destino, sea fijo o móvil. Por lo general, estas estaciones disponen, también, de baterías eléctricas, capaces de asegurar el funcionamiento ininterrumpido del servicio y/o motogeneradores. (pp. 13-14)

5.1.1 Criterios de clasificación:

Las radiobases de telecomunicaciones se pueden clasificar por la ubicación de los equipos y por el tipo de corriente de alimentación o conexión eléctrica.

5.1.1.1 Por la ubicación de los equipos:

Según el tipo de ubicación de equipos Párraga (2009) las caracteriza de la siguiente manera:

- Ambientes controlados en casetas, salas de centrales telefónicas, salas de equipos (sitios bajo techo o en áreas interiores)

- Ambientes no controlados, generalmente los equipos se encuentran sobre una losa en contacto con los elementos y el medio ambiente (sitios exteriores)

En la mayoría de los casos, en el momento de diseñar una estación base se seleccionan sitios bajo techo, para localidades que requieren de gran cantidad de equipos y que se tienen previsto crecimientos a mediano y largo plazo, normalmente estas radiobases tienen un consumo a nivel de energía bastante alto, requieren de mayor espacio y el ambiente es controlado por equipos de aire acondicionado (se controla, generalmente, la temperatura y humedad de la sala).
(...)

Por otro lado, la filosofía de las radiobases exterior, se basan en sitios de cobertura únicamente, en la mayoría de los casos. Deben ocupar poca área y por ello su consumo debe ser relativamente mucho más bajo que uno radio base para interiores.

Existen casos que por motivos del crecimiento urbano sin control o por desplazamiento poblacional, es difícil hacer previsiones producto de una buena planificación, porque la dinámica de crecimiento de la red de telefonía celular se basa en que algunas radio bases exteriores se convierten progresivamente en puntos de repetición o nodos de concentración de enlaces, por lo que para estos casos, se requieren de equipos adicionales como son los gabinetes de interconexión (Para la ubicación de radios o MODEMS satelitales) y gabinetes de expansión de baterías para aumentar el respaldo. (pp. 13-14)

Figura 1: Estación Base exterior



Fuente: <http://mendillo.info/gestion/tesis/Parraga.pdf>

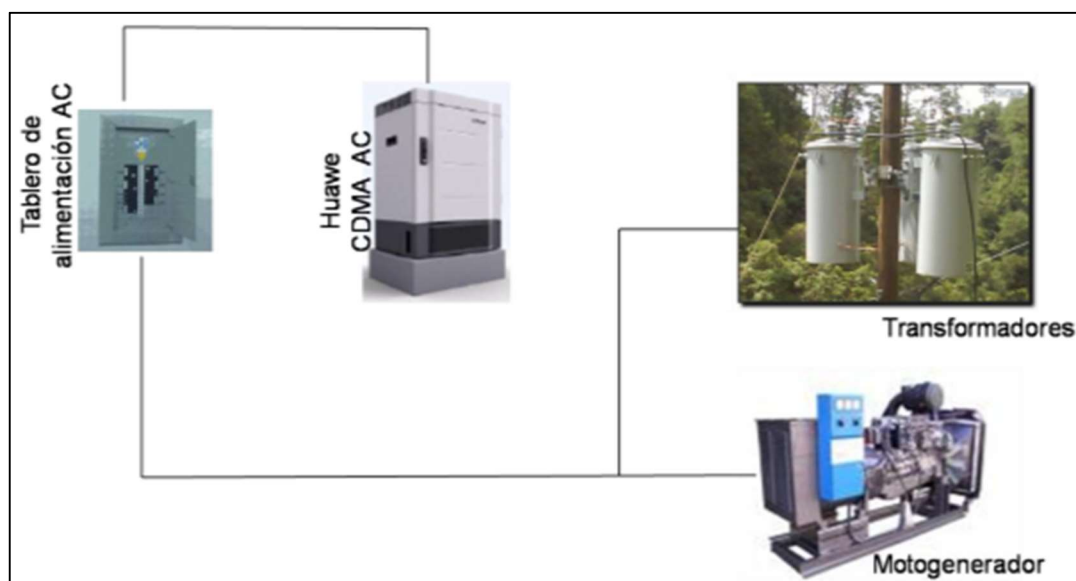
5.1.1.2 Por el tipo de corriente de alimentación:

5.1.1.2.1 Estaciones radio base alimentadas en corriente alterna (ac):

Según Párraga (2009), las estaciones base alimentadas por corriente alterna son:

Son aquellas estaciones radio bases que se alimentan directamente de un tablero de Corriente Alterna (AC) el cual puede estar alimentado de una red eléctrica, generalmente, en 120/208Vac o desde un motogenerador, y la propia BTS posee los convertidores y rectificadores requeridos para alimentar los elementos que funcionan en DC (Filtros, amplificadores, portadoras, radios, etc...). Generalmente, poseen su propio banco de baterías para el respaldo de la BTS en caso de una falla de la acometida eléctrica en AC que permite una autonomía entre 4 a 6 horas. (...)

Figura 2: Esquema básico de alimentación AC para radiobase



Fuente: <http://mendillo.info/gestion/tesis/Parraga.pdf>

Es importante destacar que el consumo de energía eléctrica (Watts-hora) de cada tipo de BTS dependerá del modelo del equipo, fabricante, capacidad o número de portadoras, por lo que no existe un “estándar” propiamente. Cada operadora de telefonía celular, desarrolla su propio estándar de energía en función a los equipos y servicios que desea prestar. (pp. 23-25)

5.1.2 Estaciones radio base alimentadas en corriente directa (DC):

De acuerdo con Párraga (2009) la definición de estación base alimentada con DC es la siguiente:

Son aquellas radiobases que requieren de un equipo o cuadro de rectificación y conversión para poder ser alimentadas eléctricamente. Los voltajes típicos para esta configuración son +24Vdc ó -48Vdc. En la actualidad, la mayoría de los fabricantes de equipos de telecomunicaciones prefieren trabajar con equipos alimentados en -48Vdc, esto se debe a que al trabajar con niveles de tensión más altos las corrientes requeridas son menores, por lo que los calibres de conductores, también son menores y esto facilita el proceso de instalación y cableado de las BTS.

La mayoría de los equipos de telecomunicaciones, incluyendo PBX's, equipos de conmutación telefónica, transmisión sea vía microondas o fibra óptica, radios portátiles, celulares, etc., están diseñados para operar con base en una fuente de CC.

Una fuente de CC tiene la indiscutible ventaja de su alta confiabilidad en comparación a una fuente de CA. Esto es porque la batería, la que es normalmente usada como respaldo, está

directamente conectada a la carga sin etapas intermedias, como por ejemplo, un inversor, el que puede fallar y dejar al equipo sin alimentación.

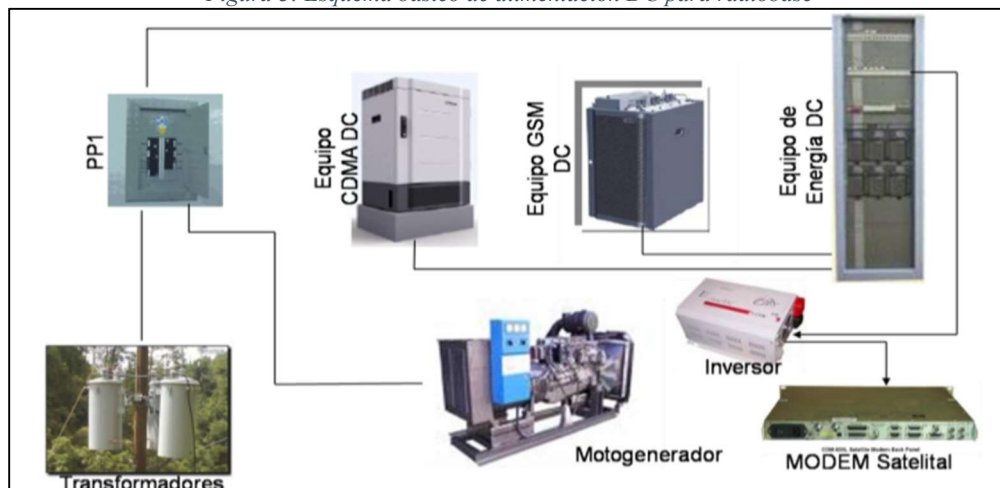
La planta de fuerza básica consiste en un rectificador, generalmente, complementado por una batería, pero puede incluir varios otros componentes. (convertidores, inversores, reguladores, entre otros.)

Los voltajes más comúnmente requeridos para equipos de telecomunicación en CC son: +24V y -48V.

La utilización de -48V está rápidamente volviéndose predominante y éste es el voltaje máximo operativo seguro de acuerdo ambos a NEC (National Electrical Code) y CEC (Canadian Electrical Code), el que no tiene requerimientos limitativos con respecto de la corriente. Voltajes más elevados reducirían el amperaje requerido e implicarían fusibles/llaves/cables más reducidos. (...)

El voltaje -48V se desarrolló en el mundo de la telefonía porque se consideró que era el voltaje máximo admisible para trabajar sin riesgos cuando se tenían que hacer conexiones con polos vivos (pp. 25-26).

Figura 3: Esquema básico de alimentación DC para radiobase



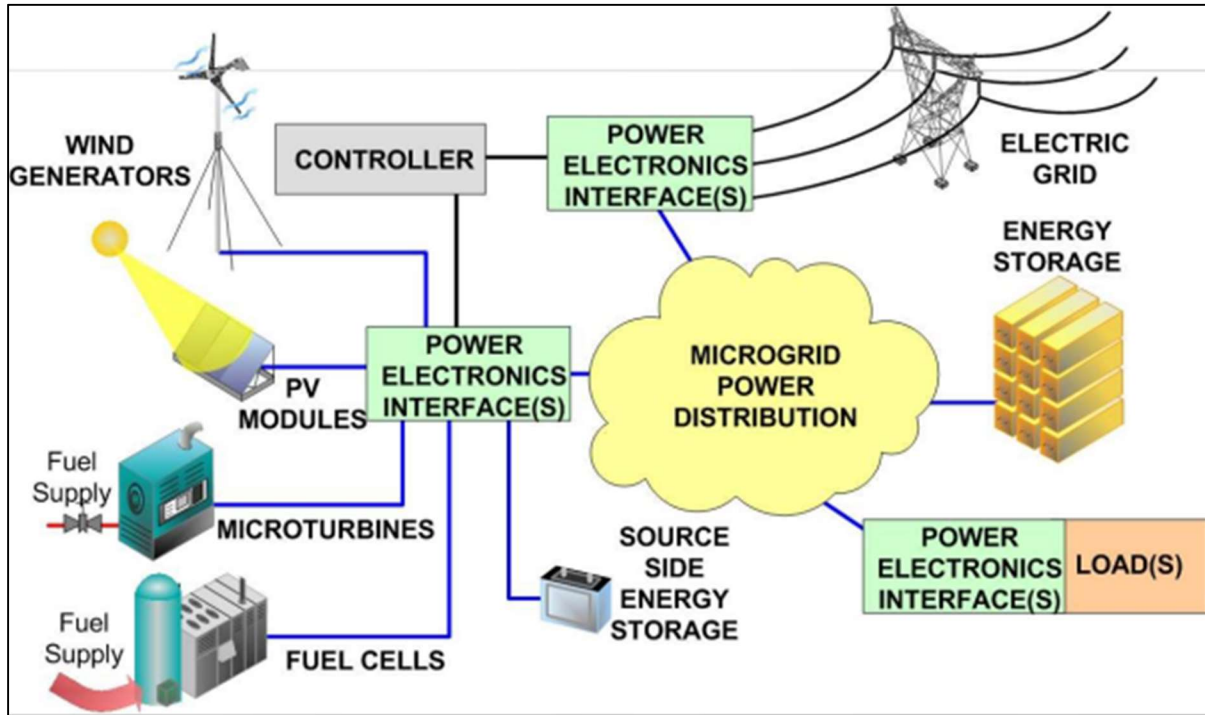
Fuente: <http://mendillo.info/gestion/tesis/Parraga.pdf>

5.2 Microred eléctrica

El concepto de microrred eléctrica brindado por Kwasinski (2012) es el siguiente:

Micro-redes son redes eléctricas que están confinadas a una cierta área local y que pueden ser controladas independientemente de una red eléctrica (interconectada) principal. Estas micro-redes constan de una red de distribución gracias a la cual se integran cargas, elementos de almacenamiento de energía, y fuentes de potencia locales. De esta forma las micro-redes pueden operar o no conectadas a una red principal de energía eléctrica. (p. 3)

Figura 4: Diagrama general de diversos elementos que pueden ser parte de una microrred eléctrica



Fuente: [http://www.rcgsas.com/Documentos/Presentaciones/KWASINSKI- Operacion_micro_redes.pdf](http://www.rcgsas.com/Documentos/Presentaciones/KWASINSKI-Operacion_micro_redes.pdf)

5.2.1 Características de una Microred

Para Kwasinski (2012), las principales características de una microrred son:

- Pueden ser controladas independientemente
- Tienen sus propias cargas.
- Tienen su propia red de distribución de energía eléctrica.
- Tienen fuentes de potencia propia.
- Tienen elementos de almacenamiento de energía eléctrica.
- Usualmente, incorporan circuitos de electrónica de potencia para integrar todos estos componentes.
- Los elementos de almacenamiento de energía pueden ser colocados:
 - Conectados directamente a la red de distribución de la Micro-red y sin estar asociados a ninguna fuente de potencia en particular.
 - Asociados a una fuente de potencia en particular
- Comparadas con redes de energía convencionales, las microrredes pueden ser:
 - Mas confiables (si se usan fuentes de potencia diversas).
 - Mas eficientes.
 - Mas flexibles de operar.
 - Menos vulnerables a desastres naturales o ataques intencionales.
 - Mas sencillas de controlar.
 - Mas “amigables” con el medio ambiente
 - Mas modulares con lo que se puede dividir en etapas la inversión necesaria para su instalación.

- Las microrredes pueden ser instaladas en sitios que están operativos sin afectar la carga (pp. 4-5).

5.2.2 Desafíos en la operación de microrredes

La implementación de microrredes trae consigo diversos desafíos los cuales Kwasinski (2012) menciona en la siguiente lista:

- Estabilidad: debido a que la carga es comparable a la capacidad de los generadores y a que los generadores tienen poco o nada de energía almacenada.
- Generadores con respuesta dinámica lenta (no pueden seguir los cambios en la carga).
- Diseño (por ejemplo, uso de corriente continua o corriente alterna).
- Coordinación de protecciones.
- Operación en paralelo con una red principal.
- Selección y control de las fuentes de potencia.
- Muchos de estos desafíos aplican, tanto cuando las microrredes están conectadas a una red como cuando no lo están. Pero el último punto (fuentes) es, especialmente, relevante para para operación en forma aislada. (p. 6)

5.2.3 Fuentes de potencia de una Microred

“Las fuentes de potencia en microrredes pueden depender o no de otras infraestructuras para su operación (llamadas líneas vitales o “lifelines” en inglés).” (Kwasinski, 2012, p. 7)

5.2.3.1 Fuentes de potencia que no dependen de otras infraestructuras:

Según Kwasinski (2012) “La mayoría de las fuentes que no dependen de otras infraestructuras son fuentes que dependen de energías renovables, como por ejemplo, fuentes eólicas o fuentes fotovoltaicas.” (p. 7)

Respecto de este tipo de fuentes de energía, Kwasinski (2012) hace mención de problemas que presentan como la variabilidad en la producción de potencia y requerimiento de un espacio amplio.

5.2.3.2 Fuentes de potencia que dependen de otras infraestructuras:

Kwasinski (2012) menciona algunos ejemplos de este tipo de fuentes, tales como:

- Generadores accionados por motores de combustión interna.
- Microturbinas.
- Celdas de combustible.

Además, comenta sobre problemas que acarrea utilizar este tipo de generadores de energía debido a que dichas infraestructuras pueden no estar disponibles en zonas aisladas o ser vulnerables a emergencias o pueden necesitar de otras infraestructuras para operar.

5.2.3.3 Solución a limitaciones de fuentes de potencia de microrredes:

- Almacenamiento de recursos en forma local.
- Diversificar las fuentes de potencia (sistemas híbridos).

5.3 Generadores fotovoltaicos

5.3.1 Celdas solares

Textos científicos.com (s.f.) define el significado de celdas solares de la siguiente manera:

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil. (...)

Las celdas solares de silicio disponibles comercialmente, en la actualidad, tienen una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar que cae sobre ellas de cerca del 18%, a una fracción del precio de hace treinta años. (s.f.)

Respecto de la cantidad de energía entregada por generador fotovoltaico y su eficiencia, Textos Científicos.com (s.f.) indica que se determinan por factores, tales como:

- El tipo y el área del material.
- La intensidad de la luz del sol.
- La longitud de onda de la luz del sol.

Por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino, actualmente, no pueden convertir más el de 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.

Las celdas solares de silicio policristalino, en la actualidad, tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen, actualmente, una eficiencia cerca del 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio monocristalino.

Una típica célula fotovoltaica de silicio monocristalino de 100 cm² producirá cerca de 1.5 vatios de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el 1000Wm⁻²). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol. (Por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida, también, será disminuida a la mitad).

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar con bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin embargo, hay límites a este proceso, debido a la complejidad de los mecanismos, y de la necesidad de refrescar las

celdas. La corriente es relativamente estable a altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula. (Textos Científicos.com, s.f.)

5.3.2 Tipos de celdas solares.

Conforme se indica en la página web de Galt Eergy (s.f.), las celdas solares se clasifican, según su tipo de la siguiente manera:

- En primer lugar, se encuentran las celdas amorfas. Este tipo de celdas es utilizado normalmente en los paneles solares pequeños, como los usados en las calculadoras o las lámparas de jardín. Cabe destacar que, aunque este tipo de celdas cada vez se usan más para paneles de mayor tamaño, su capacidad para producir energía es mucho menor que la de los paneles conformados por varias celdas individuales. Esto se debe a que dichos paneles de mayor tamaño están formados, únicamente, por una celda amorfa, lo cual los pone en desventaja sobre aquellos conformados por varias celdas interconectadas.
- En segundo lugar, se encuentran las celdas cristalinas. Este tipo de celdas es que se utiliza interconectando unas con otras para formar un panel. Producen un promedio de 0.5 a 0.6 voltios individualmente, pero al interconectarlas pueden producir cantidades sustanciosas de energía en un solo panel. (Galt Energy, s.f.)

5.3.3 Ventajas de las celdas solares:

Galt Energy (s.f.) describe las siguientes ventajas del uso de celdas solares:

- Favorecen al medio ambiente porque disminuyen las emisiones de dióxido de carbono de todos los aparatos y equipos que hagan uso de la energía solar como su fuente principal. Esto es muy importante, ya que los gases liberados tras la quema de combustibles fósiles producen el efecto invernadero y el daño que provocan es prácticamente irreversible. Al disminuir el consumo de energía obtenida a través de la quema de sustancias, se disminuye, también, la cantidad de gases emitidos y como consecuencia se contribuye menos al empeoramiento del efecto invernadero.
- Adicionalmente, hacen accesible la electricidad para personas que habitan en zonas rurales de difícil acceso donde la energía convencional no llega. Eso permite no sólo que dichas personas puedan hacer uso de aparatos que necesiten de energía eléctrica, sino que evita que en el futuro se deban hacer instalaciones mucho más invasivas de cableado, generadores y transformadores que perjudican al ecosistema. (Galt Energy, s.f.)

5.3.4 Aplicación de sistemas de paneles solares:

La energía solar a través del uso de los paneles solares puede ser implantada de diferentes maneras y tener muy variadas aplicaciones, entre las que según, erenovable.com (s.f.) se distinguen:

5.3.4.1 Aplicaciones de red.

Por otro lado, están las aplicaciones en red, que son aquellas en las que la energía producida por los paneles solares no se consume de forma autónoma, sino que es vendida a los gestores de la energía del país en cuestión. Por ejemplo, están conectados a la red las grandes

instalaciones de placas solares para generar energía eléctrica, los huertos solares o los edificios fotovoltaicos ya preparados para la eficiencia energética a través de la energía solar.

