

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



"APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN
EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES, SEÑALIZACION
Y CONTROL"

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

FERNANDO ANTONIO GRIMALDO APARCANA

Promoción 1983 - 1

LIMA - PERU - 1993

SUMARIO

En la actualidad el Perú tiene una tasa mínima de 2 por cada 100 habitantes que cuentan con servicio telefónico, encontrándonos rezagados inclusive con nuestros vecinos mas cercanos como son Ecuador, Bolivia, Chile, Brasil, Colombia, etc. Así en nuestro país muy pocas comunidades campesinas, centros mineros, centros de producción en la selva cuentan con servicio de telefonía y aun menos servicio de televisión, pudiendo ser implementados estos servicios con antenas parabólicas de 3 m ó más, enlaces terrestres; Estos servicios muchas veces no pueden ser implementados principalmente por problemas de energía; Es aquí donde viene en auxilio la energía solar fotovoltaica como una interesante alternativa de energía no convencional a solucionar la escasez de la misma sobre todo en zona rural.

Para salvar este problema energetico en lugares alejados de las grandes ciudades, viene en auxilio la tecnología solar, que permite la conversión directa de energía solar en energía eléctrica, mediante los

paneles solares Vale mencionar, que para obtener resultados satisfactorios en lo que respecta a continuidad y confiabilidad de los servicios de telecomunicaciones hemos adoptado el método del "mes de mínima radiación solar" con lo que queda resuelto este aligido problema; Adicionalmente al energizar cargas menores de 5 Kw. vemos que los costos son favorables a lo fotovoltaico con respecto a energías convencionales generandose una razón adicional para que el uso de esta fuente energética alcance mayor popularidad.

"APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN
EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES, SEÑALIZACION Y
CONTROL EN ZONA RURAL"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

TESIS : "APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES, SERIALIZACION Y CONTROL EN ZONA RURAL"

AUTOR : FERNANDO ANTONIO GRIMALDO AFARCANA

PARA OPTAR EL

GRADO

PROFESIONAL DE: INGENIERO ELECTRICISTA

LIMA-1993

EXTRACTO

El objetivo del presente estudio ha sido desarrollar un método sencillo y preciso que permita analizar un sistema de energía solar fotovoltaica aplicado a equipos de telecomunicaciones, señalización y control ubicados en zona rural ó de difícil acceso; Su aplicación en este campo nos abre interesantes alternativas de desarrollo para el poblador de la zona rural que actualmente vive marginado y en desfase al rápido desarrollo que por las telecomunicaciones viven las grandes ciudades.

En la actualidad el Perú tiene una tasa mínima de por cada 100 habitantes que cuentan con servicio telefónico, encontrándonos **rezagados** inclusive con nuestros vecinos más cercanos como son Ecuador, Bolivia, Chile, Brasil, Colombia, etc. Así en nuestro país muy pocas comunidades campesinas, centros mineros, centros de producción en la selva cuentan con servicio de telefonía y aun menos servicio de televisión que puedan ser implementados con antenas TVRO (Televisión only Recepción) que utilizan antenas parabólicas de 3 m ó enlaces terrestres, principalmente por problemas de **energía**; Es aquí donde viene en auxilio la energía solar fotovoltaica como una interesante alternativa de energía no convencional a solucionar la escasez de la misma.

La energía solar fotovoltaica puede ser aplicado a telecomunicaciones que es el motivo principal del presente trabajo aunque también es aplicable a iluminación de viviendas rurales, control de represas, en sistemas de bombeo para el riego de cultivos, señalización de pistas de aterrizaje, iluminación de túneles y otros.

El desarrollo de la tecnología solar viene también en auxilio ante la crisis energética en la que

actualmente se vive a nivel mundial por la escasez de hidrocarburos, problemas políticos-económicos en el medio oriente y lo inevitable, que viene dado por el agotamiento de las reservas de hidrocarburos a nivel mundial, esta será sentida con mayor intensidad en los países en vías de desarrollo como el nuestro.

En la actualidad la aplicación de la energía solar fotovoltaica viene limitada por costos, y en demandas energéticas de poco alcance, sobre todo en lugares aislados, que permitan aprovechar su carácter autónomo; No será largo el plazo que por el desarrollo de la tecnología solar y abaratamiento de costos, su aplicación será masiva y serán muchos más los proyectos cuya factibilidad sea posible mediante este tipo de energía no convencional.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I : LA ENERGIA SOLAR	
1.1 La Energia Solar sobre la Tierra	4
1.1.1 Ternologias Solares Existentes	8
1.1.2 El Papel de la Energia Solar como futura ayuda a la solución de la crisis de la energia	10
1.2 Aplicación Terrestre de la Energia Solar	11
1.2.1 Aplicaciones Terrestres de Gran Potencia: $P < 50 \text{ Kwp}$	12
1.2.1.1 Electrificación en Zona Rural:	13
1.2.1.2 Utilización en la Agricultura:	14
1.2.1.3 Utilización como Cen- trales Conectadas a la Red:	14
1.2.2 Aplicaciones Terrestres de	

	Mediana Potencia: 1kwp <P< 50 kwp	15
1.2.3	Aplicaciones Terrestres	
	Pequeña Potencia: P < 1kwp	16
1.2.3.1	Aplicaciones domésticas de la Electricidad Fotovoltaica:	17
1.2.3.2	Aplicaciones Agrícolas, Ganaderas y Forestales de la Electricidad Fotovoltaica:	18
1.2.3.3	Aplicaciones Militares, de recreo y otras de la Electricidad Fotovoltaica:	19
1.2.4	Aplicación Terrestre de Potencia insignificante	20
1.3	Aplicación de la Energía Solar en Telecomunicaciones, Señalización y Control	21
1.3.1	Análisis de la Aplicación de la Energía Solar en equipos de Telecomunicaciones en Zona Rural	22
1.3.2	Análisis de la Aplicación de la Energía Solar en Señalización y Control en Zona Rural	23

CAPITULO II : CAPTACION DE LA ENERGIA SOLAR

2.1	Medios Fundamentales para Producir Energía Eléctrica a partir de la Ener- gía Solar:	
2.1.1	Por Conversión Termosolar:	26
2.1.2	A partir de la Energía Eólica:	28
2.1.3	Por Conversión Fotovoltaica:	30
	2.1.3.1 Electricidad solar de origen fotovoltaico	30
2.2	Estudio de Células y Paneles Fotovol- taicos de Diferentes Tecnologías:	31
2.2.1	Paneles estáticos:	33
2.2.2	Paneles cuasiestáticos:	34
2.2.3	Paneles con seguimiento Continuo:	35
2.2.4	Paneles Monofaciales:	
2.2.5	Paneles Bifaciales:	36
2.2.6	Paneles Concentradores:	36
2.3	Determinación de la Batería Ideal para usos Fotovoltaicos	37
	2.3.1 Características de los Dife- rentes Tipos de Acumuladores plomo-ácido	39
	2.3.1.1 Baterías de Arranque:	39
	2.3.1.2 Baterías Estacionarias:	39
	2.3.1.3 Baterías de Tracción:	40

2.3.1.4.	Baterías de plomo-calcio:	41
2.3.1.5	Baterías de plomo-antimonio:	41
2.3.2	El ciclado diario	42
2.3.3	Permanencia del Acumulador en Bajo Estado de Carga	43
2.3.4	Conclusión del Análisis de los diferentes tipos de Acumulado- res plomo-ácido	44
2.4	Análisis de funcionamiento de la Bate- ria idonea en usos fotovoltaicos	45
2.4.1	Características Especiales de Diseño:	46
2.4.2	Reacción química en Baterías Estacionarias plomo-ácido:	49
2.4.3	Características de Carga y Des- carga en Baterías ácidas:	50

**CAPITULO III : DISEÑO DE INSTALACIONES CON ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA (ESF), DE ACUERDO A
DATOS ESTADISTICOS DE INSOLACION DE LA
ZONA**

3.1	Descripción Tecnológica y elección de Elementos en una Instalación con Ener- gía Solar Fotovoltaica (ESF)	54
3.1.1	La Célula Solar	54

3.1.2	El Panel Solar	
3.1.3	Las Baterías	60
3.1.4	El Regulador de Tensión	
3.1.5	Nomenclatura de parámetros que intervienen en una instalación fotovoltaica	64
3.2	Dimensionado de las Instalaciones de ESE	67
3.2.1	Evaluación de la Energía Necesaria	68
3.2.2	Evaluación de la radiación solar disponible	72
3.2.3	Elección del número de Paneles y Baterías	73
3.2.4	Cálculo de "Exceso de Energía Disponibile"	77
3.3	Montaje en las instalaciones que utilizan Energía Solar Fotovoltaica	
3.3.1	Montaje del Arreglo de Paneles	82
3.3.3	Montaje del Regulador de Tensión	84
3.3.3	Montaje del Banco de Baterías	85
3.3.4	El Cableado Eléctrico y Accesorios	86

**CAPITULO IV: APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTO-
VOLTAICA EN LOS REPETIDORES DE LOS
EQUIPOS DE MULTIACCESO RADIAL (MAR), CON
DATOS PROPORCIONADOS POR EL INSTITUTO
GEOFISICO DE HUAYAO DE HUANCAYO**

4.1	Descripción de la instalación en Zona Rural	90
4.1.1	Evaluación de la Radiación Solar en el Valle del Mantaro	91
4.2	Descripción del Enlace y Equipos de Multi Acceso Radial. Filosofía de Funcionamiento	
4.2.1	Características del Sistema M.A.R.	95
4.3	Equipos y carga a ser energizados. Perfil de consumo promedio diario de Energía	95
4.4	Dimensionado de la Instalaciones con Energía Solar Fotovoltaica, para la Estación Repetidora del Cerro Irayrapata	97
4.5	Protección contra Descargas Atmosféricas y Conexión a tierra	106
4.5.1	El Pararrayos como captador de las Descargas Atmosféricas	109
4.5.2	Puesta a tierra de Equipos e Instalaciones	111

**CAPITULO V : MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES CON
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

5.1	Mantenimiento del Banco de Baterías	115
	5.1.1 Ajuste de la Gravedad Específica	117
	5.1.2 Verificación del Voltaje y Temperatura	123
5.2	Mantenimiento del Regulador de Tensión	123
5.3	Mantenimiento de Paneles Solares	126
5.4	Mantenimiento de Puesta Tierra	128

**CAPITULO VI : COMPARACION ECONOMICA EN LA APLICACION DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CON RESPECTO A
ENERGIAS CONVENCIONALES, PARA EL CASO DEL
REPETIDOR DE MULTIACCESO RADIAL INSTALADO
EN EL CERRO IRAYRAPATA**

6.1	Análisis Económico de la utilización de Generadores Fotovoltaicos en los equipos de Multi Acceso Radial (MAR) Valle del Mantaro	133
6.2	Análisis Económico de la utilización de Generadores Diesel en los equipos de Multi Acceso Radial (MAR) Valle del Mantaro	135
6.3	Análisis Económico de la utilización de Energía Eléctrica de la red más próxima	

en los equipos de Multi Acceso Radial (MAR) Valle del Mantaro	137
6.4 Conclusión del análisis técnico-económico realizado.	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
BIBLIOGRAFIA	147

INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido llevado a cabo con la finalidad de resolver el problema energético en zonas rurales mediante la aplicación de energía solar fotovoltaica, que aplicado en equipos de telecomunicaciones, señalización y control, nos dé la oportunidad de comunicar e integrar centros poblados, centros mineros, zonas de producción con las grandes ciudades, permitiendo de esta manera que su conexión con el resto del país lleven a estas zonas alejadas a un desarrollo propio, que repercutirá en un desarrollo integral de nuestro país.

Actualmente, en el Perú los pobladores del Area Rural sufren las consecuencias de la falta de información por la carencia de energía eléctrica y equipos de telecomunicación que faciliten el dato exacto sobre precios de productos, pudiendose evitar la distorsión de la economía y el empobrecimiento de una vasta población rural.

El desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica y su aplicación mediante el método descrito en el presente estudio no sólo es aplicable a equipos de

telecomunicaciones, puesto que también puede ser aplicado a iluminación de viviendas rurales, energizar motores en molienda de granos, bombeo de agua para cultivos, señalización de pistas de aterrizaje, paso a nivel de ferrocarriles control y mando en represas, señalización de boyas marinas y otros lugares donde sea difícil conseguir la energía eléctrica.

Si bien en cierto la energía solar fotovoltaica no va a resolver por sí sola a corto plazo ni a mediano plazo, el problema de desabastecimiento energético, pero no conviene desaprovechar las enormes cantidades ilimitadas de energía del sol, sabiendo que se trata de una fuente de energía casi inagotable, incontaminante y gratuita, que llegará a ser dentro de un tiempo no muy lejano del 10 al 20 por ciento del suministro de energía del mundo; su desarrollo y uso son vigorosamente promovidos, particularmente en nuestro país si a partir de ahora, se realiza el gran esfuerzo requerido en las principales entidades; principalmente en los centros de estudios superiores; se construya una infraestructura humana mediante un análisis a conciencia de la tecnología solar; y la investigación actual de los componentes solares, diseño de generadores solares, funcionales y económicas; luego de determinar la factibilidad de diseño en sistemas que trabajen con este tipo de energía no convencional en un grado de continuidad y confiabilidad apropiado.

La utilización de energía solar actualmente está centrado en las aplicaciones amplias, como las más prometedoras desde el punto de vista de energía, económica y técnica, son: I Calentamiento y Enfriamiento de Edificios Comerciales y Residenciales. II La Conversión Biológica y Química de Materiales Orgánicos a Líquido, Sólido y Gaseoso como Combustibles. III La Generación de Electricidad.

También es importante resaltar que la energía solar fotovoltaica constituye una buena alternativa, que permite mantener la continuidad de un servicio como es, el de Telecomunicaciones, puesto que ante el ataque a los sistemas interconectados de redes eléctricas por parte del terrorismo y el robo de cables eléctricos, los cuales están expuestos, estos sistemas se vuelven menos confiables.

CAPITULO I

LA ENERGIA SOLAR

1.1 La Energia Solar sobre la Tierra

La energía solar, siendo una fuente casi inagotable y disponible se presenta como alternativa para reemplazar en parte las energías convencionales (hidroeléctrica, petróleo, gas, carbón).

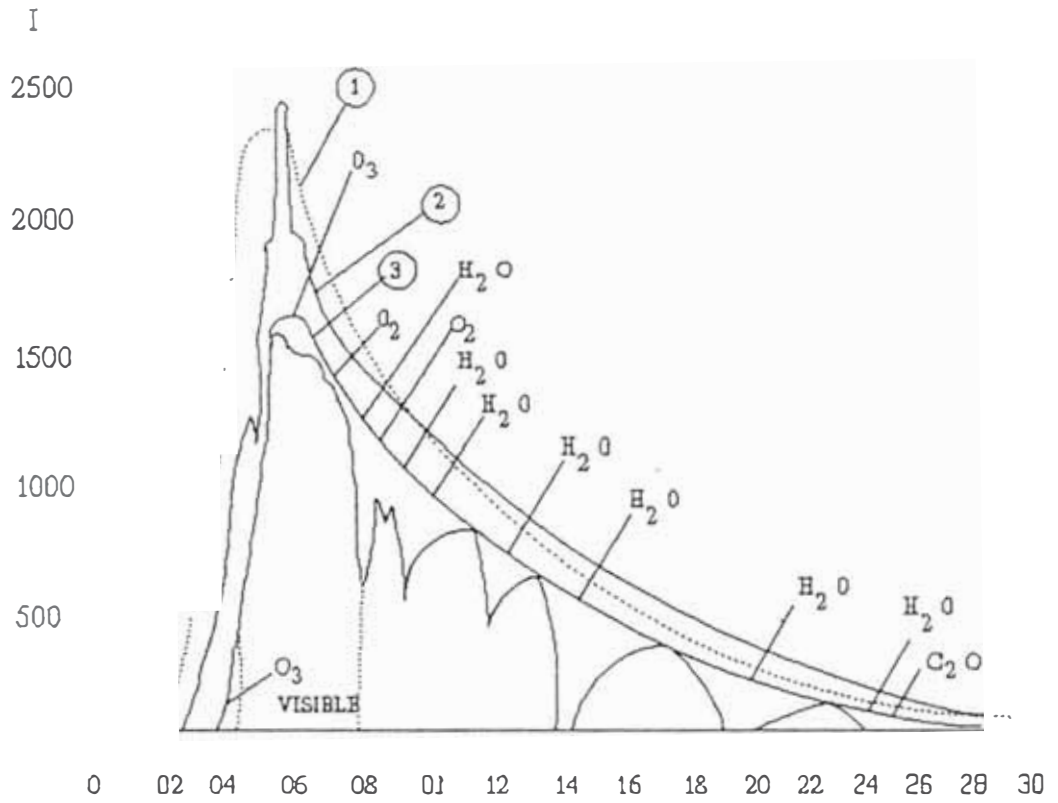
El sol, centro de nuestro sistema está compuesto de una materia gaseosa caliente de gran intensidad, actúa como un reactor de fusión continua. La salida de energía principal del sol es la radiación electromagnética centrada cerca a la porción dentro del espectro electromagnética, a 95% de la energía irradiada dentro del rango del espectro electromagnético de 0.3 a 2.4 micrones (micras) de longitud de onda. La potencia irradiada (estimada por segundo) total del sol 3.79×10^{26} Watios/segundos y una radiación solar media de 80 a 300 W/m²-seg, según las horas del día y las condiciones meteorológicas.

El flujo solar promedio fuera de la atmósfera de la tierra se denomina como la "constante solar", el valor normal o standar propuesto por Thakaevara y Drummond es 1353 w/m^2 . La radiación del sol encuentra muchos factores atenuantes antes de llegar superficie de la Tierra. Además de las variaciones de la distancia de la Tierra-sol, así como la dispersión de otros componentes en la atmósfera tales como: moléculas de aire, vapor de agua; también esta atenuación se debe a los fenómenos de absorción por: O_3 , H_2O , CO_2 y O_2 . La figura 1.1. muestra el espectro de la radiación solar.

Para calcular el efecto de estos factores, para longitudes de ondas específicas (Landa), se ha desarrollado la transmitancia atmosférica (Γ), que es una medida del efecto diseminador sobre la radiación solar.

La Transmitancia atmosférica para la radiación solar se aproxima con la siguiente formula:

$$\Gamma(\lambda) = \left(10^{-0.00319 - \frac{4P}{160}} \right) \left(10^{-0.0113 - \frac{0.75d}{800}} \right) \left(10^{-0.0075 - \frac{9w}{20}} \right)$$



① ESPECTRO DE RADIACION PARA UN CUERPO NEGRO DE 5762 K.

② ESPECTRO DE RADIACION EXTRATERRESTRE

③ ESPECTRO DE RADIACION A NIVEL DEL MAR.

Fig. 1.1

Donde:

$T(\lambda)$ Transmitancia atmosférica para la radiación solar solamente el efecto dispersador a una longitud de onda.

p Presión Total, m.m (diseminación atmosférica)

d Concentración de la partícula de polvo en el cielo, partículas/cm³ (diseminación de moléculas de aire-polvo)

w - Profundidad de agua precipitable m.m. (diseminación de vapor de agua)

m Diseminación de la masa de aire

La evaluación promedio de los factores de transmitancia atmosférica con los mismos resultados para el factor de transmitancia son los mismos resultados para el factor de transmitancia absorción, se obtiene los datos generales para el rango de 0.3 a 2.4. micrones del espectro electromagnético.

Condición Atmosférica	Cantidad de radiación solar directa que llega a la superficie de la tierra.
Turbios ligeros (moderados)	10 a 50%
Cubierta de nube densa	.1%

La radiación solar en términos de comparación de energía práctica, deben ser expresados en magnitudes convencionales: KW-H, BTU, etc. El flujo máximo solar que puede ser recibido sobre una superficie horizontal, si el sol estuviera perpendicular sería: $1\text{KW}/\text{m}^2$ ó $3416\text{ BTU}/\text{m}^2\text{-hora}$.

La cantidad de energía solar recibida en cualquier ubicación que esté la tierra, **varia** enormemente en relación al máximo: en algunos lugares el sol nunca está perpendicular de uno, **más** las variaciones de absorción y diseminación y los cambios de estaciones del año causan que el valor del flujo solar varíe ampliamente.

1.1.1 Tecnologías Solares Existentes.

Las tecnologías para la transformación de energía solar son:

- a) Conversión Fototérmica.- Transforma calor solar en energía útil.
- b) Conversión Fotovoltaica.- Transforma la radiación solar directamente en electricidad.

La conversión Fototérmica es la técnica más simple y difundida, consiste en "colectores solares"

que absorben la radiación solar en una superficie negra.

El calor solar útil extraído representa del 30 al 80% de la Energía Solar disponible. Esta Tecnología es usada en los secadores y termas solares.

La Conversión Fotovoltaica, una tecnología desarrollada en estos últimos años, inicialmente se uso como fuente de energía para satélites espaciales.

Los dispositivos que transforman la radiación solar en electricidad son los "paneles solares" compuesta de "Celdas Solares" semiconductoras, cuya fabricación requiere tecnología avanzada.

El alto costo de los sistemas fotovoltaicos hace que su uso se justifique sólo en casos especiales y que en todo caso se le utilice racionalmente.

Sin embargo, el actual desarrollo tecnológico en este campo hace suponer que a mediano plazo el precio de los paneles solares bajarán de 8 dolares a 1/2 dolar por Watio, lo que si permitiría su uso masivo en lugares que no estén conectados a una central eléctrica.

1.1.2 El Papel de la Energía Solar como futura ayuda a la solución de la crisis de la Energía:

En la actualidad la energía convencional es muy barata, pese a los incrementos del precio del petróleo, también la situación futura es incierta ya que en una época como la que nos espera de encarecimiento progresivo de la energía, ameritan el desarrollo e investigación capaces de evolucionar hacia el uso de energías alternativas. será posible esperar que las energías convencionales sean mas caras que las alternativas para entonces desarrollar la nueva infraestructura porque entonces no habría posibilidades económicas para ello.

Ante esto vamos a ver que posibilidades técnicas reales tiene la energía solar, de la forma descrita, para enfrentarse al problema.

En lo que respecta a vivienda, la energía solar puede jugar un cierto papel, más importante en países de mayor desarrollo y peor clima que en el nuestro. Con el empleo de ella se puede elevar el nivel y la calidad de vida de las poblaciones rurales siendo esta una necesidad social y seguramente hay en ello una apuesta de futuro.

Sobre las posibilidades del empleo de **energía solar** en la industria de procesos para obtener agua caliente, el problema se plantea de nuevo crítico. Para empezar solo es posible con eficacia en industrias **situada fuera** de las grandes concentraciones urbanas (lo cual representa la tendencia) pero hay que señalar que el costo de energía solar es sobre todo costo de inversión por lo que sería necesario una decidida política de créditos que hicieran posible este tipo de inversiones.

1.2 Aplicación Terrestre de la Energía Solar:

Dado el dinamismo, en el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos cada día surgen nuevas aplicaciones terrestres para la **electricidad solar** fotovoltaica. Este hecho se produce como consecuencia de dos factores fundamentales, primero la reducción relativa **del** costo esta energía frente a las convencionales, que hace que nuevas aplicaciones fotovoltaicas traspasen el umbral de rentabilidad y segundo, la diseminación que en estos años se ha producido, a muy diferentes niveles, de la teoría y la realidad de los sistemas fotovoltaicos provocando que muchas personas con diferentes perfiles profesionales aporten sus ideas y experiencias al desarrollo de nuevas aplicaciones.

Para la clasificación de la electricidad fotovoltaica, se ha optado por un criterio que permita encontrar cierta problemática común entre los elementos de cada grupo, como es la potencia pico del panel fotovoltaico involucrado. Las cuatro categorías establecidas han sido designadas como, sistema de:

- a) Gran Potencia $P > 50\text{Kwp}$
- b) Media Potencia $1\text{Kwp} < P < 50\text{Kwp}$
- c) Pequeña Potencia $10\text{wp} < P < 1\text{Kwp}$
- d) Potencia Insignificante $P < 10\text{wp}$

Hay que recordar que por potencia pico del panel, entendemos la potencia que éste suministra a una carga adaptada cuando la radiación incidente tiene un espectro correspondiente a AM1.5 y una intensidad de $1\text{Kw}/\text{m}^2$.

