

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



“APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA
ELECTRIFICACIÓN RURAL EN ZONAS MARGINALES DEL
PAÍS”

TESIS

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

DELFOR FLAVIO MUÑOZ ANTICONA

PROMOCION 1988-II

LIMA - PERÚ

2005

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	1
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	3
1.1 Generalidades	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Alcances	5
CAPÍTULO 2: ELECTRIFICACIÓN RURAL A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL	6
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO ELÉCTRICO RURAL	7
2.2 TECNOLOGÍAS DE LA ELECTRIFICACIÓN RURAL	8
2.2.1 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	8
2.2.2 Centrales Térmicas	9
2.2.3 Sistemas Solares Fotovoltaicos	10
2.2.4 Aerogeneradores	11
2.3 SELECCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR COMO ALTERNATIVA	13
2.3.1 Criterios de selección	13
2.4 COEFICIENTE DE ELECTRIFICACIÓN	17
2.4.1 Metas	18
2.5 LEYES Y NORMAS REFERIDOS A LA ELECTRIFICACIÓN RURAL	19
2.5.1 La Ley de Electrificación Rural	19
2.5.2 Ley de Bases de la Descentralización	20
2.5.3 Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales	20
2.5.4 Sistema Nacional de Inversión Pública	21
2.5.5 Planes de Paz y Desarrollo	22

2.5.6 Normas del Sector Eléctrico	23
2.6 PLAN NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL (PNER)	26
2.7 PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PRIVADA EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL	28
CAPÍTULO 3: USO DE LOS PANELES SOLARES EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL	30
3.1 ENERGÍA FOTOVOLTAICA	30
3.1.1 Principio de funcionamiento	31
3.1.2 Aplicaciones	33
3.2 CONVENIENCIA DE USAR LA ENERGÍA SOLAR EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL	34
3.3 VIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	35
3.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	35
3.5 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
3.5.1 Subsistema de Captación Energética	38
3.5.1.1 Factores que afectan a los Sistemas Fotovoltaicos	41
3.5.2 Subsistema de Acumulación	43
3.5.2.1 Parámetros característicos de los Acumuladores	44
3.5.2.2 Tipos de Baterías o Acumuladores	45
3.5.3 Subsistema de Regulación	47
3.5.4 Subsistema de Adaptación de Corriente	49
3.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS INSTALACIONES	51
3.7 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	53
3.7.1 Operación	53

3.7.2	Mantenimiento	54
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ		57
4.1	RADIACIÓN SOLAR	57
4.2	EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ	58
4.3	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR	59
4.3.1	Pirheliómetros	60
4.3.2	Piranómetros	61
4.3.3	Actinógrafo	63
4.3.4	Heliógrafo	64
4.3.5	Instrumental de temperaturas extremas	65
4.4	RED DE MEDICIÓN E INFORMACIÓN UTILIZADA	67
4.5	ESTIMACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ	69
4.5.1	Modelo Ångström-Prescott	69
4.5.2	Modelo Bristow-Campbell	70
4.5.3	Modelo de Interpolación	71
4.6	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ.....	71
4.6.1	Distribución Anual	72
4.6.2	Distribución Estacional	72
4.6.3	Mapas de Energía Solar	74
CAPÍTULO 5: DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS		75
5.1	MÉTODOS DE DIMENSIONADO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO	75
5.1.1	MÉTODO SIMPLIFICADO DE DIMENSIONADO	75
5.1.1.1	Panel Fotovoltaico	77
5.1.1.2	Acumulador	78

5.1.1.3	Regulador de Carga	79
5.1.1.4	Equipos del Sistema	79
5.1.2	Aplicación del Mapa de Radiación Solar	80
5.2	EJEMPLO DE CÁLCULO	82
5.3	MATERIALES Y COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	86
5.3.1	Sistema Fotovoltaico Domiciliario	86
5.3.2	Sistema Fotovoltaico para Radiocomunicación	87
CAPÍTULO 6: INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES EN LA		
 PROVINCIA DE PURUS-UCAYALI		88
6.1	ASPECTOS GENERALES	88
6.1.1	Antecedentes	88
6.1.2	Objetivo	89
6.1.3	Demanda actual de Proyectos con Sistemas Fotovoltaicos en el departamento de Ucayali	90
6.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	91
6.2.1	Ubicación Geográfica	91
6.2.2	Energía Solar incidente en la zona	93
6.3	ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	94
6.3.1	Análisis de la Demanda	94
6.3.2	Análisis de la Oferta	98
6.4	PARAMETROS DE DISEÑO	102
6.5	SISTEMAS A SUMINISTRAR	103
6.5.1	Sistemas para Iluminación Domiciliaria	103
6.5.2	Sistemas para Radiocomunicaciones	108

6.5.3	Sistemas para Módulos Productivos	113
6.6	INSTALACIÓN	119
6.6.1	Instalación de los Paneles Solares	119
6.6.2	Instalación del Sistema de Regulación	120
6.6.4	Instalación de la Batería	120
6.6.5	Conexiones	121
6.7	PUESTA EN MARCHA	122
6.8	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	123
	CAPÍTULO 7: IMPACTO AMBIENTAL	124
7.1	IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	124
7.2	CARACTERISTICAS DEL AMBIENTE FISICO, BIOLÓGICO Y SOCIO ECONOMICO DE LAS COMUNIDADES DE PURUS	127
7.3	IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO	127
7.3.1	Consideraciones para el Proyecto	128
	CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN ECONÓMICA	130
8.1	PRESUPUESTO	130
8.1.1	Costos Unitarios: Sistemas Domiciliarios	131
8.1.2	Costos Unitarios: Sistema de Radiofonía	132
8.1.3	Costos Unitarios: Módulo Productivo.....	133
8.1.4	Costos de instalación, transporte y flete	134
8.1.5	Resumen del Presupuesto	134
8.2	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	135
8.2.1	Costos en la situación sin Proyecto	135
8.2.2	Costos en la situación con Proyecto	135
8.2.3	Beneficios en la situación sin Proyecto	137

8.2.4 Beneficios en la situación con Proyecto	137
8.3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD	138
8.3.1 Disponibilidad de Recursos	138
8.3.2 Gestión y organización	138
8.3.3 Participación Comunitaria	139
8.3.4 Capacitación Técnica	139
8.3.5 Impacto Ambiental	139
CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	144
PLANOS	
APÉNDICE	

PRÓLOGO

El desarrollo de la presente tesis consta de ocho capítulos los cuales se describen a continuación en forma breve.

En el Capítulo 1, se presenta la introducción de la tesis, donde se señala además el objetivo y alcances de la misma.

En el Capítulo 2, se muestran las características y tecnologías de la electrificación rural así como las leyes, normas y planes del estado referidos al desarrollo y aplicación de la electrificación en zonas rurales de nuestro país.

En el Capítulo 3, se definen el principio de funcionamiento, las aplicaciones, las características y los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos así como la operación y mantenimiento de estos sistemas.

En el Capítulo 4, se desarrolla la evaluación de la energía solar en el Perú y se detalla los instrumentos y red de medición de la irradiación solar que permiten la estimación de esta energía, la cual está plasmada en el Atlas de Energía Solar del Perú.

En el Capítulo 5, se describe el dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos indicando además los materiales utilizados en la instalación de estos sistemas.

El Capítulo 6, consiste en la elaboración de un proyecto piloto para la electrificación de 16 comunidades nativas en la provincia de Purus, Región de Ucayali.

En el Capítulo 7, se muestra el impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica así como las características ambientales del entorno implicado y el impacto ambiental del proyecto.

En el Capítulo 8, se presenta el presupuesto, los análisis costo beneficio y de sostenibilidad del proyecto de electrificación de las comunidades de Purus.

La parte final comprende las conclusiones y recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El impacto que produce la posibilidad de utilizar la energía solar en forma controlada y para nuestros propios fines ha permitido el desarrollo de sistemas completos de transformación, almacenamiento y distribución de esta energía según nos convenga.

La producción de electricidad a partir de la radiación solar mediante paneles fotovoltaicos es una aplicación que aún no se difunde en su totalidad.

El abastecimiento de energía eléctrica se torna indispensable para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y para la modernización de la economía. En países con las características territoriales y demográficas del Perú el acceso al sistema eléctrico interconectado nacional, no es económicamente factible en el mediano plazo para las comunidades rurales del país. Por ello la atención de la demanda energética de sus comunidades, tiene que abordarse considerando la instalación de sistemas energéticos independientes

La alternativa para brindar suministro de energía eléctrica a dichas poblaciones, sin emitir gases de efecto invernadero, es mediante sistemas fotovoltaicos. Su naturaleza

modular facilita la integración de sistemas, desde los muy pequeños, de unos cuantos watts de potencia para iluminación de las modestas habitaciones de los campesinos, hasta los de varias decenas de kilowatts destinados al abastecimiento eléctrico en procesos productivos como el bombeo de agua, la molienda de granos y la preservación de productos perecederos. El costo de estos sistemas es aún elevado y la falta de información orientada a las localidades rurales, contribuye negativamente a evitar que las experiencias favorables puedan reproducirse masivamente, con el aporte de la actividad privada. Hay pues, en consecuencia, un espacio apropiado para la acción subsidiaria del Estado.

La situación de aquellas comunidades que no cuentan con una infraestructura eléctrica básica, necesaria para el desarrollo económico, social y cultural, ha conllevado a que el gobierno planifique estrategias y de esta manera pueda lograr incrementar el coeficiente de electrificación nacional de 76,0% a 91,0% para fines del 2013, realizando diferentes proyectos que tiendan a alcanzar dicho objetivo, dando la mayor importancia el hecho de que las características del sistema diseñado permiten su replicación en un gran número de pequeñas comunidades.

1.2 OBJETIVO

Dar a conocer la conveniencia y viabilidad del uso de la energía solar mediante los sistemas fotovoltaicos para solucionar la falta de energía eléctrica de las comunidades rurales que se encuentran apartadas del sistema interconectado nacional, con el propósito fundamental de promover la elaboración de proyectos

destinados a atender las necesidades eléctricas básicas de los poblados marginales, con el uso de los sistemas solares fotovoltaicos.

1.3 ALCANCES

La presente Tesis está orientada al desarrollo de proyectos de electrificación rural aplicando la energía solar mediante el uso de sistemas fotovoltaicos. Para esto se consideran métodos técnicos y análisis económicos necesarios para poder llevar a cabo proyectos de esta índole y de esta manera promover el desarrollo energético de las zonas rurales carentes de este beneficio.

CAPÍTULO 2

ELECTRIFICACIÓN RURAL A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

La electrificación rural se presenta como un proceso en el cual se busca abastecer de energía a las distintas localidades del país que no cuentan con un suministro apropiado, ya que éstas deben satisfacer sus necesidades de abastecimiento con el uso de fuentes de energía más precarias e ineficientes.

Actualmente en el Perú, el 25% de la población total carece de servicio eléctrico. En este contexto el Ministerio de Energía y Minas (MEM), a través de su Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP/MEM), asume el compromiso de ampliar la frontera eléctrica a nivel nacional, permitiendo el acceso de esta energía a los pueblos del interior del país, como un medio para facilitar su desarrollo económico sostenible, mitigando la pobreza y mejorar su calidad de vida a través de la implementación de proyectos de electrificación rural de gran impacto social y económico sobre la población, con tecnologías que minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente como la utilización de energías renovables.