5.3.4.2 Aplicaciones autónomas.

Las aplicaciones autónomas serían aquellas en las que los paneles solares no están conectados a ningún tipo de red y sirven para abastecer al mismo lugar en donde recogen la energía del sol. Dentro de este tipo de aplicaciones autónomas se pueden encontrar distintos tipos, algunas de las más frecuentes serían la espacial (para producir energía para los satélites o estaciones espaciales en órbita), para autoabastecimiento en hogares o zonas rurales, para las telecomunicaciones y para el alumbrado público, entre muchos otros usos y aplicaciones. (erenovable.com, s.f.)

5.3.5 Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Los componentes de un sistema fotovoltaico, según ingemecanica.com (s.f.) son:

5.3.5.1 Módulos fotovoltaicos

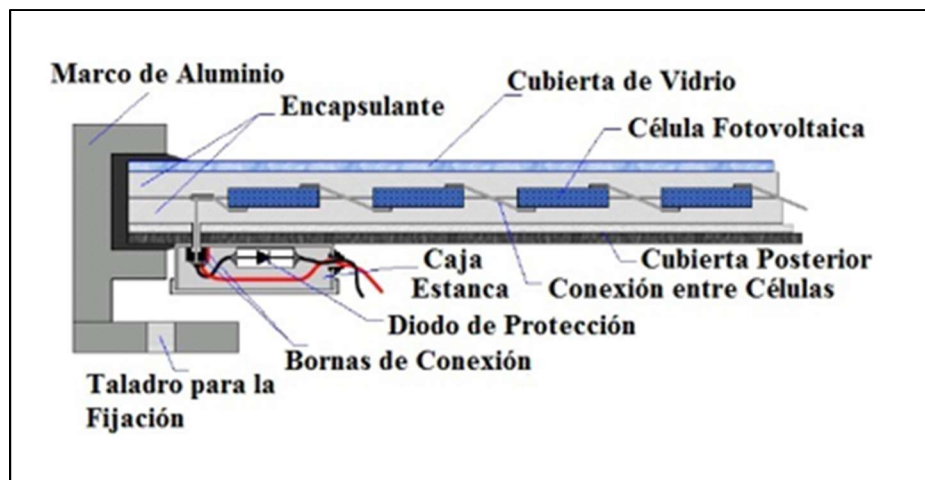
Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares dispuestas en serie y/o en paralelo de manera que la tensión y corriente que finalmente proporcione el panel se ajusta al valor requerido.

La conexión entre células puede ir en serie y/o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente requeridos. Cada célula de las que compone un panel fotovoltaico es capaz de ofrecer una tensión del orden de 0,5 voltios y una potencia eléctrica alrededor de los

3 vatios [SIC], aunque este valor dependerá de la superficie que mida la célula. De esta manera la potencia que pueda ofrecer un módulo dependerá del número de células que posea, estando diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (directa, *DC*), a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V). (...)

Con el fin de poder ofrecer la potencia eléctrica deseada, así como de la tensión e intensidad de corriente a la salida del generador, los distintos módulos o paneles serán distribuidos en serie y/o en paralelo, según convenga. (...)

Figura 5: Partes de paneles solares



Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html#seccion44>

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante están obtenidas sometiendo a los módulos a unas *Condiciones Estándar de Medida (CEM)* de irradiancia y temperatura, que son siempre las mismas y son utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares. Estas condiciones son las siguientes:

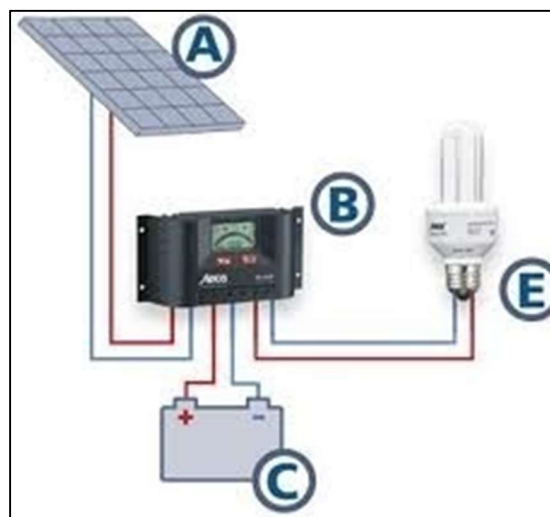
- Irradiancia solar: 1000 W/m²;
- Distribución espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula: 25 °C.

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas de los estándares anteriores, por lo que habrá que aplicar los correspondientes coeficientes correctores a los procedimientos de cálculos que se realicen. (...)

5.3.5.2 Regulador de carga

Un regulador de carga, cuyo emplazamiento se indica con la letra B en la figura adjunta, es un equipo encargado de controlar y regular el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías.

Figura 6: Ubicación de regulador de carga de sistema fotovoltaico.



Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html#seccion44>

Por lo tanto, estos dispositivos funcionan como un cargador de baterías, evitando, además que se produzcan sobrecargas y, a la vez, limitan la tensión de las baterías a unos valores adecuados para su funcionamiento.

De este modo, un regulador de carga se encarga de controlar la forma de realizar la carga de las baterías cuando los paneles solares están recibiendo radiación solar evitando que se produzcan cargas excesivas.

Y a la inversa, esto es, durante el proceso de descarga de las baterías destinado al consumo de electricidad en la vivienda, el regulador evita igualmente que se produzcan descargas excesivas que puedan dañar la vida de las baterías. (...)

La corriente máxima prevista por la línea de entrada al regulador desde los generadores fotovoltaicos es la correspondiente a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico más un margen de seguridad (generalmente un 25%), para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura. (Anon., s.f.)

5.3.5.3 Baterías y sistemas acumuladores solares

Según calefacción-solar.com (s.f.) la explicación de la función que cumplen las baterías es la siguiente:

La principal función de las baterías para paneles solares radica en almacenar energía solar durante las horas con luz para ser utilizada durante la noche o por periodos prolongados de poca

iluminación o mal clima. Saber cuál es la batería indicada para nuestro sistema de generación fotovoltaico consiste, principalmente, en aquella que se adapte mejor a nuestras necesidades.

Independientemente a sus funciones de almacenamiento de energía, las baterías para paneles solares, también, tienen la capacidad de proveer una mayor intensidad de corriente a la que se genera por el sistema fotovoltaico en las horas de día.

Así como cada batería es diferente, la capacidad de acumulación de energía en un dispositivo depende de la velocidad de descarga de esta: cuanto más tiempo exista en la descarga, mayor será la cantidad de energía que la batería solar generará.

Los tipos de baterías para paneles solares más utilizados en el mercado están en los siguientes formatos. Cada una tiene sus propias ventajas y desventajas:

5.3.5.3.1 De plomo ácido abiertas o de mínimo mantenimiento:

La ventaja de este tipo de baterías radica en que pueden ser rellenadas con agua destilada. Como desventaja, se encuentra que requerirá de citas de servicio para un mínimo mantenimiento.

5.3.5.3.2 De plomo ácido selladas o libres de mantenimiento:

Que no requiera el mínimo mantenimiento es la principal ventaja de las baterías de este tipo; sin embargo, esta característica provoca su desventaja, pues al no necesitar mantenimiento acorta su vida funcional frente a las baterías que sí necesitan mantenimiento.

5.3.5.3.3 De gel selladas o libre mantenimiento:

Este tipo de baterías no requieren mantenimiento y cuentan con una protección contra la salud de ácido. Su desventaja principal es que no soportan una corriente mayor de la que se especifica.

5.3.5.3.4 AGM selladas libre de mantenimiento:

Sin duda, este tipo de baterías es de las que cuentan con más ventajas: no necesitan mantenimiento y están construidas con material de fibra de vidrio absorbido. También, se protegen contra salidas de ácido y catalizan hasta el 95% del hidrógeno y el oxígeno gasificado otra vez en agua, características por las que tienen una vida más larga. Su funcionalidad es su mayor desventaja, pues son baterías con precios elevados debido a su gran calidad. (calefaccion-solar.com, s.f.)

Otros componentes descritos por ingemecanica.com (s.f.) son:

5.3.5.4 Inversor o Convertidor DC/AC

También, llamado inversor u ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su consumo, además, sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas, según el tipo de carga, garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la carga.

Los inversores vienen caracterizados, principalmente, por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento. (...)

En general, los inversores en las instalaciones fotovoltaicas deben cumplir las siguientes exigencias:

- Deberán ofrecer una eficiencia lo más alta posible. (...)
- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas. (...)
- Disponer de elementos que incorporen el rearme y desconexión automática del inversor.
- Poder admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% (...)
- Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo.
- Disponer de aislamiento galvánico.
- Disponer de sistema de medida y monitorización.
- Incorporar controles manuales que permitan el encendido y apagado general del inversor, y su conexión y desconexión a la interfaz AC de la instalación. (...)
- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, que permitirá detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.
- Protección contra calentamiento excesivo. (...)
- Protección de funcionamiento modo isla, que desconectará el inversor en caso de que los valores de tensión y frecuencia de red queden fuera de unos valores umbrales. (...)
- Protección de aislamiento, que detecta posibles fallos de aislamiento en el inversor.
- Protección contra inversión de polaridad, que permite proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

- Por último, la envolvente o carcasa que protege el dispositivo inversor ofrecerá un grado de aislamiento de tipo básico clase 1 y un grado de protección mínima IP20 para aquellos inversores instalados en el interior de edificios y sean lugares inaccesibles, de IP30 para inversores situados en el interior de edificios y lugares accesibles, y con grado de protección mínima de IP 65 para inversores instalados a la intemperie. (...)

Figura 7: Inversor



Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

5.3.5.5 Cableado

Los sistemas fotovoltaicos, como toda instalación que queda permanente al aire libre, deben estar diseñadas para resistir las duras inclemencias meteorológicas (temperaturas ambientales extremas, radiación solar ultravioleta, humedad, resistencia a los impactos...) que condicionan la calidad de los materiales empleados. (...)

De este modo, para el uso específico en instalaciones fotovoltaicas, se recomienda emplear cables del tipo *PV ZZ-F*, que están especialmente concebidos para aplicaciones fotovoltaicas.

Figura 8: Cable tipo *PV ZZ-F*



Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Los cables tipo *PV ZZ-F* ofrecen gran resistencia térmica, además de una gran resistencia climática (rayos UV, frío, humedad...), que se comprueba mediante ensayos de resistencia a la intemperie. También, presentan un excelente comportamiento y resistencia al fuego, que se comprueba mediante ensayos específicos de incendio. (...)

Asimismo, el conductor interior de los cables *PV ZZ-F* deberá estar estañado, confiriéndose así una mayor resistencia a una posible corrosión por oxidación. (...)

Los tramos de cables en corriente continua serán tramos compuestos de dos conductores activos (positivo y negativo) más el conductor de protección. (Anon., s.f.)

5.3.5.6 Protecciones

Se tratará en este tutorial sólo de las protecciones necesarias para instalar en la parte continua, situadas antes del inversor, con objeto de poder detectar y eliminar cualquier incidente en la instalación, garantizando así, la protección de los equipos conectados y de las personas.

Además de las protecciones integradas en el inversor, habrá que incluir los dispositivos de protección necesarios que realicen las siguientes labores de protecciones eléctricas:

5.3.5.6.1 Protección contra sobrecargas:

Una sobrecarga ocurre cuando existe un valor excesivo de intensidad ocasionado por un defecto de aislamiento, una avería o una demanda excesiva de carga. (...)

Los dispositivos de protección contra sobrecargas podrán ser, bien un interruptor automático de corte omnipolar con curva térmica de corte, o un fusible. (...)

Pero en general, los dispositivos que se empleen para la protección de la instalación contra sobrecargas deberán cumplir las siguientes dos condiciones:

$$I_b \leq I_n \leq I_{adm}$$

siendo,

- I_b , la intensidad de diseño del circuito, según la previsión de cargas.
- I_n , la intensidad nominal del interruptor, es decir, el calibre asignado.
- I_{adm} , es la máxima intensidad admisible del cable conductor.

Y la otra condición:

$$I_{cd} \leq 1,45 \cdot I_{adm}$$

siendo,

- I_{cd} , la intensidad de ajuste (desconexión) del interruptor y que asegura el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección. En fusibles es la intensidad de fusión (I_f) en 5 segundos. (...)

A la hora de seleccionar el fusible se deberá tener en cuenta los siguientes factores:

- Tensión nominal V_n del fusible, que deberá ser mayor o igual que la tensión de operación de la línea donde se instale.
- La intensidad nominal I_n del fusible deberá ser mayor o igual que la máxima corriente esperada en la línea donde se instale.
- La intensidad de actuación o ruptura del fusible actuará en un tiempo inferior a 0,1 s.
- Que la intensidad de cortocircuito máxima que pueda soportar el fusible sea mayor que la máxima intensidad de cortocircuito esperada en el punto de la línea donde se instale el fusible. (...)

5.3.5.6.2 *Protección contra cortocircuitos:*

Todo equipo de protección empleado para limitar la incidencia de un cortocircuito deberá cumplir con las siguientes dos condiciones:

$$I^2 \cdot t \leq I_{cu}$$

siendo,

- I , la intensidad de disparo.
- t , es el tiempo de despeje (al producto $I^2 \cdot t$ se le suele llamar energía de paso).
- I_{cu} es la máxima intensidad de cortocircuito soportada por el cable, siendo $I_{cu} = k^2 \cdot S^2$, donde k es un valor de corrección del material del cable (115 para conductor de cobre aislado con PVC; 143 para conductor de cobre aislado con XLPE ó EPR y 94 para conductores de aluminio), y S es la sección del conductor en mm^2 .

$$PdC \geq I_{sc,m\acute{a}x}$$

siendo,

- PdC , el poder de corte del dispositivo de protección.
- $I_{sc,m\acute{a}x}$ es la máxima intensidad de cortocircuito prevista en el punto de instalación.

En todo caso, para que la protección contra cortocircuitos sea eficaz, se debe cumplir que el tiempo de corte de toda corriente de cortocircuito que se produzca en un punto cualquiera de la instalación, no debe ser superior al tiempo que los conductores tardan en alcanzar su temperatura límite admisible.

5.3.5.6.3 Protección contra sobretensiones:

Generalmente, una sobretensión en una instalación fotovoltaica para autoconsumo tiene su origen en descargas atmosféricas (rayos) que se realizan sobre las partes altas de la estructura metálica que soporta los paneles.

La protección contra estos fenómenos se realiza con unos aparatos llamados autoválvulas o pararrayos. Realmente son unos descargadores de corriente que ofrecen una resistencia de tipo inversa, fabricada con óxido de zinc (ZnO) ó carburo de silicio (SiC), cuyo valor disminuye al aumentar la tensión que se aplica sobre ella.

Estos aparatos deberán colocarse lo más cerca posible del equipo a proteger, para que pueda derivar a tierra el exceso de tensión originado por la descarga de un rayo, de manera que absorba las sobretensiones que se puedan producir en la instalación y evitando así la perforación de los aislamientos. (Anon., s.f.)

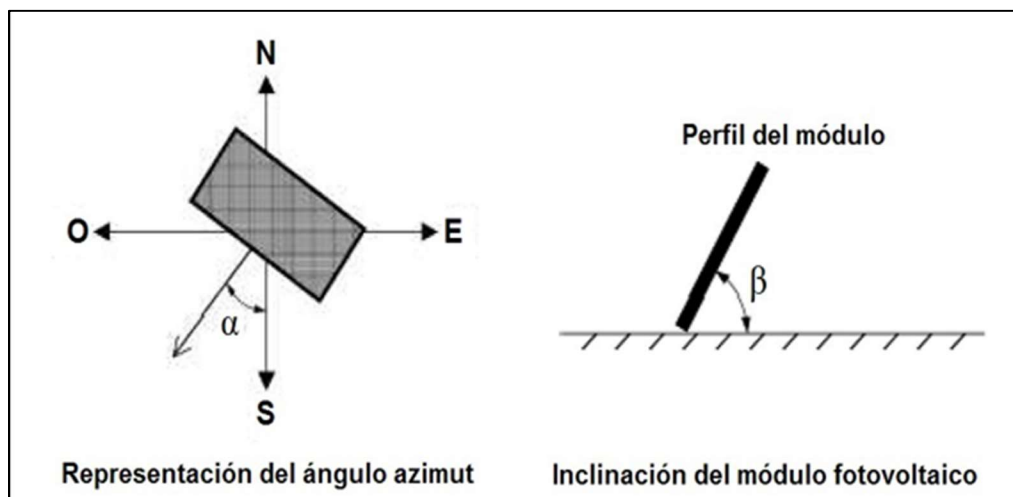
5.3.6 Emplazamiento y disposición de los módulos solares

Respecto del posicionamiento de los paneles, el tutorial consultado en ingemecanica.com (s.f.) indica lo siguiente:

La orientación de los paneles solares será tal que estos se dispongan siempre "mirando" hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur para aquellas instalaciones situadas en el hemisferio norte terrestre, y orientadas hacia el norte para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles unas desviaciones de hasta $\pm 20^\circ$ respecto del ecuador del observador sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento. (...)

La orientación se define por el ángulo llamado azimut (α), que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano (orientación sur) del lugar. Toma el valor 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este, $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

Figura 9: Definición de la orientación e inclinación del módulo fotovoltaico

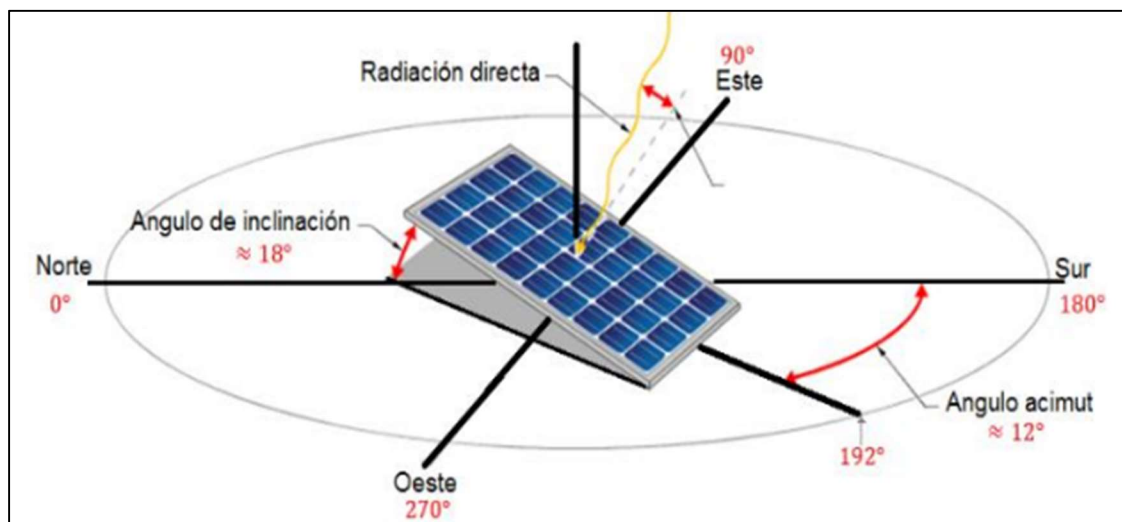


Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html#seccion44>

Por otro lado, el ángulo de inclinación (β) es aquel que forma la superficie del módulo con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° si son verticales.

El valor de la inclinación de los paneles solares con respecto de la horizontal, cuando se pretende que la instalación se use todo el año con un rendimiento aceptable, coincide, aproximadamente, con la latitud del lugar donde se instale. Si la instalación se usa, principalmente, en invierno, entonces la inclinación óptima de los módulos sería la obtenida de sumarle a la latitud 10° , por el contrario, si la instalación va a usarse básicamente en verano, la inclinación que habría que proporcionarles a los módulos sería el resultado de restar a la latitud del lugar 20° . Por último, si se pretende un diseño óptimo que funcione para todo el año, la inclinación que habrá que proporcionarles al panel solar será igual a la latitud del lugar, como se ha dicho. (Anon., s.f.)

Figura 10: Ángulo azimut e inclinación del módulo fotovoltaico



Fuente: http://revistasomim.net/congreso2017/articulos/A5_148.pdf

5.3.7 Radiación solar disponible

Referente a este apartado, ingemecanica.com (s.f.) señala lo siguiente:

El conocimiento de la radiación solar que se produce en el lugar donde se va a realizar la instalación es determinante, tanto para conocer la energía disponible, como para analizar el comportamiento de los componentes del sistema. (...)