1.2.1 Aplicaciones Terrestres de Gran Potencia : $P < 50\text{Kwp}$

Actualmente se encuentran funcionando con carácter de demostración varias centrales fotovoltaicas de panel plano como de concentración, autónomas y conectados a la red, con potencias del orden de los cientos de Kilowatios. Las aplicaciones mas típicas, han estado centradas en:

Electrificación rural

Usos Agrícolas

Centrales conectadas a la red

En la Tabla 1-1 se adjunta una lista de los proyectos de demostración con potencias superiores los 50Kw, ya concluidos o en fase de construcción en los Estados Unidos y en la Comunidad Económica Europea.

1.2.1.1 Electrificación en Zona Rural:

Las centrales solares fotovoltaicas destinados a la electrificación rural han de funcionar de forma autónoma, por lo que la central debe incluir junto con los paneles fotovoltaicos de generación, un sistema de acumulación que suministre la energía eléctrica necesaria durante la noche y en los períodos de climatología adversa.

Se puede conseguir una sustancial reducción de la acumulación, mediante una jerarquización de los diferentes consumos, de forma que a partir de unos determinados niveles de energía acumulada se desatenderían premeditadamente cierto tipo de demandas, atendándose solamente los definidos como prioritarios.

Con esta misma idea se puede conseguir una sustancial reducción de la acumulación

necesaria mediante la instalación de un grupo electrógeno de pequeña potencia que **entraría** en funcionamiento exclusivamente en los períodos prolongados de climatología adversa.

1.2.1.2 Utilización en la Agricultura:

Para usos agrícolas no es necesario conseguir una acumulación eléctrica de importancia, o bien se puede consumir en simultáneo con la radiación o **bien** la acumulación se puede realizar tras la transformación de la energía eléctrica (bombeo de agua, molienda de grano, desalinización de agua, etc.). Su aplicación estaría limitada a cultivos y explotaciones de gran valor añadido que puedan tolerar un coste de la energía relativamente alta.

1.2.1.3 Utilización como Centrales Conectadas a la Red:

En este caso la energía solar se utiliza como energía de pico eliminado, o reduciendo a su mínima expresión el almacenamiento. En los momentos en que la energía solar es superior al consumo el sistema entrega potencia a la red, consumiendo de ella en caso contrario.

necesaria mediante la instalación de un grupo elertrógeno de pequeña potencia que entraría en funcionamiento exclusivamente en los períodos prolongados de climatología adversa.

1.2.1.2 Utilización en la Agricultura:

Para usos agrícolas no es necesario conseguir una acumulación eléctrica de importancia, o bien se puede consumir en simultáneo con la radiación o bien la acumulación se puede realizar tras la transformación de la energía eléctrica (bombeo de agua, molienda de grano, desalinización de agua, etc.). Su aplicación estaría limitada a cultivos y explotaciones de gran valor añadido que puedan tolerar un coste de la energía relativamente alta.

1.2.1.3 Utilización como Centrales Conectadas a la Red:

En este caso la energía solar se utiliza como energía de pico eliminado, o reduciendo a su mínima expresión el almacenamiento. En los momentos en que la energía solar es superior al consumo el sistema entrega potencia a la red, consumiendo de ella en caso contrario.

En la actualidad estos sistemas no son económicamente competitivos frente a la electricidad convencional disponible in situ. Será necesario una reducción del costo de células y paneles.

Una importante ventaja de las centrales fotovoltaicas frente a los convencionales es su modularidad. Esto permite una importante reducción de los intereses intercalarios del capital invertido en la construcción de una gran central fotovoltaica, ya que ésta puede entrar en funcionamiento en fases sucesivas y en gran medida independientes.

1.2.2 Aplicaciones Terrestres de Mediana Potencia: $1 \text{ Kwp} < P < 50 \text{ Kwp}$.

En este rango se encuentra la mayor parte de los proyectos de demostración realizados en los últimos años, tanto con el panel plano como panel de concentración.

Las aplicaciones para este rango de potencia son:

- Centrales frigoríficas rurales
- Puestos de vigilancia forestal
- Estaciones meteorológicas autónomas
- Escuelas y colegios rurales

Viviendas aisladas

Iluminación de tuneles de carretera

- Desalinización del agua del mar

Todas estas aplicaciones son autónomas y en algunos casos con elevados requisitos de fiabilidad, siendo imprescindible la acumulación eléctrica.

El área utilizada por el panel fotovoltaico oscila entre los 10 m² y 500 m² para potencias de salida de 1 a 50 Kw respectivamente.

Esto exige normalmente la utilización de estructuras metálicas de soporte y un acondicionamiento de terreno que en ocasiones pueden jugar un papel no despreciable en el costo final de las instalaciones de cierto tamaño.

1.2.3 Aplicaciones Terrestres de Pequeña Potencia : $P < 1 \text{ Kw}$

Los sistemas con potencia inferior al Kilowatio utilizan todos ellos panel plano, pues la complejidad que introduce la concentración no queda compensada en instalaciones de tan pequeño tamaño.

A pesar de que cada fabricante tiene varios grados de libertad para el diseño de sus módulos, es bastante representativo hablar de un módulo típico con

una potencia entre 30 y 40 wátios y con una tensión nominal de 12 voltios, adecuada para trabajar con baterías de 12 voltios. Estos módulos suelen estar formados por grupos de 31 a 36 células en serie, en función del tipo de células y de la configuración del sistema elegido.

1.2.3.1 Aplicaciones domésticas de la Electricidad Fotovoltaica:

En aplicaciones domésticas se trata de cubrir las necesidades prioritarias de una familia como son: 1o iluminación, 2o televisión, 3o bombeo de agua potable, 4o Frigorífico y 5o otros electrodomésticos. El dimensionado de los paneles van acorde del poder adquisitivo de la familia, así como también las necesidades a cubrir.

Estas aplicaciones se pueden dar en viviendas rurales, viviendas de fin de semana, puestos de socorro, garitas de control, puestos de vigilancia forestal, etc.

1.2.3.2 Aplicaciones Agrícolas, Ganaderas y Forestales de la Electricidad Fotovoltaica:

La **electricidad** fotovoltaica **facilita** notablemente los **trabajos** de campo, permitiendo mayor comodidad, eficiencia y producción, así, se pueden ejecutar las siguientes labores agrícolas y forestales como son: Riegos por goteo para productos de alto valor (frutos tropicales, flores, plantas ornamentales, etc), **riegos** a baja presión, iluminación y centros de invernaderos, bombeo de agua para **viveros**, bombeo de agua de depósitos contra incendio de explotaciones forestales, equipamiento de casas y poblados forestales.

Las aplicaciones en ganadería se numeran continuación: iluminación de establos, granjas de gallinas, y conejos, ordeñadoras **eléctricas** (ganado vacuno y lanar), sistema de refrigeración de leche, electrificación de cercas metálicas, alimentación de bombas de calor para salas de recría, piscifactorias bombas de calor de alimentos y medicinas.

1.2.3.3 Aplicaciones Militares, de recreo y otras de la Electricidad fotovoltaica

El uso de paneles solares fotovoltaico en las aplicaciones militares, se ve justificado largamente, dada la importancia de los equipos a ser energizados, así tenemos

Generadores autónomos

Cargadores de baterías

Alimentación de equipos de medida y observación en campos de prueba

Equipos de campaña

- Radiotelefonos

También su aplicación se extiende en asunto de recreo, tales como:

Yates y veleros

Caravana y Tiendas de campaña

Campings

Aeromodelismo

- Equipamiento de áreas recreativas

1.2.4 Aplicación Terrestre de Potencia insignificante

Estas aplicaciones con potencias menores de 10W, están siendo utilizadas en gran número de productos que tienen un requerimiento de energía mínimo. Entre ellos se encuentran

relojes electrónicos de pulsera

Calculadoras de bolsillo

Juguetes

Maquetas

Reles sensores de luz

- Medidores de iluminación

En todos estos casos la célula no interesa que funcione en el punto de máxima potencia sino en condiciones de cortocircuito.

Las aplicaciones de la electricidad solar fotovoltaica van en aumento cada día, aquí solo se está presentado las aplicaciones más clásicas, pero en algunos años la tendencia de precios de los diferentes tipos de energía y por otro lado la creciente investigación de los países industrializados en materia de conversión fotovoltaica harán posible una mayor cantidad de aplicaciones rentables de esta.

1.3 Aplicación de la Energía Solar en Telecomunicaciones, Señalización y Control

En el mundo actual, ningún país desarrollado o con pretensiones serlo descuida el avance de este aspecto estratégico como son las telecomunicaciones. Hoy en día se acepta la correlación entre desarrollo nacional y desarrollo telefónico; Así, se puede comprobar que en los países en donde existe mayor desarrollo telefónico existe también una mayor aceleración de procesos productivos, comerciales e industriales, que influyen fuertemente en la economía y en el ingreso per capita del habitante, esta relación se mide por el número de aparatos telefónicos por cada 100 habitantes.

Ante el avance tecnológico de circuitos y componentes de los equipos de radio como son los transmisores, receptores, moduladores y demoduladores enlaces por fibra óptica y la digitalización de las redes aplicando tecnología de punta, que permite operar equipos de telecomunicaciones con cada vez menor consumo de energía va dando paso a una mayor utilización de la electricidad solar fotovoltaica, como una interesante alternativa, sobre todo en las zonas rurales de difícil acceso donde no se dispone de redes eléctricas.

1.3.1 Análisis de la Aplicación de la Energía Solar en equipos de Telecomunicaciones en Zona Rural:

El desarrollo de las telecomunicaciones como consecuencia de una creciente necesidad de comunicación entre poblados, ciudades, países; importancia de estar informados sobre los acontecimientos que ocurren a nivel mundial, la evolución económica de las diferentes actividades humanas como son la agricultura, ganadería, minería, industria, dan pie a la valorización creciente de contar con los servicios de telefonía, televisión, radio, transmisión de datos, farsimil entre otros. Los equipos de teleromunicación muchas veces tienen que estar ubicados en zonas rurales y de difícil acceso, lejos de redes de energía eléctrica convencionales. Ante esto sólo una interesante alternativa la utilización de "paneles solares" que evaluando costos resulta más económica que utilizar grupos eletrógenos o traer redes eléctricas de poblados que se encuentran a varios kilómetros de distancia, así podemos señalar algunas aplicaciones como son:

Alimentación de repetidoras de Microondas

Retransmisores de radio

Alimentación de energía a Sistemas TVRO (Televisión Only Recepción)

Alimentación de equipos **radio** en puestos de vigilancia forestal.

Alimentación de amplificadores repetidores de enlaces de fibra óptica

Alimentación de repetidores de equipos de Multiacceso radial Digital

Radiofaros y radiobalizas

Radiolocalización

Telefonos de emergencia en autopistas, entre otros.

1.3.2 Análisis de la Aplicación de la Energía Solar en Señalización y Control en Zona Rural.

Muchas aplicaciones en señalización y control se encuentran lejos de las ciudades, en zonas de difícil acceso en donde obligatoriamente y por necesidad la energía eléctrica se vuelve indispensable, el uso de la energía solar fotovoltaica permite mayores niveles de seguridad mediante una señalización adecuada, mayor rapidez y comodidad en la aplicación de equipos a control remoto.

En estas zonas de difícil acceso el uso de la electricidad solar fotovoltaica alcanza niveles

económicos competitivos frente a otras fuentes de energía; En las siguientes aplicaciones su uso se hace viable.

Señalización e iluminación de aeropuertos

Señalización de plataformas petrolíferas

Señalización de Ferrocarriles

Señalización óptica de obra en carretera

Iluminación de Publicidad

Faros y Boyas para navegación marítima

Control y Operación remota de presas

Telecontrol de estaciones meteorológicas

Control de pasos de nivel en ferrocarriles

Control de invernaderos

- Telecontrol de redes de riego a la distancia

CAPITULO II

CAPTACION DE LA ENERGIA SOLAR

este capítulo se pretende analizar las diferentes formas de captar energía solar, para pasar a analizar los modos de producir electricidad solar. También se pretende analizar las células y diferentes tipos de paneles fotovoltaicos desde el punto de vista de su capacidad para coleccionar energía; intentaremos responder a la pregunta ¿Cuánta energía y **en que** condiciones captura un panel fotovoltaico?, es importante distinguir que, colección de energía solar y producción de energía eléctrica son dos cosas diferentes; el camino que lleva de la primera a la segunda pasa por la eficiencia de la célula y la adaptación a la carga. Otra de las interrogantes que se genera es la forma como se va a almacenar esta energía, un análisis de almacenadores electroquímicos así como la determinación de la batería ideal para usos fotovoltaicos vienen como complemento.

2.1 Medios Fundamentales para Producir Energía Eléctrica a partir de la Energía Solar:

La electricidad ocupa un papel básico dentro del panorama global de la energía, para comprenderlo hay que comprender que la energía, con gran frecuencia, ha de ser **transformada**. En ese sentido, la electricidad es la clase de energía que se puede transformar mejor. Su transformación en calor, a casi cualquier temperatura elemental a través del efecto Joule. La transformación en energía mecánica es fácil mediante motores eléctricos que pueden tener altísimos rendimientos, su fácil transformación en luz, sonido, ondas de radio frecuencia etc. hacen que electricidad ocupe un lugar importante en el desarrollo de los pueblos y naciones.

Hay tres medios fundamentales de producir energía eléctrica a partir de la energía solar.

- a) Por conversión termosolar
- b) A partir de la energía eólica
- c) Por conversión fotovoltaica

2.1.1 Por Conversión Termosolar:

Desde el punto de vista conceptual la electricidad termosolar es simple. Se trata de la

transformación de la energía solar, en energía térmica para luego convertirla en energía eléctrica.

Un ejemplo de conversión Termosolar viene dado por el colector térmico de torre central. Este método se basa en situar un colector solar en lo alto de una torre de unas decenas de metros y rodearlo con un conjunto de reflectores denominados heliostatos, que moviéndose según un programa específico de ordenador envían la luz solar sobre el colector situado en la torre. De este modo se calienta un flujo de unos 550°C, el cual a continuación alimenta una máquina Térmica asociada a un alternador convencional. Los elementos reflectores de los heliostatos son espejos que tienen una ligerísima curvatura y fabricados con gran precisión capaces de enviar la energía al colector de la torre y a una distancia de hasta un kilómetro a más. El tamaño típico de estos heliostatos, que se han de mover con gran precisión es del orden de 40m².

2.1.2 A Partir de la Energía Eólica:

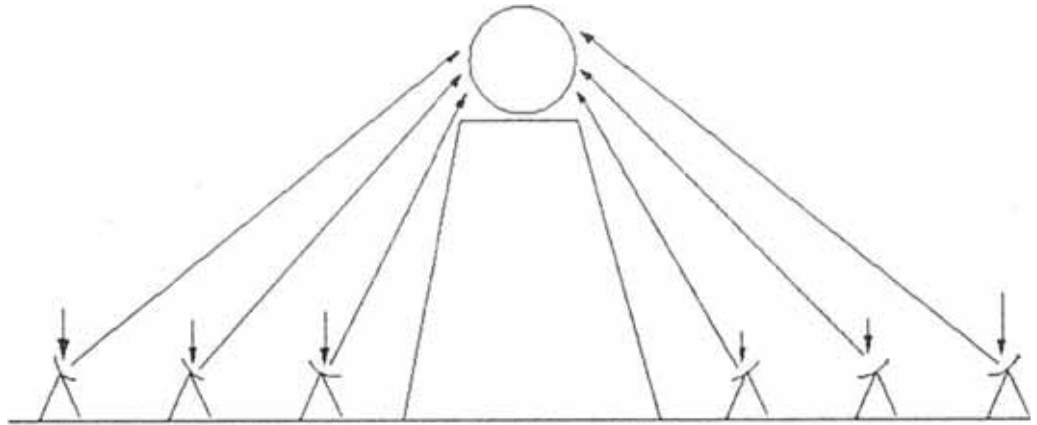
Los movimientos de aire en la atmósfera se deben a la energía solar que calienta diferentemente partes distintas del planeta.

Para la conversión en electricidad el dispositivo preferido es el aerogenerador que usa una

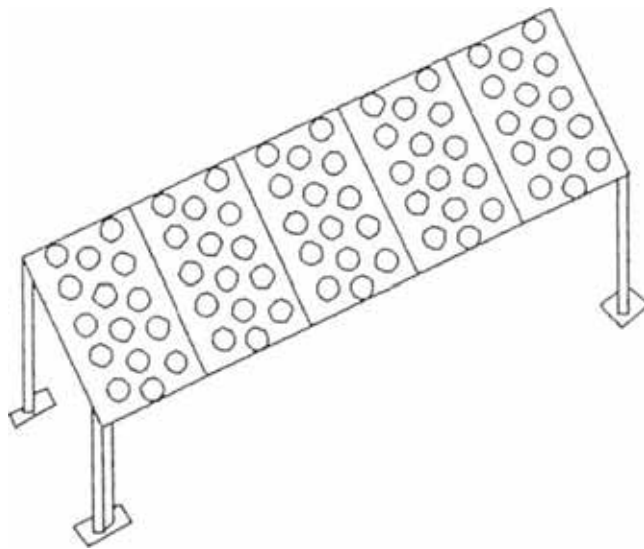
hélice Tripala, que logra extraer una energía moderada de 5KW (del orden del 40% de la energía cinética del viento que atravieza el circulo de la hélice) y gira a una velocidad mucho más rápida que el molinete clásico, de manera que la velocidad de la hélice se adapta bastante bien a la de un generador eléctrico convencional. Además orientan bien al viento existente y son bastante fiables.

Para potencias mayores, de 100Kw (0.1 Mw) se prefieren sistemas de dos polos, de grandes dimensiones (Torres de 60m, polos de 20 a 50m de diámetro) con hélice bipala más económica que la hélice tripala.

A una categoría diferente pertenece, el concepto en experimentación en Manzanares en colaboración germano-española, el cual consiste en una chimenea por la que asciende el aire calentado por el sol en un gran área circundante que está recubierta por un toldo de plástico transparente debidamente conformado en forma de cono para así conducir este aire hacia la chimenea en mención. En la misma existe una turbina asociada a una máquina eléctrica que produce la electricidad necesaria.



a) Colector Térmico de Torre Central.



b) Arreglo de Paneles Solares

Fig. 2.1

2.1.3 Por Conversión Fotovoltaica:

La base y fundamento de la electricidad fotovoltaica es la célula solar, elemento en que a partir de una serie de transformaciones internas se ha hecho posible la conversión directa de los fotones de luz en energía eléctrica, sin emplear ningún órgano móvil. De cada célula solar se obtiene un voltaje de unos 0.5 voltios en corriente continua y una corriente de unos 240 Amperios por metro cuadrado de superficie de células, cuando estas se iluminan con luz de $1\text{kw}/\text{m}^2$. La forma común es un disco de 10cm de diámetro capaz de dar 0.5 voltios y dos amperios en corriente continua. Un ejemplo de ello lo esquematizamos en la figura 2.2a

2.1.3.1 Electricidad solar de origen fotovoltaico.

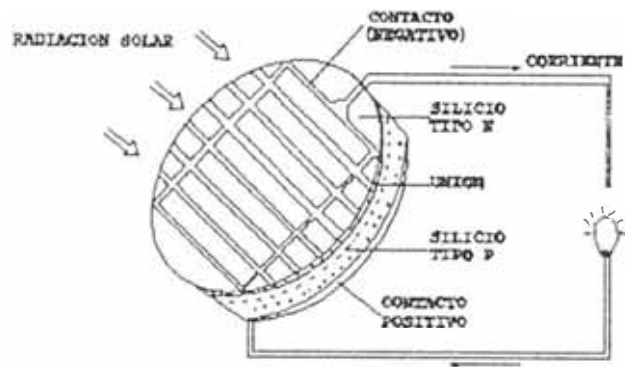
La manera más usual de presentar las células solares es en forma de módulos o paneles planos, en los cuales un cierto número de células se colocan sobre una placa, se interconectan en serie o en paralelo, se embeben en un material encapsulante y luego se protegen con un vidrio. El panel más común es un panel de 33 wátios que dá unos 16 voltios y 2 amperios. Su representación viene dada en la figura 2.2b.

En un arreglo de paneles solares que suministran corriente continua un banco de baterías, se debe tomar en consideración que al variar la intensidad de la luz del sol durante el día, la corriente de salida del arreglo de paneles solares también variará en forma proporcional. Un típico ploteo de la corriente de salida en horas del día lo podemos apreciar en la figura 2.2c

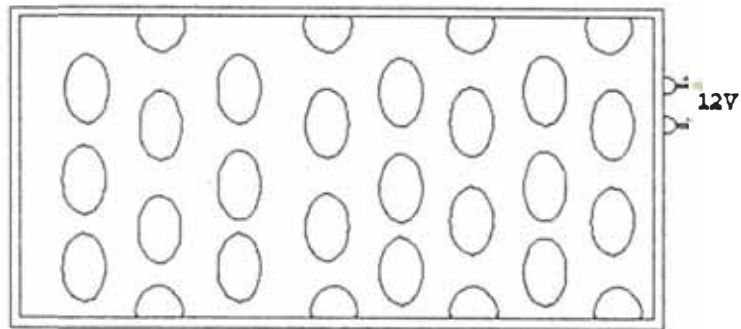
2.2 Estudio de Células y Paneles Fotovoltaicos

Diferentes Tecnologías:

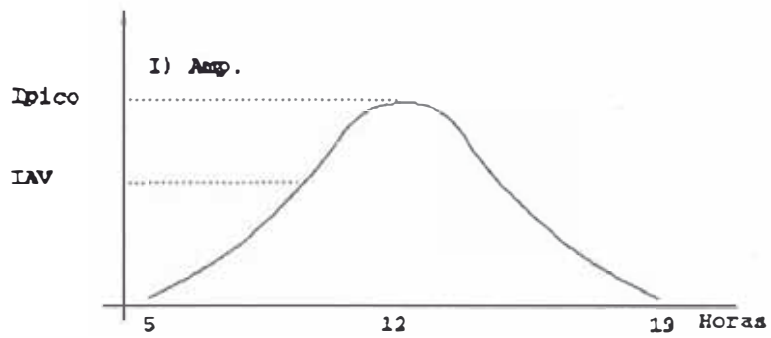
La conversión de la energía de las radiaciones ópticas en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido con el nombre de efecto fotovoltaico. La célula solar es sin duda, en la actualidad, el dispositivo fotovoltaico más importante diseñado para la conversión de la energía solar en energía eléctrica. Con este fin han sido ampliamente utilizados en aplicaciones espaciales, como generadores casi permanentes de energía sin ningún costo de funcionamiento y con una alta relación energía/peso en comparación con otras fuentes de energía. Las aplicaciones terrestres de la célula solar para generación fotovoltaica de energía eléctrica están mereciendo una atención creciente totalmente justificadas.



a) Constitución de una célula solar.



b) Panel Solar.



c) Ploteo de la Corriente a lo largo del día.

Fig. 22

El efecto fotovoltaico en células electrolíticas fue descubierto por Becquerel en 1839 y la fotoconductibilidad en selenio por Willoughby Smith en 1873.

Una cronología de los hechos mas relevantes en el desarrollo teórico y experimental de las células solares hasta 1967 se han resumido en la tabla 2.1.

Se ha clasificado los paneles fotovoltaicos según los criterios siguientes:

Atendiendo al tipo de seguimiento

2.2.1 Paneles estaticos:

Estos paneles son aquellos que no varían su posición a lo largo del año. Su capacidad para coleccionar energía esta limitada por el hecho de no estar constantemente perpendiculares a los rayos solares. Ello hace que, al menos, la radiación directa que intercepta esté afectada por el coseno del ángulo formado.