La electrificación rural posee una importancia pocas veces valorada en su totalidad, tanto en el corto, mediano y largo plazo. Su importancia se entiende mejor al conocer los beneficios que ésta trae a los sectores rurales.

- Integración de los sectores rurales al desarrollo económico nacional.
- Frenar la migración rural-urbana que se ha estado produciendo.
- Aumentar las posibilidades de generación de ingresos al tener medios de producción más tecnificados sobre la base de la energía eléctrica.
- Mejorar nivel socio cultural de sus habitantes.

Debido a la particularidad de cada caso, y de las diferentes situaciones dentro del país, la programación de obras previstas de ejecutar deben tener en cuenta la coordinación de prioridades regionales con las nacionales, las modificaciones de índole presupuestal así como la obtención de nuevas fuentes de financiamiento interno y/o externo.

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO ELÉCTRICO RURAL

La lejanía, el aislamiento, la dispersión y la poca accesibilidad son características de las localidades que conforman las zonas rurales y de frontera en el Perú. Este mercado objetivo es de bajo poder adquisitivo, con una demanda eléctrica reducida y con cargas dispersas que impiden las economías de escala. Esta situación motiva que los proyectos de electrificación no sean muy atractivos a la inversión privada por su baja rentabilidad, en términos de inversión y costos de operación y mantenimiento.

Por eso el Estado tiene una participación activa en la electrificación rural dada su alta rentabilidad social.

Gracias al esfuerzo conjunto del gobierno, empresas privadas y de los propios usuarios es posible el abastecimiento de electricidad de zonas rurales.

2.2 TECNOLOGÍAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

2.2.1 PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Permiten aprovechar el potencial energético de pequeños cursos de agua, que haciéndola caer, desde una altura adecuada, la energía potencial de la misma se transforme en energía cinética. Esta energía moverá los álabes (paletas curvas) de una turbina hidráulica, cuyo eje está conectado al rotor de un generador, el cual se encarga de transformarla en energía eléctrica.

La generación hidráulica en pequeña escala es una alternativa interesante de generación eléctrica, pero con la dificultad que se requiere una considerable inversión inicial e instalar estos equipos en zonas de entre 8 a 15 metros de caída potencial del recurso hidráulico, por lo tanto en zonas de escasa elevación y a falta de un mercado de potencial consumo no resulta muy interesante la instalación de este tipo de tecnología como en las zonas de frontera y selva baja.



MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN BALVÍN 2 x 140 Kw.

San Balvín - Junín

2.2.2 CENTRALES TÉRMICAS

La instalación de grupos electrógenos en localidades ubicadas en zonas aisladas, es una alternativa de solución de rápida ejecución y de carácter temporal hasta su integración, en los casos que sean factibles, a los sistemas eléctricos en expansión, posibilitando la reubicación de estos grupos en otras localidades con características similares.

Así mismo cuando este tipo de tecnología se aplica en zonas alejadas y de frontera, su operación y puesta en servicio resulta no muy sostenible, esto debido a que dichos equipos requieren de mantenimiento adecuado, repuestos y suministro constante de combustible difíciles de acceder por la lejanía de las localidades a electrificar en la Región.



GRUPO DE 100 Kw. (Casma – Ancash)

2.2.3 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Actualmente se viene utilizando energías renovables no convencionales como la energía solar, a través de los paneles solares como una alternativa de suministro de energía a localidades rurales y/o comunidades nativas muy aisladas, con bajos consumos de energía, donde no es posible llegar con los sistemas convencionales, para atender las necesidades básicas de energía eléctrica de estas localidades, priorizando las zonas de frontera y la Amazonía.

La Energía Solar Fotovoltaica está basada en el efecto fotoeléctrico, que se produce al incidir la radiación solar sobre unos materiales semiconductores generando un flujo de electrones en el interior del material (paneles solares) obteniéndose una tensión, que mediante la colocación de contactos metálicos puede “extraerse” la energía eléctrica.

Estos sistemas se caracterizan por un grado de autonomía respecto al clima, lugar geográfico y otras condiciones que pocas fuentes energéticas pueden alcanzar. Son

ideales para lugares remotos y alejados de las fuentes generadoras de energía eléctrica, por su versatilidad, pueden ser utilizados en prácticamente cualquier equipo que funcione con electricidad.



SISTEMA FOTOVOLTAICO 55W – (San Francisco-Ucayali)

2.2.4 AEROGENERADORES

Otra alternativa de electrificación rural con fuentes de energías renovables que se puede impulsar, es la utilización de la energía eólica a través de la instalación de pequeños aerogeneradores, para atender a localidades ubicadas en las zonas rurales y donde las condiciones ambientales permitan la utilización de estos equipos.

Las máquinas para la producción de electricidad a partir del viento aprovechan la energía cinética que la masa de aire lleva consigo para el movimiento de aspas, que a su vez mueven un generador.

Una buena parte de la labor investigadora del aprovechamiento de esta energía es la confección de los mapas eólicos, ya que el potencial energético presenta grandes irregularidades según distintas zonas geográficas. Esos mapas son imprescindibles para conocer las zonas más idóneas para la ubicación de centrales eólicas. A estos efectos, se viene gestionando la cooperación técnica internacional para la elaboración del Mapa Eólico del Perú, en coordinación con el SENAMHI.

La generación eólica de electricidad se ofrece como una alternativa de enorme valor solo en aquellos lugares donde se dispone del recurso viento, toda vez que aun no se cuenta en la actualidad con un estudio definitivo del comportamiento estándar del mismo en el territorio nacional.

Hoy en día esa energía limpia, renovable y de gran potencial eléctrico que constituye el viento, ha aumentado el interés de sus posibilidades para la producción de energía eléctrica gracias a los avances de la tecnología aplicada a las turbinas de viento.



GENERADOR EÓLICO DE MALABRIGO 250 Kw.

Paijan - La Libertad

2.3 SELECCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR COMO ALTERNATIVA

Se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución inmediata a los problemas de electrificación rural en zonas aisladas y de frontera, con población dispersa y baja demanda de energía y que no cuentan con la posibilidad de acceder a los sistemas de electrificación convencionales. La aplicación de esta alternativa se basa en criterios principales tales como el de priorización, análisis de sostenibilidad y un escenario probable con el cual se desea cumplir las metas propuestas en el Plan Nacional de Electrificación Rural.

2.3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los proyectos a ejecutarse dentro del PNER (Plan Nacional de Electrificación Rural) son sujetos de una adecuada evaluación a fin de garantizar su rentabilidad social y su sostenibilidad durante el tiempo de vida útil del sistema empleado.

Los factores que determinan la viabilidad y aplicación de los sistemas fotovoltaicos en la electrificación rural del país son los siguientes:

A. FACTORES TÉCNICOS

INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

La Infraestructura eléctrica existente o futura, de líneas de transmisión, subestaciones de potencia y/o de plantas de generación, posibilitan en mayor o menor grado la formulación y ejecución de proyectos de electrificación rural.

Así mismo al no existir proyección de este tipo de instalaciones, se diseñará una alternativa de solución adecuada a usar en cada zona.

COEFICIENTE DE ELECTRIFICACIÓN

Este criterio califica el nivel de pobreza eléctrica de la(s) provincia(s) en el que se ubican las localidades a electrificar, dándosele una mayor prioridad a aquellos proyectos que cuenten con menor coeficiente de electrificación a nivel provincial.

B. FACTORES ECONÓMICOS

VALOR ACTUAL NETO SOCIAL (VANS)

Se da prioridad a los proyectos que tengan un gran impacto social, toda vez que los proyectos del PER (Programa de Electrificación Rural), en términos económicos tienen niveles de rentabilidad negativos o muy bajos.

Para esto se ha optado por calificar la rentabilidad social, determinándose el Valor Actual Neto Social (VANS) del proyecto.

INVERSIÓN PER-CÁPITA

Es la relación de la inversión total requerida por el proyecto y el número de habitantes a ser beneficiados; toda vez que se desea la optimización de costos en inversión, operación y mantenimiento para la formulación del proyecto.

Desde el punto de vista de Costos de Inversión, los sistemas solares fotoeléctricos presentan varias características especiales para solucionar el tema de la Electrificación Rural:

- La inversión por unidad de consumo es competitiva frente a otras alternativas tecnológicas.
- Los montos de inversión por unidad pueden ser asumidos por la población o exigen menor esfuerzo del Estado en materia de subsidios, por lo que es posible difundir esta alternativa tecnológica en el Sector Rural y Zonas Aisladas.
- La magnitud de la inversión es similar a la de un equipo térmico con la diferencia de tener un costo de operación y mantenimiento bajo.
- Permite hacer una mejor optimización entre consumo e inversión, problema que se presenta en las expansiones de servicios con Líneas de Transmisión.
- El esquema de inversión es simple y directo, lo que permite tener esquemas de adquisición con mayor transparencia.

Desde el punto de vista de los Costos de Operación y Mantenimiento:

- Por sus características de operación necesita menor dedicación que los sistemas térmicos y por lo tanto tiene menores costos operativos, por la mayor dedicación que necesita la central térmica (personal continuo especialista o conocedor de la operación de este tipo de centrales).
- Respecto a una Central Térmica tiene menores costos de operación y mantenimiento. La Central Térmica utiliza Combustible y Aceites en su

Operación y necesita de un mayor mantenimiento para mantenerlo operativo y en buen funcionamiento.

Los Costos de la Inversión Rural deberían ser analizados independientemente de la forma de repago de las mismas, porque para todas las alternativas, la posibilidad de pago de la población respecto al consumo está dada. Queda por lo tanto la tarea de optimizar la inversión rural y es aquí que los Sistemas Solares Fotovoltaicos tienen una ventaja potencial.

C. FACTORES SOCIALES Y GEOGRÁFICOS

ÍNDICE DE POBREZA

Para cuantificar este factor, se ha utilizado el Mapa de Pobreza Nacional elaborado por el Ministerio de la Presidencia, en el que se califica el nivel de pobreza de cada distrito con un valor numérico. Este mapa se encuentra en el **Apéndice A**.

De acuerdo a esto se da mayor prioridad a los proyectos conformados por localidades ubicadas en los distritos que tengan mayor índice de pobreza, como en caso de los caseríos y comunidades nativas.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Se otorga mayor prioridad a los proyectos ubicados en zonas de frontera (generalmente selva y sierra) y en las zonas rurales del país, donde no se podrá contar con la ampliación de las líneas eléctricas en un corto a mediano plazo.

2.4 COEFICIENTE DE ELECTRIFICACIÓN

En el Perú el 24% de la población nacional carece de acceso al servicio eléctrico; esto significa que alrededor de 6,5 millones de peruanos permanecen al margen del desarrollo y la modernidad. En el sector rural la situación es más grave pues solamente un 32% posee suministro eléctrico. Por otra parte, existen 89 provincias con coeficientes de electrificación por debajo del 50%. En el siguiente cuadro se detalla el coeficiente de electrificación por departamentos.