La irradiación ($W \cdot h/m^2$) se define como la energía incidente por unidad de superficie durante un determinado periodo, mientras que la irradiancia (W/m^2) se refiere a la potencia instantánea recibida por unidad de superficie, o dicho de otro modo, la energía incidente por unidad de superficie y unidad de tiempo.

En este sentido, existe una multitud de bases de datos de donde se puede obtener información sobre la radiación solar disponible en cualquier lugar del planeta.

5.3.7.1 Hora solar pico

Wikipedia (s.f.) define HSP de la forma siguiente:

La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2

Una hora solar pico equivale a $3,6 \text{ MJ/m}^2$ o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m^2 , tal y como se muestra en la siguiente conversión:

Ecuación: conversión de hora solar pico

$$1 \text{ HSP} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}}{\text{m}^2} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} = 3,6 \text{ MJ/m}^2$$

5.3.8 Cálculo de número y conexionado de los módulos solares

Respecto del cálculo de número de paneles solares Ulacia (2015) señala:

Quizás el determinar cuántos paneles solares se requieren para una instalación es el tema principal en la determinación total de un sistema. Los paneles se obtienen de la cantidad de energía total consumida ($E[\text{Wh}]$), el porcentaje de esa energía que se quiere generar (%), Los días del periodo de Facturación de la compañía[SIC] de Energía eléctrica (D [30 o 60 días]), La potencia de los paneles a instalar ($P [\text{W}]$), las horas de irradiación en la localidad donde se realice la instalación (h) y la eficiencia del sistema que típicamente es de un 85%

$$N_p = \frac{E [kWh] \cdot 1000 [W/kW] \cdot P_g [\%]}{D_p [dia] \cdot P [W/panel] \cdot t [h/dia] \cdot \eta_s [\%]}$$

N_p – Numero Paneles

E – Energia Requerida [kWh]

P_g – Porcentaje Generacion

D_p – Dias Periodo

P – Potencia Panel [W/panel]

t – Horas Irradiacion [h/dia]

η_s – Eficiencia Sistema [0.85] (Ulacia, 2015)

5.3.8.1 Conexionado en serie o paralelo entre los módulos

De acuerdo con ingemecánica.com (s.f.) el conexionado se define de la siguiente manera:

Para establecer la conexión entre módulos, si en serie o en paralelo, teniendo en cuenta que el módulo seleccionado, se tiene una tensión en el punto de máxima potencia (V_{MP}) y el número de paneles necesarios que habrá que colocar en serie para alcanzar la tensión de trabajo del sistema ($V_{sistema}$), vendrá dado por la siguiente expresión:

$$N_{serie} = V_{sistema} / V_{MP}$$

Mientras que el número de paneles por colocar en paralelo será calculado mediante la expresión siguiente:

$$N_{paralelo} = N_{mód,Total} / N_{serie}$$

5.3.9 Cálculo de las baterías

De acuerdo con ingemecánica.com (s.f.) el método por seguir es:

Para el cálculo de las baterías o acumuladores solares, los parámetros importantes necesarios para su dimensionado, según el modelo de batería seleccionado son:

- Profundidad de Descarga Máxima Estacional, $PD_{MÁX,e}$
- Profundidad de Descarga Máxima Diaria, $PD_{MÁX,d}$
- Número de días de autonomía, n

Para el cálculo de la capacidad nominal (C_{NBAT}) necesaria que deben ofrecer las baterías, ésta será la que resulte del mayor valor calculado al emplear las descargas previstas, diaria y estacional.

Por un lado, considerando la descarga máxima diaria ($PD_{MÁX,d}$), el cálculo de la capacidad nominal de la batería (C_{NBAT}), se realizará empleando la siguiente expresión:

$$C_{NBAT} = \frac{Q_{Ah}}{PD_{MÁX,d}}$$

Por otro lado, para calcular el valor de la capacidad nominal de las baterías (C_{NBAT}) en función de la descarga máxima estacional ($PD_{MÁX,e}$), se utilizará la expresión siguiente:

$$C_{NBAT} = \frac{Q_{Ah} * n}{PD_{MÁX,s}}$$

Como conclusión, para la selección de las baterías se tomará como valor mínimo de la capacidad el mayor valor obtenido de los anteriores. (Anon., s.f.)

5.3.10 Cálculo del regulador

Respecto de la escogencia del regulador ingemecanica.com (s.f.) establece lo siguiente:

Para la selección del regulador de carga es necesario calcular cuál será la máxima corriente que deberá soportar, tanto en la entrada como en su salida.

Para el cálculo de la máxima corriente de entrada al regulador (I_{Re}), que proviene de los módulos fotovoltaicos, se empleará la siguiente expresión:

$$I_{Re} = 1,25 \cdot I_{SC} \cdot N_{paralelo}$$

donde,

- I_{SC} es la intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico seleccionado (...)
- $N_{paralelo}$ es el número de ramales de paneles solares dispuestos en paralelo (...)
- $1,25$ es un factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

Por otro lado, para el cálculo de la máxima corriente esperada a la salida del regulador (I_{Rs}), es decir, del lado del consumo, se empleará la siguiente expresión:

$$I_{Rs} = \frac{1.25 * (P_{DC} + P_{AC}/\eta_{inv})}{V_{BAT}}$$

siendo,

- P_{DC} la potencia de las cargas en continua (o corriente directa) que haya que alimentar.
- P_{AC} es la potencia de las cargas en alterna.
- η_{inv} es el rendimiento del inversor, en torno al 96%.
- V_{BAT} la tensión de trabajo de la batería de acumulación. (...)

El número de reguladores necesarios para instalar vendrá dado por la siguiente expresión:

$$N_{reguladores} = I_{Re} / I_{MAX,e} \quad (...)$$

Por último, habría que comprobar que los parámetros de diseño del modelo de regulador seleccionado se ajustan a las condiciones de operación previstas:

- Rango de tensión de entrada de diseño del regulador seleccionado (...)
- Tensión máxima en circuito abierto admitida (...)
- Potencia máxima admisible (Anon., s.f.)

5.3.11 Cálculo de dimensión del cableado y protecciones

De acuerdo con ingemecanica.com (s.f.) se considerará lo siguiente:

Para el cálculo de las secciones de los cables conductores y de las protecciones se distinguirá entre la parte de la instalación que funciona en continua (directa) y la parte de la instalación que funciona en corriente alterna.

Cada uno de los tramos que componen la instalación poseerá una sección diferente de los conductores debido a que la intensidad de corriente que circula por cada uno de ellos será diferente dependiendo los equipos que interconecten. (Anon., s.f.)

El dimensionamiento propiamente se realizará tomando en consideración las regulaciones estipuladas por el Código Eléctrico Nacional (NFPA, 2008) en su artículo 690 referido a Sistemas solares fotovoltaicos, específicamente:

690.8(A)(1) Corrientes del circuito de la fuente fotovoltaica. La corriente máxima debe ser la suma de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo multiplicados por el 125 por ciento.

690.8(A)(2) Corrientes del circuito fotovoltaico de salida. La corriente máxima debe ser la suma de las corrientes máximas de los circuitos de las fuentes en paralelo, como se calculan en la sección 690.8(A)(1). (p. 668)

Para escoger el calibre del cable por utilizar se usará la tabla 310.16 del NEC 2008 que se puede observar en el apéndice F de este documento.

Respecto de las protecciones el NPFA (2008) establece lo siguiente:

690.8(B)(1) Dimensionamiento de los conductores y los dispositivos de protección contra sobrecorriente. Los conductores del circuito y los dispositivos de protección contra la sobrecorriente deben dimensionarse de modo que conduzcan como mínimo el 125 por ciento de la corriente máxima calculada, según la sección 690.8(B)(1). Se permitirá que la corriente

nominal o el ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente cumplan lo establecido en las secciones 240.4(B) y(C). (p. 668)

5.3.11.1 Instalación en corriente continua o directa (CC/DC):

De acuerdo con ingemecanica.com (s.f.) el procedimiento es el siguiente:

Como ya se ha dicho anteriormente, en los distintos tramos en continua cada tramo se compondrá de dos conductores, uno positivo y otro negativo, que serán de igual sección a la que resulte del cálculo (...)

A continuación, se pasa a calcular las secciones de cables de cada uno de los distintos tramos que componen la instalación fotovoltaica en continua.

5.3.11.1.1 Tramo Conexión al Regulador:

Este tramo de cableado comprende la conexión desde la salida de la caja de grupo de módulos fotovoltaicos conectados en paralelo, hasta la entrada al regulador de carga. (...)

5.3.11.1.2 Tramo de conexión a baterías:

La intensidad máxima de corriente del tramo de conexión hacia las baterías será igual a la suma de las intensidades de cortocircuito (I_{SC}) de los módulos en paralelo que constituyen el generador fotovoltaico. (...)

5.3.11.1.3 Cableado de protección:

Para la protección y seguridad de la propia instalación, habrá que instalar un cable adicional, además de los cables activos (positivo y negativo), que será el cable de protección y que servirá para conectar todas las masas metálicas de la instalación con el sistema de tierra, con el objetivo de evitar que aparezcan diferencias de potencial peligrosas, y al mismo tiempo permita descargar a tierra las corrientes de defectos o las debidas por las descargas de origen atmosférico.

El cable de protección será del mismo material que los conductores activos utilizados en la instalación, e irán alojados en el mismo conducto que los conductores activos. (Anon., s.f.)

“Los conductores de puesta a tierra de equipos en los circuitos fotovoltaicos de una fuente y de salida deben estar dimensionados de acuerdo con la Tabla 250.122” (NFPA, 2008, p. 674)

“Los conductores de puesta a tierra de equipos deben tener un calibre no inferior a 14 AWG” (NFPA, 2008, p. 674)

5.3.11.2 B) Instalación en corriente alterna (AC):

“A partir de la salida del inversor, todos los tramos de corriente alterna que alimenta la instalación, que será de tipo monofásica, se van a componer de dos conductores (fase y neutro), además del conductor de protección.” Ingemecanica. (Anon., s.f.)

5.4 Celda de combustible

La definición dada por Párraga (2009) es la siguiente:

Una pila de combustible, también llamada célula o celda de combustible, es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería, pero se diferencia de esta última en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos, es decir, produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería.

Además, los electrodos en una batería reaccionan y cambian, según como esté de cargada o descargada, en cambio en una celda de combustible los electrodos son catalíticos y relativamente estables. Los reactivos típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo (si se trata de una celda de hidrógeno). Por otra parte, las baterías convencionales consumen reactivos sólidos y, una vez que se han agotado, deben ser eliminadas o recargadas con electricidad. Generalmente, los reactivos "fluyen hacia dentro" y los productos de la reacción "fluyen hacia fuera". La operación a largo plazo virtualmente continua es factible mientras se mantengan estos flujos.

Las celdas de combustible permiten promover una diversidad de energía y una transición hacia fuentes de energía renovables. Así, una variedad de distintos combustibles puede ser usados en éstas, combustibles tales como hidrógeno, metano, etano, gas natural, así como gas licuado

(LPG). La energía también podría ser provista a partir de biomasa, sistemas eólicos o bien solares. (pp. 20-21)

5.4.1 Celdas de combustible que se utilizan a nivel comercial:

Las Celdas de combustible más utilizadas de acuerdo con Párraga (2009) son:

- Celda de combustible de membrana de intercambio de protones (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) (Siglas: PEMFC)
 - Celda de Combustible directas (Direct Fuel Cell)
 - a) Celda de Combustible en base a Metanol (Direct Methanol)((DMFC)
 - b) Celda de Combustible en base a Hidruro de boro (Direct Borohydride) (DBFC)
 - Celda de Combustible Alcalina (Alkaline Fuel Cell) (AFC)
 - Celda de Combustible de Ácido Fosfórico (Phosphoric Acid Fuel Cell) (PAFC)
 - Celda de Combustible de Carbonato-Alcalino Fundido (Molten Carbante Fuel Cell) (MCFC)
 - Celda de Combustible Electrolito de Óxido Cerámico (Solid Oxide Fuel Cell) (SOFC)
- (pp. 32-33)

Para efectos de esta investigación, se utilizarán celdas de combustible de metanol directo, por lo que solamente se explicará sobre este tipo en específico.

5.4.2 Celdas de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM)

Párraga (2009) en su tesis explica respecto de este tipo de celdas lo siguiente:

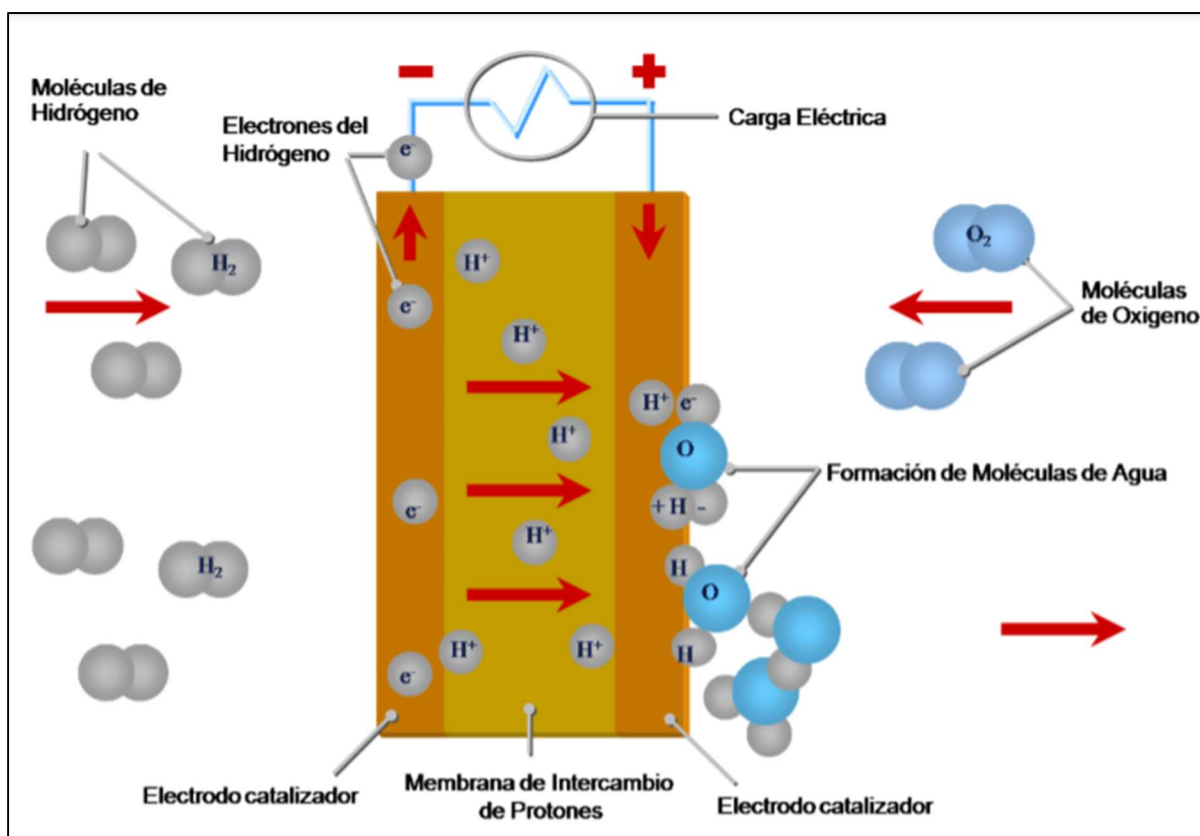
Estas celdas operan a temperaturas relativamente bajas (cerca de 175 grados F ú 80 grados C), tienen alta densidad de potencia, pueden variar rápidamente su salida de potencia para atender cambios en la demanda de potencia y son muy adecuadas para aplicaciones, -- como los automóviles – donde un arranque rápido es requerido. De acuerdo con el DOE, "son el candidato número uno para vehículos de trabajo ligero, para edificios y potencialmente para muchas aplicaciones pequeñas, tal como reemplazo de baterías." La membrana de intercambio protónico es una hoja de plástico delgado que permite que iones de hidrógeno pasen a través de ella. La membrana está cubierta en ambos lados con partículas de aleación altamente dispersa (principalmente platino) que funcionan como catalizadoras. El electrolito utilizado es un polímero ácido orgánico poli-perflourosulfónico. El electrolito sólido tiene la ventaja de reducir la corrosión y otros problemas de funcionamiento. El hidrógeno es alimentado en el lado del ánodo de la celda de combustible donde el catalizador promueve que los átomos de hidrógeno liberen electrones y se conviertan en iones hidrógeno (protones). Los electrones viajan en forma de corriente eléctrica que puede ser utilizada antes de regresar por el lado del cátodo de la celda de combustible donde se ha alimentado oxígeno. Al mismo tiempo, los protones se difunden a través de la membrana (electrolito) hacia el cátodo, donde el átomo de hidrógeno es recombinado al reaccionar con el oxígeno para producir agua, completando así el proceso. Este tipo de celda de combustible es, sin embargo, sensible a impurezas presentes en el combustible. La salida de la celda generalmente está en el rango de 50 a 250 kW. (p. 35)

5.4.2.1 Funcionamiento de la celda de combustible tipo PEM

De acuerdo con Párraga (2009) las celdas de combustible tipo PEM operan de la siguiente manera:

Una celda de combustible (celda de hidrógeno), consiste en dos electrodos separados por un electrólito. El oxígeno pasa sobre un electrodo e hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrólito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil. Para generar cantidades utilizables de corriente las celdas de combustibles son "amontonadas" en un emparedado de varias capas. (...)

Figura 11: Proceso básico de funcionamiento de una celda de hidrógeno.



Fuente: <http://mendillo.info/gestion/tesis/Parraga.pdf>

En el ejemplo típico de una célula de membrana intercambiadora de protones (o electrolito polimérico) hidrógeno/oxígeno de una celda de combustible (PEMFC, en inglés: proton exchange membrane fuel cell), una membrana polimérica conductora de protones (el electrolito), separa el lado del ánodo del lado del cátodo.

En el lado del ánodo, el hidrógeno que llega al ánodo catalizador se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los electrones están forzados a viajar por un circuito externo (produciendo energía) ya que la membrana está aislada eléctricamente. En el catalizador del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones (conducidos a través del circuito externo) y protones para formar el agua. En este ejemplo, el único residuo es vapor de agua o agua líquida. Es importante mencionar que para que los protones puedan atravesar la membrana, ésta debe estar convenientemente humidificada dado que la conductividad protónica de las membranas poliméricas utilizadas en este tipo de pilas depende de la humedad de la membrana. Por lo tanto, es habitual humidificar los gases previamente al ingreso a la pila.

Además de hidrógeno puro, también se tiene el hidrógeno contenido en otras moléculas de combustibles incluyendo el diésel, metanol y los hidruros químicos, el residuo producido por este tipo de combustibles, además de agua es dióxido de carbono, entre otros. (pp. 49-51)

5.4.3 Integración de pilas de combustible en sistemas autónomos basados en energías renovables

En su trabajo (Alonso, et al., s.f.) definen que:

La principal razón, pues para la integración de una pila a combustible en sistemas autónomos es la de proveer al sistema de una alta fiabilidad, y la de optimizar costes, reduciendo el tamaño de generador y batería.

Pueden abordarse varios tipos de esquemas de principio. Los dos esquemas básicos de principio, que han sido los considerados en el proyecto FIRST (Fuel cell Innovative Remote Systems for Telecom), más adelante descrito, son:

A) Sistema en el que la Pila a Combustible se alimenta del hidrógeno almacenado en depósitos que son rellenados cada cierto tiempo. El principio de funcionamiento es paralelo al de un sistema con grupo auxiliar diésel de apoyo, alimentado por un tanque de combustible que se rellena cada cierto tiempo.

B) Sistema que incorpora, además, un electrolizador, que es el encargado de producir el hidrógeno que se almacenará en los depósitos durante los periodos de máxima radiación, y que será utilizado posteriormente en la pila cuando la radiación/viento no sea suficiente para que el sistema renovable asuma la carga de batería y el abastecimiento al consumo.