TABLA 2.1

HECHOS RELEVANTES EN EL DESARROLLO DE CELULAS SOLARES

1817	Descubrimiento del selenio (Berzelius)
1839	Efecto fotovoltaico (Becquerel)
1873	Efecto Fotoconductor en Se (W. Smith)
1876	Efecto Fotovoltaico en Se (Adams y Day)
1883	Células fotovoltaicas de Se (Fritts/Uljanin)
1904	Fotosensibilidad del Cu/Cu ₂ O (Hallwachs)
1917	Se relaciona efecto fotovoltaico con existencia de barrera de potencia (Goldman y Brodsky)
1920	Rectificador de Cu/Cu ₂ O (Grondahl)
1927	Célula Fotovoltaica de Cu/Cu ₂ O (Grondahl y Geiger)
1928	Primeras Teorías. Circuitos equivalentes (Schottky y otros)
1930-31	Aplicaciones Fotométricas (Lauge)
1941	Células del 1% de STI2 (Nix y Treptow)
1942	Célula de Si de unión crecida (Ohl)
1944	Teoría Unión pn (Shockley)
1954	Célula Si 6% (Chapin, Fuller y Pearson) Célula de SCD (Reynolds y otros)
1955	Teoría Avanzada unión pn (Sah, Nayee y Shockley) Teoría célula solar (Pfann y Roosbroeck)
1960	Célula resistente a las radiaciones (Mandelkorn y Kelperis)
1961	Contactos de Ti-Ag evaporados (BTL)
1967	Modelo de la célula de SCu ₂ -SCd (Shiozama y Otros)

2.2.2 Paneles Cuasiestáticos:

Son aquellos que varían su posición, y generalmente su ángulo de inclinación un número discreto de veces a lo largo del año. En la práctica el número de variaciones es pequeño oscilando entre 2 y

Los cambios de posición pueden realizarse fácilmente, de forma manual, de esta manera los paneles reducen notablemente el efecto de la no perpendicularidad, por lo cual aumentan la energía anual colectada y hacen más uniforme su distribución temporal.

2.2.3 Paneles con seguimiento Continuo:

Estos paneles disponen de mecanismos que les permite estar continuamente apuntados al sol. Aunque tradicionalmente el seguimiento ha estado restringido a los concentradores, actualmente aumenta el interés por su utilización en paneles planos. Esto se debe a que el mencionado apuntamiento permite incrementar notablemente la cantidad de **energía** colectada. Por otro lado, mejoran la uniformidad de la energía producida a lo largo del día, que se traduce en un incremento de hasta el 40% en la energía anual colectada.

Atendiendo a su constitución tenemos:

2.2.4 Paneles Monofaciales:

Son los paneles más utilizados y están constituidos por células activas únicamente por una de sus caras, las que reciben directamente la radiación solar y transforman esta energía en corriente eléctrica.

2.2.5 Paneles Bifaciales:

Son paneles que están constituidos por células activas por las dos caras, y las que sumando la irradiación colectada por ambos lados, incrementan la energía colectada hasta en un 60%, con respecto a los paneles monofaciales.

2.2.6 Paneles Concentradores:

Este tipo de paneles utilizan dispositivos ópticos (lentes o espejos) que concentran la radiación solar sobre las células disminuyendo así el número necesario de paneles para obtener una determinada potencia. Su utilidad radica en reemplazar el material caro (células), por material barato (espejo), permite abaratar sustancialmente el costo de la energía fotovoltaica.

También el reciente desarrollo de concentradores capaces de colectar una gran parte de la radiación difusa no necesitan estar permanentemente apuntando al sol, estos concentradores abaratan sus costos al no utilizar un sistema de seguimiento, además son más eficientes que los paneles planos, así estos paneles concentradores han dado en llamarse "Concentradores Estáticos o Cuasiestáticos".

la tabla 2.2 damos a conocer la irradiancia colectada por paneles estáticos de diferente tecnología.

TABLA 2.2
ENERGIAS DIARIAS COLECTADAS EN TRES DIAS DE DIFERENTE
CLIMATOLOGIA

ENERGIA DIARIA (Kwh/m ²)	27 DE Diciem. (claro)	06 DE Enero (nublado)	12 DE Enero (lluvioso)
1. Monofacial	7.03	6.64	2.35
2. Bifacial	10.86	10.44	3.45
3. Concentrador	5.85	5.51	2.19

2.3 Determinación de la Bateria Ideal para usos Fotovoltaicos.

En las aplicaciones con energía eléctrica generada por los paneles solares, y su utilización en horas de baja o de no insolación se requiere el uso de acumuladores electroquímicos.

Bajo esta necesidad, se ha comenzado a delimitar las exigencias que debe cumplir un acumulador específicamente adaptado a la aplicación fotovoltaica, y investigar en que grado los acumuladores existentes y especialmente los de plomo-ácido (que son los que más se aproximan a estos usos), permiten trabajar holgadamente un sistema Fotovoltaico de Energía.

Así las condiciones que se exige al banco de baterías actuando conjuntamente con un arreglo de paneles solares y diferentes perfiles de consumo en la carga son:

- Permitir alcanzar un bajo estado mínimo en el ciclado anual
- Resistir ciclados diários de cierta profundidad
- No sufrir deterioros irreversibles por permanencias prolongadas en estados de baja carga.
- Alto rendimiento en procesos de carga y descarga para diferentes estados de carga del acumulador.
- Aumentos importantes de capacidad al hacer mas lenta su descarga.
- Baja autodescarga (cuando la batería esta en circuito abierto)
- Mínimo mantenimiento
- Larga vida y mínimo coste

En función de los criterios anteriores expuestos se procede a analizar cual de los diferentes tipos de acumulador plomo-ácido existentes en el mercado, ofrece un mejor comportamiento que se adapte a las aplicaciones fotovoltaicas. De esta manera pasamos a comparar los siguientes acumuladores:

- Por su Función:

Los de arranque, estacionarias y de tracción.

Por la aleación utilizada:

Los de plomo-calcio y los de plomo-antimonio.

2.3.1 Características de los Diferentes Tipos de Acumuladores plomo-ácido

Veremos a continuación algunas características y usos de los diferentes tipos de acumuladores plomo-ácido.

Por su Función:

2.3.1.1 Baterías de Arranque:

Usado mayormente en automóviles y el encendido de motores pequeños:

Diseñado para soportar altas corrientes de descarga.
Tienen buen ciclo de vida a bajo nivel de descarga.
Tiene un pobre ciclo de vida a niveles de descarga profunda.

2.3.1.2 Baterías Estacionarias:

Usada en telecomunicaciones en casos de emergencia y como energía de reserva, también en estaciones de potencia, sistema de cómputo y luces de emergencia.

Sus características son:

Larga vida.

Baja Autodescarga

Pobre ciclaje de funcionamiento.

Diseñado para servicios en carga flotante.

Capaz de proporcionar altas corrientes de descarga (ocasionalmente).

Comúnmente usada con placa de plomo puro (muy blanda).

2.3.1.3 Baterías de Tracción:

Usada mayormente en carros montacarga, carros de mina, carro de golf, vehículos eléctricos, etc.

Sus características son:

Capaz de proporcionar altas corrientes de descarga.

Buen ciclo de vida con niveles de descarga de moderado a alto.

Diseñada para servicio de ciclado profundo.

Comúnmente usa la aleación plomo-estaño para la placa positiva.

Por la aleación utilizada:

2.3.1.4 Baterías de plomo-calcio:

Estas baterías tienen como características:

Larga vida

Pobre ciclo de vida.

Baja proporción de autodescarga.

Problema en la uniformidad de las placas.

Requieren poco mantenimiento.

Tienen una pobre aceptación de carga, después de un nivel de descarga profunda.

2.3.1.5 Baterías de plomo-antimonio:

Sus características propias son:

Facilidad de proporcionar y acumular energía en las placas.

Fortaleza de placas.

funcionamiento en ciclos de descarga profunda.

Se descarga rápidamente después de una descarga profunda.

Mejor adherencia del óxido de plomo (PbO_2)

Tiene un corto periodo de vida.

Alta proporción de autodescarga.

Alta proporción de gasificación.

Desprendimiento de material activo en la placa positiva.

Requiere continuo mantenimiento.

Requiere incremento de la corriente en carga flotante con el tiempo.

2.3.2 El Ciclado Diario

Los ciclos de carga y descarga influyen sobre la vida del acumulador y puede ser estimado por extrapolación de los datos existentes de las diversas aplicaciones del acumulador Pb-ácido. Durante los ciclos de carga-descarga Tiene lugar desprendimiento del material activo de las placas. Este únicamente tiene importancia en la placa positiva y es debido a que se producen contracciones y dilataciones de los cristales de PbO_2 (que se generan en la carga) y de $PbSO_4$ (que se originan en la descarga); El problema se acentúa cuanto mayor es la profundidad de la descarga diaria. Se puede comprobar además que en los acumuladores de placa tubular (también denominada blindada), tienen una mayor resistencia a los ciclos profundos, que los acumuladores de con placa convencional (plana).

La placa tubular se emplea principalmente en acumuladores industriales de tracción, mientras que la placa plana se instala en los acumuladores de arranque.

Los acumuladores de tracción deben soportar 1500 ciclos con una profundidad de 80%, mientras que el acumulador de arranque únicamente soporta 250 ciclos con una profundidad de 60%.

Es importante **resaltar** la diferencia de comportamiento entre las placas positivas fabricadas con rejillas de Pb-Ca y Pb-Sb. Esta última tiene una clara superioridad para soportar ciclados diarios.

Ciclos superficiales superiores 10% afectan seriamente a los acumuladores tipo arranque y siempre más los más fabricados de Pb-Ca que a los de Pb-Sb.

2.3.3 Permanencia del Acumulador en Bajo Estado de Carga

En este aspecto se abren nuevas líneas de investigación, ya que la experiencia recogida en el análisis de acumuladores que han permanecido descargados durante tiempos prolongados demuestra la existencia de pérdida irreversible de características, producidas principalmente por dos fenómenos: La formación de grandes cristales de $PbSO_4$ en la placa negativa (denominados sulfatos "duros") **que** no se pueden transformar en Pb durante la carga, y la corrosión de

las rejillas positivas por **destrucción** de la capa de protección al estar en condiciones de bajos potenciales y baja densidad de electrolito. Un dato comprobable es que las rejillas positivas de Pb-Ca son más sensibles a la corrosión, en condiciones de baja carga, que los de Pb-Sb.

Estos resultados, mostraron con claridad, que existe una fuerte relación entre la permanencia en estado de baja carga de los acumuladores y la capacidad límite a que se permite que se descarguen. Es deseable que el **acumulador se** descargue (en el ciclo anual) profundamente y en consecuencia, que sea capaz de permanecer tiempos prolongados en estado de baja carga.

Ambas circunstancias repercuten, en las aplicaciones, en una menor capacidad nominal (menor costo) del sistema.

El peor comportamiento del acumulador Pb-Ca, frente a de Pb-Sb, es un factor importante que se debe tener en cuenta a la hora de seleccionar el procedimiento para elaborar un acumulador fotovoltaico.

2.3.4 Conclusión del Análisis de los diferentes tipos de Acumuladores plomo-ácido

Con el fin de establecer que tipo de acumulador Pb-ácido entre los existentes en el mercado,

es el más adecuado para la aplicación solar y, sobre todo, cual debe ser el punto de partida para el desarrollo de un auténtico acumulador fotovoltaico. Los criterios obtenidos junto a la experiencia y conocimientos ya existentes, han permitido comparar los acumuladores de carga con los estacionario y las de Pb-Ca con los de Pb-Sb. Se concluye que en la aplicación fotovoltaica, el acumulador estacionario es superior al de arranque y que las ventajas que ofrece en de Pb-Ca (menor autodescarga y mantenimiento) quedan compensados por el mejor comportamiento de Pb-Sb en características tales como permanencia prolongada en estado de baja carga y más baja capacidad límite .

2.4 Análisis de funcionamiento de la Bateria Idonea en usos fotovoltaicos

Como ya se explicó anteriormente, la batería que más se acerca a los usos fotovoltaicos con las baterías estacionarias, de esta manera analizaremos el funcionamiento de un tipo especial de estas baterías que cumplen muchas de las características deseadas.

Esta batería es empleada, conjuntamente con un circuito regulador de tensión, como se muestra en la figura 3.1a.

La energía DC es generalmente suministrada por un arreglo de paneles solares que a la vez cargan al banco de baterías y suministran corriente a la carga en horas del día mientras que en horas de no insolación (de noche), estas suministrarán la energía necesaria para que los equipos se mantengan operativos.

Estas celdas unitarias de 2 voltios usan un revestimiento de oro para la placa positiva y un tipo de pasta para la placa negativa. El conector es hecho de un plástico transparente, facilitando su mantenimiento. El respirador de esta celda es equipado con un dispositivo a prueba de explosión y prueba de que el electrolito se volatilice, de ese modo protegemos la batería de una posible ruptura debido a fuego, y también eliminando el rociado de el electrolito completamente hacia afuera de la batería, mientras esté siendo cargada. Así esta batería es diseñada para un fácil mantenimiento y manipuleo, tan bueno como para estar libres de peligros.

2.4.1 Características Especiales de Diseño:

Sus características de diseño son:

Tiene una muy larga vida de servicio, porque el tipo de placa con revestimiento de oro, esta siendo usadas como placa positiva.

El mantenimiento de estas baterías es fácil porque el contenedor es hecho de un plástico transparente

Los dispositivos a prueba de explosión y a prueba de rociado del ácido, permite mantener al usuario libre de peligro del ácido sulfúrico.

Poseen excelentes características, estas baterías están diseñadas para suministrar estable energía DC.

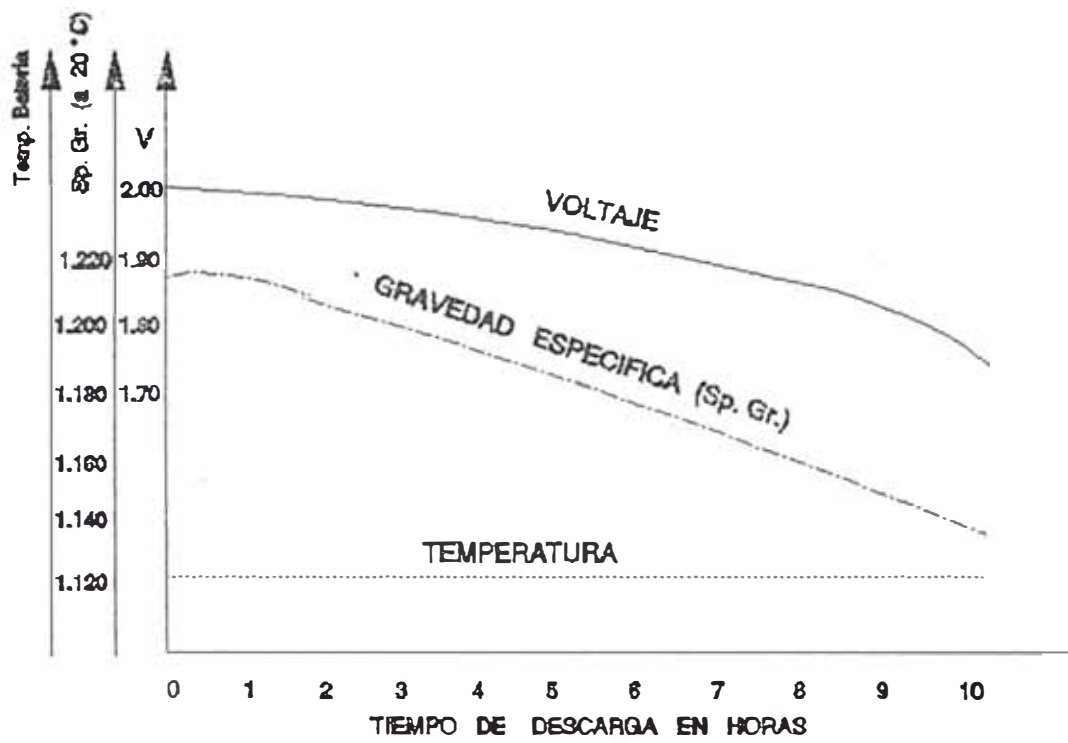
- Muy raramente harían una autodescarga

Siendo pequeñas en tamaño y livianas en peso, estas baterías tienen una larga capacidad por unidad de peso y volumen.

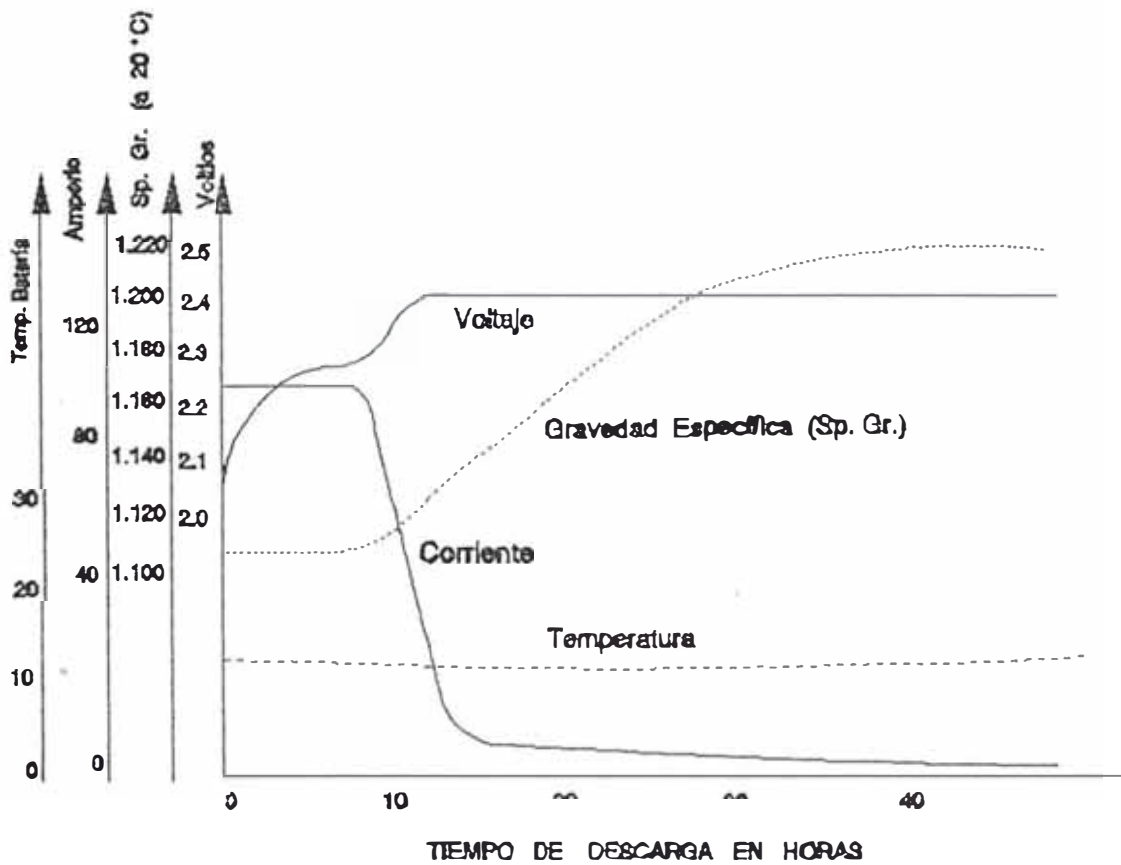
Siendo del tipo sellada, estas batería raramente fallan, y el consumo de electrolito es muy pequeño.

Debido a la fortaleza de sus placas, permite proporcionar altas corrientes de descarga, sin que estas lleguen a deteriorarse.

El contenedor tiene unas líneas de indicación de nivel mínimo y máximo del ácido, permitiendo un fácil chequeo.



a) CARACTERISTICA DE DESCARGA A 10 HORAS (Un Ejemplo)



a) CARACTERISTICA DE DESCARGA A 10 HORAS (Un Ejemplo)

Fig. 2.3

En esta fórmula de reacción, durante descarga, el (PbSO_4) sulfato de plomo incrementa en material activo y el electrolito, ácido sulfúrico (H_2SO_4) decrece, mientras que el agua incrementa. Como resultado, la gravedad específica de electrolito decrece.

2.4.3 Características de Carga y Descarga en Baterías ácidas:

Para un análisis de las características de descarga en batería ácidas tomamos como referencia baterías de 2 voltios, estandarizamos a 10 horas este tiempo de descarga, de esta manera mediremos un valor de corriente igual a $1/10$ de la capacidad.

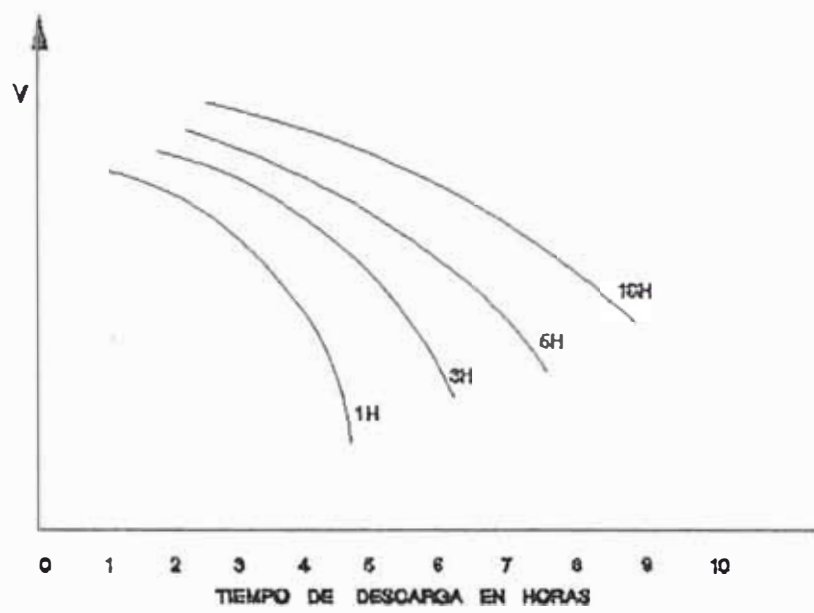
Inmediatamente después que la batería inicia su descarga la gravedad específica cae abruptamente. Consecuentemente el voltaje decrece gradualmente, cayendo abruptamente, también al final del estado de descarga. Entonces, la batería es llevada a una condición de completa descarga.

Para el análisis de las características de carga estas celdas serán cargadas con un voltaje constante de 2.33 voltios por celda y con una arbitraria corriente constante; Al final del estado de

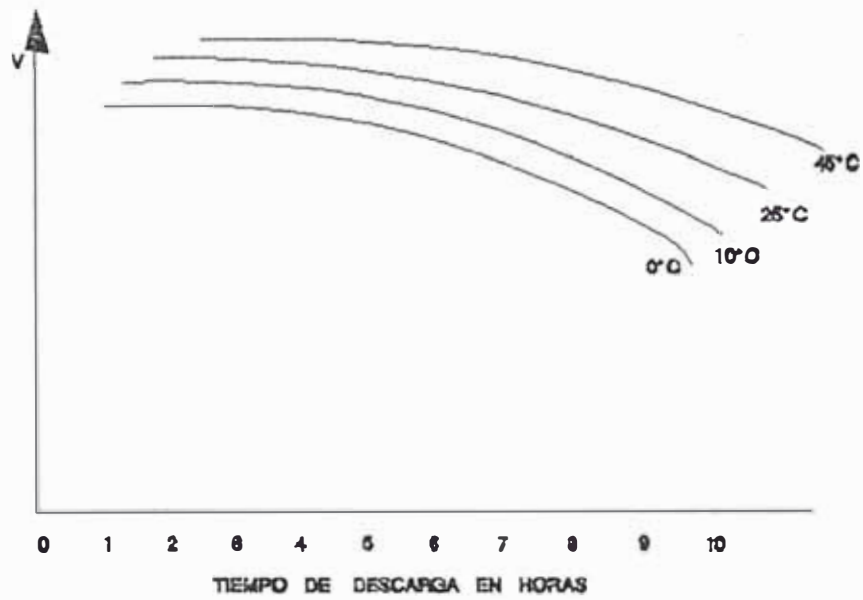
carga de la gravedad específica llega a su valor nominal y la corriente de carga a su valor mínimo.

Las características de descarga a 10 horas y las características de carga a voltaje constante son vistas en la figura 2.3.