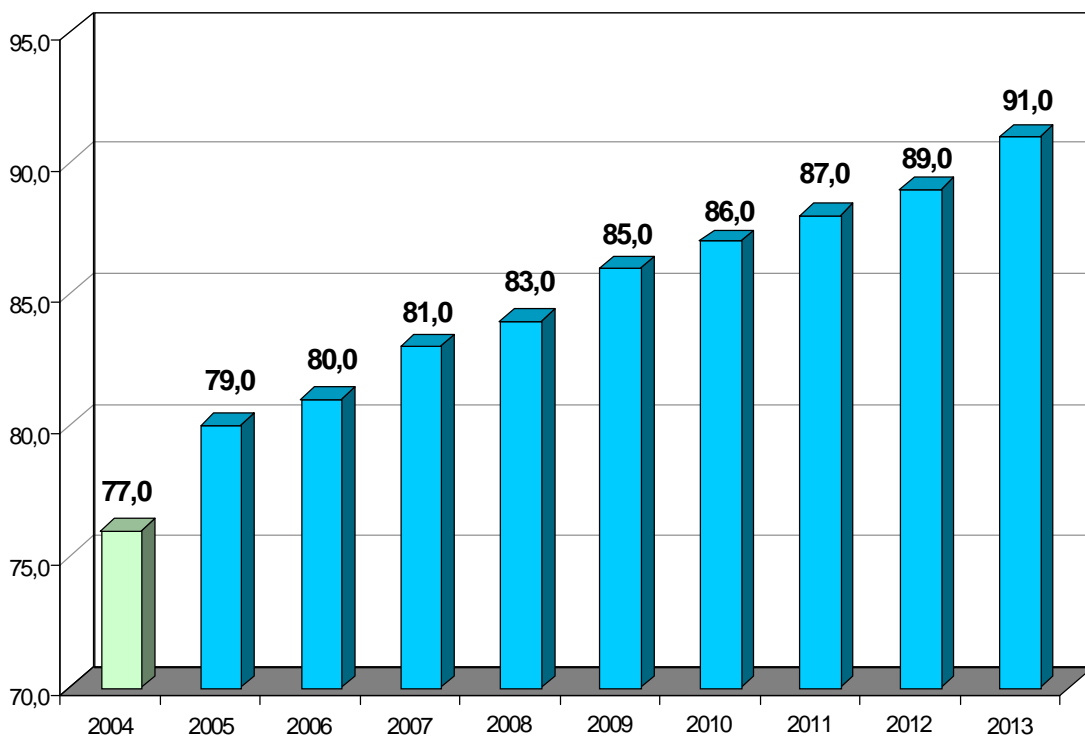
COEFICIENTE DE ELECTRIFICACIÓN DEPARTAMENTAL
AL AÑO 2003

DEPARTAMENTO	C.E. (%)
AMAZONAS	54,5%
ANCASH	63,3%
APURIMAC	65,5%
AREQUIPA	95,3%
AYACUCHO	68,7%
CAJAMARCA	35,2%
CUSCO	67,5%
HUANCAVELICA	66,0%
HUANUCO	36,9%
ICA	88,2%
JUNIN	84,4%
LA LIBERTAD	73,6%
LAMBAYEQUE	86,4%
LIMA	99,2%
LORETO	48,3%
MADRE DE DIOS	62,4%
MOQUEGUA	86,7%
PASCO	60,7%
PIURA	61,6%
PUNO	49,5%
SAN MARTIN	50,2%
TACNA	97,6%
TUMBES	85,9%
UCAYALI	63,0%
C.E.NACIONAL	76,0%

2.4.1 METAS

Para alcanzar las metas planteadas al año 2013, se ha efectuado el proceso de planeamiento, que a la fecha ha permitido identificar 335 proyectos, entre líneas de transmisión (17), pequeños sistemas eléctricos (261) y pequeñas centrales hidroeléctricas (57) y además los Proyectos de Grupos Electrógenos, de Módulos Fotovoltaicos y de Aerogeneradores, los cuales se deberán ejecutar en el periodo 2004 – 2013, cuya implementación permitirá beneficiar a 4,3 millones de habitantes, logrando alcanzar un coeficiente de electrificación nacional del 91% al final del periodo.

PROYECCIÓN DEL COEFICIENTE DE ELECTRIFICACIÓN NACIONAL
2004-2013



2.5 LEYES Y NORMAS REFERIDOS A LA ELECTRIFICACIÓN RURAL

2.5.1 LA LEY DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

La Ley N° 27744, Ley de Electrificación Rural y de Zonas Aisladas y de Frontera promulgada el 31 de Mayo del 2002 constituye el marco general que contiene la política de electrificación rural del Estado. Sin embargo, las disposiciones emanadas de la Ley de Bases de la Descentralización y la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, promulgadas el 17 Julio del 2002 y 08 de noviembre del 2002, respectivamente, han generado conflictos con la Ley de Electrificación Rural y de Zonas Aisladas y de Frontera en lo referente a los alcances de las funciones de la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas (DEP/MEM). Con la finalidad de revertir esta situación, el Ejecutivo viene promoviendo la aprobación de la Ley de Promoción a la Inversión Privada en Electrificación Rural, la cual permitirá promover la inversión privada en las diversas áreas de la electrificación, y que complementa y actualiza la Ley N° 27744.

Asimismo, la Comisión permanente del Congreso de la República aprobó el texto para la promulgación de la “Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables no Convencionales en Zonas Rurales, Aisladas y de Frontera del País”, que tiene por objeto promover el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación rural con el objeto de contribuir al desarrollo integral de las zonas rurales, aisladas y de frontera del país.

2.5.2 LEY DE BASES DE LA DESCENTRALIZACIÓN

La Ley N° 27783, Ley de Bases de la Descentralización, promulgada el 17 de Julio del 2002, tiene como finalidad el desarrollo integral, armónico y sostenible del país, mediante la separación de competencias y funciones, y el equilibrado ejercicio del poder por los tres niveles de gobierno : Nacional, Regional y Local. El proceso de Descentralización se ejecutará en forma progresiva y ordenada. En materia de electrificación rural, el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección Ejecutiva de Proyectos viene desarrollando un Plan de Capacitación y Asistencia Técnica a los Gobiernos Regionales, en temas de planeamiento, estudios, licitaciones, administración de contratos de obra y liquidaciones de contratos y proyectos de electrificación rural.

2.5.3 LEY ORGÁNICA DE LOS GOBIERNOS REGIONALES

La Ley N° 27867, Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales, promulgada el 16 de Noviembre del 2002, establece y norma la estructura, organización, competencias y funciones de los gobiernos regionales, definiendo la organización democrática, descentralizada y desconcentrada del Gobierno Regional conforme a la Constitución y a la Ley de Bases de la Descentralización. Dentro de esta norma se establece como competencia compartida, es decir que intervienen dos o más niveles de gobierno, la promoción, gestión y regulación de actividades correspondiente al sector energía, estableciéndose además como una de sus funciones el de conducir, ejecutar,

supervisar y cooperar en programas de electrificación rural regionales en el marco del Plan Nacional de Electrificación Rural.

2.5.4 SISTEMA NACIONAL DE INVERSIÓN PÚBLICA

La Ley N° 27293, promulgada el 27 de Junio del 2000, crea el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), estableciendo el marco general que deben cumplir todos los proyectos de inversión del sector público a fin de optimizar el uso de los Recursos Públicos destinados a la inversión. El SNIP establece los principios, procesos, metodologías y normas técnicas relacionados con las diversas fases de los proyectos de inversión.

El SNIP se rige por los principios de economía, priorización y eficiencia durante las fases del Proyecto de Inversión Pública. Asimismo, reconoce la importancia del mantenimiento oportuno de la inversión ejecutada.

Dos puntos a favor del SNIP son, en primer lugar, que obliga a todos los demás sectores del Estado a estandarizar sus criterios y, en segundo lugar, la forma en que evalúa los proyectos de inversión. De esta manera, el Ministerio de Economía y Finanzas se encarga de centralizar todos los proyectos y evaluar su viabilidad económica y su priorización dentro de la cartera de proyectos del Estado. Para estos efectos, el Sistema propicia la aplicación del Ciclo del Proyecto de Inversión Pública que comprende tres fases:

- i) De Preinversión (perfil, prefactibilidad, factibilidad),
- ii) De Inversión (expediente técnico y ejecución) y

iii) De Postinversión (evaluación ex post), común a todos los proyectos que presentan las distintas dependencias del Estado.

Lo que permite que el proyecto acceda a la Fase de Inversión es la declaración de su viabilidad, la cual es otorgada por la Dirección General de Programación Multianual (DGPM) del MEF; sin embargo, esta facultad ha sido delegada a las Oficinas de Programación e Inversiones (OPI) de los Sectores (Ministerios), Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, de acuerdo a su costo total y/o cumplimiento de, entre otros requisitos, los siguientes:

- La OPI del sector Energía y Minas otorga la viabilidad si el costo total del proyecto de inversión en Energía es igual o menor a S/. 8 000 000.
- Las OPI de un Gobierno Regional otorga la viabilidad si el costo total del proyecto de inversión en Energía es igual o menor a S/. 6 000 000.
- La OPI de un Gobierno Local otorga la viabilidad cuando el proyecto de inversión haya sido formulado por una Unidad Formuladora del propio Gobierno Local y cuando las fuentes de financiamiento sean distintas a las denominadas operaciones oficiales de crédito externo o su financiamiento no requiera el aval o garantía del Estado, siempre con observancia de lo dispuesto en las demás directivas del Sistema.

2.5.5 PLANES DE PAZ Y DESARROLLO

Mediante Decreto Supremo N° 092-2003-PCM, del 21 de noviembre del 2003, se aprobó el Plan de Paz y Desarrollo 2003-2006 para los departamentos de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica, y de las provincias de Satipo en el departamento de Junín

y de La Convención en el departamento de Cusco, como un instrumento de promoción, fomento y orientación del desarrollo integral y sostenible. En cuanto a Electrificación Rural, el Plan tiene como objetivo rehabilitar y aumentar la infraestructura eléctrica, proyectando un coeficiente de electrificación en la zona de 48% a fines del año 2006.

Asimismo, el Gobierno mediante Decreto Supremo N° 001-2004-PCM, del 07 de enero del 2004, dispuso la formulación del Plan de Paz y Desarrollo para los departamentos de San Martín, Huánuco, Pasco y Junín, y la provincia de Padre Abad del departamento de Ucayali, igualmente como un instrumento de gestión que permita articular y compatibilizar las acciones de los gobiernos central, regionales y locales. Este plan denominado Plan de Paz y Desarrollo II se encuentra en revisión por los diferentes sectores, previo a su aprobación. Similarmente al primer plan, en Electrificación Rural, se tiene como objetivo rehabilitar y aumentar la infraestructura eléctrica, proyectando un coeficiente de electrificación en la zona de 69,9% a fines del año 2007.

2.5.6 NORMAS DEL SECTOR ELÉCTRICO

• Ley de Concesiones Eléctricas

Ley marco que norma las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, creada mediante Decreto Ley N° 25844, cuya aplicación se circunscribe al ámbito de las áreas de concesión de las empresas concesionarias. Sin embargo, existe un vacío en esta Ley en la medida que

no legisla el desarrollo de la electrificación rural en zonas ubicadas fuera del ámbito de las concesionarias.

- **Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos**

A través de este dispositivo legal se norma la calidad de la prestación del servicio eléctrico, fijando estándares mínimos sobre la calidad del producto, calidad del suministro, calidad del servicio comercial y la calidad del alumbrado público. Esta norma sólo es aplicable a los sistemas eléctricos que administran las empresas concesionarias de electricidad y a los clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, no existiendo una norma específica sobre la operación de los sistemas eléctricos ejecutados fuera del ámbito de estas concesionarias. La Ley de Electrificación Rural y de Zonas Aisladas y de Frontera establece que la electrificación rural deberá contar con normas específicas de diseño y construcción adecuadas a las zonas rurales, así como normas técnicas de calidad de los servicios eléctricos rurales.