5.4.4 Diseño y esquema de principio

El diseño de este tipo de sistemas está basado en una optimización de costes a lo largo de la vida del proyecto. Para ello se puede implementar un software en el que:

- Se recoge una serie de datos de entrada:
 - Datos de consumo: potencia, consumo diario, tensión del sistema a ser alimentado

- Datos de recurso renovables: radiación (inclinación y orientación de paneles) velocidades y frecuencias de viento en el lugar donde el sistema energético vaya a ser instalado o condiciones de contorno:
 - 100% de fiabilidad o abastecimiento a la carga en todo momento
 - Volúmenes máximos en depósitos de almacenamiento
 - Potencia de la Pila ajustada a la potencia de consumo (teniendo en cuenta eficiencia de convertidores)
- Se calculan los rangos de tamaños para los diferentes componentes que constituyen el sistema, y los costes asociados a éstos (€/W).
- Se estiman los costes de instalación, reparación y mantenimiento; así como de combustible (hidrógeno, diésel si ha lugar), previendo posibles escenarios en los que estos precios se modifiquen

Una vez recogidos estos datos, se utiliza un algoritmo de optimización para obtener los tamaños óptimos de los equipos que constituyen el sistema energético. (pp. 1244-1245)

5.5 Aspectos financieros

Es importante conocer algunos conceptos básicos en cuanto a la parte financiera cuando se desea incursionar en algún proyecto, más que todo determinar si es rentable económicamente. De este proyecto se explican dos conceptos muy importantes por tomar en cuenta.

5.5.1 Valor actual neto

De acuerdo con wikipedia.org (s.f.)

El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto (en inglés net present value), cuyo acrónimo es VAN (en inglés, NPV), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar en el momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja (en inglés cash-flow) futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización (k) o de descuento (d) es el resultado del producto entre el coste medio ponderado de capital (CMPC) y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado. (...)

La fórmula que permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

- V_t : Representa los flujos de caja en cada periodo t .
- I_0 : Es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n : Es el número de periodos considerado.
- K : Es el tipo de interés.

Si el proyecto no tiene riesgo se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico.

Cuando el VAN toma un valor igual a 0, k pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que está proporcionando el proyecto.

Tabla 1: Interpretación del VAN

Valor	Significado	Decisión a tomar
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Fuente: www.wikipedia.org

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones por considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

Una empresa suele comparar diferentes alternativas para comprobar si un proyecto le conviene o no. Normalmente, la alternativa con el VAN más alto suele ser la mejor para la

entidad; pero no siempre tiene que ser así. Hay ocasiones en las que una empresa elige un proyecto con un VAN más bajo debido a diversas razones como podrían ser la imagen que le aportará a la empresa, por motivos estratégicos u otros motivos que en ese momento interesen a dicha entidad.

Puede considerarse, también, la interpretación del VAN, en función de la creación de valor para la empresa:

- Si el VAN de un proyecto es positivo, el proyecto crea valor.
- Si el VAN de un proyecto es negativo, el proyecto destruye valor.
- Si el VAN de un proyecto es cero, el proyecto no crea ni destruye valor.

(wikipedia, s.f.)

5.5.2 Tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR)

“La tasa interna de retorno (TIR) se define como aquella tasa que descuenta el valor de los futuros ingresos netos esperados igualándolos con el desembolso inicial de la inversión (matemáticamente, esta definición es equivalente a decir que la TIR es aquella tasa que iguala el VAN a cero)”. (López, 2006)

Conforme con la información que presenta wikipedia.org (s.f.)

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o

rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el costo de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo el costo de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto expresada por la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

Otras Definiciones

- Es la tasa que iguala la suma del valor actual de los gastos con la suma del valor actual de los ingresos previstos:

Ecuación 2: Tasa interna de retorno (TIR)

$$\sum_{i=1}^N VPI_i = \sum_{i=1}^N VPC_i$$

- Es la tasa de interés para la cual los ingresos totales actualizados es igual a los costos totales actualizados:

Ecuación 3: Tasa interés de ingresos totales igual a los costos totales

$$ITA_c = CTA_c$$

- Es la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión.
- Es la tasa de interés máxima a la que se pueden endeudar para no perder dinero con la inversión.
- Es la tasa real que proporciona un proyecto de inversión y es aquella que al ser utilizada como tasa de descuento en el cálculo de un VAN dará como resultado 0.

- Es la tasa de interés compuesto al que permanecen invertidas las cantidades no retiradas del proyecto de inversión. (...)

5.5.2.1 *Uso general de la TIR*

Como ya se ha comentado anteriormente, la TIR o tasa de rendimiento interno es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

- Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el costo de oportunidad).
- Si la $TIR \leq r \rightarrow$ se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

5.5.2.2 *Dificultades en el uso de la TIR*

- **Criterio de aceptación o rechazo.** El criterio general solo es cierto si el proyecto es del tipo "prestar", es decir, si los primeros flujos de caja son negativos y los siguientes positivos. Si el proyecto es del tipo "pedir prestado" (con flujos de caja positivos al principio y negativos después), la decisión de aceptar o rechazar un proyecto se toma justamente al revés:
 - Si la $TIR > r \rightarrow$ se rechazará el proyecto. La rentabilidad que está requiriendo este préstamo es mayor que el costo de oportunidad.
 - Si la $TIR \leq r \rightarrow$ se aceptará el proyecto.

- **Comparación de proyectos excluyentes.** Dos proyectos son excluyentes si solamente se puede llevar a cabo uno de ellos. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida, siempre que los proyectos tengan el mismo riesgo, la misma duración y la misma inversión inicial. Si no, será necesario aplicar el criterio de la TIR de los flujos incrementales.
- **Los proyectos especiales,** también, son llamados el problema de la inconsistencia de la TIR. Son proyectos especiales aquellos en los que en su serie de flujos de caja hay más de un cambio de signo. Estos pueden tener más de una TIR, tantas como cambios de signo tengan, lo cual obedece a la presencia de la regla de los signos de Descartes. Esto complica el uso del criterio de la TIR para saber si aceptar o rechazar la inversión. Para solucionar este problema se suele utilizar la TIR corregida. También, la inconsistencia de la TIR tiene lugar cuando existen proyectos que no tienen TIR. (Wikipedia, s.f.)

6. Antecedentes

6.1 Generador basado en celdas de hidrógeno para el hogar DEMAG

Autor: LABOR Srl¹

Año: 2002

Institución: LABOR Srl

DEMAG (Domestic Emergency Advanced Generator) se trata de un proyecto impulsado con el financiamiento de la Unión Europea en el que un grupo de investigadores desarrolló un generador para uso doméstico a base de celdas de hidrógeno y ultracondensadores que le permiten suplir suficiente energía durante los picos de demanda.

Las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) utilizan hidrógeno gas (formado por moléculas de dos átomos de hidrógeno enlazados entre sí), que se dividen en iones de hidrógeno (protones) y electrones en uno de los electrodos, mientras el hidrógeno se combina de nuevo con oxígeno en el segundo electrodo para generar agua. El flujo de electrones en el circuito es corriente eléctrica que sirve para cubrir las necesidades de electricidad.

Las cargas muy dinámicas (variaciones en la demanda de energía que varían rápidamente) acortan la vida útil de las celdas de combustible. Es así como el ultracondensador interviene en forma de dispositivo de almacenamiento de energía.

¹ LABOR es una organización privada de investigación por contrato que realiza investigación y desarrollo de terceros, específicamente en el sector de la energía y el medio ambiente.

Los investigadores desarrollaron el sistema DEMAG para gestionar el uso doméstico de la energía en condiciones transitorias y en régimen estacionario. Un controlador inteligente detectaba el consumo energético de los distintos dispositivos conectados.

Además de comercializar el prototipo de generador eléctrico doméstico, los módulos y los conceptos individuales podrían ser útiles en hospitales y centros de cuidados de emergencia. El sistema DEMAG, también, se podría modificar para detectar la temperatura, la presión y otros parámetros para controlar y conmutar de forma inteligente en numerosas aplicaciones.

DEMAG tiene la intención de investigar la aplicación doméstica interior de tecnologías avanzadas de hidrógeno a generadores de energía de emergencia que salvan vidas, y entregar una fuente de alimentación de emergencia, con una potencia de 10 kWh, basada en la integración de una pila de combustible PEM con ultracondensadores y un contenedor de hidratos metálicos : se espera que el FC proporcione una salida de potencia básica, mientras que los ultracondensadores pueden suministrar cargas máximas temporales. El sistema se diseñará para proporcionar el mejor potencial de adaptación. Se realizará una evaluación de seguridad exhaustiva para apoyar la integración de dispositivos basados en hidrógeno en entornos domésticos.

Los resultados tangibles a los que se dirigió el proyecto DEMAG fueron:

- Suministro de energía de emergencia de 10 kWh, capaz de suministrar 1 kW durante 10 horas.
- 220 voltios a 50 Hz de potencia de salida.
- Generación de energía por medio de una célula de combustible PEM de 1 kW.

- Peso <100 kg (incluido el almacenamiento de hidrógeno, generación de energía mediante PEMFC, controladores, auxiliares y accesorios).

- Volumen <12 litros (incluido el almacenamiento de hidrógeno, la generación de energía mediante PEMFC, controladores, auxiliares y accesorios).

- Almacenamiento de energía seguro a través de un metal de última generación que hidrata el tanque de hidrógeno LaNi₅, que funciona a 2 bar y temperatura ambiente.

- Puesta en marcha automática durante el apagón y apagado en la reconexión de la red.

- Instalación flexible y fácil tanto para nuevas instalaciones como para modernizaciones.

Se ha emitido un informe exhaustivo, abordando el marco normativo en las células de combustible y las tecnologías relacionadas con el hidrógeno, centrándose en los componentes utilizados en DEMAG.

La arquitectura modular DEMAG, que consiste en una unidad de supervisión central y dispositivos periféricos que incorporan diferentes funcionalidades, podría ser explotada en sistemas de respaldo tradicionales, con las siguientes ventajas:

- Permite diseñar el tamaño de la energía de respaldo para cargas de emergencia y no para la potencia nominal de la red doméstica, ya que brinda la capacidad de desconectar cargas innecesarias.

- Permite colocar la unidad central separada del interruptor principal.

- Es ideal, tanto para la nueva instalación como para la actualización de las redes existentes.

El generador DEMAG se utiliza para suministrar energía a la red doméstica, en caso de apagón, a través de cualquier salida del sistema eléctrico, y la característica principal del tren de potencia desplegado en esta aplicación es evitar que la celda de combustible se vea forzada a sostenerse carga dinámica, y picos sobre la potencia nominal del FC, ya que la fuente de alimentación variable es una de las razones principales de la reducción de la vida útil de la pila.

De hecho, la arquitectura del generador DEMAG puede convertir los picos de potencia, típicos de la inserción de carga en la red doméstica, en variaciones casi estacionarias de la demanda de potencia de FC, utilizando supercondensadores como sistema de almacenamiento de energía auxiliar. Un convertidor DC / DC inteligente administra la prioridad de intervención de los componentes de potencia.

Además, un supervisor puede interactuar con las unidades periféricas que proporcionan el sistema DEMAG con la inteligencia necesaria para gestionar la interacción entre las cargas y el generador. Se ha creado un prototipo del sistema DEMAG general y está disponible para ejecuciones de demostración.

La principal aplicación en el mercado del conocimiento generado bajo el proyecto DEMAG es el diseño y la producción de soluciones domésticas basadas en FC para reemplazar la batería tradicional en aplicaciones de energía de respaldo no críticas, es decir, cuando no se requiere la continuidad del suministro de energía.

6.2 Casas con almacenamiento de hidrógeno a través de energía solar

Autor: CNX Construction²

Año: 2015

Institución: Phi Suea House³

Desde el mes de marzo del 2015, en Chiang Mai, Tailandia, han estado experimentado con cuatro casas prototipo desarrolladas por la compañía CNX Construction, que son **las primeras en el mundo** que cuentan con su propio almacenamiento de hidrógeno, creado a partir de energía solar.

De acuerdo con sus fabricantes, cada casa posee paneles capaces de generar 441 kWh de energía diariamente, mucha de la energía que no se aprovecha durante el día es almacenada en un par de baterías de 2.000 Ah. El siguiente paso es aplicar parte de esa energía excedente en un contenedor de agua, para así separar sus componentes, **almacenando así el hidrógeno** para su uso principalmente durante las noches.

Al hacer uso de este sistema a su máxima capacidad, es capaz de generar **hasta 2.000 litros de hidrógeno cada hora**, mientras que el contenedor tiene una capacidad de hasta 90.000 litros. En Chiang Mai la demanda promedio de energía en una casa de este tipo es de 200 kWh, las baterías son capaces de producir 120 kWh en su máxima capacidad, así que los 80 kWh restantes se pueden obtener fácilmente del abastecimiento de hidrógeno.

² CNX Construction es un equipo de ingenieros, diseñadores y arquitectos inspirados dedicados a edificios de alta calidad y eficiencia energética

³ Phi Suea House es una residencia multi-hogar con energía solar de 100% autosustentable.

CNX desarrolló este proyecto con Phi Suea House quien desarrolló el sistema buscando un proceso totalmente limpio, eficaz y ecológicamente amigable multi-hogar con energía solar de 100% autosustentable.

Y finalmente, después de las pruebas, a finales del mes de enero de 2016 anunciarán sus planes de comercialización y requerimientos especiales, algo que creen que revolucionará el uso de la energía limpia directo en el hogar, siendo ideal para desarrollos residenciales u otros en ubicaciones remotas; o cuando se desee una independencia total de la red.

El sistema de energía está diseñado para almacenar energía solar de la manera más efectiva y ecológica. El sistema híbrido de batería de hidrógeno maximiza las ventajas tanto, del sistema de almacenamiento de hidrógeno como de las baterías.

En términos simples, la energía del sol se transforma a través de paneles solares en electricidad. Cualquier exceso de potencia se convertirá y almacenará como hidrógeno. Cuando el sol no está brillando, se usará el gas de hidrógeno almacenado en los tanques para generar electricidad mediante el uso de celdas de combustible.

El sistema es seguro, 100% escalable y sus únicos subproductos son oxígeno y agua, con un impacto mínimo o nulo sobre el medio ambiente.

6.3 Evaluación técnica y económica de las diferentes tecnologías de celdas de combustible como respaldo en estaciones radio bases de telefonía celular.

Autor: Ing.Adrián Gabriel Párraga Arias

Año: 2009

Institución: Universidad Metropolitana.

Se trató de un trabajo de tesis desarrollado en Venezuela durante el 2009, cuyo objetivo fue evaluar las diferentes opciones existentes en el mercado de celdas de combustible como alternativa de respaldo de energía eléctrica a estaciones radio base de telefonía celular, en caso de falla del suministro eléctrico principal, comparándolas con otros sistemas tradicionales de respaldo como los motogeneradores y bancos de baterías.

La investigación y análisis de alternativas arrojó el siguiente resultado:

- Las celdas de combustible más apropiadas para este tipo de aplicación son la tipo PEM, se seleccionó un modelo de celda (T-2000) de la empresa ReliOn para realizar el análisis de costos e implementación.

- Los beneficios obtenidos comparándolo con los sistemas tradicionales de respaldo son:

1. Reducción de costos mayores al 25% respecto de motogeneradores y más del 75% con respecto de sistema de banco de baterías. (Periodo de Operación utilizado en el análisis: 10 años). El análisis consideró los costos actuales y la tendencia futura a corto y mediano plazo de los precios de combustibles en ese momento, tanto para el caso de la moto generación como en el caso de la Celda de Combustible.

2. Tiempo de autonomía superior a los estándares promedios de las operadoras de telefonía celular. (Mayores a 12 horas)

3. Menor costo por mantenimiento
4. Menor costos por combustible, según la variación de precios del Barril de Petróleo
5. Menor costo por reciclaje con respecto de sistema de Banco de Baterías
6. Reducción significativa del tiempo fuera de servicio de las Estaciones Radio Base.

Los resultados de la investigación indicaron que la utilización de celdas de combustible es una alternativa viable, tanto desde el punto de vista operativo como financiero, respecto de los sistemas de respaldos tradicionales. Otro aspecto considerado en este análisis fue el nivel de protección del medio ambiente, este tipo de soluciones de respaldo prácticamente no generan contaminación y su nivel de ruido, comparados con métodos tradicionales es mucho menor.

7. Diagnóstico

El proyecto se realizará en la provincia de San José, en el Cerro Chirripó, ubicado en las coordenadas 9°27'23.20" N, 83°30'30.9" O. En esa ubicación el ICE propone la instalación de una radiobase de telecomunicaciones, la cual busca hacer llegar los servicios de telefonía celular e Internet al Albergue Base Crestones que está aledaño a las coordenadas antes mencionadas.

Figura 12: Vista satelital del Albergue Base Crestones



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Albergue+Base+Crestones>

Debido a las condiciones tan quebradas del terreno, falta de una carretera que llegue hasta el sitio y además, de que la zona es un área protegida, este punto carece de conexión a la red eléctrica nacional y llevar red eléctrica hasta ahí es inviable para el ICE, por lo que se requiere otra alternativa tal como diseñar un sistema de alimentación con fuentes renovables que brinde

corriente a los equipos de la torre de telecomunicaciones y que sea capaz de brindarle autonomía energética garantizando el continuo funcionamiento durante periodos prolongados.

Figura 13: Área en dónde se ubicará la radiobase



Fuente: Instituto Costarricense De Electricidad.

En la figura se muestra la ubicación propuesta por el ICE para construir la radio base, terreno en donde se instalarán la torre con los equipos necesarios, así como el sistema híbrido que contará con paneles solares, celdas de combustible y un banco de baterías encargado de energizar el sistema, que según datos obtenidos de otra radiobase del ICE con condiciones similares a la que se pretende construir, se estima demande alrededor de 2 Kw para su funcionamiento.

Se prevé que todos los equipos instalados en la radiobase funcionen a -48V DC, y que estos estén protegidos contra descargas producidas por rayos al igual que los equipos de generación y almacenamiento de energía.

8. Limitantes

Dentro las limitantes de este proyecto se encuentra la dificultad para obtener cotizaciones completas por parte de proveedores que indiquen el costo de la mano de obra, ya que por políticas de empresa no brindan este tipo de información a no ser que ellos presenten la propuesta completa para el proyecto.

Otra limitante es la poca oferta de equipos de generación con celda de combustible en el mercado y la poca información al respecto, además de que el único proveedor que se contactó por motivos laborales se encontraba fuera del país por lo que se dificultó aún más la comunicación.

Por último, se cuenta con la limitante de no tener especificado el costo del mantenimiento de los equipos, ya que al igual que con la mano de obra no fue posible obtener cotización por parte de los proveedores.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

9. Enfoque de la investigación

“La investigación o metodología cuantitativa es el procedimiento de decisión que pretende señalar, entre ciertas alternativas, usando magnitudes numéricas que pueden ser tratadas mediante herramientas del campo de la estadística. Por eso la investigación cuantitativa se produce por la causa y efecto de las cosas.” (Wikipedia, s.f.)

Esta investigación intenta proponer soluciones a una situación específica, en la cual se toman como referencia distintas variables representadas por datos numéricos, para luego mediante cálculos buscar resultados que orienten a la toma de decisiones, para buscar respuesta a la interrogante expuesta en el planteamiento del problema, es por esto por lo que el enfoque cuantitativo es el que más se adecua a la temática y desarrollo de esta investigación.

10. Método de la Investigación

Dada la naturaleza de este proyecto, el plan por seguir para poder dar solución al problema planteado se iniciará, por realizar un diagnóstico de las condiciones que ofrece el sitio, tanto favorables como limitantes para crear un panorama más claro que ayude a la correcta toma de decisiones.

Una vez finalizado el diagnóstico, se procederá al estudio de datos de consumos energéticos de una radiobase de condiciones similares, para poder estimar y establecer un valor de potencia eléctrica que deberá suministrarse a la radiobase por parte de la microrred.

A partir del consumo estimado mensual calculado, se desarrollarán dos casos o propuestas preliminares, la primera constará de un sistema de alimentación para la radiobase que consta de celdas de combustible y banco de baterías solamente; y la segunda que consiste en un diseño compuesto de generadores fotovoltaicos con banco de baterías y respaldo con celda de combustible.

Primero se desarrollará la investigación del caso número uno, tomando como referencia la potencia que se requiere generar, para así poder seleccionar la celda de combustible por utilizar, luego de eso se calculará la capacidad de las baterías por emplear y aspectos como la cantidad de horas que operarán los equipos y el consumo de combustible.

Seguido a eso se calcularán las secciones de los cables por utilizar y las protecciones del sistema para tener todas es especificaciones en caso de que se realice el diagrama unifilar del sistema.