Desde que la operación de la batería es basada en una reacción electroquímica, esta característica varía dependiendo de la corriente de descarga y la temperatura, así podemos ver un ejemplo en la figura 2.4.



a) CARACTERÍSTICA DE DESCARGA PARA DIFERENTES VALORES DE CORRIENTE (Un Ejemplo)



b) CARACTERÍSTICA DE DESCARGA A 10 HORAS PARA VARIAS TEMPERATURAS (Un Ejemplo)

Fig. 2.4

CAPITULO III
DISEÑO DE INSTALACIONES CON ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA (ESF), DE ACUERDO A DATOS
ESTADISTICOS DE INSOLACION DE LA ZONA

En este capítulo, describiremos cada uno de los elementos del generador fotovoltaico, trataremos de fijar las pautas necesarias a seguir a la hora de su elección. También determinaremos el dimensionado de una instalación, o sea encontraremos el número de paneles solares y baterías que se requieren en la instalación. Esto último debe ser realizado con el mayor cuidado, ya que es el principal factor que influye en el costo y confiabilidad de la instalación. Por último haremos una serie de consideraciones de índole práctico que es necesario tener en cuenta a la hora de mostrar los elementos de la instalación fotovoltaica para asegurar un buen funcionamiento y larga vida.

3.1 Descripción Tecnológica y elección de Elementos en una Instalación con Energía Solar Fotovoltaica (ESF)

Los Componentes principales de una instalación fotovoltaica están divididas en dos partes: EL GENERADOR FOTOVOLTAICO, propiamente dicho, constituido por el conjunto de elementos capaces de proporcionar permanentemente energía eléctrica en forma útil y por otro lado LA CARGA, constituida por el conjunto de elementos que consumen dicha energía proporcionandose corriente en forma continua en los equipos instalados.

figura 3.1a nos muestra estas dos partes principales.

3.1.1 La Célula Solar.

Actualmente se encuentran disponibles comercialmente las células solares de silicio cristalino (monocristalino o policristalino). Otros materiales semiconductores como el silicio amorfo, el sulfuro de cadmio y el arseniuro de galio, están prontos a una industrialización masiva, que originará caída de los precios actuales y por tanto dando la posibilidad de implementar su uso en más proyectos. El silicio puro es un aislante eléctrico, pero si se le añaden impurezas (fósforo, galio, etc) se convierten en un conductor. Una célula solar consiste en una lámina

Para su utilización, además de enfrentar al sol su **cara frontal**, se pintan de color blanco las superficies (suelos, techos, paredes, etc) del entorno de su cara posterior para que actúen como reflectores de la **luz solar**, haciendo que mayor cantidad de luz incidente se convierta en electricidad.

La eficiencia con que una célula solar convierte luz en electricidad es típicamente de 13 a 16%. Es decir, una célula solar monofacial con una área de 78 cm² iluminada con una irradiancia de 1,000 w/m² (la máxima potencia de luz solar al nivel del mar) y a una temperatura de 25°C, genera una potencia eléctrica de 1.17 w.

Una célula bifacial de igual área iluminada con 1,000 w/m² y 500 w/m² por sus caras frontal y posterior, respectivamente y a una temperatura de 25°C, genera una potencia eléctrica de 1.62 w.

Estas condiciones de iluminación y temperatura son llamadas condiciones standard de medida y se utilizan normalmente para caracterizar las células solares. La energía eléctrica que proporciona una célula solar a lo largo de un determinado período de tiempo depende de la respuesta de la misma en estas condiciones y de otros factores como son la climatología, el tipo de instalación de las células (estáticas,

montadas sobre mecanismos que siguen sol., colocadas entre espejos que incrementan la luz incidente en sus caras, etc) y el caso de las células bifaciales, de la reflectividad de su entorno.

3.1.2 El Panel Solar

Un panel solar está constituido por varias células conectadas eléctricamente en serie y paralelo, de forma que la tensión y corriente del panel se ajusten a un valor deseado.

Los paneles más convencionales, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de 12V, y tienen 36 células solares asociadas en serie, aunque también hay de 40, 34, 32 y 30.

Las características eléctricas de un panel fotovoltaico se representan en la llamada curva V-I (Tensión-Corriente) del panel fotovoltaico, en condiciones prefijadas de iluminación y temperatura.

La figura 3.1c nos muestra las condiciones de iluminación y temperatura mencionadas.

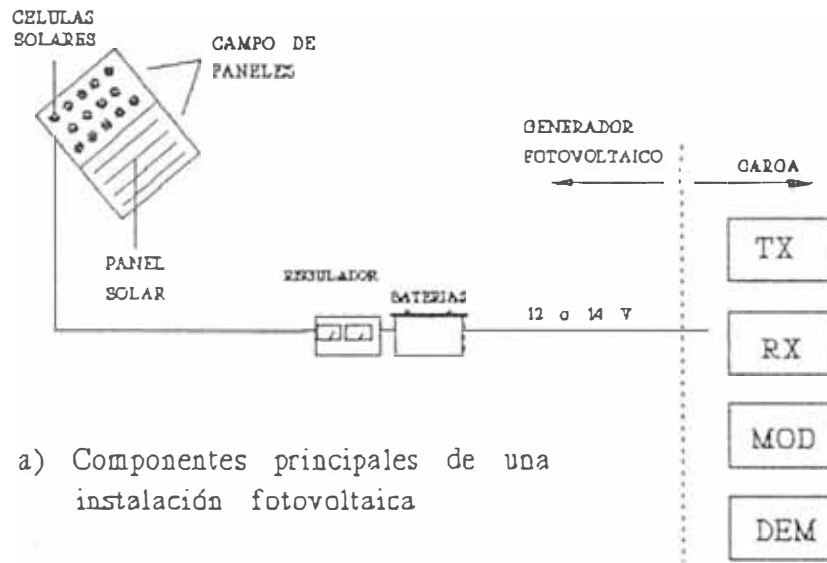
Si dejamos los terminales en circuito abierto ($I=0$), entre ellos aparece una tensión máxima llamada "tensión de circuito abierto, V_{oc} ". Así V_{oc} disminuye cuando aumenta la temperatura y permanece

prácticamente constante frente a variaciones de la intensidad de la iluminación.

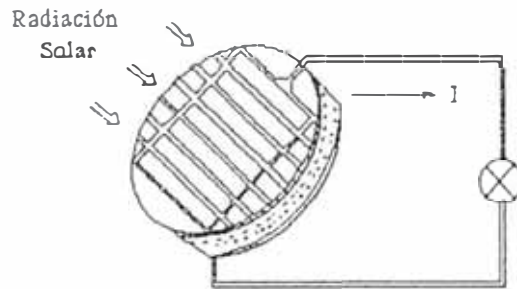
Si cortocircuitamos los terminales del panel ($V=0$) a través de ellos circulará una corriente máxima llamada "corriente de cortocircuito, I_{sc} ". También I_{sc} varía linealmente con la intensidad de la iluminación y permanece prácticamente constante frente a variaciones de la temperatura.

Si conectamos al panel una carga intermedia entre el circuito abierto y el cortocircuito, el punto de trabajo del panel viene determinado por una corriente I y una tensión menores que las I_{sc} y V_{oc} definidas anteriormente. La potencia que el panel entrega a la carga está determinado por el producto $P=V \times I$. Este producto ha sido representado en línea punteada sobre la figura 3.1c y presenta un punto máximo. A este valor se le llama "potencia máxima, P_{max} " del panel. Los valores de corriente y tensión correspondientes a este punto, I_{pmax} y V_{pmax} se conocen respectivamente con los nombres de "corriente y tensión en el punto de máxima potencia".

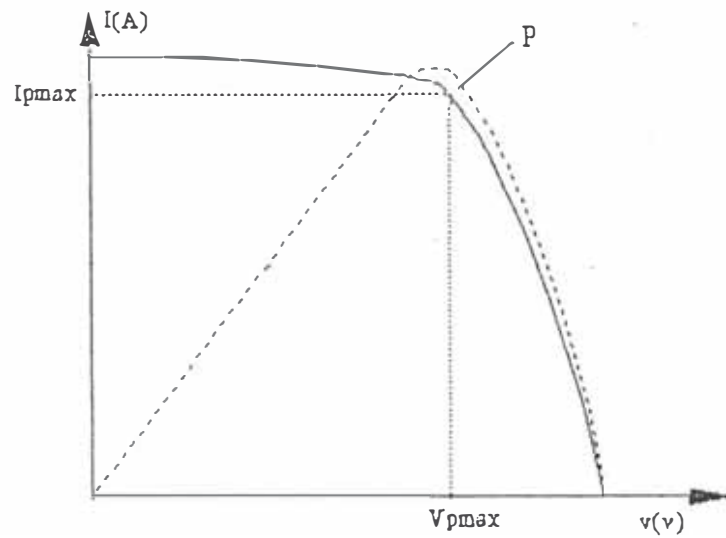
Un panel solar se diseña para trabajar a una tensión nominal V_{NF} , procurando que los valores de V_{pmax} en las condiciones de iluminación y temperatura más frecuentes, coinciden con V_{NF} .



a) Componentes principales de una instalación fotovoltaica



b) Extracción de Energía Eléctrica de la Célula Solar



c) Características eléctricas de un panel fotovoltaico.

Fig. 3.1

Los catálogos proporcionados por los fabricantes deben incluir siempre la curva V-I y los valores de P_{max} , I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} y V_{rpm} :

Obtenidos en las condiciones standard de medida.

Las características de los paneles de uso más frecuente oscila entre los siguientes valores:

P_{max}	20 W	100 W
I_{sc}	1.1 A	6 A
V_{oc}	16.5 V	22.4 V
I_{pmax}	1 A	6 A
V_{rpm}	14.5 V	17 V

Varios paneles conectados eléctricamente entre si, constituye lo que podemos llamar un arreglo de paneles y queda bien definido cuando se conocen el número de paneles asociados en paralelo N_{pp} .

3.1.3 Las Baterías

La batería es el elemento encargado de acumular parte de la energía que generan los paneles, para que pueda ser utilizada durante las horas nocturnas durante las épocas de baja insolación. La fiabilidad de la instalación depende principalmente de

la batería. Por esta razón, hay que prestar el mayor interés a su elección.

El mercado ofrece diferentes tipos de baterías. A pesar de que alguna de ellas se hacen pasar como especialmente diseñadas para aplicaciones fotovoltaicas, pero de acuerdo al análisis hecho en el capítulo II hemos deducido que, es aconsejable utilizar baterías de plomo-ácido, estacionarias y **tubulares**. Este tipo de baterías soporta descargas de gran profundidad y son capaces de permanecer periodos largos en bajo estado de carga con la que cabe esperar una vida en servicio como mínimo el doble que cualquier otro tipo de batería.

Las características eléctricas utilizadas para definir el comportamiento de una batería con su tensión nominal V_{NB} (2V si se trata de elementos o, con frecuencia, 12V si trata de monoblocks) y su capacidad, expresada en amperios hora. Ambos valores deben encontrarse en los catálogos suministrados por los fabricantes.

El banco de baterías esta constituido por un conjunto de baterías conectadas eléctricamente entre sí. Está definido por el número de baterías conectadas en serie, N_{es} y el número de baterías conectadas en paralelo, N_{ep} .

3.1.4 El Regulador de Tensión

Si en la instalación de la figura 3.1a conectamos directamente los paneles a las baterías, durante los periodos en los que la energía introducida por los paneles en las baterías supera a la extraída de las baterías por la carga (siempre ocurre en algún momento del año), se alcanza una situación conocida como sobrecarga de las baterías, siendo su principal característica que la tensión entre sus bornes supera un cierto valor. Por ejemplo, una batería con una tensión nominal de 12V, entra en sobrecarga cuando la tensión entre sus terminales supera 14.8V aproximadamente.

La sobrecarga es una situación dañina para la batería, que se traduce en una disminución de su tiempo de vida. La principal misión del regulador consiste precisamente en evitar esta situación. Para ello está constituido por un circuito electrónico que impide el paso de corriente desde los paneles hacia las baterías, una vez que la tensión de las mismas alcanza el valor mencionado anteriormente.

Además de esta mención, es muy conveniente que los reguladores sean capaces de detectar las descargas excesivas de la batería y de activar una alarma o desconectar la carga cuando se produzca tal

circunstancia. Otras misiones como la indicación de la corriente de carga y de la tensión de la batería ayudan a utilizar correctamente la instalación y son por ello aconsejables.

Las características eléctricas que definen un regulador son su tensión nominal, V_{NR} y la corriente máxima que es capaz de disipar, I_{MR} .

Además, si la corriente de consumo de las baterías y la carga pasa a través del regulador, como ocurre siempre que incorporan desconetador por baja tensión, es importante conocer la corriente máxima de descarga que puede circular por el y asegurar que sea igual o superior a la máxima corriente que pueda exigir el conjunto.

El regulador de tensión es un componente fundamental que siempre debe estar presente en una instalación fotovoltaica ya que repercute directamente en una buena utilización de las baterías y en su duración.

La utilización de unos paneles constituido por 30 células llamadas "paneles autoregulables", como un intento para reducir costos, van instalados directamente a las baterías prescindiendo del regulador, con el consiguiente ahorro económico. Las células de estos paneles son básicamente iguales a las de un panel

convencional. A pesar de lo que su nombre parece indicar, el panel autoregulable no incluye ningún elemento especial regulación, simplemente saca provecho adaptación natural entre las características del panel y la batería.

La utilización de paneles autoregulables es atractiva en lo que a precio y simplicidad se refiere. No obstante, estos paneles siempre "regulan" peor que un regulador, por lo que su uso no es aconsejable en lugares donde las variaciones anuales de la temperatura diurna sean muy grandes ni en instalaciones en las que para conseguir una fiabilidad muy alta hayan sido muy sobredimensionadas.

3.1.5 Nomenclatura de parámetros que intervienen en una instalación fotovoltaica

Antes de proceder al diseño, vamos esquematizar una instalación fotovoltaica como la indicada en la figura 3.2, incluiremos una lista de los parámetros cuyo valor será necesario conocer.

Paneles

P_{max} Potencia máxima que proporciona un panel en condiciones standard de iluminación.

I_{Pmax} Corriente de un panel en el punto de máxima potencia.

- V_{NP}** Tensión nominal de un panel.
- N_{PS}** - Número de paneles asociados en serie.
- N_{PP}** Número de paneles asociados en paralelo.
- I_{MAP}** - Corriente máxima que proporciona el arreglo de paneles ($I_{MAP} = I_{PMAX} \times N_{PP}$).

Regulador

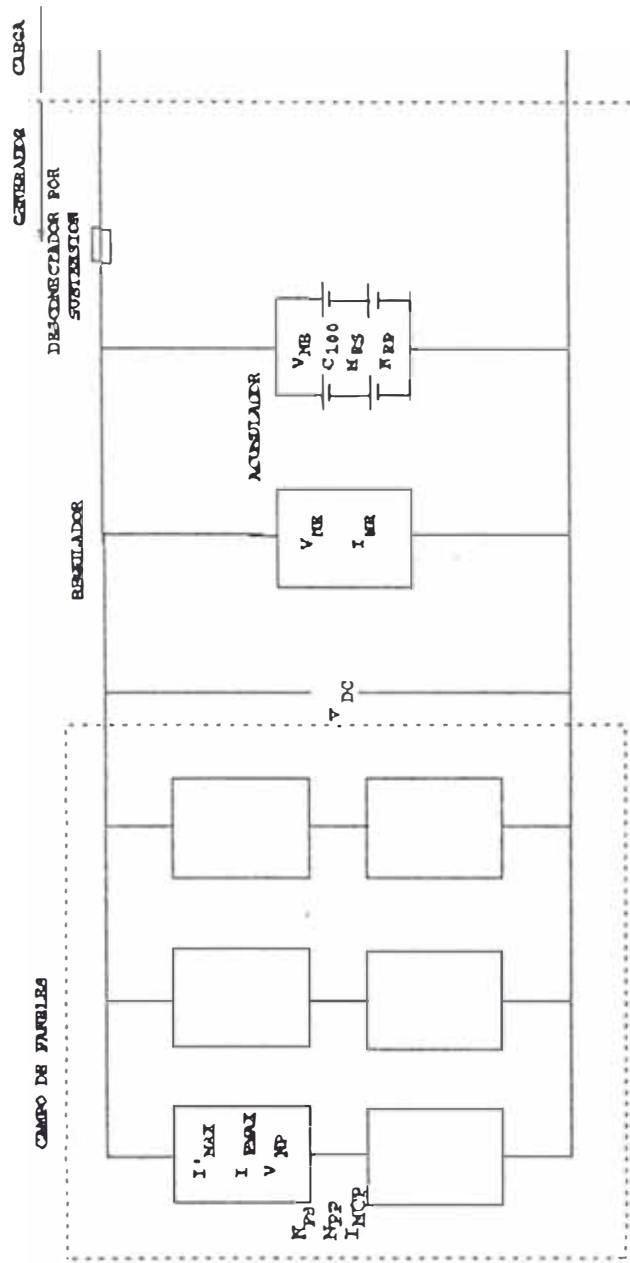
- I_{MR}** Intensidad máxima que puede absorber el regulador.
- V_{NR}** Tensión nominal del regulador.

Acumulador

- V_{NB}** Tensión nominal de una batería.
- C₁₀₀** - Capacidad de una batería para una descarga de 100 horas.
- N_{BS}** Número de baterías asociadas en serie.
- N_{BP}** - Número de baterías asociadas en paralelo.

General

- V_{DC}** Tensión de **trabajo** de la instalación en corriente continúa.
- Corriente que absorve la carga.



Esquema General de una instalación fotovoltaica

Fig. 3.2

3.2 Dimensionado de las Instalaciones de ESF

El dimensionado de una instalación utilizando energía solar fotovoltaica, consiste en determinar el número de paneles y baterías que se va a necesitar. Estos cálculos deben ser hechos con el mayor cuidado, ya que de ello depende el costo y fiabilidad de la instalación.

Describiremos un procedimiento de cálculo que llamaremos "El mes de mínima radiación solar" para lo cual realizaremos cálculos utilizando el procedimiento descrito a continuación. Dicho procedimiento consta de 3 pasos: 1) Evaluación de la energía necesaria. 2) Evaluación de la radiación solar disponible. 3) Elección del número de paneles y baterías.

Este procedimiento se basa en asegurar el buen funcionamiento de la instalación en el mes de menor radiación solar, entendido como aquel en que la relación entre la radiación solar y la energía consumida por la carga es más desfavorable. Obviamente, durante los otros meses del año, la instalación puede producir más energía de la necesaria, incluso en el mes de menor radiación, la modularidad de los paneles fotovoltaicos puede hacer que se disponga de más energía de la necesaria. Este "exceso" de energía puede ser utilizado para otras aplicaciones adicionales.

3.2.1 Evaluación de la Energía Necesaria

Como su nombre lo indica, el objeto de **este** apartado es la determinación de la energía que los equipos necesitan consumir cada mes, para funcionar correctamente.

Los datos que se necesitan conocer de cada equipo son dos:

La potencia expresada en vatios (W) que prácticamente siempre está indicada en los propios equipos. No obstante y para mayor comodidad, en nuestros cálculos no utilizaremos este dato, sino el Número de Amperios (I) que circulan por el equipo cuando está en funcionamiento. Para calcular la corriente, se divide el número de vatios por la tensión de trabajo de la instalación.

$$I = \text{Potencia} / \text{tensión de trabajo}$$

El número de horas de funcionamiento, para su determinación, es útil proceder en dos pasos: Estimar primero el número de horas de funcionamiento diario y a continuación estimar el número de días que el equipo funciona cada mes del año.

Sumando los productos de ambos datos, correspondiente a todos los equipos de la instalación,

se **obtendrá** el número total de Amperios-Hora que consumirá la instalación cada mes que es en definitiva, el objetivo deseado.

Para poner de manifiesto la importancia real de cada uno de los factores citados, se han dimensionado, buscando soluciones óptimas, **las** instalaciones correspondientes a dos ejemplos denominados caso I y caso II.

- **Emplazamiento:** Murcia-España (latitud $38^{\circ}00'23''$).

Insolación: Datos tomados de paneles orientados al sur e inclinados 45° sobre la horizontal. En la figura 3.3a se muestra las variaciones a lo largo del día (valor medio mensual) de las insolaciones máxima y mínima anual.

Datos de consumo: Según se detallan a continuación para los dos casos.

	CASO I	CASO II
Tensión de utilización	12V DC	12V DC
Potencia de consumo	20 W	80 W
Energía diaria total consumida	480 W-H	520 W-H
Horas de consumo al día	24 H	6.5 H

Consumo mensual	1240	1343.33
A-H (31 días)		
Consumo anual	identico en todos	
(perfil)	los días del año	

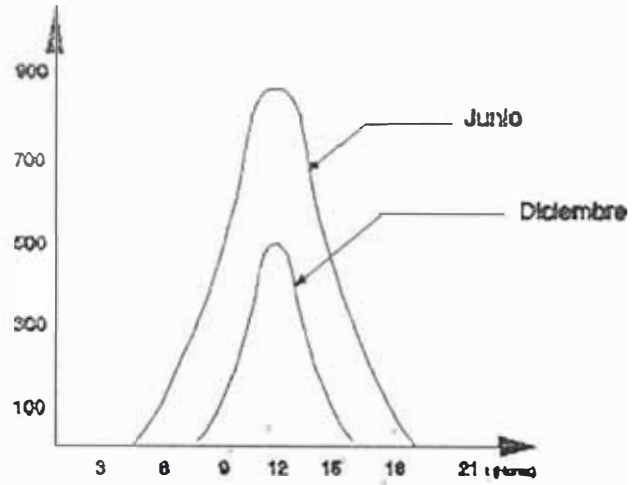
Se puede observar que se trata de dos instalaciones realizadas para abastecer dos aplicaciones con consumos diarios de energía casi identicos (480 y 520 W-H), con una diferencia notable en la forma de consumir esa energía. En el caso I el consumo es continuo, como se aprecia en la figura 3.3b. En el caso II el consumo es nocturno, como se representa en la figura 3.3c.

Luego representaremos en el formato los amperios hora (I_T) consumidos mensualmente, por la instalación (Unidad: Amp.-hora/mes).

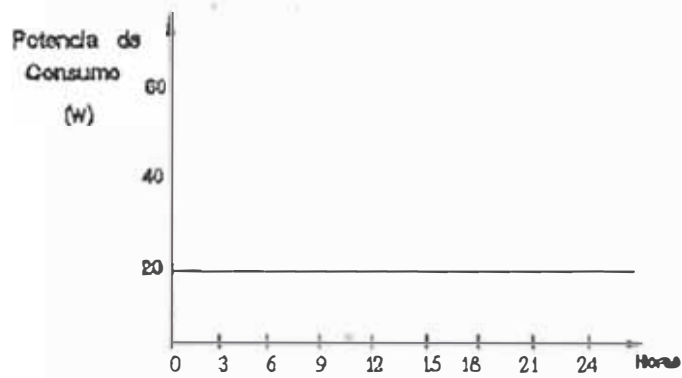
MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
IT(caso I)	1240	1120	1240	1200	1240	1200	1240	1240	1200	1240	1200
IT(caso II)	1343.3	1213.3	1343.3	1300	1343.3	1300	1343.3	1343.3	1300	1343.3	1300

FORMATO 1

a) Insolación en el Hemisferio Norte



b) Consumo Continuo Caso I



c) Consumo Nocturno

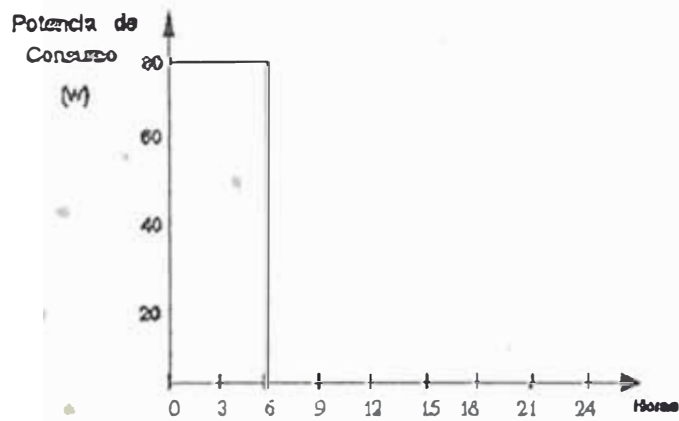


Fig. 3.3

3.2.2 Evaluación de radiación solar disponible

La energía que llega **cara** frontal de un panel fotovoltaico, a lo largo de un mes, es un parámetro que depende de la climatología del lugar y el ángulo de orientación de los paneles, los datos sobre radiación solar pueden ser proporcionados por algún Instituto Geofísico, que tome los valores de radiación solar durante el **día**, así teniendo los promedios mensuales a lo largo de un año podemos determinar "El mes de Mínima Radiación Solar".