- **Código Nacional de Electricidad**

El Código Nacional de Electricidad (CNE), da las pautas y exigencias que deben tomarse en cuenta durante el diseño, instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, de telecomunicaciones y equipos asociados, salvaguardando los derechos y la seguridad de las personas y de la propiedad pública y privada. Sin embargo, el CNE tiene vacíos en lo que respecta al diseño de los sistemas eléctricos para las zonas rurales y aisladas, fuera de las áreas de concesión de las empresas distribuidoras, por lo que la DEP/MEM ha desarrollado normas técnicas de diseño y

ejecución de estas obras, rescatando lo aplicable del CNE y de las Normas Internacionales como la IEEE, ANSI, IEC y otras, que garantizan el cumplimiento, en gran medida, de un buen diseño y por ende de la calidad de los servicios eléctricos.

- **Normatividad Técnica de Diseño y Construcción para la elaboración de los estudios de un proyecto de electrificación rural**

El 31 de Diciembre del 2003 se aprobaron las Normas Técnicas de Electrificación Rural, a través de Resoluciones Directorales emitidas por la Dirección General de Electricidad. Estas normas tienen por objeto establecer los criterios de diseño para los proyectos de electrificación rural sobre la base de las prescripciones de normas nacionales y del extranjero. Asimismo, estandarizar las características técnicas de los materiales y equipos para facilitar la elaboración de los estudios y la compra masiva de suministros y equipos; y la de definir las configuraciones típicas de estructuras en los que se plasman los criterios de seguridad eléctrica, coordinación de aislamiento, criterios mecánicos, puestas a tierra y materiales normalizados.

2.6 PLAN NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL (PNER)

La DEP/MEM tiene como responsabilidad la formulación y actualización anual del Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) que constituye una herramienta fundamental de gestión que sirve como insumo básico para el logro de los objetivos de la política de electrificación de la Nación. El objetivo del PNER es ampliar la frontera eléctrica desarrollándola en forma articulada entre el Gobierno Nacional y los Gobiernos Regionales y Locales, utilizando tecnologías adecuadas que minimicen costos de inversión, proporcionando un medio para acelerar el desarrollo socio-económico y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las localidades aisladas y rurales del país.

El PNER no es sólo un listado de proyectos sino que contiene una priorización, valuación y organicidad que responde a criterios técnicos de evaluación de proyectos sociales. Este Plan Nacional de Electrificación Rural no es una lista cerrada de proyectos ni tampoco implica que la priorización resultante sea inamovible. Por el contrario, una de las características que tiene el PNER es su flexibilidad, lo cual le permite sufrir modificaciones en el orden de prioridad e introducir nuevos proyectos, de acuerdo a las posibilidades de auto-financiamiento o co-financiamiento que la propia comunidad posea. El PNER ha sido elaborado en estrecha coordinación con los Gobiernos Regionales, a fin de compatibilizar su contenido con los respectivos Planes de Desarrollo Regional. La ejecución de este conjunto de proyectos considerados en el PNER, beneficiará a 4,3 millones de habitantes, logrando alcanzar un coeficiente de electrificación del 91% hacia el año 2013.

Objetivos específicos

- Desarrollo integral y coordinado de los planes de electrificación rural entre el Gobierno Nacional y los Gobiernos Regionales y Locales.
- Mantener la presencia promotora y redistributiva del Estado en el segmento del mercado eléctrico menos desarrollado.
- Incrementar el coeficiente de electrificación nacional, principalmente de aquellas provincias ubicadas en las zonas de la sierra y de la selva del país, donde los índices de cobertura eléctrica son más bajos.
- Estimular y propiciar la inversión privada en proyectos de electrificación rural, de manera que Estado y sector privado asuman roles complementarios.
- Enmarcar la electrificación rural dentro de un Plan de Desarrollo Rural Integral, orientando la electrificación a potenciar el desarrollo de la zona.
- Promover la preservación del medio ambiente de los impactos negativos que generan o puedan generar los proyectos eléctricos.
- Promover el uso productivo y el ahorro de la energía eléctrica, en los centros poblados rurales y aislados del país, que cuentan con servicio eléctrico.
- Utilizar tecnologías apropiadas y de mínimo costo en el diseño de proyectos, orientados no solo a la extensión de las redes eléctricas, sino también a la utilización intensiva de nuevas fuentes de energía renovables, para la implementación de proyectos de electrificación rural.
- Lograr el apoyo y la participación financiera de las instituciones públicas y privadas del país y del extranjero.

2.7 PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PRIVADA EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL

El mayor problema para la implementación del Plan Nacional de la Electrificación Rural (PNER) ha sido tradicionalmente la escasez y falta de regularidad de los recursos presupuestales asignados por parte del Ministerio de Economía y Finanzas.

Para lograr dichos niveles de inversión que harán posible que el Perú cumpla con los niveles de electrificación establecidos, es necesaria la participación conjunta del Sector Estatal y el Sector Privado. La participación del Sector Privado se debe ver desde un punto de vista pragmático; es imposible que el Sector Estatal pueda proveer de recursos económicos y financieros para toda la inversión necesaria. La participación del Sector Privado puede ayudar al Estado a proveer de recursos, de manera eficiente y que pueda llevar a ampliar el horizonte de inversión.

La propuesta es un Modelo de Participación de la Inversión privada en proyectos de Electrificación rural, cuyo objetivo es crear un mercado de inversionistas privados interesados en invertir y obtener una concesión de un Sistema Eléctrico Rural (SER), a través de un subsidio del Estado, otorgándola a quien solicite el menor monto.

Las características serían:

- Eficiencia en las inversiones
- Proyectos subastados concordados con los Gobiernos Regionales y Locales
- Sostenibilidad del Sistema Eléctrico Rural
- Estabilidad Jurídica
- Sistema Tarifario adecuado
- Propiedad final del Sistema Eléctrico Rural

Los principales impactos que se obtendrán son:

- Participación activa de inversionistas privados, nacionales o extranjeros, y regionales o locales en el desarrollo eléctrico de las regiones.
- Ahorro del estado entre el 10 y 20% de la inversión.
- Posibilidades de generación de empleo y desarrollo sostenible en cada región.

CAPÍTULO 3

USO DE LOS PANELES SOLARES EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL

3.1 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Es la energía eléctrica obtenida de la transformación de la energía solar mediante las células solares, que forman parte esencial de los sistemas fotovoltaicos que posibilitan el uso de esta energía eléctrica en distintas aplicaciones.

Frente a las energías convencionales, la energía solar fotovoltaica presenta la característica de ser una fuente ilimitada de energía, por tratarse de energía renovable. Se caracteriza además por su carácter "ubicuo", pudiendo ser aprovechada en cualquier parte de la superficie del planeta (aunque, obviamente, no con la misma intensidad en todos los lugares ni en todo momento).

Actualmente los sistemas fotovoltaicos se perfilan como la solución adecuada al problema de la electrificación rural, cuyo abastecimiento no resulta fácil, siendo más barata que la extensión de una línea eléctrica u otra fuente alternativa. Pero además del factor económico, debemos tener en cuenta otros, como el bajo impacto ambiental, la disponibilidad inagotable de la energía solar, etc., que hacen que una

instalación solar autónoma represente una gran ventaja frente a otras formas de producción de electricidad.

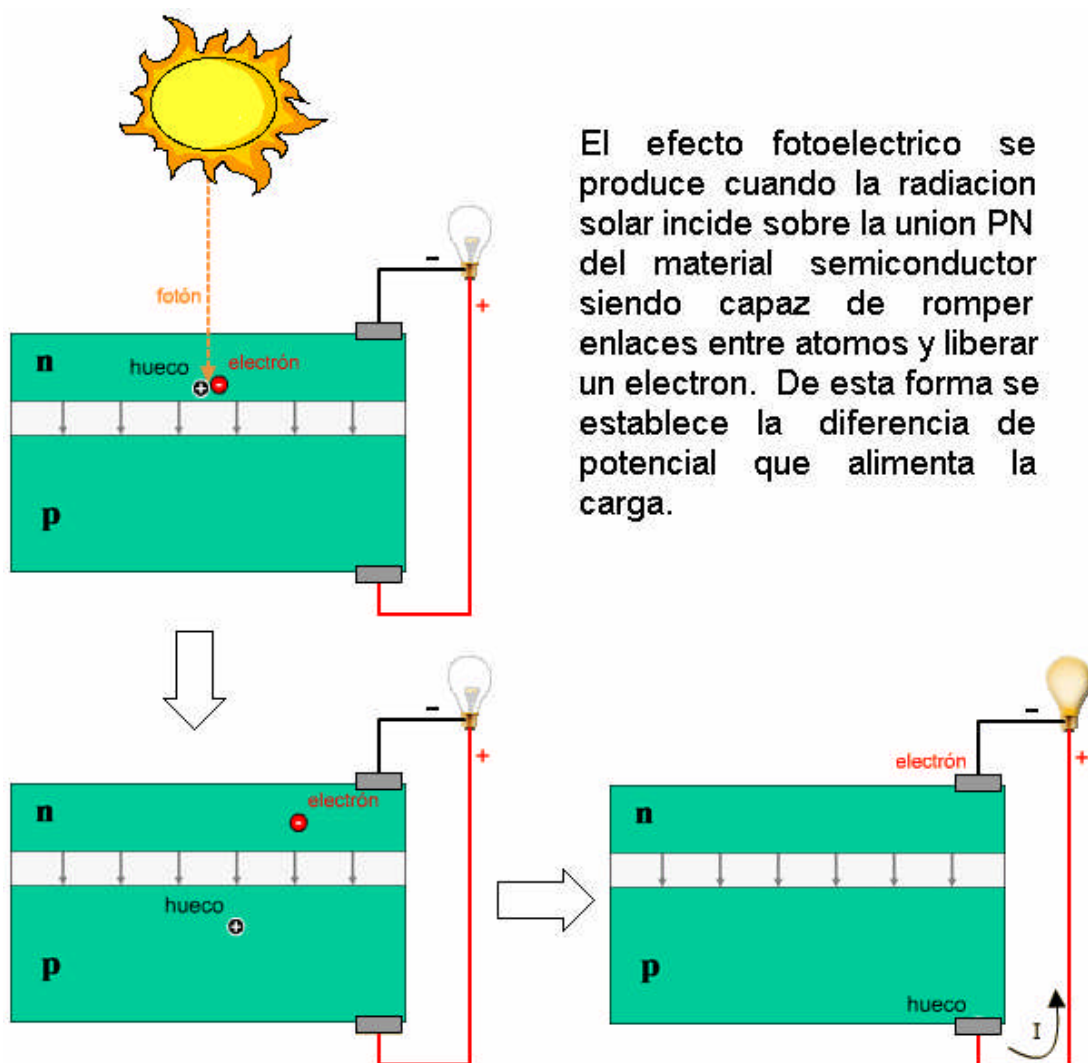
3.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica están basadas en el aprovechamiento del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la radiación solar sobre las celdas fotovoltaicas formadas por materiales semiconductores. Los fotones que integran la radiación solar incidente chocan con los electrones de valencia de los materiales semiconductores, de manera que estos electrones rompen su enlace que anteriormente los tenía ligado a un átomo. Por cada enlace que se rompe queda un electrón y un hueco (falta de electrón en un enlace roto) cuyo movimiento en sentidos opuestos (conseguido con la aplicación de un campo eléctrico) genera una corriente eléctrica en el semiconductor la cual puede circular por un circuito externo. El campo eléctrico necesario al que hacíamos referencia anteriormente, se consigue con la unión de dos semiconductores a los que artificialmente se han dotado de concentraciones diferentes de electrones (mediante la adición de las sustancias dopantes, como pueden ser el fósforo, que le da una característica negativa y el boro, que le da una característica positiva). Se forma de esta manera un semiconductor tipo P (exceso de huecos) y otro tipo N (exceso de electrones), que al unirlos crea el campo eléctrico.