El siguiente paso por seguir será iniciar el estudio del caso número 2, en el que, en función de la estimación de potencia requerida, se procederá a calcular la cantidad de paneles solares por instalar, para esto se deberá consultar datos meteorológicos que ayuden a definir diversas variables del cálculo, además se definirá el tipo de conexionado que deben tener los paneles entre sí.

Luego de realizar los cálculos de la cantidad de paneles, el paso por seguir es determinar las características que debe tener el sistema de almacenamiento de energía con baterías, para que se adecue a las necesidades de la radiobase y a las condiciones de carga a las que se verán sometidas, definiendo los días de autonomía que se espera que tenga el sistema.

Seguidamente, se calcularán las características del regulador o reguladores de voltaje por utilizar, con el fin de poder controlar la carga y descarga de las baterías para así poder elegir el equipo apropiado y luego se calcularán las secciones de cable y protecciones.

Teniendo definido, tanto la parte de generación solar como el banco de baterías, se seleccionará el equipo de celdas de combustible que mejor se adapte a las necesidades y particularidades del proyecto, tomando en consideración características técnicas del equipo y aspectos relacionados con la logística para el abastecimiento de combustible y mantenimiento de este.

También, se calcularán las horas que deberá operar la celda de combustible de acuerdo con sus características y la demanda que pueda haber, además del consumo de combustible mensual y anual que pueda tener.

Tras haber definido y dimensionado los equipos por utilizar, se realizará el diagrama unifilar correspondiente y un esquema de la ubicación de los diversos componentes de la microrred, de manera que estos puedan servir de guía en caso de una eventual construcción del proyecto.

Seguidamente, se realizará la cotización de los diferentes elementos del sistema para luego iniciar el análisis financiero de ambos casos para determinar la totalidad de los costos y la factibilidad económica de ambas alternativas para ser comparadas entre sí con el objetivo de poder seleccionar la más rentable para luego poder hacer una propuesta formal.

11. Fuentes de información

Para el desarrollo de este proyecto las fuentes de información consultadas son varias, iniciando por el ICE de quién se obtienen datos referentes a características de radiobases de cualidades similares como referencia, además de información brindada por el IMN necesaria para aspectos relacionados con el cálculo de sistema de generación fotovoltaica.

Además, se consultaron diversas fuentes bibliográficas referenciadas a lo largo del texto para sustentar el marco referencial que sirve de base teórica para la elaboración de cálculos relacionados con el diseño y el entendimiento o conceptualización de aspectos que envuelven un proyecto de este tipo. También se tiene información técnica de los equipos, suministrada por los distintos proveedores, que son utilizados para el dimensionamiento y selección de características para la respectiva selección de estos.

12. Variables o Categorías de Análisis

Las variables o categorías que se analizarán son las siguientes:

- Consumo de la radiobase
- Capacidad de generación de los equipos
- Tipo y cantidad de equipos a utilizar
- Dimensionamiento de conductores y protecciones
- Costos de inversión
- Costos operativos.

13. Instrumentos

Como instrumentos de obtención de datos se hará uso de la estadística para obtener datos de partida o parámetros de funcionamiento y fuentes secundarias de información para saber rendimientos y consumos de equipos, además de cálculos y fórmulas matemáticas para extraer de datos secundarios algunos datos que no están de manera explícita y que son necesarios para el desarrollo y análisis.

14. Proceso para la recolección y análisis de datos

El proceso para la recolección de datos será meramente investigativo y basado en fuentes secundarias de información, ya que los datos por utilizar serán obtenidos de estudios previos, marco referencial, fichas técnicas y cotizaciones de proveedores.

Basado en los datos recolectados se realizará un análisis de la situación por solventar y se realizarán los cálculos matemáticos pertinentes para obtener resultados medibles que sirvan de guía para la toma de decisiones.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De acuerdo con los cálculos realizados en los apartados 15.3.2 y 15.4.6, páginas 84 y 94 respectivamente, se puede analizar el comportamiento de las alternativas propuestas, basado en los resultados matemáticos obtenidos acerca de, la estimación de las horas diarias de trabajo de las celdas de combustible, que, según el estudio de la primera propuesta indica que será 10.17 horas, contra 1.05 horas que trabajará bajo las condiciones de la propuesta dos.

De los datos anteriormente presentados, se puede interpretar de manera clara que, en el primer caso, la celda de combustible tendrá un consumo mensual de HidroPlus mucho más elevado que para el caso 2; interpretación que a su vez, es respaldada por las cifras de consumo anual, de 20148 litros en el primer caso, obtenida en el apartado 15.3.2, página 84 y de 1156 litros anuales en el segundo caso, que se muestra en la Tabla 3, ubicada en la página 95, del apartado 15.4.6 del desarrollo.

La diferencia tan notoria de consumo HidroPlus, evidenciada previamente, se ve reflejada directamente en los costos operativos del sistema, como se puede observar en las Tablas 6 y 7, que toman como referencia el costo de \$4/litro (según la oferta del proveedor), ubicadas respectivamente, en las páginas 100 y 101, que presentan el costo de combustible anual estimado en \$80.592, para el caso en el que se implementan solamente celdas de combustible y banco de baterías, y costo de \$4.622 para el caso en que adicionalmente se cuenta con generadores fotovoltaicos, lo cual genera una diferencia de \$75.970 anual entre una opción y otra.

Otro dato importante respecto a la celda de combustible es, la diferencia de la vida útil calculada en años para ambas alternativas, que en el caso número uno, es mucho más corta que

para el caso dos, ya que para la opción de diseño uno es de solamente 2.18 años contra los 38.07 años que se estima para el caso 2, en concordancia con, los resultados obtenidos en los apartados 15.3.2, página 85 y 15.4.6, página 95.

Conforme con lo que muestran los resultados de los costos de las inversiones iniciales, desarrollados en el apartado 15.5.1, la construcción de la propuesta uno resulta más económica, puesto que el monto a invertir, según el dato contenido en la Tabla 4, ubicada en la página 96, es de \$167.349 contra el costo de la segunda propuesta que acorde con la Tabla 5, ubicada en la página 98, es de \$178.632, lo que significa una diferencia aproximada de \$11.250.

Volviendo al tema de la vida útil, la implementación de un proyecto u otro genera diferencias en la cantidad de años de operación de una u otra opción, lo que, a su vez, acarrea más costos relacionados con la renovación de equipos en el caso uno, ya que cada 8000 horas, que es el tiempo límite de vida útil, según el fabricante se debe realizar el cambio del Filtro PEM (Proton Exchange Membrane), con un costo que actualmente ronda los \$8000.

Es en esta membrana dónde se da la reacción química que genera el intercambio de protones, y por ende es fundamental para la adecuada generación eléctrica, de ahí la necesidad de que sea remplazada varias veces durante los 25 años en el caso 1, lo que genera costos a lo largo del tiempo, a diferencia de la otra alternativa en los que, según el cálculo de años de vida útil no deberá ser cambiado durante los 25 años para los que se estima que funcione el proyecto, debido a que en ese periodo se prevé que no se alcancen las 8000 h de funcionamiento, lo que no añade costos de operación.

Debido a que no ha sido posible obtener los costos de los mantenimientos, por parte de los proveedores de los equipos, estos costos están basados en valores porcentuales (10%) del valor de los equipos para cada caso, según la recomendación de del Ingeniero Álvaro Rojas Camacho que cuenta con vasta experiencia en el campo, resultando en el caso 2 mayores con respecto a los del caso 1 siendo de \$1.786 y \$1.673, respectivamente para el primer año.

Es importante recalcar que los valores previamente mencionados pueden variar una vez llevado a cabo el proyecto, ya que como se mencionó anteriormente, responden a una estimación basada en un criterio relacionado con la experiencia.

Como consideración importante para el segundo caso, al tratarse de un análisis basado en datos estadísticos y la incapacidad de controlar un factor tan importante como lo es la cantidad de radiación solar mensual, si se diera un descenso en esta por algún motivo climático, el consumo de HidroPlus se verá directamente afectado ya que la celda de combustible tendrá que trabajar por periodos mayores.

Otro resultado importante de destacar, es que respecto de la información encontrada en el apéndice I, para ambos casos la inversión inicial es mucho menor que el costo que tendría extender la red eléctrica hasta la zona del proyecto, que tendría un costo aproximado, según el tipo de cambio del dólar para el 3 de noviembre del 2018 sería de \$ 3.496.335, mientras que para los casos uno y dos los costos iniciales serían de \$167.349 y \$178.632 respectivamente, haciendo que económicamente no sea factible una opción que ya por sí misma desde el punto de vista ambiental no se considera factible.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Del estudio realizado se puede concluir que el diseño idóneo para el proyecto es el caso número 2 propuesto que incluye paneles solares, baterías y celdas de combustible debido a su menor costo a lo largo del tiempo considerando la suma de la inversión inicial y costos de operación respecto del caso número 1.
- Conforme al estudio realizado, en relación con el caso de diseño más factible financieramente, se determina que el proyecto debe conformarse por 40 paneles solares Jinko JKMS295M-60MKX de 295 Watts cada uno o modelo equivalente, 4 reguladores de voltaje Victron Energy BLUESOLAR MPPT 250V/70A, u otro con mismas características técnicas, banco de baterías de litio con capacidad de 3400 Ah @ 48V y un generador de celdas de combustible Ballard ElectraGen ME de 5KW u otro de similar capacidad.
- Según el desarrollo realizado, se define el diseño del diagrama unifilar, para el caso de mayor rentabilidad financiera debe ser el propuesto en el apartado 15, página 81.
- De acuerdo con los cálculos realizados se puede establecer que la celda de combustible no es adecuada para utilizarse como fuente principal de suministro de energía, limitándola a un uso meramente de planta de respaldo ya que cuenta con una vida útil limitada en horas que en el caso de uso continuo conlleva a que en pocos años esta deba ser remplazada respecto del tiempo en años que puede operar como respaldo solamente.
- Considerando que, por factores climáticos, la radiación solar que recibe la zona baje respecto del promedio con el que se realizó el cálculo, los costos de operación se incrementarán, ya que la disminución de generación fotovoltaica debe ser compensada incrementando la

generación por parte de la celda de combustible, para poder mantener las baterías al nivel de carga óptimo y alimentar la radiobase, trayendo también como consecuencia disminución de la vida útil de la celda de combustible.

- En caso de una avería total o parcial del sistema de paneles solares, se cuenta con el respaldo de la celda de combustible y la carga almacenada en las baterías estimada para brindar dos días de autonomía, con lo que la radiobase tendrá la capacidad de seguir operando mientras se realicen las reparaciones necesarias sin interrumpir los servicios que brinda, pero con una repercusión en el incremento del consumo de HidroPlus y disminución de vida útil de la celda.
- En caso de fallo de la celda de combustible o desabastecimiento de HidroPlus, el conjunto de paneles solares y baterías tendrá la capacidad de dar total autonomía a la radiobase durante los meses de mayor incidencia solar sin problema alguno, y durante los meses de menor incidencia de radiación brindará autonomía durante al menos dos días, ya que las baterías no serán completamente cargadas y el tiempo

Recomendaciones

- Se recomienda realizar mantenimiento y recarga de combustible al menos 2 veces al año en los meses de marzo y agosto respectivamente, ya que marzo es el mes que antecede al descenso de radiación solar y agosto el que está en medio de los 7 meses de menor generación fotovoltaica y, consecuentemente, al inicio y en medio de los meses de mayor consumo de HidroPlus para cada caso.
- Así mismo programar ajustes y mantenimiento a la celda de combustible durante los meses de mayor incidencia de radiación solar, de manera tal que no se ponga en riesgo el

funcionamiento continuo de la radiobase debido a la poca probabilidad de que se requiera de la celda durante estos meses.

- Es recomendable que a la hora de programar mantenimiento de los paneles solares se recarguen los tanques de HidroPlus, para que en caso de un imprevisto que obligue a mantener el sistema de paneles desconectado mientras se soluciona la situación, tener a disposición el mayor tiempo de respaldo posible que puede brindar la celda que es directamente proporcional a la cantidad de combustible.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Basado en el estudio realizado y los resultados obtenidos, se propone implementar una micro red aislada que esté conformada por la radiobase de telecomunicaciones, generador fotovoltaico, banco de baterías y celda de combustible, capaz de trabajar de manera autónoma y sin generar alto impacto ambiental, para así brindar solución al problema planteado previamente.

El diseño propuesto de la solución para el proyecto por realizar en el Cerro Chirripó pretende utilizar como fuente principal de alimentación un generador fotovoltaico compuesto por 40 paneles solares JKMS295M-60-MX, capaces de alimentar la radiobase y cargar las baterías durante las horas que disponga de radiación, para que durante las horas que no se disponga de luz solar las baterías se encarguen de alimentar a las cargas.

También, se dispondrá de una celda de combustible ElectraGen ME la cual opera a base de HydroPlus (63% Metanol / 37% agua desionizada), que cumple con la función de dar respaldo al sistema, recargando las baterías en condiciones de baja producción de energía por parte del generador fotovoltaico que no permitan suplir la totalidad de la carga demandada.

Respecto del combustible el proveedor de la celda ElectraGen ME indica que es capaz de suministrarlo bajo pedido y encargarse de lo referente al transporte y recarga del equipo a un costo de \$4 por litro solicitando el servicio con la adecuada antelación.

El sistema propuesto cuenta con un banco de baterías de Ion Litio de 3400 Ah a 48V de ciclo profundo de descarga de 60%

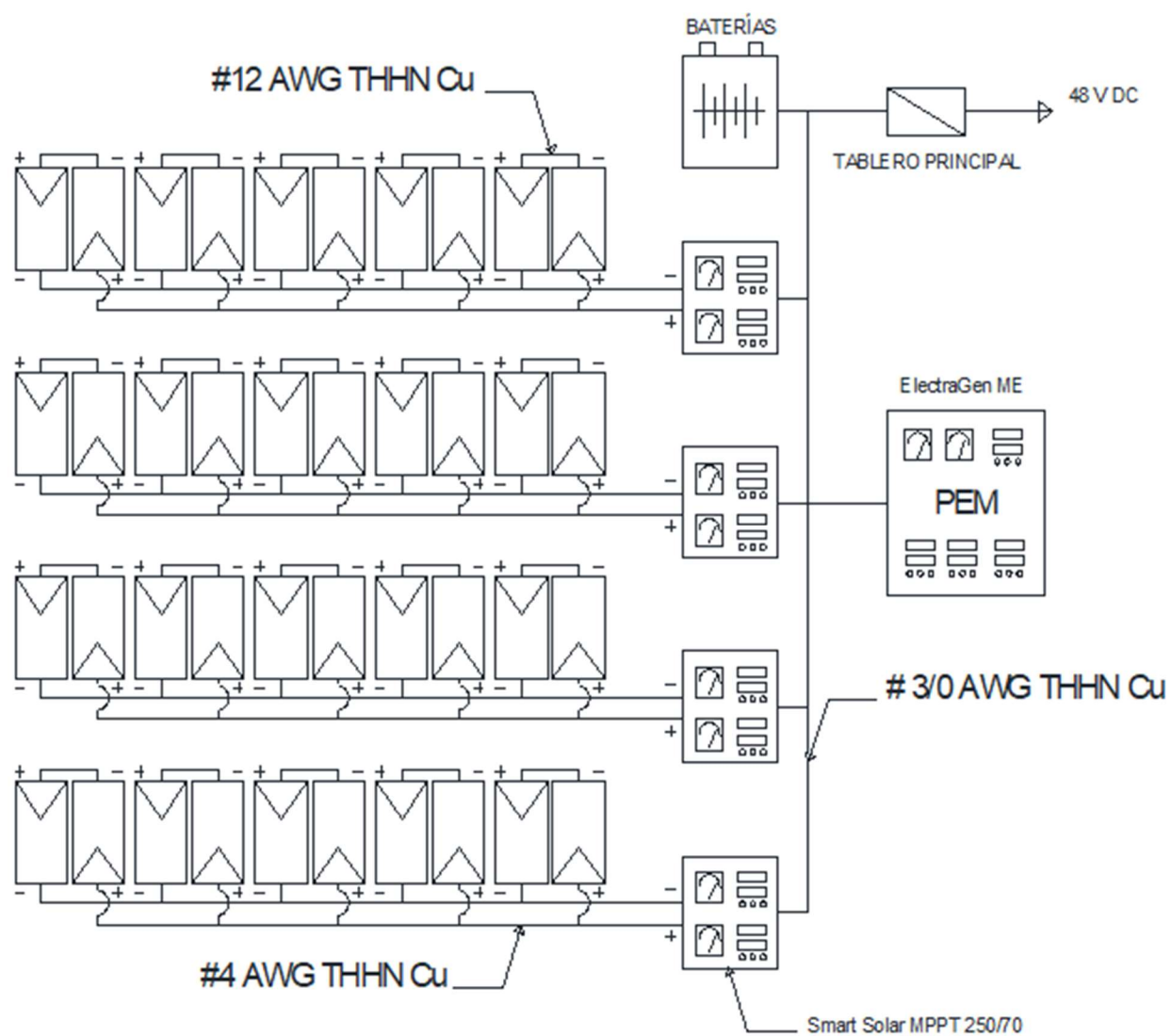
El proyecto se estima que tenga una vida útil de 25 años y que posea autonomía para funcionar al menos 6 meses entre recargas de combustible.

Todos los equipos propuestos en este diseño fueron escogidos debido a su rendimiento, y por motivos de protección al medio ambiente al tratarse de un proyecto que se instalará en las inmediaciones de un parque nacional que cuenta con estrictas regulaciones ambientales referentes a contaminación de cualquier tipo. Al usar paneles de solares se obtiene energía 100% libre de emisiones contaminantes y respecto del respaldo de celda de combustible se logra conseguir energía de respaldo con emisiones de gases contaminantes y contaminación sónica enormemente más bajas respecto de un generador con motor de combustión interna y ocupando un área menor.

Al tratarse esta propuesta solamente de una solución a la necesidad de alimentar la radiobase, la puesta a tierra no está contemplada como parte de esta propuesta, ya que los conductores de puesta a tierra calculados se conectarían a la arqueta que los encargados de instalar la torre de telecomunicaciones dejan prevista para este fin.

En el desarrollo se encuentra la base sobre la cual se sustenta esta propuesta que tiene un costo de inversión inicial de \$178.632 y un costo de operación para el primer año estimado en \$4.622 por concepto de consumo de combustible y \$1.786 por mantenimiento aproximadamente.

15. Diagrama Unifilar



15.1 Desarrollo

En el estudio por realizar se analizarán dos casos, el primero en el que se diseña utilizando únicamente celdas de combustible y baterías, y el segundo en el que se utilizarán paneles solares con respaldo de baterías y celdas de combustible. Ambos casos tienen en común el consumo estimado de la radiobase, por lo cual primero se realizará la estimación de la potencia requerida, para de esta manera tener el dato de partida para desarrollar ambos casos.

15.2 Estimación de consumo eléctrico de radiobase

Al tratarse del estudio para el diseño de una radiobase que no se ha construido, existe la gran limitante de no contar con un registro histórico de consumos eléctricos, por lo cual no se puede obtener el dato del consumo promedio anual específico del proyecto, por lo cual se optó por realizar una estimación del consumo aproximado basado en datos de una radiobase ya en operación con características y tipo de equipos similares a los que se pretende instalar en el Chirripó.

Para realizar el estudio, se tomarán los datos suministrados por el ICE de la radiobase L3042 ubicada en las cercanías del Hospital de Liberia, y que se pueden consultar en el apéndice A. De la gráfica que se muestra en el apéndice A se extrae durante de abril del 2015, fue donde se alcanzó el consumo máximo de 1380 Kw/hr/mes aproximadamente, por lo cual este valor de consumo será el que se utilizará como punto de partida para hacer los cálculos, ya que representa la condición que presenta más exigencia para el sistema de alimentación.

Se debe obtener el valor de Kh/hr por lo cual se divide 1380 Kw/hr/mes entre 30 que es la cantidad de días del mes de abril obteniendo 46 Kw/hr/día. Tomando en cuenta que se trata de

una estimación basada en datos de otra radiobase, se puede esperar que este valor de 46 Kw/hr/día pueda diferir respecto del valor máximo real una vez construido el proyecto en el Cerro Chirripó, por lo que se considerará agregando un factor de seguridad de 5%, con lo que se obtiene un consumo máximo estimado de **48.3 Kwh/día o 1449 Kwh/ mensual**. Este dato será el que se utilizará para realizar los cálculos y dimensionamiento de los equipos del sistema de alimentación.