Contando con los datos de radiación solar de la ciudad Murcia (España) daremos ejemplo rellenaremos el formato con la energía mensual que llega a los paneles.

```

+-----+
|MES ;  E   F   M   A           J   J   A   S   O   N   D
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Rd ; 4.88; 4.84; 5.57; 5.34; 5.21; 4.88; 5.27; 5.47; 5.61; 5.26; 4.57; 4.11;
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Er ;151.5 ;135.63;172.6 ;160.20;161.7 ;146.6 ;163.5 ;164.8 ;168.5 ;163.3 ;137.2 ;127.4 ;
+-----+
FORMATO 2

```

Donde :

R_d es el promedio mensual de la radiación solar dado en $Kw-H/m^2$ y es la energía mensual que llega los paneles, dado en $Kw-H/m^2.mes$.

3.2.3 Elección del número de Paneles y Baterías

Como ayuda en la elección del número de paneles y baterías rellenaremos el formato 3, escribiendo en la casilla correspondiente a cada mes, el resultado de dividir el número que se encuentra en el formato 1 (Amperio Hora/mes) entre el número que se encuentra en el Formato No 2 (Kilowatios hora/ $m^2.mes$) y multiplicar por 1.2, dándole un 20% adicional como factor de confiabilidad a la instalación.

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$1.2 \times I_T / E_R (I)$	9.82	9.91	8.62	8.99	9.20	9.82	9.10	8.76	8.54	9.11	10.5	11.68
$1.2 \times I_T / E_b (II)$	10.64	10.73	9.33	9.73	9.97	10.64	9.86	9.49	9.26	9.87	11.37	12.65

FORMATO 3

El valor obtenido en los casilleros de cada mes es el mínimo de amperios que los paneles deben proporcionar, (Amperios/ Kilowatios/ m^2), cuando reciben una radiación de $1Kw/m^2$ por su cara frontal.

Del Formato 3 elegimos el mayor de los números, que en los casos I y caso II, corresponde al mes de Diciembre, mes en el cual se inicia el invierno

en el hemisferio norte, siendo también el "mes de mínima radiación solar".

En nuestro ejemplo:

$$I_M = 11.68 \text{ A/(Kw/m}^2\text{)} \quad (\text{Caso I})$$

$$I_M = 12.65 \text{ A/(Kw/m}^2\text{)} \quad (\text{Caso II})$$

Luego el proceso de cálculo del número de paneles y baterías es el siguiente:

Para calcular el número de paneles en serie N_{PS} , se divide la tensión de trabajo de la instalación DC entre la tensión de trabajo de los paneles.

En nuestro ejemplo:

$$N_{PS} = V_{DC}/V_{NP} = 12V/12V = 1$$

Para calcular el número de paneles en paralelo N_{PP} , se divide I_M , con I_{PMAX} (I_{PMAX} es la corriente que proporciona el panel en el punto de máxima potencia, en las condiciones estandar de medida, figurando este valor en los catálogos de los fabricantes).

En nuestro ejemplo, utilizamos paneles con $I_{PMAX} = 2A$

$$N_{PP} = I_M/I_{PMAX} = 11.68/2 = 5.84 \quad N_{PP} = 6 \quad (\text{Caso I})$$

$$N_{PP} = I_M/I_{PMAX} = 12.65/2 = 6.32 \quad N_{PP} = 7 \quad (\text{Caso II})$$

Se puede dar el caso que tengamos disponibles paneles de diferentes tecnologías con condiciones de corriente y potencia que difieran unos de otros (ver NOTA 2 al final del punto tratado).

- El número total de paneles N_{TP} es igual al resultado de multiplicar el número de paneles en serie por el número de paneles en paralelo.

$$N_{TP} = N_{PS} \times N_{PP} = 6 \times 1 = 6 \quad (\text{Caso I})$$

$$N_{TP} = 7 \times 1 = 7 \quad (\text{Caso II})$$

El número de baterías en serie N_{BS} , se calcula dividiendo la tensión de trabajo de la instalación entre la tensión de trabajo de las baterías.

En nuestro caso

$$N_{BS} = V_{DC} / V_{NB} = 12V / 2V = 6$$

Para calcular la capacidad de estas baterías, nos dirigimos al Formato 1, en el casillero correspondiente al mes de mínima radiación (Para nuestro caso Diciembre), dividimos por el número de días de ese mes y entre ρ , representándose así el número de A-H que las baterías estarían activas, multiplicamos luego por 8 (la explicación del factor 8 se encuentra en la NOTA1 al final del punto tratado). También cabe resaltar que el consumo II (nocturno) requiere mayor capacidad de acumulación que el I

(consumo continuo), para lo cual su cálculo difiere en un factor 2, que **evitará** descargas mas profundas a un 75%, aun en rachas de días malos .

Es necesario resaltar que, al conectar baterías en paralelo se **pierde** eficiencia en la acumulación de energía. Por ello es mejor utilizar un **grupo de** baterías en **serie** de gran capacidad, que varias baterías de menor rapacidad, asociados en paralelo.

En nuestro ejemplo, el mes de mínima radiación solar Diciembre.

$$I_T \text{ (Formato 1)} = 1240 \text{ A-H/ mes (caso I)}$$

$$I_T \text{ (Formato 1)} = 1343.3 \text{ A-H/mes (caso II)}$$

Asi tenemos para el caso I:

$$8 \times 1240 / 31 \times 2 = 160 \text{ A-H}$$

y si le damos 3 días de autonomia

$$160 \times 3 = 480 \text{ A-H}$$

$$C_{10} = 480 \text{ A-H}$$

- El número de baterías en paralelo

$$N_{BP} = 1$$

- Para el caso II

$$8 \times 1343 / 31 = 346.6 \text{ A-H}$$

En este caso el consumo es totalmente nocturno en 6.5 Horas, no se divide entre 2 el valor de

los A-H, resultando un acumulador de más capacidad **evitándose** así descargas muy profundas que perjudicarían al acumulador.

Dándole una autonomía de 3 días

$$3 \times 346.6 \text{ A-H}$$

$$C_{10} = 1039.8 \text{ A-H}$$

3.2.4. Cálculo de "Exceso de Energía Disponible"

Para calcular este "exceso" seguiremos los siguientes pasos:

- 1) Calculamos la corriente (I_e que genera los paneles en la hora de máxima radiación.

$$I_e = N_{PP} \times I_{Pmax}$$

En nuestro ejemplo

$$I_e = 6 \times 2 = 12 \text{ A} \quad (\text{Para el caso I})$$

$$I_e = 7 \times 2 = 14 \text{ A} \quad (\text{Para el caso II})$$

- 2) Analizando para el caso I, restamos el valor de menos el valor escrito en el mismo mes del formato 3 del caso I.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$I_e - F_3$	+2.18	2.09	3.38	3.01	2.80	2.18	2.90	3.24	3.46	2.89	1.5	0.32
Exceso	330.3	283.4	583.4	482.2	452.7	319.59	479.2	550.2	583.0	471.9	205.8	40.7

FORMATO 4

3) Rellenamos la segunda fila ("exceso") del formato F4, escribiendo debajo de cada mes, el resultado de multiplicar el número que aparece en la primera fila por el número que está escrito para el mismo mes, en el formato F2.

El resultado de esta última operación, representa los amperios-horas "de sobra" que la instalación puede producir cada mes del año y con los que pueden ser utilizados para incrementar algunas cargas como puede ser alumbrado del recinto donde estén instalados los equipos de telecomunicaciones o equipos de medición y prueba en caso de mantenimiento. Es obvio que en el mes de Diciembre "mes de la mínima radiación solar" no es recomendable realizar pruebas de rutina o incrementar la carga de la instalación.

Siguiendo el mismo procedimiento, rellenamos el formato F4 para el caso II (consumo nocturno), con $I_E = 14A$.

	F	A	J	J	A	S	O	N	D			
$I_E - F_3$	3.36	3.27	4.67	4.27	4.03	3.36	4.14	4.51	4.74	4.13	2.63	1.35
Exceso	509.04	443.4	806.0	684.0	651.6	492.6	676.9	765.8	789.7	674.4	360.8	172.0

FORMATO 4

NOTA 1.- El **dimensionado del** acumulador de una instalación fotovoltaica autónoma, ha de perseguir dos objetivos bien diferenciados:

- a) Asegurar una vida larga al acumulador. **En efecto,** una parte del consumo diario de energía tiene lugar durante las horas nocturnas, por lo que forzosamente ha de ser extraída del acumulador que, de esta forma, sufre una cierta descarga diaria, incluso aquellos días en los que la energía producida por el campo de paneles superior a la que consume la carga. Para cuantificar lo expuesto, se define el concepto de PROFUNDIDAD DE DESCARGA, como el cociente entre la cantidad de corriente extraída del acumulador durante las horas nocturnas y la capacidad nominal del mismo. Pues bien, existe una relación entre esta profundidad de descarga diaria y la esperanza de vida del acumulador, de tal forma que cuanto mayor es la primera menor es la segunda. Un buen criterio para proporcionar una larga vida al acumulador consiste en limitar su profundidad de descarga diaria al 12%. De aquí se desprende que el acumulador debe tener una capacidad nominal igual a 8 veces ($8=100/12$) la cantidad de corriente consumida por la carga en horas nocturnas.

b) Asegurar su confiabilidad, decir, conseguir que aún durante los días de baja radiación carga reciba energía necesaria para correcto funcionamiento.

La confiabilidad es un concepto probabilístico que, podemos definir como el número total de días que, por término medio, falla la instalación durante un período de 10 años. Para cuantificar este concepto de "falla", es útil definir el estado de carga de un acumulador en un momento determinado como el cociente entre la cantidad de corriente que en ese momento permanece almacenada en él y su capacidad nominal.

Por diversas razones expuestas en el Capítulo II, no es conveniente extraer toda la carga almacenada en una batería. Por esta razón se considera que se produce una "falla" en la instalación cuando el estado de carga del acumulador desciende por debajo de un valor determinado, y como valor tomado de la experiencia tenemos el 75%, este fenómeno ocurrirá antes que se produzca la descarga total de la batería.

Obviamente, la confiabilidad de una instalación depende no sólo del tamaño del campo de paneles (y por lo tanto, del método utilizado para su dimensionado) y del tipo de climatología del lugar. A

falta de estudios sistemáticos de confiabilidad que hayan sido realizados sobre la base de los datos disponibles de radiación en el Perú durante los últimos diez años y teniendo en cuenta el hecho real de que los días "malos" en general, no se presentan forma aislada sino en rachas de varios días "malos" seguidos, lo que resulta de capital importancia para cualquier análisis de confiabilidad.

Un análisis de estos datos indica por ejemplo, que utilizando un campo de paneles dimensionado según el método del mes de mínima radiación solar y un acumulador cuya capacidad sea solamente tres veces superior al calculado en el apartado anterior, daríamos 3 días de autonomía a la instalación, sin afectar su tiempo de vida puesto que se está considerado el concepto de Profundidad de Descarga.

Durante un período de diez años, el número total de días en el cual el estado de carga del acumulador pudiese ser inferior al 75% es menor que 2 refiriéndonos a la sierra del Perú.

NOTA 2.- Como norma general, procure que sus paneles sean todos iguales, pero si por alguna razón utiliza paneles con diferentes características, tenga en cuenta lo siguiente:

1) Todos los paneles de una rama en serie han de ser exactamente iguales.

Calcule el Numero de Paneles en paralelo N_{pp} , de acuerdo con la siguiente regla:

Multiplique la intensidad en el punto de máxima potencia I_{PMAX} , por el Número de Paneles en Paralelo N_{pp} , de cada tipo de panel.

La suma de los productos así obtenidos, ha de ser superior a I_M .

3.3 Montaje en las instalaciones que utilizan Energía Solar Fotovoltaica

Para realizar el montaje de los paneles y equipos en una instalación fotovoltaica, se hacen una serie de consideraciones de índole práctico de tal manera que se asegure un buen funcionamiento la instalación y larga vida.

3.3.1 Montaje del Arreglo de Paneles

Los paneles pueden colocarse en sitios muy diferentes: Tejados, paneles, terrazas, lugares especialmente acondicionados, etc. **En cualquier caso,** atienda las siguientes recomendaciones.

1) Situe los paneles en un lugar que nunca este a la sombra, fijese en los árboles ó edificios cercanos, recuerde que el sol varía su posición a lo largo del año y que los árboles crecen.

Si tiene dudas sobre la conveniencia o no de un determinado lugar, cualquier topógrafo puede realizar el mapa de trayectorias solares, correspondiente a ese lugar. Este mapa, da una amplia información sobre el tiempo que el lugar estudiado permanece a la sombra, en cualquier época del año.

2) Oriente los paneles correctamente. Recuerde que para ello, la cara frontal de los paneles ha de mirar al norte si la instalación se encuentra en el hemisferio sur y al sur si la instalación se encuentra en el hemisferio norte. En el apéndice B se hace una explicación genérica para diferenciar latitudes.

En el caso del Perú donde las latitudes varían de 2 a 18° un promedio de estas latitudes nos daría 10°. Siendo justamente este el ángulo al que debemos inclinar los paneles como se ilustra en la figura 3.4a. Una brújula, un nivel y un dispositivo para medir ángulos (cartabón, transportador), son herramientas suficientes para comprobar la orientación de los paneles (figura 3.4b).

- 3) Utilice estructuras de soporte de aluminio o de **hierro** galvanizado, para **evitar** la oxidación y **asegurelas** convenientemente para que soporten la fuerza del viento. Si se colocan los **paneles** sobre un **techo**, tenga presente que una estructura mal anclada ocasionará la aparición de goteras en el corto espacio de tiempo. **mayoría** de los distribuidores de paneles fotovoltaicos **ofrecen** además, estructuras de soporte especialmente diseñadas para este fin.
- 4) Si se colocan los paneles próximos al suelo, **procu-**
rodearlos de una cerca que los proteja de animales, vehículos, etc.
- 5) Si el campo esta constituido por varios paneles, evite que se sombreen entre si. Para ello puede instalarse todos en una sola fila o separándolos entre si adecuadamente.

3.3.2 Montaje del Regulador de Tensión

Existen dos tipos de reguladores de tension, llamados respectivamente, "Tipo serie" y "tipo paralelo", algunas recomendaciones adicionales al respecto en la NOTA 1 al final del punto tratado; Se debe tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- 1) Escoja un lugar cercano a los paneles solares para realizar el montaje del regulador de tensión, de esta manera se evitará pérdidas mayores de energía en los cables.
- 2) Si se dispone de un regulador hermético a prueba de agua, este puede ser instalado **a la intemperie**, caso contrario deberá buscarse un lugar adecuado bajo techo.
- 3) Conectar el regulador al arreglo de paneles y sin que la batería y la carga estén conectados, se mide la tensión entre los terminales que irán a batería. El regulador estará correctamente calibrado cuando dicha tensión tenga un valor igual a 14.4V ó 28.8V (o lo que diga el fabricante de la batería) según que V_{DC} sea igual 12V o 24V, respectivamente.

Los reguladores incorporan un potenciómetro para realizar este ajuste. La posición de este potenciómetro es normalmente muy accesible y, en cualquier caso, debe estar indicada en la información suministrada por el fabricante.

3.3.3 Montaje del Banco de Baterías

En el montaje del Banco de Baterías se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 1) Instale las baterías en lugares ventilados y evite la presencia de fuego o chispas en las cercanías.
- 2) Ajuste el nivel de electrolito hasta la altura recomendada por el fabricante en las instrucciones de servicio que siempre deben acompañar una batería. En cualquier caso la batería debe llegar a la instalación con el nivel correcto.
- 3) Una vez conectadas las baterías, cubra con vaselina los bornes de las mismas.
- 4) Cubra las baterías con un protector contra lluvias en caso operen a la intemperie (el protector es proporcionado por el fabricante para estos casos).

3.3.4 El Cableado Eléctrico y Accesorios

Debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones en la instalación del cableado y accesorios del Generador Fotovoltaico.

- 1) El cableado tanto del generador como de la carga, debe atenerse a las instrucciones generales fijadas en el código eléctrico nacional en la parte que corresponde a baja tensión.
- 2) Minimice en lo posible la longitud de cable a utilizar. Para ello, procure que las distancias

entre los paneles, el regulador y la batería sean los menores posibles.

- 2) Elija la sección de los cables a utilizar, de forma que las máximas caídas de tensión en ellos, comparada con la tensión a la que están trabajando, esté por debajo de los siguientes límites:

Generador	1%
Carga (Máximo)	5%

Para aplicar este criterio a conductores de cobre, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$S = 3,448 \times \frac{L \times I}{V \times AV}$$

Donde:

S = Sección mínima de los conductores de cable, en milímetros cuadrados.

L = Longitud de cable (sólo ida) en metros.

I = Intensidad máxima, en amperios.

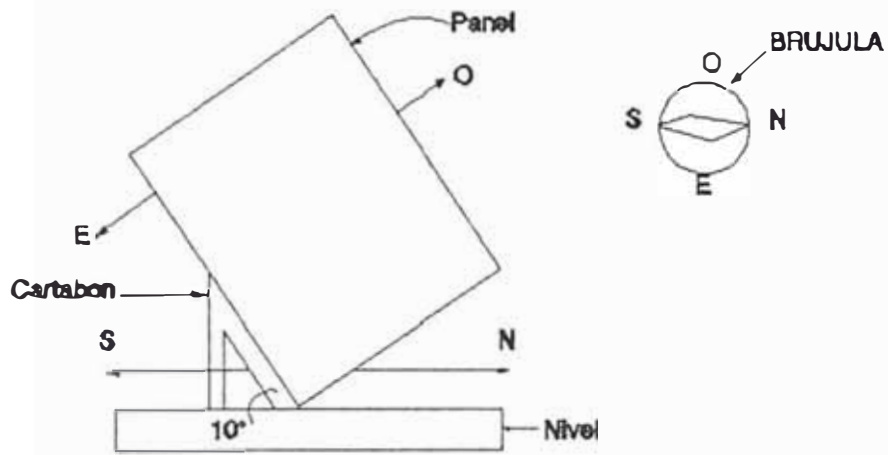
V = Tensión, en voltios.

AV= Caída de tensión, en tanto por ciento.

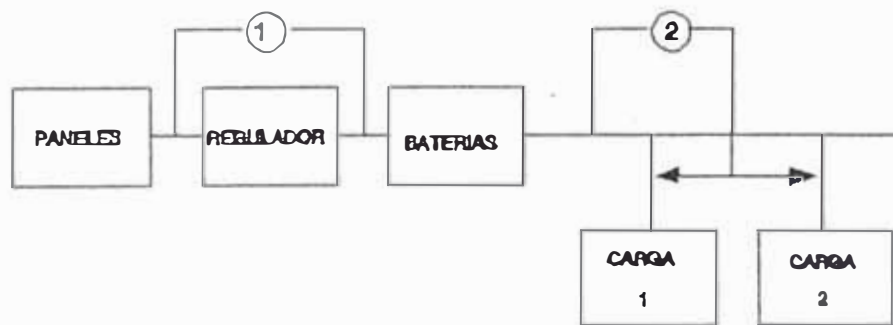
En la figura 3.4c hemos representado los diferentes tipos de cable que pueden existir en una instalación fotovoltaica.



a) ANGULO DE INCLINACION DE LOS PANELES



b) CORRECTA ORIENTACION DE PANELES



c) Esquema de conexión entre el Generador Fotovoltaico y la Carga

Fig. 3.4

3) Entre los accesorios a utilizar tenemos al interruptor Termomagnético, especialmente recomendable instalarlo en la salida del acumulador; instalación debe ir también provista de fusibles y una Laja de conexiones, en donde deben estar las conexiones a las cargas.

NOTA 1.- El procedimiento de calibración que indicamos en el apartado 3.3.2., es válido únicamente para los reguladores "Tipo paralelo" que actualmente son mayoría absoluta en el mercado.

Normalmente, estos reguladores han sido calibrados por el propio fabricante. No obstante, y a la vista de las disparidad de criterios que están siendo aplicados en el mercado actual, juzgamos necesario comprobar y en su caso, ajustar dicha calibración, como se ha indicado.

Los mayores reguladores "Tipo paralelo" que actualmente ofrece el mercado pueden disipar una corriente de hasta 40 A. Para corrientes mayores, puede pensarse en utilizar varios de estos reguladores en paralelo, o bien un único regulador "Tipo serie", en cuyo caso no puede realizarse el mencionado ajuste.

CAPITULO IV

APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS REPETIDORES DE LOS EQUIPOS DE MULTIACCESO RADIAL (MAR), CON DATOS PROPORCIONADOS POR EL INSTITUTO GEOFISICO DE HUAYAO DE HUANCAYO

4.1 Descripción de la instalación en Zona Rural

El sistema de multiacceso Radial (MAR) del Valle del Mantaro, está conformado por:

Una Estación **Central** (base) : Huancayo

Una Estación Repetidora con Derivación: C° Irayrapata

Estaciones Periféricas en Gabinete:

En Quichuay, Concepción, Aco, Muqui, Marco

Estación Periférica en Bastidor:

En Jauja

Oficinas de Atención al Público:

En, **Quichuay**, Santa Rosa, Ingenio, Aco, Muqui, Huancani, Jauja, Marco, Concho.

La Estación central y las Instalaciones Periféricas ubicadas en Huancayo y poblados aledaños, cuentan con suministro de energía eléctrica de la red pública,

pero la Estación Repetidora ubicada en el cerro Irayrapata (zona rural), tiene como alternativas energéticas, que los equipos de radio sean alimentados con Grupo Electrónico, con Energía Solar Fotovoltaica ó con Líneas Eléctricas de red del poblado más cercano; Un estudio técnico-económico nos dará una solución a esta problemática energética en zona rural.

La ubicación geográfica y las condiciones climatológicas del lugar son datos importantes a considerar, en el caso de diseñar una instalación solar fotovoltaica, como generador de energía eléctrica que proporcione en forma continua y segura los amperios-hora necesarios para alimentar los equipos de radio del sistema M.A.R. ubicados en la Estación Repetidora del Cº Irayrapata. La figura 4.1. nos muestra el esquema general de la red del sistema M.A.R. Valle del Mantaro

4.1.1 Evaluación de la Radiación Solar en el Valle del Mantaro

El Valle del Mantaro ubicado a 3,200 m.s.n.m. en la cordillera de los Andes, de cielo claro despejado y limpio de la contaminación ambiental, presenta excelentes características de radiación solar al igual que Cajamarca, el Altiplano Peruano y Arequipa, así el Perú como pocos países presenta una climatología y radiación apropiada para la implemen-

transmisión por división sincrónica de tiempo, a fin de proporcionar Troncales equivalentes en su calidad de Transmisión a aquellos obtenidos por medio de sistemas convencionales de múltiplex por división de frecuencias (FDM). Las formas de onda de frecuencia de voz en los circuitos de conexión son muestreados un ritmo regular de 5,000 muestras por segundo. Un filtraje adecuado es aplicado al canal con el objeto de limitar las respuestas de alta y baja frecuencia al ancho de banda VF de 300 a 3,400Hz.

Cada cuadro de transmisión de sistema SR contiene dieciséis segmentos de tiempo. Quince de estos segmentos son utilizados como Troncales y uno únicamente para el control del sistema.

El segmento utilizado para el control del sistema está constituido por un circuito de Transmisión de datos de ocho Kilobitios, que proporciona una comunicación continua entre la computadora y todas las instalaciones remotas del sistema. A través de este canal, la computadora monitorea las alarmas de las estaciones remotas, determina que líneas y estaciones remotas requieren una Troncal y Troncales y suministra las palabras de control para asignar y reasignar las troncales a líneas específicas. El discado y otro tipo

de señales desde y hacia el abonado, son realizados fuera de banda, a través de las troncales asignadas.