De esta forma, cuando sobre la célula solar fotovoltaica incide la radiación solar, aparece en ella una tensión que mediante la colocación de contactos metálicos en

cada una de las caras puede “extraerse” la energía eléctrica, que es utilizada en distintas aplicaciones.

ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

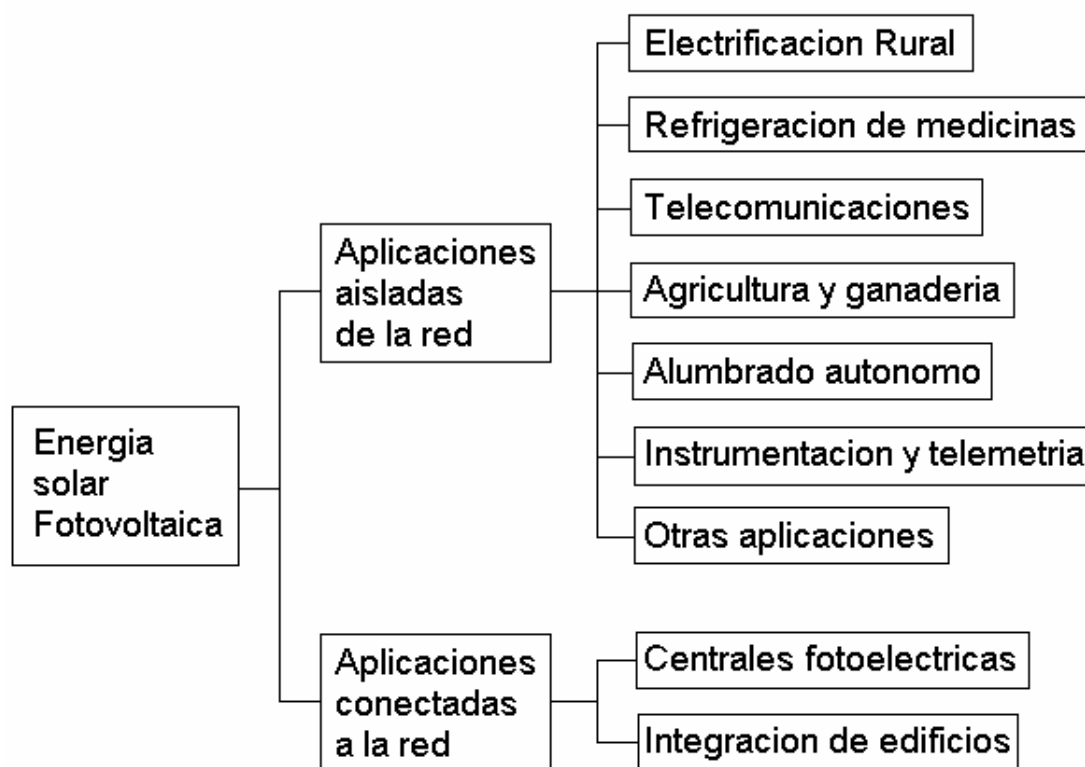


El efecto fotoeléctrico se produce cuando la radiación solar incide sobre la unión PN del material semiconductor siendo capaz de romper enlaces entre átomos y liberar un electrón. De esta forma se establece la diferencia de potencial que alimenta la carga.

3.1.2 APLICACIONES

La energía solar fotovoltaica se usa para la generación eléctrica en el lugar de la demanda, cubriendo pequeños consumos y en lugares aislados en los que no puede acceder la red de distribución eléctrica.

Las principales aplicaciones de este tipo de tecnología se muestran en el siguiente esquema.



Existen muchas zonas rurales y viviendas aisladas en el país donde llevar energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos resulta de vital importancia para el desarrollo socio-económico de estas poblaciones.

3.2 CONVENIENCIA DE USAR LA ENERGÍA SOLAR EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL

Cabe resaltar que el 68% de la población rural peruana no posee suministro eléctrico, por tanto se considera proponer el suministro de energía eléctrica mediante el uso de sistemas fotovoltaicos como una alternativa viable, dada la convergencia de los siguientes indicadores:

- Los consumos medios diarios estimados indican que el sistema a instalar está en la categoría de baja potencia, cuestión que conviene a los fines de decidir positivamente por una solución solar como el uso de la energía fotovoltaica.
- La factibilidad de una posible interconexión con la red de distribución de electricidad o el uso de otra fuente de generación eléctrica, ha quedado descartada debido a la fuerte inversión de capital y de una no muy considerable demanda de energía.
- Conviene hacer notar el profundo impacto social que provoca en las familias beneficiadas el uso del sistema solar fotovoltaico, ya que el hecho de contar con un servicio indispensable que permita disfrutar los beneficios de la sociedad actual, incrementa tanto la calidad de vida como el desarrollo económico, meta de toda sociedad que promueva el bienestar de los ciudadanos que la integran.

3.3 VIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Una instalación solar autónoma de generación de electricidad, resulta necesaria si al lugar en que se precisa no llega la red general de distribución. En el caso que nos ocupa esta característica se encuentra presente, por lo tanto hay que valorar si la acometida de un nuevo tendido de conexión con la red general o la instalación de grupos electrógenos prevalecen sobre la solución solar.

Teniendo en cuenta los costos actuales del tendido de nuevas líneas, puede establecerse de forma aproximada una correspondencia entre la distancia máxima a la red general y el consumo anual máximo previsto para que la propuesta solar resulte rentable.

3.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

- Utilizan una fuente de energía renovable (la radiación solar), que es inagotable a escala humana.
- Son livianos y pequeños. Sus dimensiones son muy reducidas y se pueden instalar fácilmente sobre el tejado de las viviendas, entre otros lugares.
- Ausencia de partes móviles, por lo que apenas requieren mantenimiento.
- Tienen una vida útil más larga que los grupos electrógenos.
- Inversión inicial elevada.

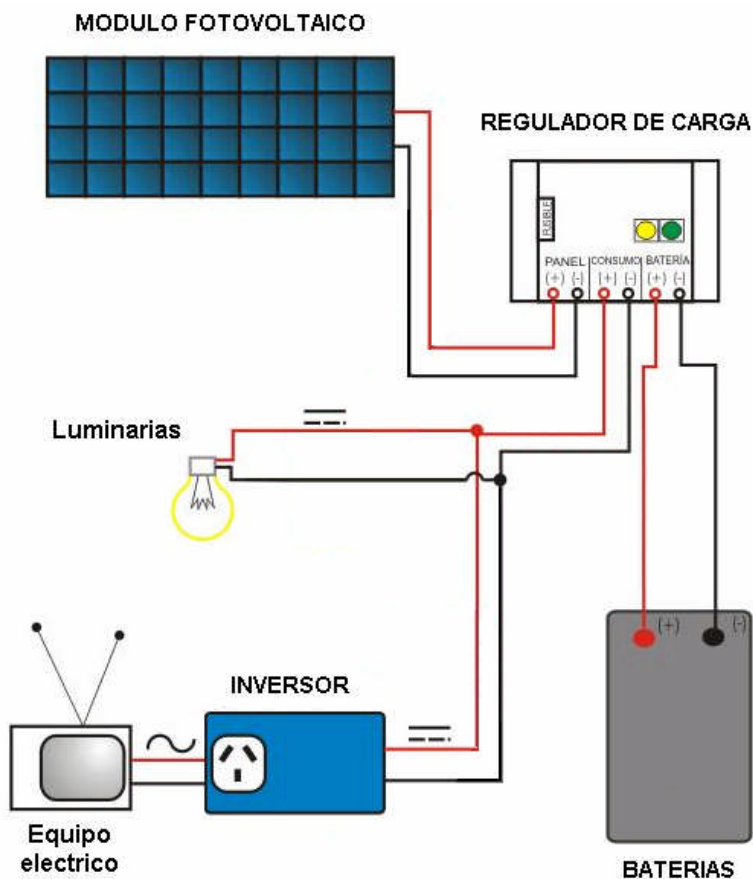
- Resistentes a las condiciones climatológicas más adversas: Lluvia, nieve, viento, etc.
- No requieren consumo de combustible
- Durante su uso, no producen desechos, residuos, olores, ruidos o vapores, que contaminen el medio ambiente.
- Produce un pequeño, pero considerado impacto medioambiental en la etapa de su producción.
- Rendimiento de la transformación energética es bajo.
- La electricidad que se obtiene es en forma de corriente continua y generalmente a bajo voltaje, con lo que se evitan los accidentes tan peligrosos que ocurren actualmente con las líneas eléctricas.
- No necesitan radiación solar directa (funcionan también en días nublados).
- La electricidad se produce en el mismo lugar donde se consume, eliminando la necesidad de instalar tendidos eléctricos y transformadores, que suponen no sólo un importante coste económico sino también un impacto sobre el paisaje.

3.5 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para que el sistema fotovoltaico funcione correctamente y tenga una elevada fiabilidad de suministro y durabilidad, debe estar conformado por:

- Subsistema de captación- transforma la radiación solar en electricidad.
- Subsistema de almacenamiento- almacena la energía.
- Subsistema de regulación- regula la entrada de energía procedente del campo de captación.
- Subsistema de adaptación de corriente- adecua las características de la energía a las demandas por aplicaciones.

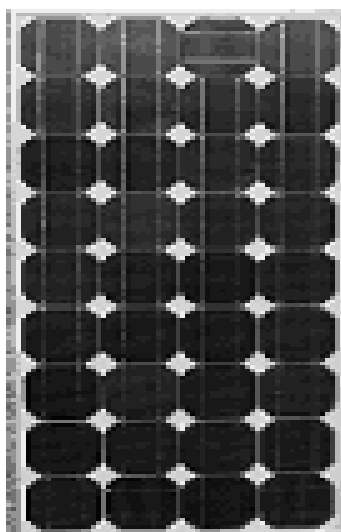
ESQUEMA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO



3.5.1 SUBSISTEMA DE CAPTACIÓN ENERGÉTICA

Está constituido por paneles solares fotovoltaicos que producen energía eléctrica debido a que captan la radiación luminosa procedente del sol a través de las celdas de silicio y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V). Este proceso funciona también cuando hay nubes livianas, pero con menos rendimiento.

Un panel solar está constituido por varias células solares iguales conectadas eléctricamente entre sí en serie o en paralelo de forma que la tensión y la corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie para alcanzar el nivel de corriente deseado.