15.3 Caso 1: Diseño con Celda de combustible y banco de Baterías

Tomando como base el consumo mensual de 1450 Kwh, se realizará el cálculo de un sistema, que mediante baterías alimente a la radiobase y que, a su vez, éstas sean recargadas, según sea requerido por celdas de combustible operan a base de HydroPlus (63% Metanol / 37% agua desionizada).

15.3.1 Cálculo de banco de baterías requerido:

Primero se realizará el cálculo de la capacidad nominal de banco de baterías requeridas que trabajará bajo ciclo profundo de descarga de 60% y que brindará una autonomía de n=2 días previendo que por las condiciones de ubicación se dificulte el abastecimiento del combustible, tomando en consideración el consumo medio diario en Amperios hora (Q_{Ah}) que se despejará de los Kwh diarios entre la tención de trabajo del sistema que es de 48 V.

$$Q_{Ah} = \frac{48.3Kwh}{48V} = \mathbf{1006.25Ah}$$

Una vez despejado el consumo medio diario se aplica la siguiente ecuación para obtener la capacidad nominal:

$$C_{NBAT} = \frac{Q_{Ah} * n}{PD_{MÁXS}} \therefore C_{NBAT} = \frac{1006.25Ah \cdot 2}{0.6} = 3354.16 Ah \approx \mathbf{3400Ah}$$

En resumen, el banco de baterías deberá tener una capacidad nominal mínima de 3400 Ah @ 48v para poder dar 2 días de autonomía con descarga máxima del 60%.

15.3.2 Dimensionamiento, consumo y vida útil de la celda de combustible (caso 1):

Como se percibió en apartados anteriores el proyecto tendrá un consumo estimado promedio de 1450 Kwh mensuales o que serán obtenidos del arreglo de baterías previamente calculado, pero estas baterías deben ser recargadas constantemente, es por esto por lo que se utilizará celda de combustible marca Ballard modelo ElectraGen ME, cuyas características técnicas pueden apreciarse en el apéndice B de este documento.

Del apéndice D se extrae que este modelo de celda tiene la capacidad de generar 5 Kwh a plena carga con un consumo aproximado de 1.1 L/Kwh y una vida útil de 8000 horas.

Para calcular la cantidad de horas que deberá funcionar la celda con el objetivo de suplir la corriente necesaria para recargar las baterías, se procede a dividir la carga mensual entre la potencia máxima entregada por el equipo a base de metanol, estimando una eficiencia de carga de 95% debido a posibles pérdidas por temperatura y otras propias de las baterías o acumuladores.

El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$Tiempo\ de\ operación = \frac{1450\ Kwh(mes)}{5Kw \cdot 0.95} \therefore \mathbf{Tiendo\ de\ operación = 305.26\ h\ (mes)}$$

$$305.26 h (mes) = 10.17 h (día)$$

Teniendo la cantidad de horas estimadas que operará en promedio el generador tipo celda, se procede a estimar la vida útil en años, que, según los datos dados por el fabricante es de 8000 horas

$$Vida\ útil\ (años) = \frac{8000h}{305.26h \cdot 12} \therefore Vida\ útil = 2.18\ años$$

$$2.18\ años \approx 26\ meses$$

También, se estimará el consumo mensual de combustible Hidro Plus requerido, recordando que, según la ficha técnica el rendimiento es de 1.1 L/Kwh @ 5Kwh y que se asume eficiencia de carga de las baterías del 95%, por tanto, se efectúa el siguiente cálculo:

$$Consumo\ mensual(L) = \frac{1.1L}{Kwh} \cdot \frac{1450Kwh}{0.95} \therefore Consumo\ mensual \approx 1679L$$

$$Consumo\ anual = 20148L$$

15.4 Caso 2: Diseño con paneles solares y respaldo con banco de baterías y celda de combustible.

En este caso, la fuente principal de energía es la generada por paneles solares, que durante las horas de radiación solar deben entregar la totalidad del consumo diario de electricidad, por lo que se utilizará un banco de baterías con el fin de almacenar la energía a utilizar en las horas en que no se dispone de radiación. Como respaldo a este sistema se implementará un generador de

celda de combustible a base de metanol, para cubrir cualquier faltante que no sea capaz de proveer el generador solar.

15.4.1 Cálculo de número de paneles solares requeridos

Para el sistema por diseñar, se decidió utilizar paneles solares marca JinKo modelo JKMS295M-60-MX, ya que es un modelo que se puede conseguir en el país, además de ser el modelo más eficiente de las opciones disponibles analizadas. En el apéndice D se puede observar en detalle las características técnicas de este modelo en particular, del cual se extraen algunos datos necesarios para los cálculos de diseño.

Para determinar el número de paneles se utilizará la ecuación:

$$N_p = \frac{E [kWh] \cdot 1000 [W/kW] \cdot P_g [\%]}{D_p [dia] \cdot P [W/panel] \cdot t [h/dia] \cdot \eta_s [\%]}$$

Donde $E=1450$ Kwh, según la estimación del mes de abril que es el de máximo consumo, con la potencia pico del módulo $P=295$ w, según los datos de la ficha técnica del modelo de panel a utilizar y con porcentaje de potencia a generar de $P_g =1$ por tratarse de una aplicación autónoma. Por tratarse de un cálculo basado en el consumo del mes de abril $D_p= 30$ días.

Se requiere obtener t que se refiere a las horas de irradiación promedio, por lo que se toman como base los datos estadísticos facilitados por el IMN que se pueden apreciar en el apéndice C, donde se muestra que la irradiación promedio para el caso en análisis es de 17.5 MJ/m. Para convertir ese valor en HSP se le aplica el siguiente factor de conversión:

$$1 \text{ HSP} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}}{\text{m}^2} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} = 3,6 \text{ MJ/m}^2$$

obteniendo HSP= 4.86 horas.

Sustituyendo los datos en la ecuación se obtiene:

$$N_p = \frac{1450 \text{ Kwh} \cdot 1000 \text{ w/K} \cdot 1}{30 \text{ día} \cdot 295 \text{ w} \cdot 4.86 \text{ h} \cdot 0.85} \therefore N_p = 39.66 \approx \mathbf{40 \text{ paneles}}$$

Según lo calculado se requieren 40 paneles JKMS295M-60-MX para cumplir con la totalidad de la demanda de potencia estimada para las condiciones planteadas.

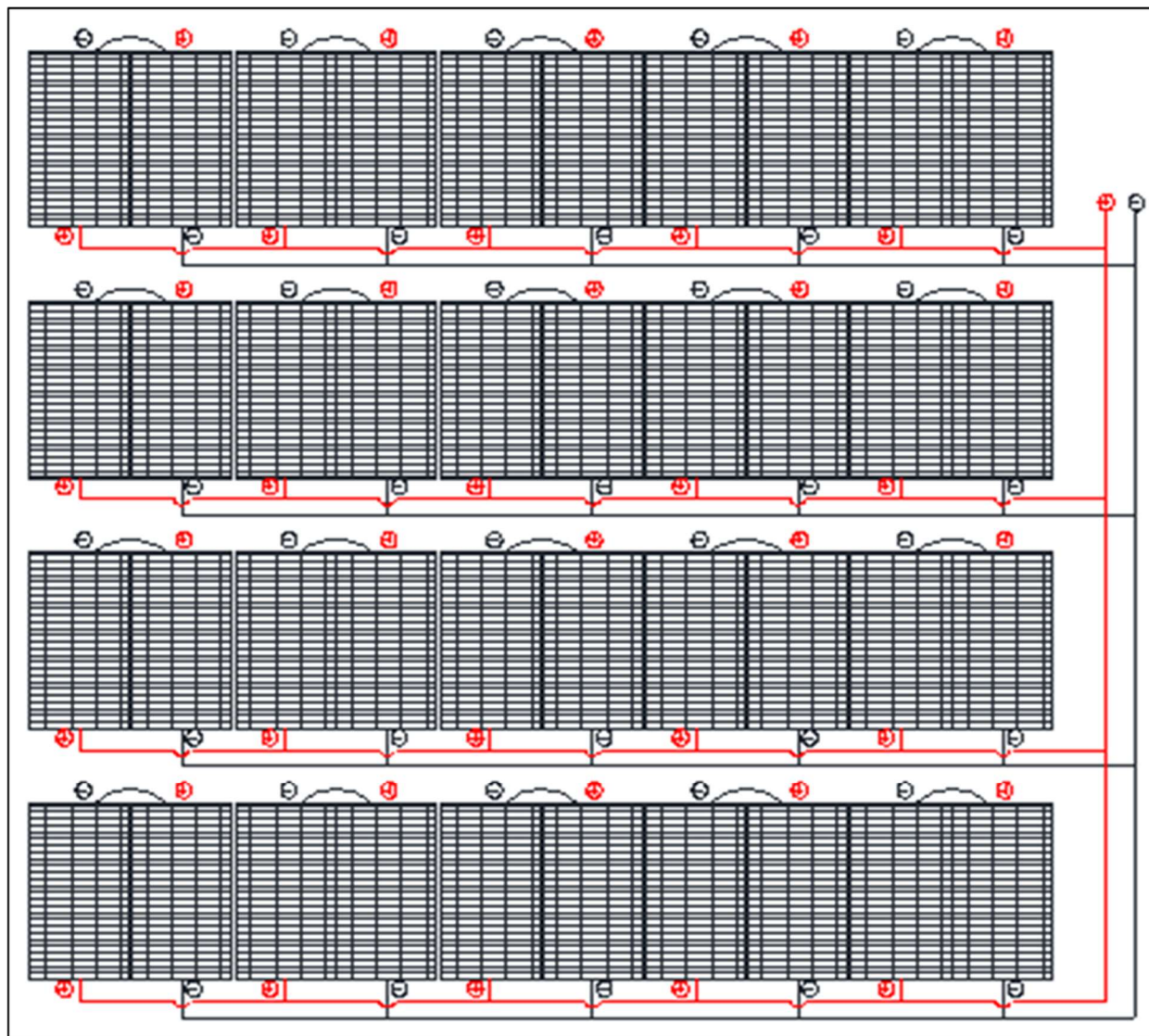
15.4.2 Obtención de número de paneles en serie y en paralelo

Para determinar los arreglos de paneles en serie y en paralelo se realizará el cálculo iniciando por averiguar las series, sabiendo que el sistema operará a -48V y que el voltaje que ofrece el panel a máxima potencia es de 32.4V; por lo que usará la expresión:

$$N_{Serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{MP}} \therefore N_{Serie} = \frac{48V}{32.4V} = 1.48$$

Dado el resultado anterior se deberán realizar series compuestas de 2 paneles para poder brindar el valor de tensión requerido, además, conociendo este dato se puede calcular el número de paralelos que resulta de la división del total de 40 paneles entre 2 que corresponde al número de paneles en serie, siendo así como se obtiene que serán 20 circuitos ramales en paralelo compuestos de 2 paneles en serie cada uno.

Figura 14: Conexión de paneles en serie y paralelo



Fuente: Elaboración propia con AutoCad 2018

Como se puede observar en la figura anterior se dispone de 4 circuitos ramales paralelos entre sí, que a su vez están conformados cada uno por 5 conjuntos en paralelo de 2 paneles en serie.

Respecto de la orientación de los paneles, aprovechando que no hay limitaciones en relación con el espacio, se puede especificar que estos se instalen de manera tal que se asegure la máxima eficiencia, por lo que se deben ubicar viendo hacia el sur con un ángulo de inclinación β igual a la latitud del punto donde se ubicará el proyecto más 10° para mejorar la eficiencia en época de invierno y que, por ende, hay menos radiación disponible. De esta forma se obtiene la siguiente expresión:

$$\beta = 9,27^\circ + 10^\circ \therefore \beta = 19.27^\circ \approx 19^\circ$$

De esta forma se establece que se ubicarán hacia el sur con $\beta = 19^\circ$.

15.4.3 Cálculo de banco de baterías requerido:

Para el cálculo del banco de baterías de este caso se tienen las mismas condiciones previas con las que se contó en el caso 1, es por eso por lo que, en este caso en particular, la capacidad nominal mínima de las baterías, también, será de 3400 Ah @ 48v para poder dar 2 días de autonomía con descarga máxima del 60%.

15.4.4 Cálculo de regulador de voltaje

Lo primero que se debe calcular es la máxima corriente de entrada al regulador (I_{Re}), que proviene de los módulos fotovoltaicos, se empleará la siguiente expresión:

$$I_{Re} = 1,25 \cdot I_{SC} \cdot N_{paralelo}$$

Para el desarrollar la ecuación, se debe tener presente que, según la ficha técnica adjunta en el apéndice D, el panel seleccionado $I_{SC} = 9.61A$, y que para cada serie (en este caso de 2

paneles) se mantiene la corriente y que conforme con el cálculo de los arreglos de y conectado de los módulos fotovoltaicos se tienen 20 paralelos, por tanto:

$$I_{Re} = 1,25 \cdot 9.61A \cdot 20 \therefore I_{Re} = \mathbf{240.25 A}$$

Seguidamente, se procede a calcular la máxima corriente esperada a la salida del regulador (I_{Rs}), es decir, del lado del consumo, se empleará la siguiente expresión:

$$I_{Rs} = \frac{1.25 \cdot (P_{DC} + P_{AC}/n_{inv})}{V_{BAT}} \therefore I_{Rs} = \frac{1.25 \cdot \left(\frac{48.3Kwh}{24h} + \frac{0Kwh}{0.96}\right)}{48V} = \mathbf{52.40A}$$

Teniendo el valor de I_{MAXe} de la ficha técnica del regulador que es de 70A (Apéndice E), y luego de obtener mediante el cálculo el valor de I_{Re} es posible calcular el número de reguladores requeridos de la siguiente manera:

$$N_{reguladores} = \frac{I_{Re}}{I_{MAXe}} \therefore N_{reguladores} = \frac{\mathbf{240.25A}}{\mathbf{70A}} = \mathbf{3.43 \approx 4}$$

De acuerdo con el cálculo se requiere utilizar 4 reguladores de voltaje Victron Energy BLUESOLAR MPPT 250/70 o equivalente.

Sabiendo que la configuración de los paneles estará conformada por 4 ramales paralelos entre sí, resultará conveniente instalar un regulador a cada ramal y que las salidas de los reguladores se conecten en paralelo.

15.4.5 Cálculo de los conductores requeridos

Para comenzar cabe destacar que todos los conductores que se utilizarán transmitirán corriente en DC, ya que, tanto los paneles como la carga que se conectará (equipos de radiobase) trabajan con DC.

El dimensionamiento de los conductores requeridos se hará tomando en consideración el artículo 690.8 (B) (1) y la tabla 310.16 del NEC 2008, que indican respectivamente que los conductores deben soportar 125% de la carga nominal y el calibre los conductores en función de la corriente y temperatura.

Debido a que el arreglo de los paneles contiene elementos en serie y en paralelo, se deberá buscar la sección de los conductores por tramos de acuerdo con la corriente que circula por ellos, por lo que se utilizará la tabla 310.16 del NEC (Apéndice F) para seleccionar el calibre del cable adecuado para cada tramo.

15.4.5.1 Tramos en serie

Están constituidos por dos paneles en serie, en los que el conductor por calcular es el que une a los dos paneles entre sí y las salidas del conjunto que se conectarán a un segundo tramo de conductores. Por estar en serie, la mayor corriente entregada por uno de los paneles será la que circula por el circuito, siendo en este caso 9.1 A.

$$I_{\text{Circuito DC}} = I_{\text{max panel}} \cdot 1,25 \therefore I_{\text{Circuito DC}} = 9.1A \cdot 1.25 = \mathbf{11.37A}$$

Dado este resultado, el siguiente paso es referirse a la tabla 310.16 del NEC 2008, donde se puede constatar que el cable #12 AWG THHN Cu es el idóneo por utilizar ya cumple con las especificaciones necesarias, con un valor de corriente máxima que de 25 A. Para este tramo de cable se deberá utilizar una protección de 20 A de acuerdo con los valores normalizados presentes en la tabla 240.6 del NEC 2008 ya que no es posible conseguir protecciones de 25A en el mercado y la corriente máxima que correrá por este tramo será menor a los 20A.

15.4.5.2 Tramo de las conexiones en serie a los reguladores de voltaje

Tramo de cable que une las salidas de 5 pares en serie (9.1A c/u), conectándolos en paralelo para conducir corriente hasta las entradas del regulador de voltaje.

$$I_{tramo 2} = I_{max tram} \cdot conexiones_{paralelo} \therefore I_{tramo 2} = 11.37A \cdot 5 = \mathbf{56.85A}$$

Dado este resultado, el siguiente paso es referirse a la tabla 310.16 del NEC 2008, donde se puede constatar que el cable #4 AWG THHN Cu es el idóneo por utilizar ya cumple con las especificaciones necesarias, con un valor de corriente máxima que de 70 A. Para proteger este tramo del circuito se deben utilizar fusibles de 70 A conforme con los valores establecidos en la tabla 240.6 del NEC 2008.

15.4.5.3 Tramo de los reguladores de voltaje al tablero principal

Este tramo une las salidas de los 4 reguladores de voltaje conectándolos en paralelo hasta llegar a las baterías y el tablero principal. La potencia a la entrada de cada regulador viene dada por multiplicar los 34.8V que entregan las series por los 56.85A, obteniendo una potencia de 1.97Kw.

Según los datos de la ficha técnica, los reguladores cuentan con un 98% de eficiencia, por lo que la potencia máxima de salida de cada regulador se espera que sea de 1.93 Kw @ 48V, por lo que de estos datos se obtendrá la corriente máxima de salida que es la que va a circular por el tercer tramo. Es importante recordar que se conectan 4 reguladores en paralelo, por lo que sus corrientes se sumarán.

$$I_{max \text{ tramo } 3} = \frac{1.93Kh}{48V} \cdot 4 = \mathbf{161.6A}$$

Dado este resultado, el siguiente paso es referirse a la tabla 310.16 del NEC 2008, donde se puede constatar que el cable #3/0 AWG THHN Cu es el idóneo por utilizar ya cumple con las especificaciones necesarias, con un valor de corriente máxima de 200 A, a pesar de que el cable #2/0 AWG THHN Cu sería capaz de soportar dicha corriente, pero con el inconveniente de no encontrarse en el mercado.

Según la tabla 240.6 el valor nominal de la protección debe ser de 200 A acorde con la capacidad del cableado por proteger.

15.4.6 Dimensionamiento, consumo y vida útil de la celda de combustible (caso 2):

A pesar de que los paneles se encargan de mantener las baterías cargadas, en ocasiones desde ciertas circunstancias, la energía almacenada en éstas desciende hasta niveles de descarga profunda, por lo que se dispone de una fuente de respaldo mediante el uso de celda de combustible.

Debido a que la radiación solar no es igual en todos los meses, se procede a hacer el cálculo de la potencia máxima obtenida para cada mes usando la información brindada por el IMN.

Tabla 2: Potencia generada Vs Potencia demandada

Diferencias entre potencia generada y potencia demandada promedio mensual					
Mes	Radiación (MJ/m²)	HSP	Potencia requerida(Kwh)	Potencia obtenida(Kwh)	Diferencia (Kwh)
Enero	21,40	5,94	1450	1788,68	338,68
Febrero	21,40	5,94	1450	1788,68	338,68
Marzo	19,80	5,50	1450	1654,95	204,95
Abril	18,20	5,06	1450	1521,22	71,22
Mayo	15,50	4,31	1450	1295,54	-154,46
Junio	16,00	4,44	1450	1337,33	-112,67
Julio	16,60	4,61	1450	1387,48	-62,52
Agosto	16,30	4,53	1450	1362,41	-87,59
Setiembre	15,30	4,25	1450	1278,83	-171,18
Octubre	14,00	3,89	1450	1170,17	-279,83
Noviembre	15,80	4,39	1450	1320,62	-129,38
Diciembre	19,50	5,42	1450	1629,88	179,88
Sumatoria			17400	17535,78	135,78

Fuente: Elaboración propia

En cuadro se resumen los datos de las potencias esperadas por mes del sistema fotovoltaico, así como de las diferencias estimadas que deberá cubrir el sistema de respaldo para poder suplir la carga necesaria. Como se puede apreciar en la tabla, del mes de diciembre al mes de abril la generación solar promedio mensual cubre y sobrepasa la demanda mensual lo cual puede significar un inconveniente que se tratará más adelante, pero por el momento para lo que es el cálculo de la celda de combustible se usará como base para el cálculo los meses de mayo a noviembre que son en los que la generación solar no da abasto y se requiere el respaldo.