La amplitud de cada muestra de ondas de frecuencias de voz es transmitida bajo forma de una posición de pulsos, sin más codificación. No se aplica cuantificación alguna y no se produce distorsión debido a la misma. La transmisión no experimenta distorsión previa en Amplitud y la Troncal SR está en condiciones de transmitir tonos discretos a plena potencia a cualquier frecuencia, en la Troncal-Amplitud es particularmente útil cuando las Troncales son utilizadas para modems de portadora telegráfica o de transmisión de datos.

Cada muestra de onda en frecuencia de voz es transmitida a una estación central desde una estación remota, por medio de modulación de posición de impulsos, dentro de un impulso de portadora de RF de una duración aproximada de siete microsegundos.

Una estación remota puede transmitir varios impulsos de portadora dentro de un segmento de tiempo múltiplex correspondiente a varios troncales desde la misma estación remota, o puede no transmitir impulso alguno en ningún segmento sino requiere una troncal en ese momento y si no está transmitiendo información en el circuito de control. Las troncales son asignadas de

conformidad con las solicitudes de servicio, las cuales pueden tener su origen ya sea en la estación central o en una estación remota.

4.2.1 Características del Sistema M.A.R.

puede servir hasta 94 líneas con 15 troncales (se derivan 16 canales de TDMA, utilizándose 15 canales y el canal 16 para el sistema de control).

Todas las líneas tienen acceso común a las 15 troncales, pero cuando sea requerido puede dedicarse una o más troncales a líneas específicas.

El tipo de servicio que se puede brindar puede ser individual ó de dos suscriptores con extensiones. Hay suficiente potencia en cada gabinete para manejar simultáneamente timbres de alta impedancia, por ejemplo 5 líneas timbrando con 4 teléfonos cada uno; Servicio como teléfonos monedero (de pago previo a semi-pago previo), transmisión de datos de hasta 9,600 BPS, también se pueden mezclar opciones en un mismo sistema.

4.3 Equipos y carga a ser energizados. Perfil de consumo promedio diario de Energía

En una estación repetidora, se pueden instalar los equipos de radio y energía a la intemperie, viniendo

para ello los equipos preparados para tal fin o instalados en una caseta, donde tendrán una mayor protección; Así tendremos como carga los equipos de radio de transmisión y recepción y como carga adicional de uso poco frecuente, la iluminación, sólo cuando se realiza mantenimiento y en el caso de encontrarse los equipos en una caseta.

En el equipo repetidor encontramos los siguientes módulos.

Módulo detector de portadora

Módulo de control de repetidor

Módulo de control común del repetidor

Módulo de control de lazo

Módulo de interfase de lazo

Radioenlace de entrada (Entre la Estación Central y la Repetidora).

Radioenlace de salida (Entre la Repetidora y las Estaciones Periféricas)

El equipo repetidor requiere 12V en corriente directa y su consumo máximo de energía es 94W ó 8A cuando las 15 ventanas de tiempo (troncales) están siendo ocupadas, pero como el tráfico telefónico de las poblaciones involucradas ha sido analizado, podemos plantear una proyección de perfil de consumo promedio diario de energía, como el que exponemos en la figura

4.3a, donde el consumo propio de los equipos cuando las troncales están libres es algo menos de 3 amperios.

Del perfil de consumo de energía se trasluce que el tráfico telefónico de los poblados involucrados está centrado en el día, ya que por estadística comprobamos que el uso del servicio telefónico es así, también podemos darnos cuenta que el consumo nocturno de energía pasado las 12 P.M. es muy esporádico y por emergencias, por lo que este pequeño consumo estaría cubierto por los momentos en las que no están tomadas las 15 troncales y la pequeña diferencia a 3 amperios. Así este diseño responderá a las exigencias de tráfico telefónico cuando se requieran el total de troncales en actividad desde las 8 A.M. hasta las 12 P.M.

4.4 Dimensionado de las Instalaciones con Energía Solar Fotovoltaica, para la Estación Repetidora del Cerro Irayrapata

Para realizar los cálculos en el dimensionado del generador fotovoltaico de la estación repetidora del Cerro Irayrapata, se han tomado las consideraciones explicadas en el capítulo anterior, a fin de darle el margen de confiabilidad requerida, para lo cual los datos de ingreso y cálculos aplicando el método del "mes de mínima radiación" son los siguientes:

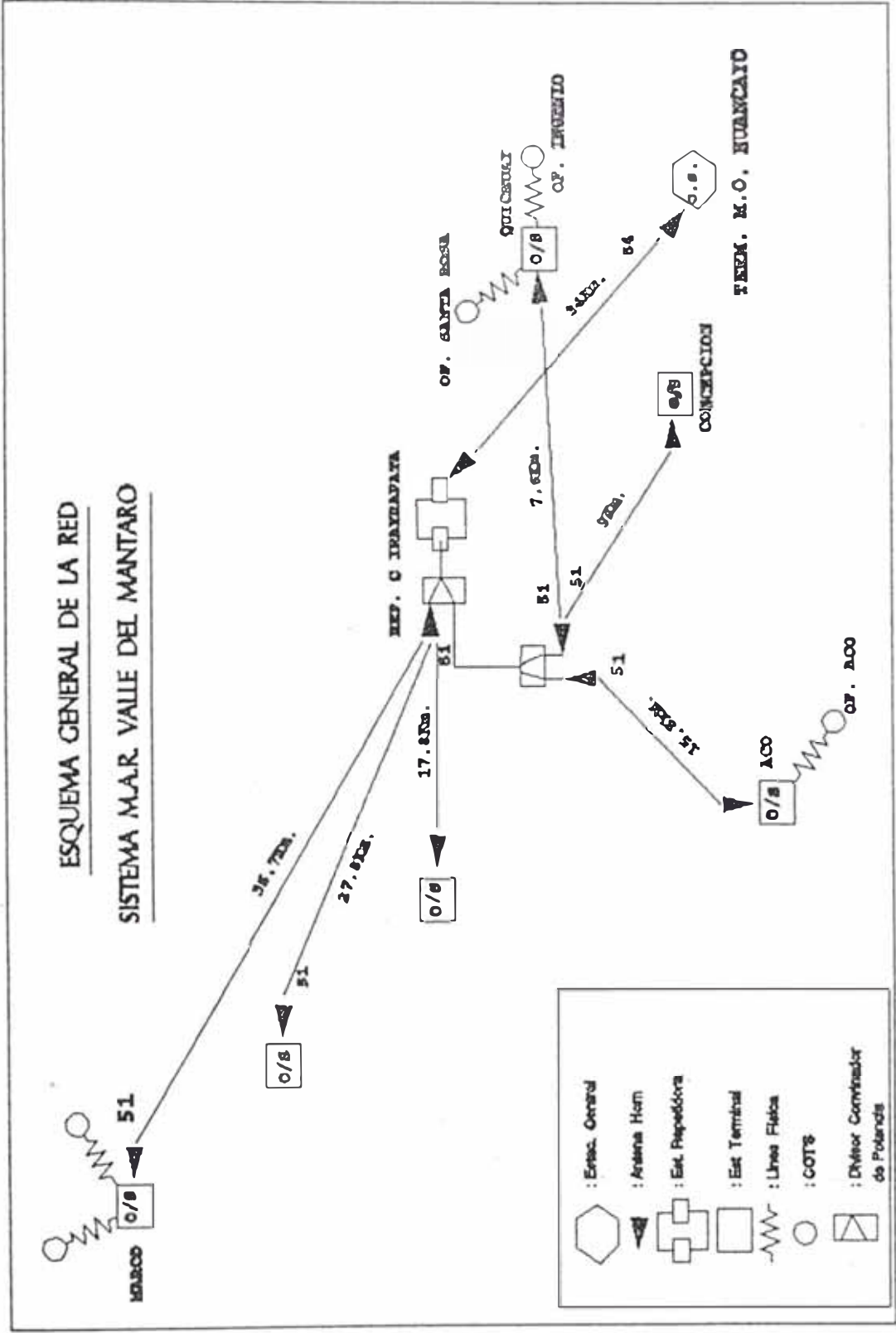


Fig. 4.1

Emplazamiento: Cerro Irayrapata-Huancayo (Latitud 11°50'45").

Insolación: Datos tomados de paneles orientados al norte e inclinados 10° sobre la horizontal. En la figura 4.2b se muestran las variaciones lo largo del día (valor medio mensual) de las insolaciones **máxima** y mínima anual, estos datos han sido proporcionados por el Instituto Geofísico de Huayao (Huancayo).

- Datos de consumo: Según se detalla a continuación:

. Tensión de utilización	12 VDC
. Potencia de consumo máxima	95 W
. Energía proyectada de consumo diario	142 A-H
. Energía proyectada de consumo mensual (31 días)	4402 A-H
Consumo anual	De acuerdo a las consideraciones del perfil.

Así podemos rellenar el formato 1 calculando para cada mes del año el total de amperios-hora (I_T) consumidos mensualmente por la instalación.

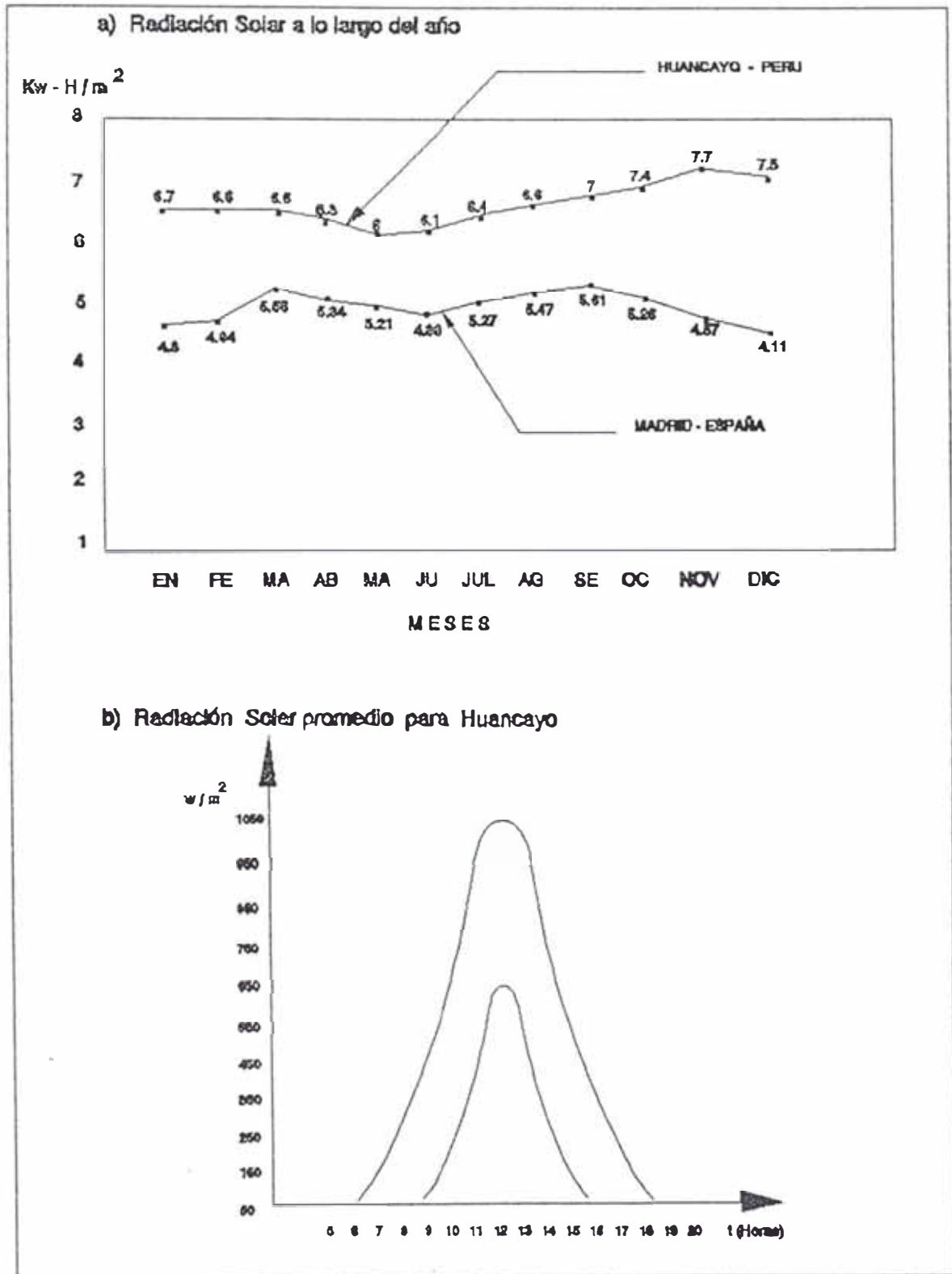


Fig. 4.2

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I_r	4402	3976	4402	4260	4402	4260	4402	4402	4260	4402	4260	4402

FORMATO 1

El formato que evalúa la radiación solar disponible en la zona, donde como característica los paneles solares tendrán una posición fija a lo largo del año, con una inclinación de 10° sobre la horizontal y mirando al norte, así la energía mensual (E_R) que llega a los paneles es como sigue:

MES	E	F	A	J	J	A	S	O	N	D		
E_R	238.7	215.6	217	189	189.1	180	198.4	189.1	195	223.2	225	235.6

FORMATO 2

Donde: $E_R = \text{Kw-H/m}^2.\text{mes}$

El formato 3 lo rellenaremos con la división del pformato 1 entre el formato 2, agregando a ello un 20% como margen de seguridad, es decir multiplicando por 1.2 la división, dándonos como resultado que es el número mínimo de amperios que los paneles deben proporcionar.

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I_m	22.12	22.12	24.34	27.04	27.93	28.40	26.62	27.93	26.21	23.66	22.72	22.42

FORMATO 3

Donde: $I_m = \text{Amperios}/(\text{Kw}/\text{m}^2)$

Así en el formato 3 vemos que, mes Junio el mes de mínima radiación solar.

El número de paneles en serie (N_{ES}) está dado por la división entre la tensión de trabajo y la tensión de trabajo de los paneles.

$$N_{ES} = \frac{V_{DC}}{V_{NP}}$$

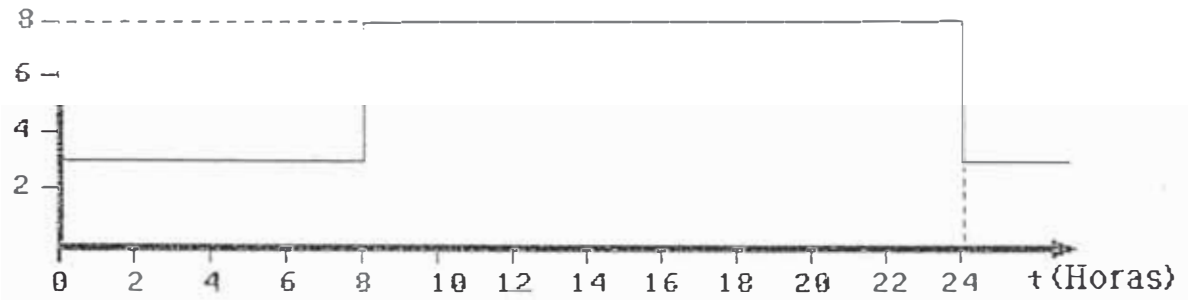
En nuestro caso $N_{ES} = 1$

Para calcular el número de paneles en paralelo (N_{EP}) dividimos I_m , por I_{PMAX} (donde I_{PMAX} la corriente que proporciona el panel en el punto de máxima potencia). En nuestra aplicación utilizamos de la tabla 4.1. del módulo de 16-2000 de la compañía ARCO SOLAR, que tiene un I_{PMAX} de 2 Amperios. Elegimos así el número de paneles en paralelo como:

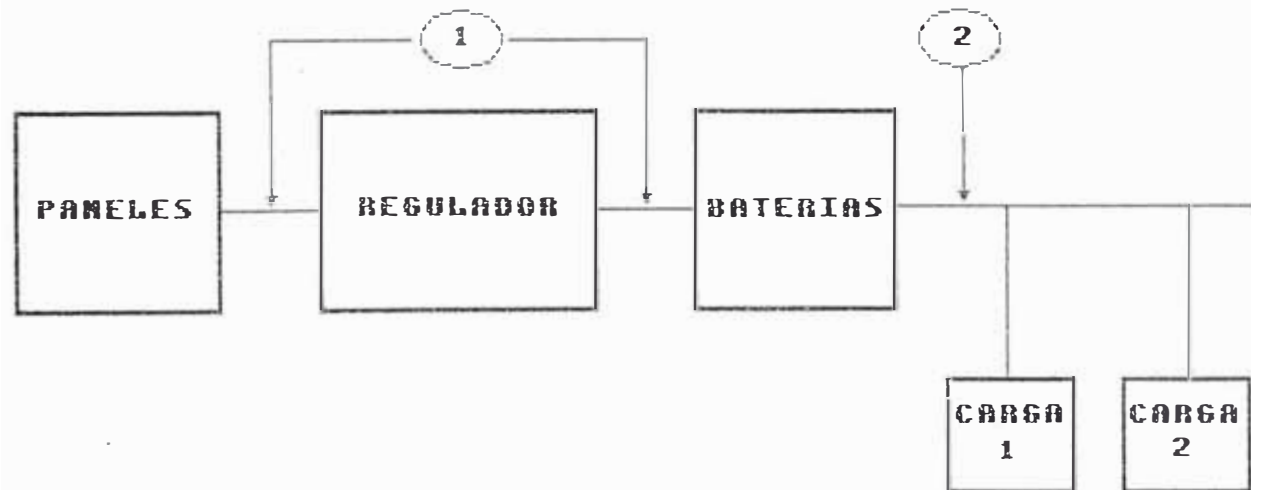
$$N_{EP} = \frac{28.40 \text{ A}}{2.33 \text{ A}}$$

$$N_{EP} = 12.1 \text{ o sea } 12 \text{ paneles}$$

R (Amp)



b) Perfil de carga consumo promedio diario



b) Seccion de los cables en la instalacion

Fig. 4.3

TABLA 4.1

DATOS CARACTERISTICOS DE LOS MODULOS DE ARCO
SOLAR

TIPO	CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
	V _{OC}	V _{TEST}	I _{TEST}	POT _{MAX}
DIMENS.	48" LARGO	12" ANCH	1.5" PROF.	
M-51	21.0 V	17.3 V	2.31 A	40.0
16-2300	21.5	16.1	2.33	37.0
16-2000	20.5	15.5	2.24	35.0
M-61	18.0	14.1	1.75	24.6
M-41	6.5	5.3	6.3	33.4
S-6000	7.1	5.2	6.7	35.0
M-42	10.1	8.1	4.2	34.0
M-81	19.5	15.2	0.46	7.0
M-82	20.5	15.8	0.48	7.6

M-81 y M-82 son de dimensiones 14", 12" y 1" .

El cálculo de la capacidad y número de baterías en serie y paralelo de la instalación se consigue dividiendo la tensión de trabajo de la instalación entre la tensión de operación de los paneles, así:

$$N_{BS} = \frac{V_{DC}}{V_{NB}} = \frac{12}{2}$$

$N_{BS} = 6$ (Baterías en serie)

Para el cálculo de la capacidad de las baterías, observamos el perfil de consumo promedio diario (figura 4.3a), considerando como caso extremo un consumo nocturno de 8 amperios entre 18 a 24 horas y 3 amperios

de mínimo consumo de cero a 8 horas, entonces tendremos un consumo diario nocturno de 72 A-H.

Tomando en cuenta la nota 1 del capítulo anterior sobre profundidad de descarga tendremos:

$$8 \times 72 / (31 \times 2) = 568 \text{ A-H}$$

Luego nos referimos a la tabla 4.2 y escogemos la batería tipo 2P566 con capacidad de 566 A-H a 100 horas de descarga, del fabricante BP Solar System Limited.

TABLA 4.2
DATOS DE BATERIAS DE BP SOLAR SYSTEMS

TIPO DE BATERIA	VOLT.	CAPACIDADES		DIMENSIONES (mm)				PESO (Kg)
		10 Hr.	100Hr.	Largo	Ancho	Alt.	Hum.	
12P58	12	28	58	272	205	390	33.5	20
12P108	12	50	108	380	205	390	50	29
12P108	12	71	157	380	205	390	56.5	37.5
12P157	6	95	207	272	205	390	37.5	23
6P363	6	167	363	380	205	390	56.5	36.5
2P425	2	196	425	124	206	534	23.5	14.5
2P566	2	261	566	166	206	534	31.5	19
2P641	2	295	641	166	206	534	33	21
2P779	2	358	779	191	210	709	46.5	26
2P886	2	408	886	191	210	709	49	29
2P987	2	453	987	191	210	709	51	31.5
2P1101	2	506	1101	233	210	675	60.5	35.5

Todas las capacidades de baterías se miden a 25°C, hasta un voltaje final de 1.8 voltios por celda (las de 2V).

- El cálculo de la sección de los cables, mediante

$$\text{fórmula } S = 3.448 \times \frac{L \times I}{V \times AV}$$

Donde:

$$L_1 = 3 \text{ m.}$$

$$L_2 = 3 \text{ m.}$$

$$I_1 = 24 \text{ A.}$$

$$I_2 = 8 \text{ A.}$$

$$V_1 = 12 \text{ V.}$$

$$V_2 = 12 \text{ V.}$$

$$AV_1 = 1\%.$$

$$AV_2 = 3\%$$

De estos datos obtenemos:

$$S_1 = 20.68 \text{ mm}^2 \text{ (Para el generador)}$$

$$S_2 = 2.29 \text{ mm}^2 \text{ (Para el conexionado a la carga)}$$

(Ver figura 4.3b)

En la tabla 4.3 podemos apreciar sus equivalencias en AWG.

4.4 Protección contra Descargas Atmosféricas y Conexión a tierra.

Para que el sistema de energía solar fotovoltaica sea muy seguro, debemos realizar las conexiones a

tierra de la estructura del arreglo solar, la caja de la unidad de control electrónico (UCE), los conductos metálicos de los cables y el borne apropiado de batería.

La conexión del equipo a tierra, asegura que el voltaje del sistema no pueda moverse del potencial de tierra y por consiguiente reduce el riesgo de descargas eléctricas. La conexión a tierra realiza por medio de varas ó platinas colocadas en tierra. Además, una conexión a tierra adecuada proporciona un camino para las intensidades por defecto inducidas por los rayos.

TABLA 4.3
COMPARACION DE TAMAÑO DE CONDUCTORES METRICOS
BRITANICOS CON LOS MAS CERCANOS EQUIVALENTES AMERICANOS

Metricos		Americanos		
Area Seccional Nominal (mm ²)	Número y diámetro de cable (No/mm)	Nominal Circ.mils CM	AWG	Nominal Circ. mils.
0.8			18	1620
1.0	1/1.13	1975		
1.0	7/0.40	1975		
1.3			16	2580
1.5	1/1.38	2960		
1.5	7/0.50	2960		
2.1			14	4110
2.5	1/1.78	4935		
2.5	7/0.67	4935		
3.3				6530
4	1/2.25	7900		
4	7/0.85	7900		
5.3			10	10380
6	1/2.76	11850		
6	7/1.04	11850		
8.4			8	16510
10	1/3.57	19740		
10	7/1.35	19740		
13.3			6	26240
16	1/450	31580		
16	7/1.70	31580		
21.1			4	41740
25	7/2.14	49350		
25	19/1.35	49350		
33.6				56360
	19/1.53	69100		
42.4			1	85690
50	19/1.78	98700		
53.5			1/0	105600
67.4			2/0	133100
70	19/2.14	138200		
85.1			3/0	167800
95	19/2.52	187500		
95	21/1.78	187500		

4.4.1 El Pararrayos como captador de las Descargas Atmosféricas

La finalidad del pararrayos es crear una región ionizada alrededor suyo, facilitando una trayectoria de menor resistencia para la corriente piloto, emitida por la nube, auxiliando asi la formación del canal de descarga y orientando el camino del rayo. Además del pararrayos convencional, que fue inventado por Benjamin Franklin en el año de 1752, hoy en día contamos con los pararrayos aerodinámico ionizante, que utiliza el mismo principio que el convencional, pero además utiliza fuentes radiactivas como es el Americio 241 (AM-241), este emite continuamente partículas alfa originando una region ionizada muy amplia que extiende su sección hasta las nubes por causa del fenómeno de la multiplicación de iones pares, logrando su vez reducir en forma considerable la estática por la combinación de los iones dentro de su radio de acción y con ella amenguar las interferencias en las ondas de radiocomunicación.