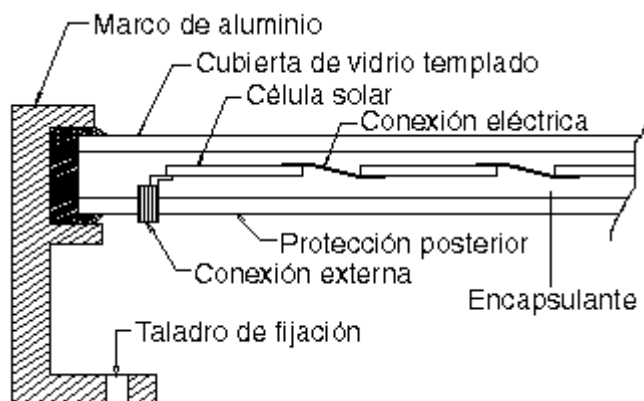


PANEL SOLAR 55 W

A parte de las células que convierten la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica, un panel solar cuenta con otros elementos que hacen posible la adecuada protección del conjunto, asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica. Estos elementos son:

- **Cubierta exterior de vidrio** que debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia, alta transmisividad y bajo contenido en hierro.
- **Encapsulante**, de silicona o más frecuentemente EVA (etilen-vinil-acetato). Es especialmente importante que tenga un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente.
- **Protección posterior** que igualmente debe dar una gran protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características.
- **Marco metálico de aluminio**, que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel.
- **Cableado y bornas de conexión**, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.
- **Diodo de protección** contra sobre cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel.

CORTE TRANSVERSAL DE UN PANEL FOTOVOLTAICO.



Los paneles solares están conformados internamente por celdas enseriadas fabricadas en Silicio, entre los cuales destacan:

Silicio Monocristalino

Estas celdas están formadas por un sólo tipo de cristal que se obtienen a partir de barras cilíndricas de silicio monocristalino producidas en hornos especiales. Las celdas se obtienen por cortado de las barras en forma de obleas cuadradas delgadas (0,4-0,5 mm de espesor) y son bastante caras.

Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es superior al 12%.

Silicio Policristalino

Estas celdas se obtienen a partir de bloques de silicio puro en moldes especiales. En los moldes, el silicio se enfría lentamente, solidificándose. En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal, formándose una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio monocristalino.

Silicio Amorfo

Estas celdas se obtienen mediante la deposición de capas muy delgadas de silicio sobre superficies de vidrio o metal. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%. Son por consiguiente, los más baratos y menos duraderas. Son las utilizadas en calculadoras y aparatos por el estilo ya que la energía que proporcionan es muy baja.

3.5.1.1 FACTORES QUE AFECTAN A LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

El funcionamiento del módulo fotovoltaico se ve afectado por los siguientes factores:

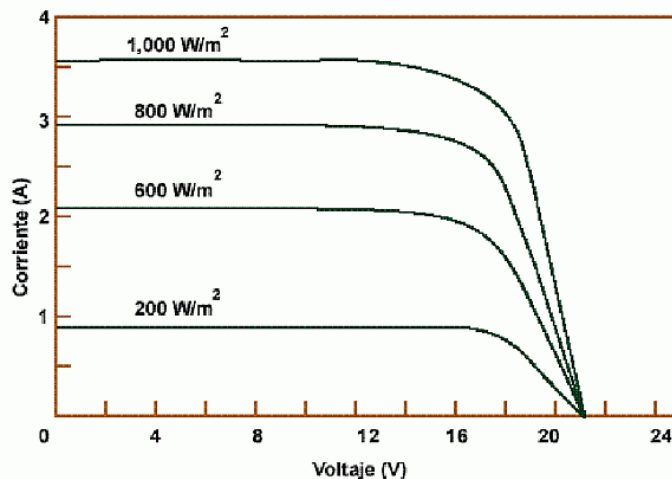
INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN

La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje. Es importante conocer este efecto, ya que los valores de la radiación cambian a lo largo de todo el día, en función del ángulo del sol con el horizonte, por lo que es importante la adecuada colocación de los paneles.

Un mediodía a pleno sol equivale a una radiación de 1000 W/m^2 . Cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los 100 W/m^2 .

La Figura 3.1 muestra el comportamiento de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de la radiación solar. Se presenta un aumento proporcional de la corriente producida con el aumento de la intensidad. También se debe observar que el voltaje a circuito abierto V_{ca} , no cambia lo cual demuestra su estabilidad frente a los cambios de iluminación.

Figura 3.1 (Temperatura Constante de 25 °C)



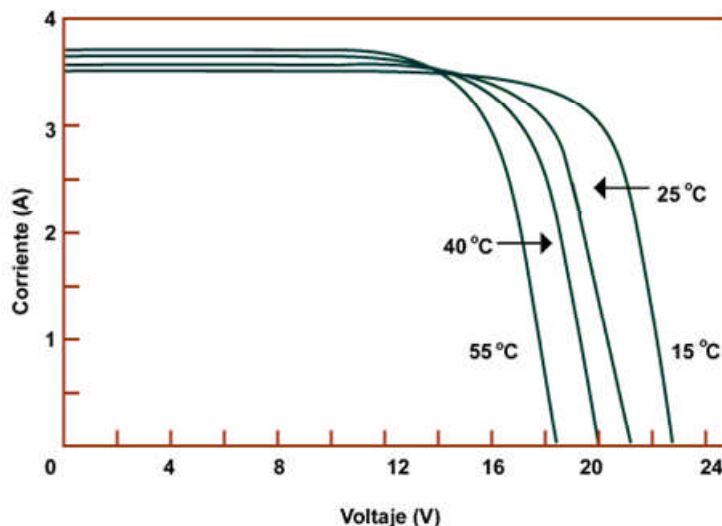
TEMPERATURA DE LAS CÉLULAS SOLARES

La exposición al sol de las células provoca su calentamiento, lo que conlleva cambios en la producción de electricidad. Una radiación de 1000 W/m² es capaz de calentar una célula unos 30°C por encima de la temperatura del aire circundante, a medida que aumenta la temperatura, la tensión generada es menor, por lo que es recomendable montar los paneles de tal manera que estén bien aireados.

Este factor condiciona enormemente el diseño de los sistemas de captación de energía, ya que las temperaturas que se alcanzan son muy elevadas, por lo que las células deben estar diseñadas para trabajar en ese rango de temperatura o bien contar con sistemas adecuados para la disipación de calor.

La Figura 3.2 muestra el efecto que produce la temperatura sobre la producción de corriente en el módulo. Este efecto se manifiesta en el voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25°C.

Figura 3.2. (Irradiancia Constante $1,000\text{W}/\text{m}^2$)



3.5.2 SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN

En las instalaciones fotovoltaicas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que le corresponde.

Las baterías deben ser del mismo tipo, capacidad y misma fecha de fabricación.

3.5.2.1 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS ACUMULADORES

Son fundamentalmente dos: la capacidad en Amperios hora y la profundidad de la descarga.

CAPACIDAD EN AMPERIOS HORA.

Los Amperios-hora de una batería son simplemente el número de Amperios que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente.

Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuanto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Esta medida de los días de autonomía es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.

Teóricamente, por ejemplo, una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, ó 50 A durante 4 horas, ó 4 A durante 50 horas, ó 1 A durante 200 horas.

Las baterías de automoción no son las más adecuadas para los sistemas fotovoltaicos, ya que no están diseñadas para largos períodos de tiempo de baja descarga.

PROFUNDIDAD DE DESCARGA

La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga.

Las baterías de *ciclo poco profundo* se diseñan para descargas del 10 al 25% de su capacidad total en cada ciclo. La mayoría de las baterías de *ciclo profundo* fabricadas para aplicaciones fotovoltaicas se diseñan para descargas de hasta un 80% de su capacidad. La profundidad de la descarga, no obstante, afecta incluso a las baterías

de ciclo profundo. Cuanto mayor es la descarga, menor es el número de ciclos de carga que la batería puede tener.

3.5.2.2 TIPOS DE BATERÍAS O ACUMULADORES

Existen muchos tipos de baterías, algunos de los cuales son:

- Plomo ácido (Pb-ácido)
- Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-Zinc (Ni-Zn)
- Zn-Cloro (Zn-Cl₂)

Los tipos de baterías que se usan comúnmente en los sistemas fotovoltaicos independientes pertenecen a la familia de baterías de plomo-ácido. Estas baterías se pueden obtener con electrolito líquido o cautivo. Son recargables, fáciles de mantener, relativamente económicas, y obtenibles en una variedad de tamaños y opciones. Debido a que el plomo es un metal blando, frecuentemente se agregan otros elementos, como antimonio o calcio, para reforzar las placas y cambiar las características de la batería.

La batería de plomo-antimonio que se usa más a menudo en sistemas fotovoltaicos independientes, es la de tipo abierto, porque requiere un alto consumo de agua destilada. Este tipo de baterías se deterioran menos con la sucesión de ciclos, presentan mejores propiedades para niveles de baja carga, soportan grandes descargas y siempre tienen, atendiendo a las condiciones de uso, una vida media de diez o quince años.

Las baterías de plomo-calcio se pueden usar cuando no se anticipan descargas profundas. Tienen un mantenimiento más limitado y su costo inicial es menor, pero tienen una vida útil más corta que la de las baterías de plomo-antimonio.

Ya se pueden adquirir comercialmente baterías de níquel-cadmio diseñadas específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. Las ventajas de las baterías de níquel-cadmio incluyen una larga vida, bajos requisitos de mantenimiento, durabilidad y capacidad de soportar condiciones extremas. Sin embargo, su costo inicial es mucho más alto que el de las baterías de plomo-ácido.

Todas estas baterías pueden presentarse en forma estanca, conocidas como libres de mantenimiento o sin mantenimiento, lo que es beneficioso para algunas aplicaciones. No obstante, presentan una duración muy limitada frente a los acumuladores abiertos. No existen en el mercado acumuladores estancos de alta capacidad y son más caros que los abiertos.

El resto de baterías no presenta en la actualidad características que hagan recomendable su empleo en sistemas de electrificación fotovoltaica.



BATERIAS DE PLOMO-ACIDO

3.5.3 SUBSISTEMA DE REGULACIÓN

Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación, en la unión de los paneles solares con la batería ha de instalarse un sistema de regulación de carga. El regulador de carga tiene como función proteger los acumuladores contra la sobrecarga y sobredescarga. En caso de sobrecarga, pone las placas en cortocircuito y corta la corriente hacia los acumuladores, o avisa al consumidor con una alarma, en el segundo caso, el de descarga excesiva, o avisa con la alarma o corta el suministro cuando la cantidad de energía eléctrica del acumulador se pone por debajo de un nivel de seguridad.

Un buen sistema regulador debe asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.

En el mercado existentes diversos tipos de reguladores, con prestaciones muy distintas. En general, la mayoría de los reguladores están provistos de diferentes sistemas de medida (voltímetros, contadores) y de alarmas luminosas o sonoras para prevención de sobre cargas o descargas excesivas, incorporando además otras funciones para conocer en todo momento el estado de la instalación. Los reguladores están diseñados para interrumpir el servicio de la instalación cuando así sea necesario, contándose con rearme automático (el propio regulador reanuda el suministro una vez solucionado el problema que originó la parada), o rearme manual. En ciertos casos (por ejemplo, cuando la desconexión se produce por descarga excesiva de las baterías), ciertos reguladores no permiten el rearme hasta que se alcance de nuevo el nivel mínimo de funcionamiento.

La complejidad o el grado de sofisticación de los reguladores aumentan a medida que aumenta el tamaño global de la instalación, existiendo una relación también entre las prestaciones del aparato y su precio final.

El regulador debe colocarse en un lugar fácilmente accesible de forma que resulte cómodo utilizar los elementos de control del estado de la instalación que normalmente acompañan a este elemento.