Del apéndice B se extrae que este modelo de celda tiene la capacidad de generar 5 Kwh a plena carga con un consumo aproximado de 1.1 L/Kwh y una vida útil de 8000 horas.

Para calcular la cantidad de horas que deberá funcionar la celda con el objetivo de suplir la corriente faltante en los meses de baja generación solar, se procede a dividir la carga faltante de cada mes entre la potencia máxima entregada por el equipo a base de metanol, estimando una eficiencia de carga de 95% debido a posibles pérdidas por temperatura y otras propias de las baterías o acumuladores, para al final poder obtener la cantidad de horas al año operará la celda.

El cálculo del tiempo de operación de la celda de combustible para el mes de mayo es el siguiente:

$$\text{Tiempo de operación} = \frac{154.46 \text{ Kwh}(\text{mes})}{5\text{Kw} \cdot 0.95} \therefore \text{Tiempo de operación} = 32.51 \text{ h}(\text{mes})$$

$$32.51 \text{ h}(\text{mes}) = 1.05 \text{ h}(\text{día})$$

También, se estimará el consumo de combustible Hidro Plus requerido en cada mes que presenta déficit de generación solar, recordando que, según la ficha técnica el rendimiento es de 1.1 L/Kwh @ 5Kwh y que se asume eficiencia de carga de las baterías del 95%, por tanto, se efectúa el siguiente cálculo:

$$\text{Consumo de mayo}(L) = \frac{1.1L}{Kwh} \cdot \frac{154.46 \text{ Kwh}}{0.95} \therefore \text{Consumo de mayo} \approx 179L$$

Los cálculos anteriores se repiten para cada mes en el que hay déficit de generación solar, por lo que, a continuación, se presenta una tabla que resume dichos cálculos:

Tabla 3: Horas de operación y consumo de Celda de combustible para caso 2

Horas de operación y consumo de celda de combustible			
Mes	Déficit de potencia (Kwh)	Horas de operación	Consumo de HidroPlus(L)
Enero	0	0,00	0,00
Febrero	0	0,00	0,00
Marzo	0	0,00	0,00
Abril	0	0,00	0,00
Mayo	154	32,42	178,32
Junio	113	23,79	130,84
Julio	63	13,26	72,95
Agosto	88	18,53	101,89
Setiembre	171	36,00	198,00
Octubre	280	58,95	324,21
Noviembre	129	27,16	149,37
Diciembre	0	0,00	0,00
Total anual	998	210,11	1155,58

Fuente: Elaboración propia

Teniendo estimadas las horas promedio al año que el generador tipo celda va a trabajar, se procede a tasar la vida útil en años, que según, los datos dados por el fabricante es de 8000 horas

$$Vida\ útil\ (años) = \frac{8000h}{210.11h} \therefore Vida\ útil = 38.07\ años$$

15.5 Análisis financiero de los casos de diseño

En este apartado del estudio, se realizan cálculos para comparar desde un punto de vista económico, los dos casos propuestos preliminarmente, calculando primero los costos de la inversión inicial, y luego enfrentándolos tomando en cuenta los costos operativos en un periodo de 25 años, para así poder decidir basado en los resultados sobre cuál será la propuesta más adecuada.

15.5.1 Determinación de costos de inversión inicial:

Como punto de partida para iniciar con este análisis se requiere efectuar el cálculo estimado de la inversión inicial, que se calculará tomando como referencia costos individuales de los equipos de los cuales se dispone una cotización y de estimación de algunos otros rubros basado en porcentajes del costo de los equipos, según recomendaciones de personas experimentadas en el desarrollo de proyectos de este tipo. En el cuadro que se presenta a continuación se enlistan los costos que conlleva implementar el proyecto, según lo expuesto en el caso número uno, para obtener la inversión inicial.

Tabla 4: Costo inicial para el primer caso

Costo de inversión de Caso # 1 (Baterías y celda de combustible)				
Equipo	Modelo o característica	Unidades	Precio unitario	Total
Regulador de Voltaje	BLUESOLAR MPPT 250/70	4	\$926	\$3.702
Baterías de Litio	3400 Ah @ 48V	1	\$60.000	\$60.000
Celda de combustible	ElectraGen-Me	1	\$60.000	\$60.000
Tanque tipo tote 1000 L	Polietileno de alta densidad	2	\$130	\$260
Otros elementos		Costo total equipos		\$123.962
Cables y protecciones	Estimado al 3% de costo de equipos			\$3.719
Gastos administrativos	Estimado al 2% de costo de equipos			\$2.479
Instalación	Estimado al 30% de costo de equipos			\$37.189
Costo total de inversión				\$167.349

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro anterior se observa un subtotal de \$123 962, en el que el monto de los tanques que se muestra junto a sus características técnicas en el apéndice G fue pasado de colones a dólares con un tipo de cambio de ₡622.08 por dólar, dato que fue consultado el día 3 de noviembre de 2018 en la página web del Banco de Costa Rica.

Al este subtotal calculado por concepto de equipos se le suman otros costos que vienen dados por porcentajes, tal como los cables y protecciones con 3%, gastos administrativos 2% y mano de obra de construcción e instalación estimada en 30%.

Cabe destacar que no fue posible obtener la cotización del costo de la mano de obra, y que normalmente en la mayoría de estos casos el costo de mano de obra se calcula al 10% del valor de los equipos que se instalan, pero para este proyecto, en particular, se decide aumentar ese valor a causa de factores como la lejana locación, condiciones extremas del sitio de la obra y que para trasportar los materiales o equipos a la zona, los únicos medios son el uso de caballos o helicóptero.

Seguidamente, se realiza la estimación para el segundo caso, en la que se siguen los mismos lineamientos y condiciones del caso uno en lo que respecta del tipo de cambio del dólar y estimación de cableado y protecciones, gastos administrativos y costos de instalación.

Tabla 5: Costo inicial para el segundo caso

Costo de inversión de Caso # 2 (Paneles solares, baterías y celda de combustible)				
Equipo	Modelo o característica	Unidades	Precio unitario	Total
Panel solar	JKMS295M-60-MX	40	\$140	\$5.600
Estructura de montaje	Para 2 Paneles	4	\$160	\$640
Estructura de montaje	Para 4 Paneles	8	\$281	\$2.248
Regulador de Voltaje	BLUESOLAR MPPT 250/70	4	\$926	\$3.702
Baterías de Litio	3400 Ah @ 48V	1	\$60.000	\$60.000
Celda de combustible	ElectraGen-Me	1	\$60.000	\$60.000
Tanque tipo tote 1000 L	Polietileno de alta densidad	1	\$130	\$130
Otros elementos		Costo total equipos		\$132.320
Cables y protecciones	Estimado al 3% de costo de equipos			\$3.970
Gastos administrativos	Estimado al 2% de costo de equipos			\$2.646
Instalación	Estimado al 30% de costo de equipos			\$39.696
Costo total de inversión				\$178.632

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en cuadro 4, se adicionan respecto del cuadro 3 los paneles solares y sus respectivas estructuras de montaje (Apéndice H), además de que se pasa de 2 tanques de combustible en el caso uno a sólo una unidad. Estas diferencias generan que se obtenga un subtotal por concepto de costo de equipos de \$ 132 320 que es mayor que en el primer caso, lo que conlleva a que los demás rubros porcentuales incrementen, obteniendo un costo total por concepto de inversión inicial de \$178 632.

15.5.2 Proyección de costos para un periodo de 25 años

Preliminarmente en el apartado anterior se puede observar que la inversión inicial menor es la del caso uno, pero también, es necesario determinar el costo total en el transcurso de los años de operación, por lo que se realizarán los cálculos pertinentes tomando en cuenta el costo de mantenimiento, posibles renovaciones de equipos de acuerdo con su vida útil y el consumo de combustible HidroPlus, que, según el proveedor del equipo tiene un costo de \$4 por litro, sin considerar los costos del acarreo del mismo, ya que debido a convenios que hay entre instituciones, el ICE cuenta con el apoyo de la Fuerza Pública, quien se encarga del transporte en helicóptero del combustible.

Para realizar este análisis, se determina pertinente proyectarlo a un periodo 25 años, ya que la vida útil de los paneles solares, según la ficha técnica alcanza los 25 años, además de que, en el segundo caso, según lo calculado se espera que la celda de metanol tenga una vida útil cercana a los 38 años.

Se tomará en cuenta que los filtros (PEM) de las celdas de combustible se deben cambiar cada 8000 horas y que tienen un costo aproximado de \$8000 actualmente, además, que se considerará un aumento de 5% anual de los costos que se den después de haber pasado en año uno, esto debido a la posible inflación que se pueda dar en el transcurso de los años.

Tabla 6: Costos operativos del caso 1

Costos de operación para 25 años Caso # 1				
Año	Inversión inicial y cambio de equipos	Combustible	Mantenimiento	Total anual
1	\$167.349	\$80.592	\$1.673	\$249.614
2	\$0	\$84.622	\$1.757	\$86.379
3	\$8.820	\$88.853	\$1.845	\$99.518
4	\$0	\$93.295	\$1.937	\$95.233
5	\$9.724	\$97.960	\$2.034	\$109.718
6	\$0	\$102.858	\$2.136	\$104.994
7	\$10.721	\$108.001	\$2.243	\$120.964
8	\$0	\$113.401	\$2.355	\$115.756
9	\$11.820	\$119.071	\$2.473	\$133.363
10	\$0	\$125.025	\$2.596	\$127.621
11	\$13.031	\$131.276	\$2.726	\$147.033
12	\$0	\$137.840	\$2.862	\$140.702
13	\$14.367	\$144.732	\$3.005	\$162.104
14	\$0	\$151.968	\$3.156	\$155.124
15	\$0	\$159.567	\$3.313	\$162.880
16	\$16.631	\$167.545	\$3.479	\$187.655
17	\$0	\$175.922	\$3.653	\$179.575
18	\$18.336	\$184.718	\$3.836	\$206.890
19	\$0	\$193.954	\$4.027	\$197.982
20	\$20.216	\$203.652	\$4.229	\$228.096
21	\$0	\$213.835	\$4.440	\$218.275
22	\$22.288	\$224.526	\$4.662	\$251.476
23	\$0	\$235.753	\$4.895	\$240.648
24	\$24.572	\$247.540	\$5.140	\$277.253
25	\$0	\$259.917	\$5.397	\$265.314
Total de inversión del periodo				\$4.264.168
Costos traídos a Valor Presente				\$2.311.986

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro anterior se observa cómo cada dos años y dos meses se incluye un monto en la columna de inversión inicial y cambio de equipos que corresponden al cambio del filtro PEM debido a que se cumple la vida útil.

El cálculo del costo anual de combustible, se realizó, tomando como base la estimación de consumo calculado en el apartado 15.3.2 y el costo de \$4/litro del HidroPlus, que el proveedor del equipo ofrece.

Tabla 7: Costos operativos del caso 2

Costos de operación para 25 años Caso # 2				
Año	Inversión inicial y cambio de equipos	Combustible	Mantenimiento	Total anual
1	\$178.632	\$4.622	\$1.786	\$185.041
2	\$0	\$4.853	\$1.876	\$6.729
3	\$0	\$5.096	\$1.969	\$7.066
4	\$0	\$5.351	\$2.068	\$7.419
5	\$0	\$5.618	\$2.171	\$7.790
6	\$0	\$5.899	\$2.280	\$8.179
7	\$0	\$6.194	\$2.394	\$8.588
8	\$0	\$6.504	\$2.514	\$9.018
9	\$0	\$6.829	\$2.639	\$9.468
10	\$0	\$7.171	\$2.771	\$9.942
11	\$0	\$7.529	\$2.910	\$10.439
12	\$0	\$7.906	\$3.055	\$10.961
13	\$0	\$8.301	\$3.208	\$11.509
14	\$0	\$8.716	\$3.368	\$12.084
15	\$0	\$9.152	\$3.537	\$12.689
16	\$0	\$9.609	\$3.714	\$13.323
17	\$0	\$10.090	\$3.899	\$13.989
18	\$0	\$10.594	\$4.094	\$14.689
19	\$0	\$11.124	\$4.299	\$15.423
20	\$0	\$11.680	\$4.514	\$16.194
21	\$0	\$12.264	\$4.740	\$17.004
22	\$0	\$12.878	\$4.977	\$17.854
23	\$0	\$13.521	\$5.225	\$18.747
24	\$0	\$14.198	\$5.487	\$19.684
25	\$0	\$14.907	\$5.761	\$20.669
Total de inversión del periodo				\$484.498
Costos traídos a Valor Presente				\$338.848

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro anterior se puede observar la estimación de gastos anuales que representa implementar este caso, en el que cabe destacar que debido a la vida útil proyectada no requerirá cambios del filtro PEM.

16. Referencias

Alonso, O., Venegas Serrano, A., Isorna, F. & Benz, J., s.f. *www.aepro.com*. [En línea]

Available at: https://www.aepro.com/files/congresos/2003pamplona/ciip03_1238_1250.2249.pdf

[Último acceso: mayo 2018].

Anon., s.f. *ingemecanica.com*. [En línea]

Available at: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

[Último acceso: setiembre 2018].

calefaccion-solar.com, s.f. *calefaccion-solar.com*. [En línea]

Available at: <http://calefaccion-solar.com/como-elegir-baterias-para-paneles-solares.html>

[Último acceso: junio 2018].

erenovable.com, s.f. *erenovable.com*. [En línea]

Available at: <https://erenovable.com/como-funcionan-los-paneles-solares/>

[Último acceso: junio 2018].

Galt Energy, s.f. *Galt Energy*. [En línea]

Available at: <http://galt.mx/celdas-solares/>

[Último acceso: Junio 2018].

Kwasinski, A., 2012. *Operacion de Micro-redes en forma aislada..* s.l.:s.n.

López, G., 2006. *Cálculo Financiero Aplicado, un enfoque profesional*. 2a ed. Buenos

Aires: La Ley.

NFPA, 2008. *Código Eléctrico Nacional*. 51 ed. s.l.:s.n.

Párraga, A. G., 2009. *EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE COMO RESPALDO EN ESTACIONES RADIO BASES DE TELEFONÍA CELULAR*. [En línea]

Available at: <http://mendillo.info/gestion/tesis/Parraga.pdf>

[Último acceso: Mayo 2018].

Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2012. *Plan de Manejo del Parque Internacional La Amistad Talamanca*. San José: s.n.

Sistema Nacional de Areas de Conservación, 2017. *Informe anual Estadísticas SEMEC 2016 - SINAC en Números*, San José, CR: s.n.

Textos Científicos.com, s.f. *Textos Científicos.com*. [En línea]

Available at: <https://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

[Último acceso: junio 2018].

Ulacia, J., 2015. <http://econotecnica.com>. [En línea]

Available at: <http://econotecnica.com/Curso/eCalculoPaneles.html>

[Último acceso: setiembre 2018].

wikipedia.org, s.f. *wikipedia.org*. [En línea]

Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_netto

[Último acceso: junio 2018].

wikipedia.org, s.f. *wikipedia.org*. [En línea]

Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno#cite_note-3

[Último acceso: junio 2018].

wikipedia, s.f. *wikipedia*. [En línea]

Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico

[Último acceso: setiembre 2018].

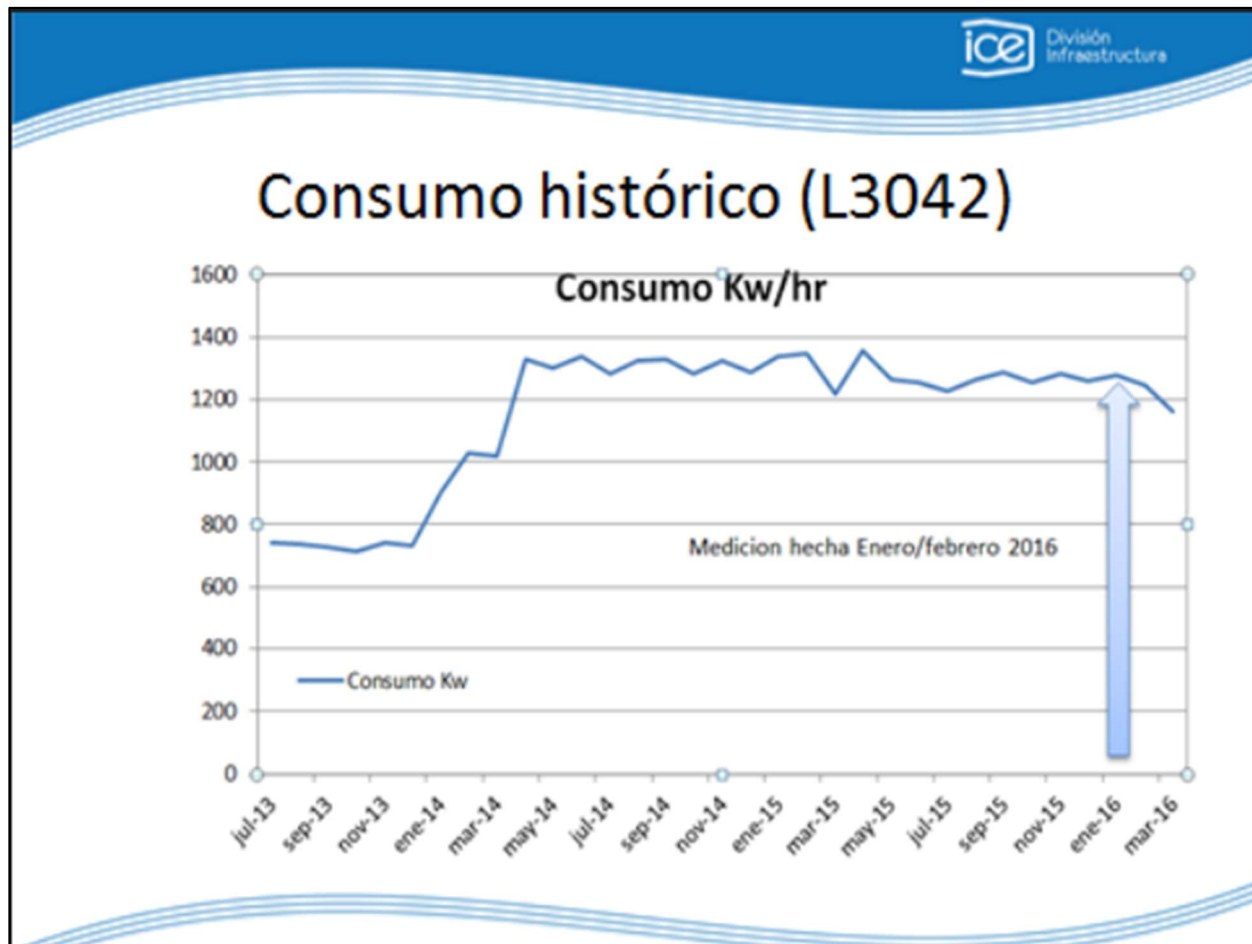
Wikipedia, s.f. *Wikipedia*. [En línea]

Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Investigaci%C3%B3n_cuantitativa

[Último acceso: setiembre 2018].