Haciendo una comparación entre el pararrayos convencional y el aerodinámico ionizante, obtendremos que el primero establece una corriente de inducción para un campo superior a 0.7 Kv/m en tanto que el aerodinámico ionizante inicia sus contactos en

un campo de 0.1 Kv/m ofreciendo por su dinamismo, la neutralización del campo, y en el peor de los casos, descargas de **baja** intensidad, el resultado un sistema de pararrayos más seguro y confiable.

En nuestra instalación del repetidor del Cerro Irayrapata escogemos el pararrayos aerodinámico ionizante modelo T-100 marca THOR, que nos ofrece la firma PARARAYOS; También a continuación ofrecemos las especificaciones generales de los pararrayos aerodinámico ionizante en la siguiente tabla.

TABLA 4.4.
PARARRAYOS AERONINAMICO IONIZANTE THOR

MODELO	RADIO DE COBERTURA	AREA DE COBERTURA
T-25	25 mts.	1,963.50 m ²
T-60	60 mts.	11,309.76 m ²
T-100	100 mts.	31,416.00 m ²

CARACTERISTICAS FISICAS:

ESTRUCTURA : Acero Inoxidable Quirúrgico
 ASTA CENTRAL : Cobre Electrolítico Cromado
 CONECTOR DE CABLE : Cobre Electrolítico Cromado
 PESO APROXIMADO : 1.2 Kg.

CARACTERISTICAS RADIOACTIVAS:

RADIOISOTOPO : Americio 241

VIDA MEDIA	: 453 años
P. RADIACION	: "Alfa" (gamma y beta despreciable)
FORMA QUIMICA	: Oxido de Americio
FORMA FISICA	: Sólida Fuente Sellada en Oro y Platino

El diseño del pararrayos THOR, no ofrece riesgo de contaminación al medio ambiente, pues el isótopo radiactivo empleado el Americio 241, elemento transuránico de número 95, este elemento emite partículas alfa con energía de 5486 a 5443 MEV, siendo gamma el 1% y beta menos del 1%, esto a 30 cm de distancia del captador. Su radiación de partículas no ofrece peligro a una persona que este expuesta en las cercanías, del captador, puesto que la radiación recibida sería el 8.6×10^{-6} de la dosis permitida e indicada por la Comisión Internacional de Protección Radiológica que señala 5 Rems. entre 12 meses.

4.4.2 Puesta a tierra de Equipos e Instalaciones

Los estratos geológicos de un terreno natural son muy variados en función al lugar y la zona geográfica de su ubicación; es por ello que es indispensable realizar una evaluación del terreno a trabajar, con el fin de establecer la formación de los estratos geológicos, así como su resistividad o

resistencia eléctrica específica paso de la corriente.

En el repetidor de los equipos de Multiacceso radial ubicado en el Cerro Irayrapata nos encontramos con un terreno pedregoso cuya resistividad de 2,500 OHM/m., el cual necesitará un tratamiento adecuado a fin de llevarlo a niveles de resistividad apropiado a las especificaciones técnicas del fabricante, que en este caso es de 10 ohm o menos. A continuación presentamos la tabla que nos da más información sobre la naturaleza y resistividad de los terrenos.

Los valores mínimos y máximos varían en función al porcentaje de humedad y al contenido de sales minerales, como a la calidad y cantidad de ellos en el terreno.

Existen diferentes métodos para lograr la reducción de la resistencia eléctrica de tierra, estos son:

- a) El aumento del número de electrodos en paralelo
- b) El aumento de la longitud de de los electrodos.
- c) El aumento del diámetro de los electrodos.
- d) El cambio de terreno de existente por otro de menor resistividad

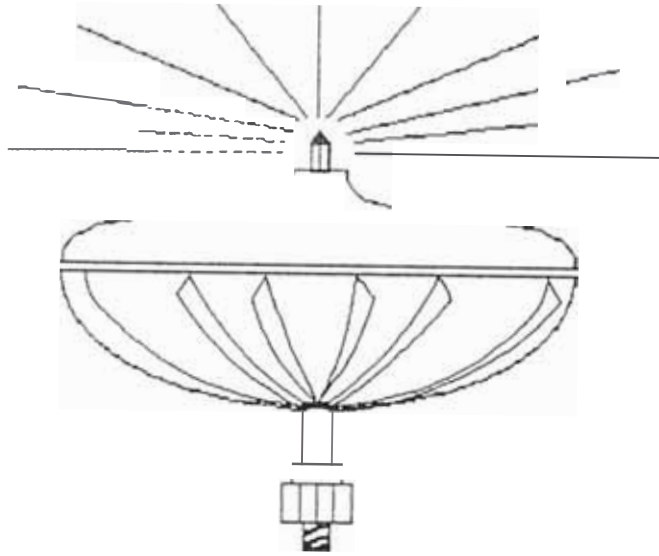
e) El tratamiento químico electrolítico del terreno.

TABLA 4.5
RESISTIVIDAD DE TERRENOS VARIADOS

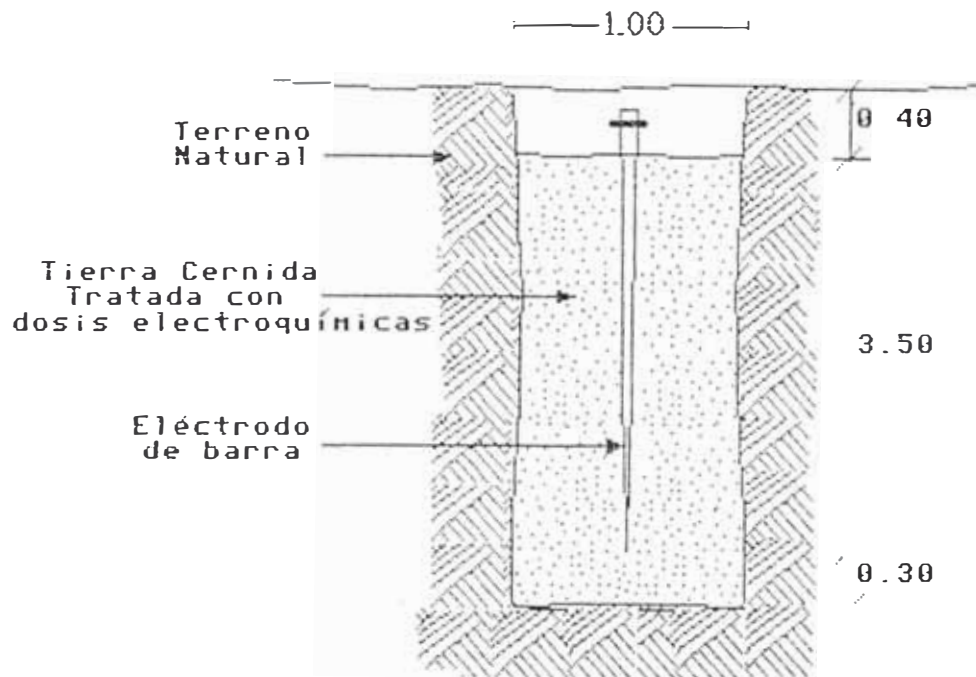
NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD OHM/M
Terrenos Pantanosos	De algunas unidades a 30
Lima	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Humeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Marga y arcilla compactas	100 a 200
Marga de jurasico	30 a 40
Arena arcilosa	50 a 100
Arena silicia	200 a 300
Suelo pedregoso cubierto de cesped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Fizarras	50 a 300
Roca de mica o cuarzo	500
Roca ignea	5000 a 15000

En nuestro caso emplearemos los métodos d) y e) para reducir considerablemente la resistencia eléctrica hasta el valor requerido por el fabricante, que es de 10 OHM ó menos.

En la figura 4.4a ilustramos el pararrayos aerodinámico ionizante y en la figura 4.4b el electrodo de barra conectado a tierra, que servirá como dispensor de corriente a tierra.



a) Principio de ionización aerodinámica



b) Pozo de Tierra

Fig. 4.4

CAPITULO V

MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES CON ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

En este capítulo, daremos a conocer las tareas de mantenimiento que se deben realizar con los equipos que conforman un generador fotovoltaico, así como también algunos consejos obtenidos de experiencias previas, las cuales deberíamos tomar atención: De esta manera se puede lograr que la continuidad y confiabilidad del servicio se mantenga de acuerdo los cálculos realizados previamente.

5.1 Mantenimiento del Banco de Baterías

El banco de baterías es parte fundamental de una instalación solar fotovoltaica y como es la parte más sensible de la instalación, debe tener un mantenimiento adecuado cada 3 meses; Algunas fallas en las baterías pueden ser detectadas con las mediciones de gravedad específica y temperatura del electrolito, el voltaje y la apariencia.

Con la medición de la gravedad específica, que debe ser normalmente 1.215 ± 0.01 a 20°C nos damos cuenta del estado de carga de las mismas; Cuando una batería está fallada, la medición de la temperatura del electrolito de esta celda es mucho mayor que la de otras celdas, igualmente sucede con el voltaje de esta celda, que difiere grandemente de las otras. De la apariencia externa de las baterías podemos darnos cuenta que:

Si el nivel del electrolito está debajo de la línea mínima se le debe añadir agua destilada.

Las especificaciones de agua destilada se aprecian en la tabla 5.1.

La batería está fallada, si la placa negativa se vuelve parcial ó totalmente blanca.

La batería está fallada, si el electrolito no es transparente.

Otros, como corrosión de los polos, ruptura del contenedor, gotera del electrolito en una celda y otras condiciones similares, están indicando que la batería está fallada.

TABLA 5.1
ESPECIFICACIONES DE AGUA DESTILADA

ITEM	ESPECIFICACIONES
Apariencia	Sin color
Residuo	Menos que 0.005%
NO ₃	Menos que 0.0001%
NH ₄	Menos que 0.0001%
Cl	Menos que 0.0001%
Fe	Menos que 0.0001%
As	Sin rastros
Mn	Sin rastros
Cu	Sin rastros

5.1.1 Ajuste de la Gravedad Especifica

Tomando en cuenta que debemos tomar los meses de mayor radiación solar para realizar el mantenimiento del generador solar fotovoltaico, es así como en este período las baterías se encuentran a plena carga y se puede realizar el ajuste de la gravedad específica. Si después de chequear gravedad específica está no se encuentra dentro de lo especificado, se ajusta la gravedad específica como sigue:

Usar ácido sulfúrico diluido (de gravedad específica 1.400) ó agua destilada si fuera el caso. Calcular la cantidad requerida mediante la fórmula:

$$C \times 5 \frac{(SpGr - 1.215)}{0.001}$$

Donde "C" es la capacidad en litros de la celda; 5 CC de agua destilada se debe agregar a la celda por una gravedad específica mayor que 1.215 (a 20°C), y añadir igual cantidad de ácido sulfúrico diluido (en caso opuesto, por cada litro ante una diferencia de 0.001 entre la gravedad específica en el estado final de carga y el especificado).

Ejemplo 1:

Si se mide la gravedad específica a 20°C, siendo esta 1.225, en un tipo de batería de capacidad 20 litros de electrolito, ajustar la gravedad específica tomando como valor nominal 1.215 a 20°C. El resultado sería:

$$20 \times 5 \times \frac{(1.225 - 1.215)}{0.001} = 1000 \text{ C.C}$$

Consecuentemente, 1000 CC de agua destilada debe ser añadido.

Ejemplo 2:

Si se mide la gravedad específica a 20°C, siendo esta 1.205, en un tipo de batería de 20 litros de capacidad de electrolito, ajustar la gravedad

especifica tomando como valor nominal 1.215 a 20°C.

Empleando la fórmula obtendríamos:

$$20 \times 5 \times \frac{(1.205 - 1.215)}{0.001} = (-) 1000 \text{ CC}$$

Consecuentemente, se debe añadir 1000 CC de ácido sulfúrico diluido (de gravedad específica 1.400). Concluyendo, cuando el resultado es negativo se debe añadir ácido sulfúrico y agua destilada cuando el resultado es positivo.

Después del ajuste, permitir que las baterías se carguen durante un período de 3 a 4 días y luego volver a realizar las mediciones.

Si el resultado es incoherente con lo esperado, realizar un nuevo ajuste de gravedad específica, caso contrario habríamos confirmado que se ajustó al valor requerido.

Es importante observar que, cuando se realizan mediciones de la gravedad específica, no siempre nos encontramos a 20°C, por lo que podríamos equivocarnos en el análisis del estado de carga real, por tanto como la gravedad específica varía con la temperatura usamos la siguiente fórmula para la conversión:

$$S_{20} = S_t + K(T - 20)$$

Donde:

S_{20} : Gravedad específica del electrolito a 20°C.

S_t : Medición de gravedad específica actual.

K : 0.0007 (Cambio de valor de gravedad específica por 1°C de temperatura).

t : Valor actual de la temperatura.

Ejemplo 1:

Convertir la gravedad específica 1.210 del electrolito que se encuentra a 36°C de temperatura ambiente, a un valor a 20°C.

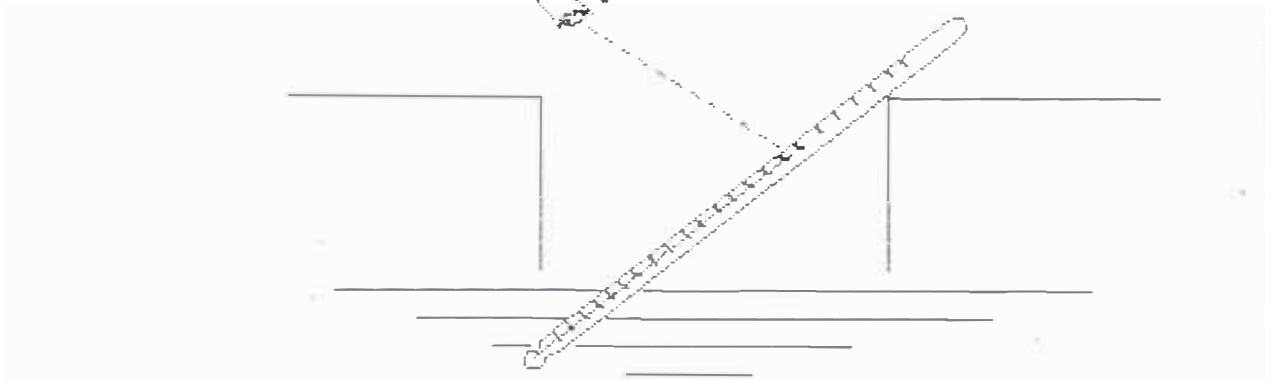
$$S_{20} = 1.210 + 0.0007 (36 - 20) = 1.221$$

Ejemplo 2:

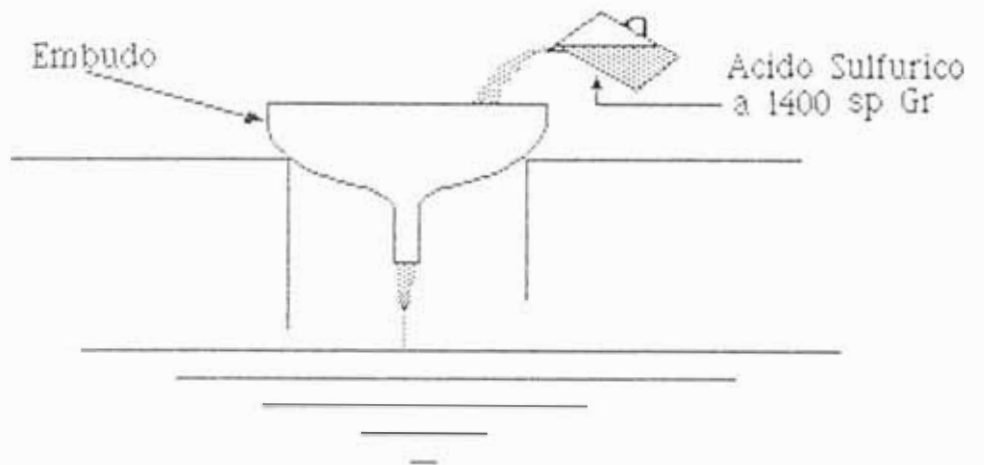
Convertir la gravedad específica 1.220 de electrolito a 10°C al que corresponda a 20°C.

$$S_{20} = 1.220 + 0.0007 (10 - 20) = 1.213$$

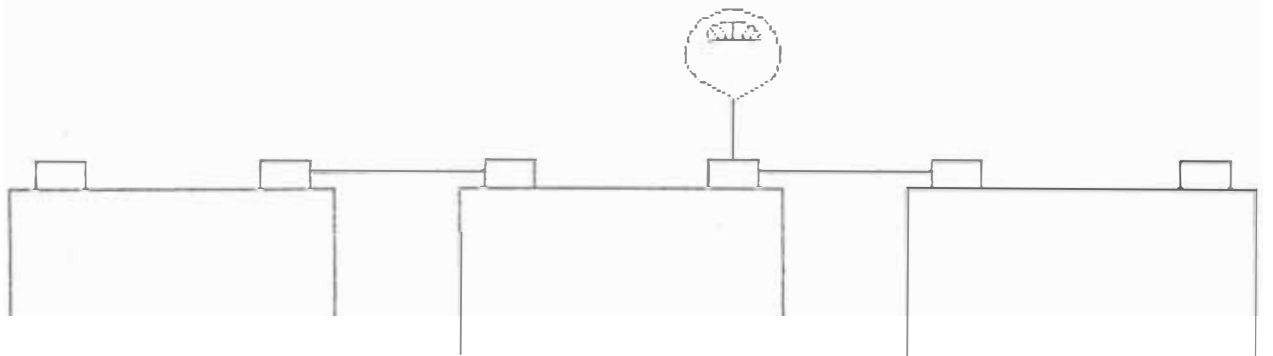
La relación entre la gravedad específica y la temperatura del electrolito aparece en la tabla 5.2.



a) Medición de la temperatura con el termómetro tipo varilla



b) Ajuste de la gravedad especifica



c) Medición del voltaje de las baterías

Fig. 5.1

TABLA 5.2
RELACION ENTRE GRAVEDAD ESPECIFICA Y TEMPERATURA

-----+-----									
Temperatura (°C)									
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
-----+-----									
1.114	1.111	1.107	1.104	1.100	1.096	1.093	1.089	1.086	1.062
1.124	1.121	1.117	1.114	1.110	1.106	1.103	1.099	1.096	1.092
1.134	1.131	1.127	1.124	1.120	1.116	1.113	1.109	1.106	1.102
1.144	1.141	1.137	1.134	1.130	1.126	1.123	1.119	1.116	1.112
1.154	1.151	1.147	1.144	1.140	1.136	1.133	1.129	1.126	1.122
1.164	1.161	1.157	1.154	1.150	1.146	1.143	1.139	1.136	1.132
1.169	1.166	1.162	1.159	1.155	1.151	1.148	1.144	1.141	1.137
1.174	1.171	1.167	1.164	1.160	1.156	1.153	1.149	1.146	1.142
1.179	1.176	1.172	1.169	1.165	1.161	1.158	1.154	1.151	1.147
1.184	1.181	1.177	1.174	1.170	1.166	1.163	1.159	1.156	1.152
1.189	1.186	1.182	1.179	1.175	1.171	1.168	1.164	1.161	1.157
1.194	1.191	1.187	1.184	1.180	1.176	1.173	1.169	1.166	1.162
1.199	1.196	1.192	1.189	1.185	1.181	1.178	1.174	1.171	1.167
1.204	1.201	1.197	1.194	1.190	1.186	1.183	1.179	1.176	1.172
1.209	1.206	1.202	1.199	1.195	1.191	1.188	1.184	1.181	1.177
1.214	1.211	1.207	1.204	1.200	1.196	1.193	1.189	1.186	1.182
1.219	1.216	1.212	1.209	1.205	1.201	1.198	1.194	1.191	1.187
1.224	1.221	1.217	1.214	1.210	1.206	1.203	1.199	1.196	1.192
1.229	1.226	1.222	1.219	1.215	1.211	1.208	1.204	1.201	1.197
1.234	1.231	1.227	1.224	1.220	1.216	1.213	1.209	1.206	1.202
1.239	1.236	1.232	1.229	1.225	1.221	1.218	1.214	1.211	1.207
1.244	1.241	1.237	1.234	1.230	1.226	1.223	1.219	1.216	1.212
1.249	1.246	1.242	1.239	1.235	1.231	1.228	2.224	1.221	1.217
1.254	1.251	1.247	1.244	1.240	1.236	1.233	2.229	1.226	1.222
1.259	1.256	1.252	1.249	1.245	1.241	1.238	2.234	1.231	1.227
1.264	1.261	1.257	1.254	1.250	1.246	1.243	2.239	1.236	1.232
1.269	1.266	1.262	1.259	1.255	1.251	1.248	1.244	1.241	1.237
1.274	1.271	1.267	1.264	1.260	1.256	1.253	1.249	1.246	1.242
-----+-----									

5.1.2 Verificación del Voltaje y Temperatura

Medir los voltajes de cada celda usando un voltímetro adecuado, osea escala máxima 3V, el voltaje en carga normal es 2.25 ± 0.05 voltios por celda. El voltaje final de la descarga debe ser alrededor de 1.8 voltios; por debajo de este valor las baterías tienden a deteriorarse, provocando un acortamiento de su tiempo de vida restando confiabilidad a la instalación.

Es importante también medir la temperatura de cada celda, sobre todo cuando estas se encuentran en estado de carga máxima o normal; con un termómetro de alcohol, introducido en el electrolito por espacio de 30 segundos es suficiente para poder anotar el valor indicado en la varilla de vidrio del termómetro de alcohol. Es recomendable manipular con cuidado, caso contrario el termómetro de vidrio puede romperse.

En la figura 5.1 a y b podemos apreciar el ajuste de la gravedad específica del electrolito, así como la medición de temperatura con el termómetro de alcohol tipo varilla.

5.2 Mantenimiento del Regulador de Tensión

El normal funcionamiento del regulador de tensión es grandemente afectado por una inadecuada rutina de

mantenimiento. De acuerdo a esta necesidad su condición de operación debe ser inspeccionada para ver si siempre se encuentra en la mejor condición de operación. Los resultados de cada inspección deben ser anotados.

En este camino, algún problema con el regulador de tensión puede ser detectado con anticipación, y aun cuando ocurran problemas, estos pueden ser fácilmente detectados.

El regulador de tensión tipo paralelo que se usa en la instalación fotovoltaica suministra energía continua y estable mientras opera en condición normal.

Desde que este equipo se prevée para un largo y continuo uso, su condición de operación debe ser inspeccionada y anotada en intervalos regulares tiempo, así como exponemos en la tabla 5.3.

TABLA 5.3

INTERVALOS DE INSPECCION DEL REGULADOR DE TENSION	
ITEMS DE INSPECCION	INTERVALOS DE INSPECCION
1. Medición del voltaje DC de entrada.	1 año
2. Medición de voltaje a la carga.	1 año
3. Medición de corriente a la entrada del regulador.	1 año
4. Medición de corriente a la carga y baterías.	1 año
5. Estructuras y soportes:	
Remover el polvo.	1 año
Remover el oxido desde los contactos.	1 año
Condición de mal ajuste de tierras y pernos de partes inertes y partes con energia.	1 año
6. Transistores de potencia y diodos de silicio.	
Incremento de temperatura.	1 año
7. Relays y switches.	
Inspección de acción y condición de contacto.	1 año
8. Tarjetas impresas.	
Inspección de buen contacto de plugs y cables.	1 año

La operación del regulador de tensión debe ser parada inmediatamente para una inspección si hay vibración anormal, **ruido**, olor extraño o humo, etc, mientras esté en operación.