CONTROLADOR 12/21 VDC



**CONTROLADOR ELECTROMECAÁNICO INSTALADO
EN SAN FRANCISCO, UCAYALI**

3.5.4 SUBSISTEMA DE ADAPTACIÓN DE CORRIENTE

Está constituido por los convertidores e inversores, elementos cuya finalidad es adaptar las características de la corriente generada a la demanda total o parcial de las aplicaciones.

Muchas de las instalaciones fotovoltaicas autónomas combinan consumos de corriente continua y corriente alterna. En algunos casos la tensión de los elementos de consumo de corriente continua no coincide con la tensión proporcionada por el acumulador de la instalación, lo que requiere disponer de un convertidor de tensión continua.

En otras aplicaciones, la utilización incluye elementos que trabajan en corriente alterna. Para esto el inversor transforma la corriente continua, (12,24V) procedente de baterías o de la célula fotovoltaica en corriente alterna (220 V a 60 hz.) que es la corriente que utilizan la mayoría de aparatos eléctricos.

Un inversor viene caracterizado principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar a la del generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia.

Otros aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores son:

- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticas cuando no se esté empleando ningún equipo de corriente alterna
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima.

Se recomienda instalar inversores diseñados específicamente para aplicaciones fotovoltaicas.

Existen en el mercado tipos muy diferentes de inversores y convertidores, con grados de complejidad y prestaciones muy variables. Según el tipo de cargas que vaya a alimentar, es posible contar con inversores muy simples, de onda cuadrada o si así se requiere, inversores de señal senoidal, más o menos sofisticados.



INVERSOR DC/AC – 12/230 V



- 1. Inversor/cargador CC/CA
TRACE DR1524E**
- 2. Regulador MORNINGSTAR
PS 30 M.**
- 3. Convertidor CC/CC 24/12V.**

3.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS INSTALACIONES

- La fijación de los módulos a los soportes sólo podrá realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable.
- El montaje de las estructuras de soporte deberá preservar su resistencia a la fatiga, corrosión y efectos del viento.
- Los módulos con su soporte deberán estar montados sobre los postes de forma tal que el módulo fotovoltaico esté libre de sombras durante ocho horas al día a lo largo de todo el año.
- Las baterías deberán ser instaladas completamente cargadas y su capacidad inicial, puesta en operación, no deberá diferir en más del 5% del valor nominal.
- La batería deberá ser instalada en un espacio bien ventilado y con acceso restringido.
- Se emplearán los siguientes conductores:
 - Entre módulo y regulador: 6 mm² tipo RHW, RHW-2 o similares
 - Entre regulador y batería: 6 mm² tipo THW
 - Entre regulador a caja de conexiones: 6 mm² tipo THW
 - Entre caja de conexiones y cargas: 2,5 mm² tipo THW
 - Del módulo a tierra: 16 mm² tipo THW
 - De regulador a tierra: Según especificación del fabricante del regulador.
- Los extremos de los cables de sección igual o mayor de 4 mm² deberán estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de

sección menor o igual a 2,5 mm² podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada.

- Deberá proveerse un cartel plastificado, con espacio suficiente para indicar la fecha de instalación, así como instrucciones al usuario para actividades de operación y mantenimiento, y penalidades en caso de manipuleo indebido de componentes del Sistema Fotovoltaico.
- Se efectuará una puesta a tierra desde el negativo o positivo (dependiendo del tipo de controlador) de la batería, empleando cable de 16 mm², con una varilla de cobre de ½”x1.90 m enterrada bajo tierra.
- Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos.
- En las cajas de paso tanto para el circuito de luz y tomacorrientes los empalmes deberán ser realizados con elementos mecánicos de ajuste o presión.
- El fusible deberá instalarse en la línea de polaridad positiva, así mismo la polaridad de los conductores deberá ser de fácil identificación.
- La instalación incluirá dos salidas desde el tablero de distribución, una para el circuito de luminarias y otra para el circuito de tomacorrientes.
- El ángulo de inclinación óptima del panel solar será igual al valor de la latitud que presenta la localidad a instalar dichos sistemas. Así mismo se debe considerar que para recibir la mayor radiación posible en los meses más desfavorables, se aumentará el ángulo de inclinación en la estructura de soporte del panel entre 5 y 15 grados más que los grados de la latitud pertenecientes a la zona del proyecto.

3.7 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

3.7.1 OPERACIÓN

OPERACIÓN DIURNA

Durante el día el módulo fotovoltaico genera energía eléctrica, la cual es conducida hacia el acumulador y éste a su vez alimenta las cargas (lámparas). El controlador maneja toda la operación. Mediante sus leds indicadores muestra el voltaje de la batería, panel conectado, y disponibilidad de carga.

OPERACIÓN NOCTURNA

Durante la noche el controlador detecta que no existe generación del módulo fotovoltaico y abre el circuito Panel-Batería, con esto se elimina un posible regreso de energía. Normalmente durante la noche el controlador monitorea el voltaje de la batería, tomando la acción que se requiera.

CORTE POR ALTO VOLTAJE

El controlador tiene preestablecido un voltaje de máxima carga en la batería, cuando el voltaje llega al máximo, el controlador censa y desconecta el circuito Panel-Batería. Después de un tiempo el voltaje de la batería tiende a disminuir; cuando este voltaje es igual al de conexión de recarga el controlador vuelve a cerrar el circuito Panel-Batería.

Este proceso suele repetirse varias veces durante días soleados. En este estado siempre existe disponibilidad de energía para las aplicaciones.

CORTE POR BAJO VOLTAJE

Normalmente ocurre cuando se presentan varios días nublados continuos. Las aplicaciones siguen activas, el módulo fotovoltaico no es capaz de generar energía suficiente, y el voltaje de la batería tiende a disminuir; cuando éste llega al voltaje mínimo preestablecidos en el controlador, se abre el circuito Batería-Carga, desactivando todos los aparatos que en ese momento se encuentran conectados.

Con esto se evitan daños irreversibles a la batería. Cuando se vuelve a tener un día soleado el voltaje en la batería se recupera hasta llegar al voltaje de reconexión de carga, en este estado nuevamente se cuenta con energía disponible para las aplicaciones.

3.7.2 MANTENIMIENTO

Las instalaciones fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, que se reduce a las siguientes operaciones:

PANELES SOLARES

Requieren un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración: no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector.

Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año: asegurarse de que las conexiones entre paneles y al regulador están bien ajustadas y libres de corrosión.

En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente se utiliza agua para su limpieza.

REGULADOR

La simplicidad del equipo de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas; las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador; comprobación del conexionado y cableado del equipo; observación de los valores instantáneos del voltímetro y amperímetro: dan un índice del comportamiento de la instalación.

ACUMULADOR O BATERÍA

Es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración.

Las operaciones usuales que deben realizarse son las siguientes:

- Comprobación del nivel del electrolito (cada 6 meses aproximadamente), debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de 'Máximo' y 'Mínimo'. Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada. No debe rellenarse nunca con ácido sulfúrico.

- Al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de los terminales de la batería; debe limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.
- Medida de la densidad del electrolito (si se dispone de un densímetro), con el acumulador totalmente cargado, debe ser de 1,240 +/- 0,01 a 20 grados Celsius. Las densidades deben ser similares en todos los vasos. Diferencias importantes en un elemento es señal de posible avería.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ

4.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar puede ser definida como la energía emitida por el sol, que se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Estas ondas conforman el llamado espectro electromagnético que está compuesto por rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio.

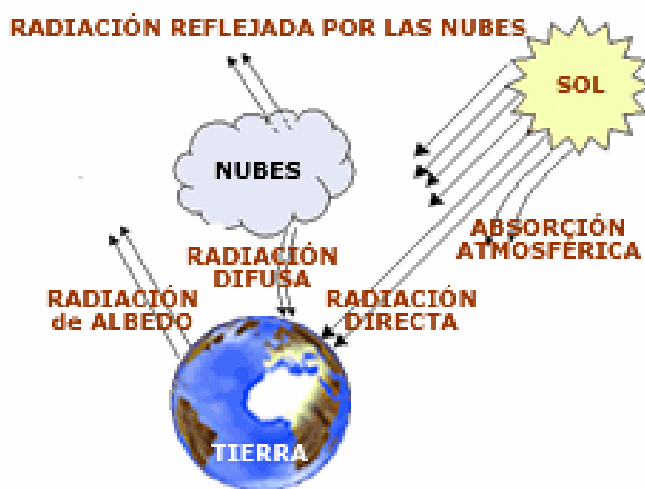
La radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera sufre, en su trayectoria hacia la tierra diferentes procesos de atenuación, y sobre la superficie terrestre se clasifica o tiene los siguientes componentes: radiación directa, radiación difusa, radiación global, radiación reflejada, entre otros.

La radiación solar incidente o global es aquella radiación procedente del sol que incide sobre la superficie terrestre (directa, difusa). La radiación directa es la que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección. Mientras que la radiación difusa proviene de otras direcciones (distintas a

las del disco solar) debido a la reflexión y dispersión que producen en la radiación solar la atmósfera y las nubes.

Las cantidades de radiación incidente se expresan generalmente en términos de irradiancia o irradiación. La irradiación no es sino la energía que en forma de radiación se integra o totaliza durante cierto tiempo en una superficie o zona. Sus unidades son J/m^2 o cal/cm^2 o $kW h/ m^2$. Mientras que irradiancia se define como la potencia de la radiación o energía instantánea que se emite o incide en cierta superficie o zona. Sus unidades son W/ m^2 .

ESQUEMA DE LA RADIACION SOLAR INCIDENTE



4.2 EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ

El planeamiento de la utilización de la energía solar es uno de los importantes usos de los datos de radiación y en la actualidad se ha incrementado el interés por conocer

la disponibilidad de este recurso a nivel nacional con el fin de que sirva de base para la aplicación de tecnologías que utilizan la energía solar como fuente de energía.

El planeamiento comprende la estimación del rendimiento futuro del equipo solar, lo cual comúnmente se conoce como evaluación del recurso. En su forma más simple, ello comprendería la estimación de la radiación global horizontal anual y mensual sobre una región particular y decidir, por ejemplo, si sobre esa base es viable el servicio de calentamiento de agua doméstica o un sistema fotovoltaico autónomo.

En tal sentido, el Atlas de Energía Solar del Perú, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas conjuntamente con el SENAMHI, representa una respuesta a la urgente necesidad por impulsar el uso masivo de la energía solar proporcionando la información necesaria sobre la disponibilidad así como de la distribución de este recurso en nuestro territorio.

4.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR

La radiación solar que llega a la superficie comprende el espectro visible con longitudes de onda entre 0,4 y 0,7 μm , una parte del ultravioleta entre 0,3 y 0,4 μm , y también el infrarrojo entre 0,7 y 5 μm . Esta irradiación solar llega al suelo en dos formas, como irradiación solar directa e irradiación solar difusa, y ambos tipos de irradiación constituyen la irradiación solar global.

Los componentes de la irradiación solar que están sujetos a mediciones para fines meteorológicos, y que son de uso más general, son los siguientes:

- Irradiación solar directa medida a incidencia normal,
- Irradiación solar global recibida sobre una superficie horizontal,
- Irradiación solar difusa,
- Irradiación solar (directa, global y difusa) medidas en porciones restringidas del espectro.

La clasificación de los instrumentos está basada en diferentes criterios. Algunos se ciñen a criterios de estandarización, otros lo asocian a su grado de calidad.