17. Apéndices

Apéndice A: Consumo Histórico de Radiobase situada en el Hospital de Liberia



Apéndice B: Ficha técnica de Celda de combustible ElectraGen ME

Page 10

ElectraGen™ Solution

Features and Benefits

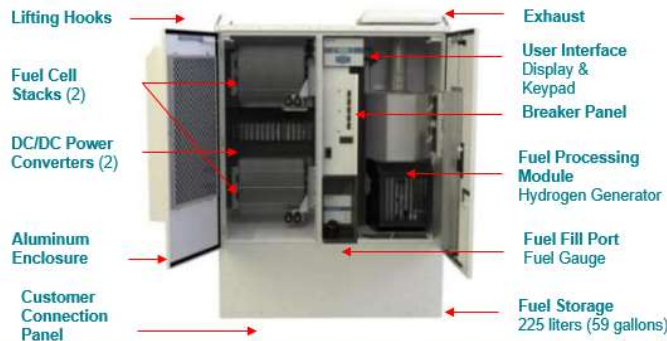
BALLARD®



ElectraGen™ system

- **Long Autonomy**
 - Runtime from 1 min to 1 year
 - No discharge / recharge “dead time”
 - Can be refilled while operating (no service interruption)
- **High Reliability**
 - Solid state technology (with few moving parts)
 - Multiple stop/start with high availability
 - Direct DC power generator (no ATS/rectifier)
- **Lower Operating Cost**
 - Low maintenance
 - No theft
 - No temperature control required (operates from -30°C to +46°C)
 - High efficiency at low power O/P (> 30%)
 - Stable fuel (could be stored at site for several years)
- **Environmentally friendly**
 - Quiet operation, zero (H2) or low (MeOH) emission
 - Qualifies for green energy rebates programs and subsidies
- **Flexible siting**
 - Easy to install
 - Low weight (<300kg) and foot print (<2sqm)
 - No vibration
 - Indoor or outdoor installation
 - Well suited to rooftops or dense urban environments

ElectraGen™- ME Specifications



Key Features

- Integrated fuel cell (PEM) + reformer system
- 2 x 2.5 kW stack design (alternate usage, redundancy)
- 4,000 hours operating lifetime specification for typical backup power applications
- Customer user interface keypad with LCD display for set-up and diagnostics (no PC required)
- Ripple voltage <100mVpp @ 30MHz bandwidth
- Remote monitoring and diagnostics capability

ElectraGen™- ME	2.5kW	5kW
Voltage	-48 to -56	-48 to -56, and 24 to 28
Temperature, C	-5 to 46	-5 to 46; optional -40 to 56 cold
Location	Outdoor	
Certifications	CE, ANSI/CSA FC-1, Telcordia GR-63-CORE Seismic Zone 4, UL/CSA/EN 61010-1	
Fuel	HydroPlus™ ; 225L/193kg onboard fuel tank	
Fuel Consumption, L/kWh	1.3	1.1
Run Time at rated load, H	69	40
Communications	SNMP, Dry Contacts, LCD with Key Pad, optional GPRS & SMS modems	
Size, W x D x H, cm	135 x 115 x 176	
Weight (dry), kg	281	295, (309 cold)

Apéndice C: Promedios mensuales de datos climáticos

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL																
DEPARTAMENTO DE INFORMACION																
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS																
(estaciones automáticas)																
ESTACION: 98 91 CHIRRIPO																
Latitud: 09 ° 27 ' N Longitud: 83 ° 30 ' O Altitud. 3440 m.s.n.m																
Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	2000	2013	45.1	25.1	41.8	85.7	276.0	194.8	182.9	171.7	274.3	317.8	221.3	67.8	157.0	1884.0
TEM.MAX.	2000	2013	15.7	16.5	16.2	15.7	14.8	14.6	14.3	14.6	14.5	14.0	14.5	15.3	15.1	
TEM.MIN.	2000	2013	3.2	3.5	4.2	4.8	5.3	5.0	4.5	4.6	4.7	4.9	4.6	3.8	4.4	
TEM.MED.	2000	2013	9.5	10.0	10.2	10.3	10.1	9.8	9.4	9.6	9.6	9.4	9.5	9.6	9.8	
HUMEDAD	2000	2013	70.0	63.2	66.7	75.4	86.7	88.6	89.0	89.3	88.8	91.2	88.0	76.9	81.1	
VIENTO VEL.	2000	2013	30.0	26.0	19.3	17.3	16.3	22.2	29.3	26.5	18.1	16.2	25.2	30.5	23.1	
RADIACION	2000	2013	21.4	21.4	19.8	18.2	15.5	16.0	16.6	16.3	15.3	14.0	15.8	19.5	17.5	
PRESION	2012	2014	665.5	665.2	665.9	666.2	666.1	666.0	665.5	665.9	665.9	665.5	665.2	665.0	665.7	
VIENTO DIR. PREDOMINANTE			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		Total
Promedio días con lluvia >= 0.1 mm.			16	11	14	19	26	26	27	27	26	28	26	19	265	

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noroeste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

Anexo D: Ficha técnica de Panel Solar

www.jinkosolar.com



JKMS295M-60-MX

275-295 Watt

MONO PERC MODULE
Power Optimized

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory.
IEC61215, IEC61730 certified products.




PERC


(4BB)








KEY FEATURES


- 


Output-Voltage Limiting
Integrated Voltage/Current-Limiting Clamps Output Voltage/Current which reduces the overall system BOS.
- 

Shade Tolerance
MPPT on individual cell-strings optimizes energy harvest
- 

Built-in Cell Optimizer
No additional electronics or hardware required; allows for simple installation
- 

High Efficiency
Higher module conversion efficiency (up to 18.02%) due to Passivated Emitter Rear Contact (PERC) technology
- 

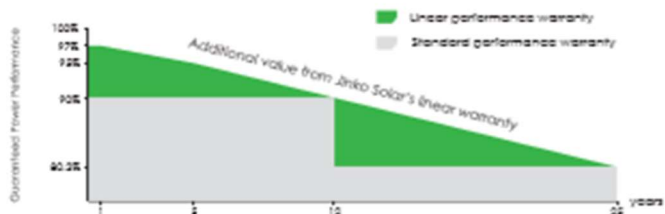
PID RESISTANT:
Limited power degradation of Eagle module caused by PID effect is guaranteed under strict testing condition (85°C/85%RH,96hours) for mass production.
- 

Low-Light Performance
Advanced glass technology improves light absorption and retention
- 

Strength and Durability
Certified for high snow (3400Pa) and wind (2400Pa) loads

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



Apéndice E: Ficha técnica y costo de Regulador de Voltaje MPPT 250/70



Controladores de carga SmartSolar 250V y 99% de eficiencia

MPPT 250/60, 250/70, 250/85 & 250/100

www.victronenergy.com

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)
Especialmente con cielo sin nubes, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial
En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga. Los MPPT convencionales suelen seleccionar un MPP local, que no necesariamente es el MPP óptimo. El innovador algoritmo de SmartSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión
Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible
Un algoritmo de carga totalmente programable (consulte la página de software de nuestra página web) y ocho algoritmos de carga preprogramados, que se pueden elegir con un selector giratorio (consulte más información en el manual).

Amplia protección electrónica
Protección de sobretensión y reducción de potencia en caso de alta temperatura.
Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.
Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna
Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.

Bluetooth Smart Integrado: no necesita mochila
La solución inalámbrica para configurar, supervisar y actualizar el controlador con un teléfono inteligente, una tableta u otro dispositivo Apple o Android.

VEDirect
Para una conexión de datos con cable a un Color Control, un Venus GX, un PC u otros dispositivos.

On/Off remoto
Para conectarse a un VEBUS BMS, por ejemplo.

Relé programable
Se puede programar (entre otros, con un teléfono inteligente) para activar una alarma u otros eventos.

Opcional: pantalla LCD conectable
Simplemente retire el protector de goma del enchufe de la parte frontal del controlador y conecte la pantalla.







Controlador de carga SmartSolar MPPT 250/100-Tr
Con dispositivo conectable



Controlador de carga SmartSolar MPPT 250/100-MC4
Sin pantalla

Controlador de carga SmartSolar	MPPT 250/60	MPPT 250/70	MPPT 250/85	MPPT 250/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48V (Se precisa una herramienta de software para ajustar el sistema en 36V)			
Corriente de carga nominal	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal (12V la.b)	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal (24V la.b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal (48V la.b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	35A (máx. 30Ax con MC4)		70A (máx. 30Ax MC4 con.)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	250V máximo absoluto en las condiciones más frías 245V en arranque y funcionando al máximo			
Eficiencia máxima	99%			
Autoconsumo	Menos de 35mA a 12V / 20mA a 48V			
Tensión de carga de "absorción"	Valores predefinidos: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Elegible con selector giratorio, pantalla, VEDirect o Bluetooth)			
Tensión de carga de "flotación"	Valores predefinidos: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Elegible con selector giratorio, pantalla, VEDirect o Bluetooth)			
Algoritmo de carga	adaptativo multifase			
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no a cosechable por el usuario) Polaridad inversa, Cortocircuito de salida, Sobretensión			
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)			
Humedad	95% sin condensación			
Puerto de comunicación de datos	VEDirect o Bluetooth			
Interruptor on/off remoto	Sí (conector básico)			
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 380VAC/4A		Capacidad nominal CC 4A hasta 35V CC, 1A hasta 60VCC	
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)			
CARCAS A				
Color	Azul (RAL 5012)			
Terminales FV 3)	35mm ² / AWG2 (modelo s Tr), Dos pares de conectores MC4 (modelos MC4 de 250/60 y 250/70), Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4 de 250/85 y 250/100)			
Bornes de batería	35mm ² / AWG2			
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)			
Peso	3 kg		4,5 kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 185 x 250 x 95 mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95 mm		Modelos Tr: 216 x 295 x 103 mm Modelos MC4: 246 x 295 x 103 mm	
NORMATIVAS				
Seguridad	EN IEC 62109			
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada al máximo establecido. 1b) La tensión FV debe exceder en 5 V la Vbat. Tensión de la batería al momento que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1 V. 2) Uno o paneles FV con una corriente de cortocircuito más alta podría dañar el controlador en caso de polaridad inversa de dichos paneles FV. 3) Modelos MC4 se podrán necesitar varios separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares. Corriente máxima por cable con MC4 30A (con estos MC4 están en estado de arranque o a un readout MPPT)				

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Centralfax: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com





★★★★★ Sé el primero en escribir una reseña.

Vendedor: **bay-marine** (1469 ★) 100% Comentarios positivos
[Guardar este vendedor](#) | [Contactar al vendedor](#) | [Ver otros artículos](#) | [Visitar tienda](#)

Estado: **Nuevo**

Cantidad: 2 disponible(s)

Precio: **US \$834.70**
Aproximadamente € 514 929,06

¡Cómpralo ahora!

Agregar al carro de compras

[Agregar a Lista de favoritos](#)

Usuario antiguo

No se aceptan devoluciones

Envío: **USD91.80 (aprox. € 56 631.71)** USPS Priority Mail International | [Ver detalles](#)
Los artículos internacionales pueden estar sujetos a trámites de aduana y tarifas adicionales. ⓘ
Ubicación del artículo: San Diego, California, Estados Unidos
Realiza envíos a: todo el mundo

Entrega: **Previsto entre el mar. 13 nov. y el lun. 19 nov.**
El vendedor hace el envío en 1 día después de haber hecho efectivo el pago. ⓘ

Pagos:     

Devoluciones: El vendedor no acepta devoluciones | [Ver detalles](#)

Garantía: **ebay DEVOLUCIÓN DE TU DINERO** | [Ver detalles](#)
Recibe el artículo que compraste o te devolvemos tu dinero.

Apéndice F: Tabla 310.16 del Código Eléctrico Nacional 2008

Tabla 310.16 Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F).

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o kcmil
	← 100 A		→ 100 A		*		
	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, ML, 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

Apéndice G: Ficha técnica y costo de tanque de combustible HidroPlus (1000L)

Materiales

» Tanque	Polietileno de alta densidad y alto peso molecular.
» Armadura	Tubos de acero galvanizado a doble capa.
» Palet	Acero galvanizado.
» Orificio de llenado	2" diámetro.
» Cierres	2" diámetro - llave de bola.

ESPECIFICACIONES

Capacidad real	1060 L
Altura total (+-10mm)	1170 mm
Ancho total (+-10mm)	1006 mm
Longitud total(+/-10mm)	1208mm
Entrada de horquilla (+-5mm)	100mm
Peso Total	61.5 (+-3Kg)
Homologaciones	BAM (Instituto Federal alemán de Investigación y Pruebas de Materiales.)
Apilado aconsejado	3 alturas
Densidad máxima del contenido	1.9 (líquido estándar = agua)
Presión Hidráulica máxima	100 kpa

El contenedor IBC 1000L es apilable hasta 3 alturas. Los homologados son aptos para el transporte de mercancías peligrosas según las reglamentaciones ADR, RID e IMO; además los depósitos disponen de 4 cantoneras, fabricadas en polietileno, en las esquinas inferiores que protegen al cuerpo de golpes durante su manipulación.

*Contenedores IBC 1000LT con cuerpo fabricado en polietileno de alta densidad y alto peso molecular (PEAD-APM), con estabilizante UV. Color natural.





RENVASA
Reutilización de envases

Q SOBRES RENVASA NUESTROS VALORES

INICIO / **TOTES**

CATÁLOGO DE PRODUCTOS

Bidones

Cubetas

Estañones

Pichingas

Sacos

Totes

Uncategorized



TOTES
TOTES 1000 LTS
₡75,000

Apéndice H: Ficha técnica y cotización de estructuras para montaje de paneles solares



Más vistas



ESTRUCTURA AL PARA 2 PANELES FOTOVOLTAICOS BASE-TRIANGULAR AJUST 20°/25°/30°

Disponibilidad: En stock

Precio Lista \$113.146

Oferta Efectivo **\$107.490** (\$90.328 +iva)

Ahorro: \$5.656 (5%)

Cant.: **AGREGAR AL CARRO**

→ Agregar para comparar

Descripción rápida

ESTRUCTURA AL PARA 2 PANELES FOTOVOLTAICOS BASE-TRIANGULAR AJUST KIT-500W-TRI

Permite la instalación de 2 paneles de 250W o similares. Incluye base de montaje Triangular Ajustable 20°/25°/30°

El sistema Incluye:

- 4 Abrazaderas E-CLAMP-40
- 2 Abrazaderas M-CLAMP-40
- 12 Abrazaderas C-CLAMP-40
- 2 Rieles 45 Estándar de 2100mm
- 3 Bases Triangulares Ajustables de Aluminio de calidad profesional

Opcional: Tornillos autoroscantes 6.3x80mm TAR-AR-CG y 6,3x15mm no incluidos en kits.



Más vistas



ESTRUCTURA AL PARA 4 PANELES FOTOVOLTAICOS BASE-TRIANGULAR AJUST 20°/25°/30° KIT-1000W-TRI

Disponibilidad: En stock

Precio Lista \$201.286

Oferta Efectivo **\$191.223** (\$160.692 +iva)

Ahorro: \$10.063 (5%)

Cant.: **AGREGAR AL CARRO**

→ Agregar para comparar

Descripción rápida

ESTRUCTURA AL P/4 PANELES FOTOVOLTAICOS BASE-TRIANGULAR AJUST KIT-1000W-TRI

Permite la instalación de 4 paneles de 250W o similares. Incluye base de montaje Triangular Ajustable 20°/25°/30°


El sistema Incluye:

- 4 Abrazaderas E-CLAMP-40
- 6 Abrazaderas M-CLAMP-40
- 20 Abrazaderas C-CLAMP-40
- 4 Rieles 45 Estándar de 2100mm RIEL-45-2100
- 5 Bases Triangulares Ajustables de Aluminio de calidad profesional BASE-TRIP-AJ16

Apéndice I: Correo que indica posible costo de construir tendido eléctrico hasta el Chirripó

Correo

RV: Solicitud de colaboración costo ampliación de línea eléctrica a estación en Cerro Chirripó

 **Rojas Camacho Alvaro** <ARojasCa@ice.go.cr>
22/8/2018 4:01 p. m.

Para: Castro Alfaro Claudio Cc: Rojas Gómez Edgar Francisco; Mata Picado Iván; Araya Alpizar Elmer

[Para su informacion](#)

De: Rojas Camacho Alvaro
Enviado el: miércoles, 22 de agosto de 2018 03:58 p.m.
Para: Arguedas Elizondo Juan Manuel
CC: Barrantes Mora Rodolfo; Araya García Alvaro; González Calderón Jorge Eduardo; Rojas Gómez Edgar Francisco; Rivas Mora Jose Luis; Maietta Leitón Javier Antonio; Viquez Alfaro Gerardo; González Ramírez Allen
Asunto: RE: Solicitud de colaboración costo ampliación de línea eléctrica a estación en Cerro Chirripó

Excelente, muchas gracias esta información es más que suficiente por el momento, me parece que hacer una reunión en la zona sería lo ideal, lo estaremos contactando al próxima semana y conversamos.

De: Arguedas Elizondo Juan Manuel
Enviado el: miércoles, 22 de agosto de 2018 03:48 p.m.
Para: Rojas Camacho Alvaro
CC: Barrantes Mora Rodolfo; Araya García Alvaro; González Calderón Jorge Eduardo; Rojas Gómez Edgar Francisco; Rivas Mora Jose Luis; Maietta Leitón Javier Antonio; Viquez Alfaro Gerardo; González Ramírez Allen
Asunto: Re: Solicitud de colaboración costo ampliación de línea eléctrica a estación en Cerro Chirripó

Buenas tardes don Alvaro, vamos a ver si podemos aclarar un poco más la situación, en conversación con el Ing. Jorge González Calderón, Gestor de Redes de la Región Brunca, estuvimos analizando la posibilidad de ejecución del proyecto y se obtienen los siguientes escenarios:

- La construcción de una línea de distribución eléctrica aérea es inviable debido a la complejidad ambiental, topográfica y más aún por la nula oportunidad de realizar el mantenimiento futuro de dicha red.
- Se podría pensar en la ejecución del proyecto de manera subterránea cumpliendo la normativa actual para la construcción de este tipo de obras pero al requerir la corta de una gran cantidad de especies forestales y volviendo a lo complejo de la topografía se hace difícil pensar también en esta opción. Si fuera requerido un presupuesto aproximado para este tipo de obra en donde el kilómetro típico de construcción se calcula actualmente en ₡ 150 000 000.^{oo} (Ciento cincuenta millones de colones), estaríamos hablando de que el estimado para ejecutar los 14.5 km desde la entrada al parque hasta el refugio es necesario invertir un total de ₡ 2 175 000 000.^{oo} (Dos mil ciento setenta y cinco millones de colones).
- Existe también la opción de construir un ducto para trasegar el cableado tanto eléctrico como de datos pero sin cumplir con la normativa actual de construcción, en donde no es necesario construir la obra en 34.5 KV sino que se podría plantear hasta en 2.4 KV, en donde los costos serían enormemente menores a los detallados anteriormente, solamente se requeriría un mayor análisis de los detalles finales. Este trabajo se podría llevar a cabo sin mayor afectación a la vegetación, iría en su mayoría paralelo al sendero lo que nos daría oportunidad de mantener y operar de manera adecuada y se podría realizar a unos 30 cm de profundidad por lo que con el tiempo podría ser tapado por la vegetación y pasar inadvertido.
- Existe otra opción que consiste en generar electricidad a partir de una micro red de distribución aprovechando los recursos existentes en la base crestones que serían el sistema de captación de aguas y los sistemas fotovoltaicos. En este caso la inversión sería menor y quizá conllevaría nada más la compra de más sistemas fotovoltaicos y equipos varios para lograr abastecer el requerimiento a futuro.

Correo


es necesario construir la obra en 34.5 KV sino que se podría plantear hasta en 2.4 KV, en donde los costos serían enormemente menores a los detallados anteriormente, solamente se requeriría un mayor análisis de los detalles finales. Este trabajo se podría llevar a cabo sin mayor afectación a la vegetación, iría en su mayoría paralelo al sendero lo que nos daría oportunidad de mantener y operar de manera adecuada y se podría realizar a unos 30 cm de profundidad por lo que con el tiempo podría ser tapado por la vegetación y pasar inadvertido.

- Existe otra opción que consiste en generar electricidad a partir de una micro red de distribución aprovechando los recursos existentes en la base crestones que serían el sistema de captación de aguas y los sistemas fotovoltaicos. En este caso la inversión sería menor y quizá conllevaría nada más la compra de más sistemas fotovoltaicos y equipos varios para lograr abastecer el requerimiento a futuro.

De nuestra parte estamos anuentes a realizar una reunión o videoconferencia para aclarar dudas al respecto.

Quedo atento.

Saludos cordiales,



Juan Manuel Arguedas Elizondo
Estudios de Campo y Control de Obras de Expansión
Área Administrativa y Planificación de Desarrollo
Región Brunca
Tel: 2000-0489 / Fax: 2770-2358
jarguedase@ice.go.cr / www.grupoice.com

Apéndice J: Calibre de conductores de puesta a tierra

Tabla 250.122 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

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

Nota: Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4(A)(5) o (B)(4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.

*Véanse las restricciones de instalación en la sección 250.120.