Debido a que el regulador de tensión se encuentra a la intemperie, es recomendable observar que la junta de la puerta no sufra ataques de insectos

resultando en pérdida de **protección**; también el panel protector se le debe retocar con **pintura** adecuada, resanando los defectos en el acabado **ocasionados por** la lluvia, granizos; Examinar todos los cables externos por daño o deterioro de la **vaina** exterior. Verificar que los **cables** se sujetan de manera adecuada y que todos los prensaestopas dan un sello a prueba de interperie; debe verificar el funcionamiento correcto de los circuitos de alarma y **regulador** de acuerdo al procedimiento dado **por** el fabricante.

Detalles del regulador de tensión tipo paralelo se aprecian en la figura 5.2. a y b.

5.3 Mantenimiento de Paneles Solares

Los paneles solares son parte fundamental del generador solar fotovoltaico, su operación es en forma silenciosa, convirtiendo la energía solar a energía eléctrica nivel atómico; De acuerdo a estas características estos paneles tienen un requerimiento mínimo de mantenimiento, el cual puede disgregarse en:

- a) Parte mecánica y estructuras.
- b) Parte eléctrica.

El mantenimiento de la parte mecánica y estructuras de los paneles solares es indispensable, ya

que al encontrarse en contacto con el medio ambiente, pueden sufrir deterioros en su estructura. El vidrio que cubre la parte superior del panel también puede sufrir deterioros ante la caída de granizos, anclaje y la estructura se puede ver afectada ante la fuerza del viento, la nieve y lluvia podrían provocar cortocircuitos en el interior de un panel, los cables pueden deteriorarse por la lluvia, por roedores o insectos, etc.

El mantenimiento de la parte eléctrica de los paneles solares comprende la inspección del buen conexionado de los cables, la generación de la corriente fotovoltaica de cada panel debe ser chequeada para asegurar el buen funcionamiento y fiabilidad de la instalación, la medición del voltaje a valor nominal asegura que las celdas en el interior de cada panel encuentran en perfecto estado de funcionamiento. En la tabla 5.4 podemos apreciar los ítems e intervalos de inspección.

TABLA 5.4

INTERVALOS DE INSPECCION DE LOS PANELES SOLARES	
ITEMS DE INSPECCION	INTERVALOS DE INSPECCION
1. Parte Eléctrica	
Medición del voltaje de salida.	1 año
Medición de la corriente fotovoltaica de cada panel.	1 año
Inspección y ajuste de los conectores.	1 año
2. Parte Mecánica	
Inspección del vidrio de los paneles por rotura.	1 año
Limpieza del polvo.	1 año
Verificación de impermeabilidad de paneles contra lluvia.	1 año
Retocado con pintura de la estructura.	1 año
Inspección y/o ajuste del ángulo de inclinación.	1 año
Inspección y/o ajuste de pernos de la estructura.	1 año

5.4 Mantenimiento de Puestas a Tierra

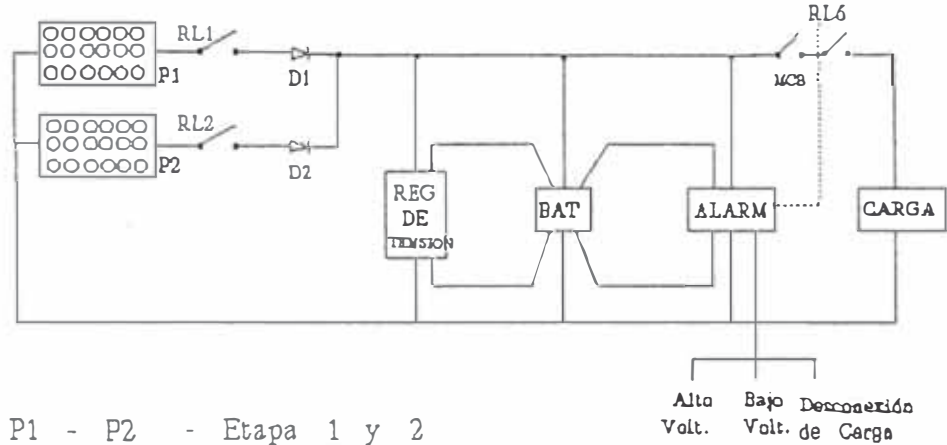
Con el avance de la tecnología en puestas a tierra se está practicando con mucho éxito la reducción de la resistencia ohmica de **tierra** con productos electroquímicos, como el que ofrece THOR GEL y otros fabricantes, dichos productos ofrecen una estabilidad química, higroscópica y eléctrica por 4 años, además de no ser corrosivos, los electrodos tratados con el GEL, tendrán una vida media de 2 a 2.5 décadas, debiendose

realizar mantenimiento químico cada 4R meses. La eficiencia en la reducción de resistencia eléctrica, de las puestas a tierra tratadas químicamente, permiten reducciones hasta en un 95%; siempre que ellas consideren factores especiales, como area de contacto del electrodo, el zarandeo del terreno del pozo, y en los casos de terrenos de muy alta resistividad eléctrica se ha de reemplazar el terreno del pozo por otro de resistividad eléctrica baja. Esta teoría demostrado extraordinarios resultados en áreas donde las resistencias óhmicas de tierra a obtenerse eran de 1 a 5 ohms/mt. y que por factores de poco espacio era imposible ejecutarlas con los métodos convencionales.

El llevar a cabo el mantenimiento de los pozos de tierra con productos electroquímicos es muy sencillo, puesto que requiere el tratamiento descrito continuación; Se disuelve el producto químico "A" con agua (la cantidad especificada por el fabricante) se vierte luego al pozo de tierra, continuación el producto químico "B", se disuelve en agua (la cantidad especificada por el fabricante) y se vierte también en el pozo de tierra, se espera su total absorción, a continuación se riega el pozo con agua sola, hasta su saturación, permitiendo así que el producto llegue a lo más profundo del pozo; De esta manera el Gel formado por el producto "A" y "B" mantendrá la tierra

circundante a los electrodos con las excelentes características resistivas requeridas por nuestra instalación por un período de 48 meses.

a) Regulador de Tensión de dos etapas con alarma



P1 - P2 - Etapa 1 y 2

D1 - D2 - Diodos de Bloqueo

RL1 - RL2- Relés de regulación

RL6 - Relé de desconexión de Carga Automática

MCB - Switch para aperturar la salida

REG - Tarjeta de regulador de carga de 2 etapas

BAT - Banco de Baterías

ALARMAS - Alarmas de alto y bajo voltaje y desconexión automática

b) Vista del Panel Regulador de Tensión

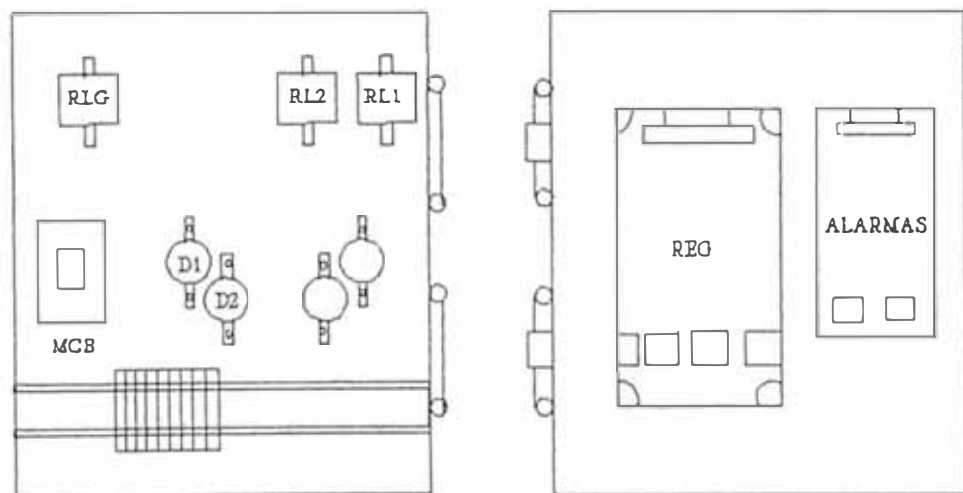


Fig. 5.2

CAPITULO VI

COMPARACION ECONOMICA EN LA APLICACION DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CON RESPECTO A
ENERGIAS CONVENCIONALES, PARA EL CASO DEL
REPETIDOR DE MULTIACCESO RADIAL INSTALADO EN EL
CERRO IRAIRAPATA

forma progresiva viene implementándose los sistemas fotovoltaicos en equipos de telecomunicaciones en zona rural, ya que han demostrado ser confiables y viables financieramente. Para esta evaluación económica vamos a comparar los sistemas de energía convencionales frente a lo fotovoltaico, aplicado en los equipos repetidores de Multi Acceso Radial instalado en el Cerro Irairapata; Así compararemos los costos cuando los equipos son energizados con Diesel, Fotovoltaico y Energía Eléctrica proveniente de la red más próxima; La comparación se dá asumiendo un financiamiento de una entidad crediticia.

6.1 Análisis Económico de la utilización de Generadores Fotovoltaicos en los equipos de Multi Acceso radial (MAR) Valle del Mantaro.

Los costos de duración **por** ciclo de vida de los equipos de Multi Acceso Radial instalados en el Valle del Mantaro y energizados con **generadores** fotovoltaicos, acrecientan aun más sus diferencias económicas con respecto a las otras fuentes de energías convencionales, esto debido a la fuerte radiación solar que es una característica propia del valle, la **condición** de cielo despejado **libre** de humo, contaminación y otras condiciones metereológicas permiten una buena captación de energía solar, esta sera finalmente almacenada como energía electroquímica en las baterías.

Un parámetro menos sensitivo para la evaluación económica de lo fotovoltaico es la insolación, y el mas sensitivo es el costo de las baterías debido al alto porcentaje de sustitución de las mismas, esto sugiere que la vida de las baterías sea considerado como un parámetro importante.

La importancia de la selección cuidadosa de los equipos de carga no es sólo para el sistema fotovoltaico, sino también para los sistemas convencionales.

En nuestro caso específico, realizamos el análisis Técnico-Económico para el repetidor del Sistema de Multi Acceso Radial ubicado en el Cerro Irairapata, así el cuadro 6.1 nos muestra detalles y resultados dados por esta opción.

CUADRO 6.1 : REPETIDOR DE MULTIACCESO RADIAL
ENERGIZADO CON GENERADOR FOTOVOLTAICO

+-----+	
! TECNICO	. Paneles Solares de 0.45 KWF
	. Banco de Baterías 6.91 KWH.
Configuración	. Regulador de Tensión Tipo paralelo de 1 KW
	. Ferrería y estructuras.
	. Cableado
+-----+	
! FINANCIERO	\$
Costo de capital inicial.	11,800
Costo de capital periódico	3,852 cada 5 años
Mantenimiento y reparación	500 cada 10 años
Costo de combustible	No aplicable
+-----+	
! RESULTADOS	
Flujo de caja de 20 años: valor - neto actual	28,444
Generación de emergencia anual	1742 KWH
+-----+	

6.2 Análisis Económico de la utilización de Generadores Diesel en los equipos de Multi Arceso Radial (MAR) Valle del Mantaro.

Cuando aplican cargas en sistemas Diesel, en el rango de 25 KWH/día de consumo de energía a mas, estas se encuentran en el rango de paridad económica con lo fotovoltaico, inclinándose ligeramente a generadores Diesel ó a generadores fotovoltaicos, de acuerdo a parámetros de casos específicos; Por encima de KWH/día se acentúa la diferencia a favor de los generadores diesel; y por debajo de 5 KWH/día la diferencia es notable a favor de los generadores fotovoltaicos.

Un aspecto importante que acrecienta el costo en el uso de generadores diesel es el empleo de combustibles de tipo fósil en forma continua, teniéndose perspectivas a incrementar sus costos a medida que estos combustibles se vayan extinguiendo; En segundo término se tiene un alto costo de mantenimiento en lo referente a reemplazo de partes, reemplazo de filtros en el mantenimiento, que juegan finalmente un papel importante a la hora de decidir la fuente de energía primaria.

Teniéndose un financiamiento de una entidad crediticia, 20 años y con características de

generación de potencia similares al apartado anterior, podemos desarrollar cuadro técnico-económico 6.2, aplicado a los equipos de Multi Acceso radial ubicado en el cerro Irairapata; Los resultados servirán para la comparación final, frente a las otras fuentes de energía.

CUADRO 6.2: REPETIDOR DE MULTIACCESO RADIAL ENERGIZADO
CON GENERADOR DIESEL

TECNICO	
Configuración	<ul style="list-style-type: none"> . Grupo electrogeno 1Ø 3.5Kv 220V 60HZ . Tablero de control . Cargador de baterías AC/DC 220V AC/12V DC . Banco de baterías (6u) . Cableado
FINANCIERO \$	
Costo de capital inicial	8.600
Costo de capital periódico	3,440 c/6 años
	1,034 c/5 años
	15% c/3 años
Mantenimiento y reparación	2% c/1 año
Costo de combustible	38,016
RESULTADOS	
Flujo de caja en 20 años valor neto actual	72,792
Generación de emergencia anual.	1742 KWH

6.3 Análisis económico de la utilización de Energía Eléctrica de la red mas próxima en los equipos de Multi Acceso Radial (MAR) Valle del Mantaro.

Encontrándose muchas veces las Estaciones Repetidoras en lugares de difícil acceso, ya sea en la cima de los cerros ó lugares estratégicos, de tal manera que las Antenas de estas Estaciones tengan línea de vista entre si ó con poblados, en un rango de 10 a 50 de distancia del poblado mas cercano; De esta manera se hace necesario contar con un mínimo de energía eléctrica para alimentar los equipos repetidores; En muchos casos no se justifica el uso de energía eléctrica de la red pública más próxima, ya que este se encuentra demasiado alejada de la Estación Repetidora y por consiguiente demasiado costosa su instalación; Pero cuando esta se encuentra en las cercanías de 10 Km y teniendo como carga equipos de telecomunicaciones con potencias de 30 KWH/día a mas, se podría justificar el uso de esta fuente de energía.

En nuestro caso específico tenemos al repetidor de Multi Acceso Radial ubicado a 7.8 Km del pequeño poblado de Quichuay y como carga los equipos de consumen 2.016 KWH/día en condiciones de máximo tráfico telefónico cursado por dicha repetidora; El Cuadro Técnico-Económico 6.3 nos dá idea de los costos y

resultados que conllevan el utilizar este tipo de energía.

CUADRO 6.3 REPETIDOR DE MULTIACCESO RADIAL ENERGIZADO
DESDE LA RED ELECTRICA MAS PROXIMA

TECNICO	
Configuración	. 7.8 Km de línea aérea monofásica (incluye, postes, cables, ferriteria, etc) . 2 transformadores de 1KV/380/220V 5KVA Cargador de Baterías 3 Kw 220 V AC /12V DC . Banco de Baterías . Cableado
FINANCIERO \$	
- Costo de capital inicial	45,200
Costo de capital periódico	500 cada año 3,500 cada 10 años
Mantenimiento y reparación	1.5% / año
RESULTADOS	
- Flujo de caja en 20 años valor neto actual	75,760
Generación de emergencia anual.	1740 KWH

6.4 Conclusión del análisis técnico-económico realizado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis Técnico-Económico realizado a las distintas fuentes de energía primaria a ser aplicables en el Repetidor de Multi Acceso Radial Valle del Mantaro, podemos decir que dada la necesidad de contar con el suministro de energía eléctrica en cantidades mínimas, la aplicación de lo fotovoltaico resulta la opción de menor costo, con una clara diferencia a favor hasta 5 KWH/día, aun bajo premisas financieras desfavorables, por encima de este valor hasta los 10 KWH/día los equipos Diesel se acercan en costos a lo Fotovoltaico, pero las condiciones de mantenimiento casi continuo en lo Diesel todavía permiten ver mejor a lo Fotovoltaico que prácticamente necesita un mínimo mantenimiento anual, resultando así como una interesante alternativa para dar solución a nuestro problema; Más lejos aun como alternativa resulta la aplicación de la energía eléctrica de la red pública más cercana, puesto que requiere condiciones mayores de potencia y condiciones de ubicación cercana a poblados que en la mayoría de los casos no se cumple.

La figura 6.1 nos muestra detalles económicos en la aplicación específica a la Estación Repetidora del Cerro Irairapata.

COMPARACION ECONOMICA ENERGIAS CONVENCIONALES Vs ESF

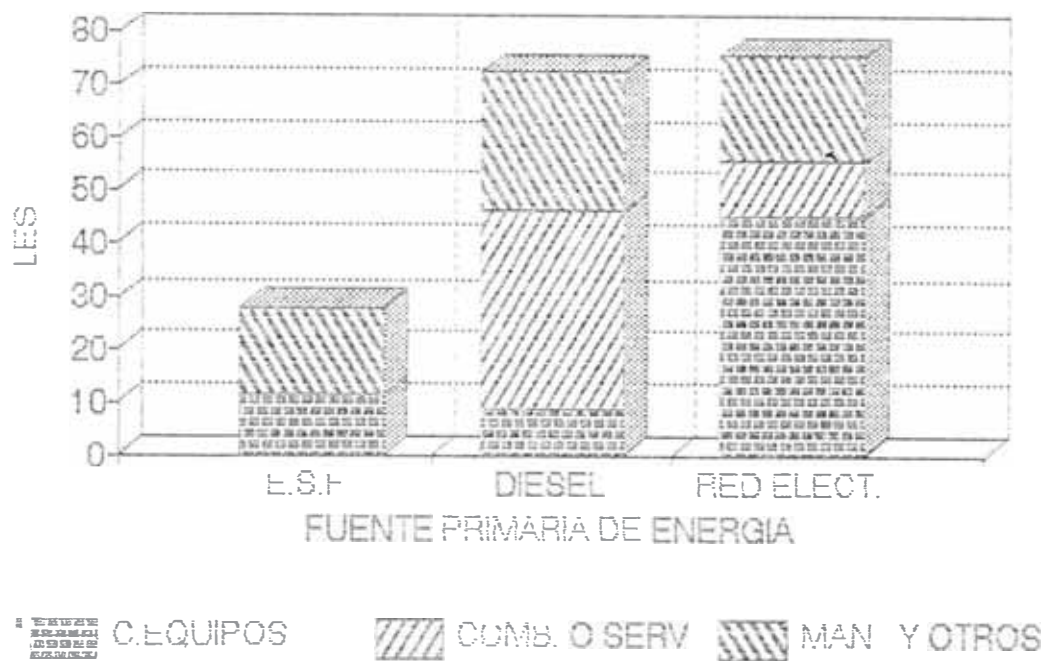


FIG.6.1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Las siguientes conclusiones son producto de la investigación y preparación de este trabajo.

1.- La aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos en Telecomunicaciones, señalización y control se viene incrementando debido a dos razones fundamentales, ellas son:

a) La utilización de tecnología digital, que emplea elementos C-MOS de bajo consumo de energía, que permite conseguir equipos de reducida demanda, adecuados a las instalaciones fotovoltaicas que se vuelven más competitivos económicamente a niveles de potencia menores.

b) La constante investigación en el campo de los semiconductores y procesos de fabricación de celdas y paneles solares, está permitiendo abaratar los costos e incrementar su campo de acción, haciendo viable proyectos de telecomuni-

caciones, que requieren mayor cantidad de energía.

- 2.- fácil aplicación de los sistemas fotovoltaicos en lugares remotos ó de difícil acceso, como en el caso del Cerro Inairata, permite mayor libertad a la hora de diseñar un sistema de telecomunicaciones, con ventajas que redundan en mayor eficiencia.
3. Necesitándose un mínimo mantenimiento anual para el normal funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos y en concordancia con los equipos de telecomunicaciones, nos permite tener instalaciones casi desatendidas y por tanto de bajo costo de mantenimiento.
- 4.- El estudio económico-financiero del capítulo anterior demuestra las ventajas claras de los sistemas fotovoltaicos frente a energías convencionales, a niveles de potencia menores de 5 KWH/día y en paridad hasta los 25 KWH/día en comparación a los generadores diesel y potencias menores 30 KWH/día en comparación a energía eléctrica proveniente de una red comercial ubicada a no mas de 10 Km de distancia de los equipos de telecomunicaciones.
- 5.- La fuente de energía primaria de los sistemas fotovoltaicos es gratuita porque proviene del sol,

el que nos puede brindar su energía por incontables años, a diferencia de las energías convencionales que tienen un costo por su servicio ó son de origen fósil, cuya tendencia es a incrementarse rápidamente a mediano plazo.

6.- La facilidad de aplicación y la **libertad** de instalación con que se cuenta a la hora de diseñar un sistema de telecomunicaciones, nos permite integrar una mayor cantidad de pueblos con las grandes ciudades, viabilizando de esta manera el desarrollo integral del país.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones están dirigidas a mejorar las futuras instalaciones de generadores fotovoltaicos, incrementar su eficiencia, prevenir problemas futuros y dar a la instalación fotovoltaica una mayor confiabilidad y continuidad de servicio.

- 1.- Para iniciar un diseño de instalaciones fotovoltaicas se debe obtener los datos de insolación, clima, radiación solar, de una fuente apropiada, asimismo usar la información de una manera adecuada a fin de obtener resultados satisfactorios.
2. La selección de equipos, tarjetas y componentes debe ser adecuada a las exigencias del medio ambiente donde van a operar, de las condiciones que imponga la carga y de la climatología del lugar.
3. Para las tareas de mantenimiento, los equipos deben ser los adecuados a fin de simplificar la labor en igual o mejor condición que si se tratara de equipos convencionales.
- 4.- Los operadores, instaladores y personal de reparación deben entender perfectamente el sistema

fotovoltaico y de telecomunicaciones para lo cual deben haber tenido un entrenamiento a todo nivel.

- 5.- Un adecuado stock de repuestos es **importante** para la operación confiable por largo tiempo de las instalaciones fotovoltaicas.
- 6.- Es importante contar con un sistema de tierra adecuado, donde la resistencia de tierra sea 5 Ohms ó menos; También se debe prevenir caída de rayos sobre la Antena, evitar el corte del servicio ante estas descargas **por deterioro** de los equipos y otros daños; Un pararrayos de preferencia ionizante, ubicado en la parte mas alta se justifica plenamente.
- 7.- En condiciones similares de infraestructura, los sistemas fotovoltaicos, han demostrado ser más confiables que las alternativas convencionales, debido a sus requerimientos mínimos en operación, mantenimiento y reparación.
- 8.- En la elección de equipos de fabricantes diversos hay que tener en cuenta además de la calidad de ellos, los que ofrezcan para su control, operación y mantenimiento un mínimo de instrumentación y controles simples.

9. Es recomendable contar con un sistema de **energía** de emergencia, completo y portátil, que comprenda **motor-generador**, rectificador-cargador de 12V de 55 Amperios mínimo.

- 10.- Se recomienda hacer mediciones de los sistemas de tierra anualmente y **mejorarlos de ser necesario**.

BIBLIOGRAFIA

1. SR TELECOM
"SR100 OUTSTATION REPEATER"

September 1987
2. SR TELECOM
"POWER JUNCTION PACK (PJP) FOR SR100 OUTSTATION
REPEATER"

January 1988
3. PARA - RAYOS
"MANUAL GENERAL DE FARARRAYOS INTEGRADOS THOR"

Octubre 1990
5. ARCO SOLAR
"MODULE INSTALLATION TECHNIQUES AND PRACTICAL
CONSIDERATIONS"
6. GNB BATTERIES (CANADA) INC.
"STATIONARY BATTERY INSTALLATION AND OPERATING
INSTRUCTIONS"
7. NIPPON ELECTRIC CO LTD.
TOKYO, JAPAN
"INSTRUCTION MANUAL FOR STORAGE BATTERY"
8. NIPPON ELECTRIC CO LTD.
TOKYO, JAPAN
"INSTRUCTION MANUAL FOR BATTERY CHARGER"
9. AHCJET
"I SEMINARIO HISPANOAMERICANO SOBRE ENERGIAS NO
CONVENCIONALES APLICADAS A LAS TELECOMUNICACIONES"

TEGUCIGALPA, 22-26 DE ABRIL DE 1985.
10. CER - INI
"ELECTRIFICACION RURAL CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS"

11. SOLAR FORCE
"REGULADORES SOLARES LSS - LSH"

12. SR TELECOM INC.
"SISTEMA DE CELDAS SOLARES PARA REPETIDORES Y ESTACIONES PERIFERICAS DE SR100"