4.3.1 PIRHELIÓMETROS

Son instrumentos que miden la irradiación directa del sol en una superficie perpendicular al rayo solar. En estos instrumentos, el receptor se encuentra protegido de la irradiación indirecta y está usualmente ubicado en el fondo de un tubo, por ello las diferentes formas del receptor y del tubo derivan en diferentes tipos de pirheliómetros.

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los pirheliómetros pueden clasificarse en “patrones primarios”, “patrones secundarios” y “pirheliómetros de campo”.

Un pirheliómetro patrón primario o pirheliómetro absoluto, es un instrumento de una gran precisión y suelen ser bastante complicados y demasiado costosos para su uso frecuente.

Un pirheliómetro patrón secundario es un pirheliómetro absoluto que no cumple todas las especificaciones o que no está plenamente caracterizado.

Los pirheliómetros de campo son usados para registro continuo de la irradiación solar y con frecuencia se montan sobre un sistema de seguimiento automático

Uno de los más conocidos es el “Pirheliómetro de compensación Ångström” (**Figura 4.1**), usado para calibrar tanto pirheliómetros como piranómetros, y que consiste de dos láminas de manganina platinada, oscurecidas con una capa de negro de humo o con pintura negra mate óptica. Detrás de cada lámina se acopla un termopar de cobre-constantán para que la diferencia de temperatura entre las láminas pueda indicarse en un galvanómetro sensible o un micro voltímetro eléctrico.



Figura 4.1. Pirheliómetro de compensación Ångström

4.3.2 PIRANÓMETROS

Son instrumentos que miden la irradiación solar global (directa y difusa) en un plano horizontal. El elemento receptor debe estar horizontal y libremente expuesto al hemisferio celeste, pero debe estar protegido de la irradiación que regresa del suelo y los alrededores.

Al encontrarse expuesto a todo tipo de condiciones ambientales, el piranómetro debe ser robusto en su estructura y resistir la corrosión del aire húmedo, además, su elemento receptor debe encontrarse debidamente aislado (herméticamente cerrado) por un domo de vidrio y ser de fácil desmonte para su desecación.

Los piranómetros normalmente usan sensores termoelectrónicos, fotoeléctricos, piroeléctricos o elementos bimetálicos. Tales instrumentos pueden ser usados para medir irradiación a escala diaria, horaria o menor, lo que va a depender más de la programación del instrumento de adquisición de datos asociado.

Las propiedades de los piranómetros en relación a su grado de precisión y confiabilidad son: sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral.

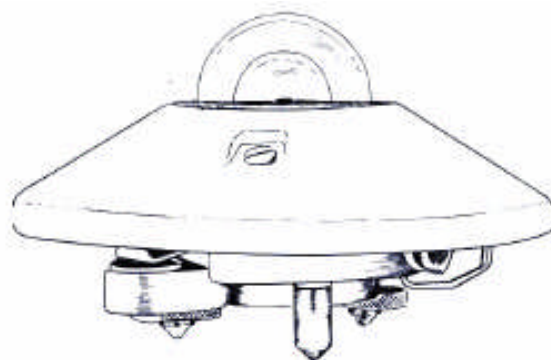


Figura 4.2 . Piranómetro Kipp & Zonen

La medición de la Irradiación solar difusa se realiza utilizando el piranómetro sobre un plano horizontal y proveyendo al instrumento de una serie recursos móviles o fijos para evitar que la irradiación directa alcance al receptor. El tipo movable consiste de un pequeño disco impulsado por un montaje ecuatorial que va haciendo una sombra bien definida sobre el receptor. El tipo fijo consiste de un anillo o armadura que sombrea al receptor, éste le confiere estabilidad y no requiere supervisión pero deben introducirse correcciones por la pérdida de irradiación difusa debido a los bordes del anillo.

4.3.3 ACTINÓGRAFO

Conocido también como piranógrafo bimetálico de Robitzch; y es similar a un termógrafo (**Figura 4.3**).

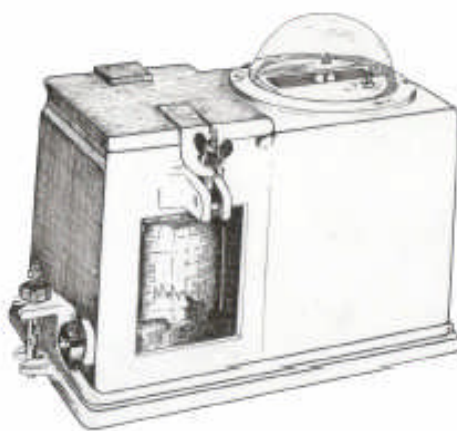


Figura 4.3. Actinógrafo o piranómetro bimetálico de Robitzch

El elemento sensible está constituido por un receptor con tres láminas bimetálicas situadas en un mismo plano horizontal y de las mismas dimensiones. La lámina central (ennegrecida) se expande mucho más que las láminas laterales (blancas) al ser calentadas por la irradiación incidente, siendo proporcional a la energía recibida. Las láminas exteriores están fijadas en un mismo soporte y la lámina central está libre y los movimientos que ella puede efectuar los transmite por medio de una varilla metálica conectada a un sistema de palancas, capaz de amplificar y graficar en una carta cualquier alteración en longitud del elemento sensible. El área de la curva de irradiación debe ser cuantificada para evaluar la irradiación total registrada. Este instrumento no es recomendado en lecturas instantáneas ya que tiene un coeficiente de retardo de 10 a 15 minutos para alcanzar una respuesta del orden de 98 %, siendo considerado un instrumento de tercera clase. El elemento sensible está protegido de la inclemencia del tiempo por una cúpula de vidrio.

4.3.4 HELIÓGRAFO

Es un instrumento que mide la cantidad de horas de sol (total en horas y décimos) durante el día en un lugar determinado (**Figura 4.4**).



Figura 4.4. Heliógrafo Campbell-Stokes

Es esencialmente una esfera de vidrio sólido pulido con un eje montado paralelo al de la tierra; es necesario orientar el plano vertical que pasa por el eje, e inclinar un ángulo igual a la latitud del lugar. La esfera actúa como un lente y la imagen focalizada se mueve a lo largo de una banda de papel especialmente preparada que tiene una escala de tiempo. La quemadura de la banda ocurre cuando la irradiación solar directa supera un límite variable de 120 a 210 W/m², que depende de la ubicación (turbidez atmosférica, altitud, humedad atmosférica), el clima, el tipo de banda de registro utilizada y los métodos de análisis.

Mediante el uso de correlaciones simples, con coeficientes apropiados, las series históricas de insolación pueden ser utilizadas para estimar irradiación solar diaria, media mensual o anual, con errores mínimos del orden de 10 %.

4.3.5 Instrumental de temperaturas extremas

El instrumental específico para la medición de la temperatura es el termómetro.

Existen varios tipos de termómetros que se diferencian en el elemento sensible y por ende en el grado de precisión. Dentro de los diferentes tipos de termómetros encontramos los termómetros de máximas y mínimas que están destinados a registrar las temperaturas máxima y mínima en el día (Figura 4.5).

Termómetro de máxima

Está construido en forma similar a la de los termómetros corrientes de mercurio y cristal, salvo que existe un estrangulamiento o estrechamiento en la luz del tubo, inmediatamente por encima de la ampolla.

Al dilatarse, el mercurio se ve forzado a atravesar ese estrechamiento, pero al contraerse por enfriamiento la delgada columna de mercurio que queda por encima del estrechamiento se separa del mercurio de la ampolla, con lo que queda registrada la temperatura máxima.

TERMÓMETRO DE MÍNIMA

Está constituido por un tubo lleno de alcohol en el que está sumergido un índice. Al contraerse el alcohol, el índice es arrastrado por adherencia en dirección a la ampolla y queda fijo señalando la temperatura mínima alcanzada.

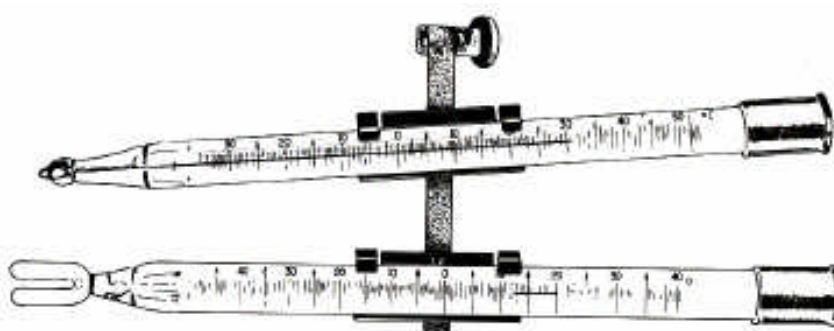


Figura 4.5. Termómetro de máxima (superior), termómetro de mínima (inferior)

4.4 RED DE MEDICIÓN E INFORMACIÓN UTILIZADA

Como mínimo, una red de radiación comprende la medición de la radiación solar global que, como se mencionó antes, es la irradiancia de onda corta que incide en forma horizontal en la superficie terrestre.

Sin embargo, como los componentes de la radiación solar no son independientes se pueden realizar otras mediciones y así obtener una componente requerida. Todas estas cantidades pueden ser medidas por radiómetros relativamente simples, como piranómetros, pirheliómetros, pirgeómetros, y pirradiómetros. Ellos también pueden ser y son estimados de mediciones de satélites y de observaciones meteorológicas.

La red de medición de irradiación solar del SENAMHI utilizada en el Atlas de Energía Solar del Perú está compuesta de estaciones con piranómetros, instrumentos de precisión que registran directamente la irradiación solar; actinógrafos, que son instrumentos registradores no tan precisos pero que brindan un valor aproximado de irradiación solar; y con heliógrafos, instrumentos con los que se estima de forma indirecta la irradiación solar a través de las horas de duración del brillo solar.

Se cuenta también con estaciones meteorológicas automáticas, las cuales son parte del programa sostenido de mediciones de irradiación solar cuyos datos están siendo utilizados para la validación de los datos históricos existentes, así como para el levantamiento de datos en lugares críticos sin información histórica.

La ubicación, récord de datos y tipo de instrumento de medición de las estaciones meteorológicas base que conforman la red de estaciones de irradiación solar se presenta en la tabla 4.1, mientras que un resumen de las principales variables climatológicas de las mismas se presenta en la tabla 4.2.

Tabla 4.1. Ubicación geográfica, récord histórico y tipo de instrumento de medición de irradiación solar en las estaciones base.

Estación meteorológica	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)	Récord histórico	Instrumento de medición
Miraflores	5,17	80,62	30	1 979-1 992	Piranómetro
San Ramón SM	5,56	76,05	184	1 972-1 982	Actinógrafo
El Porvenir	6,35	76,19	230	1 964-1 971	Actinógrafo
Bambamarca	6,40	78,31	2 536	1 967-1 977	Actinógrafo
Bellavista	7,03	76,33	247	1 971-1 973	Actinógrafo
Weberbauer	7,17	78,50	2 536	1 980-1 985	Piranómetro
Huayao	12,03	75,32	3 308	1 977-1 996	Piranómetro
A. Von Humboldt	12,08	76,95	238	1 968-1 999	Piranómetro
Cosmos	12,15	75,57	4 575	1 986-1 988	Piranómetro
Granja Kcayra	13,55	71,87	3 219	1 980-1 988	Piranómetro
San Camilo	14,07	75,72	398	1 978-1 988	Piranómetro
Chuquibambilla	14,78	70,73	3 971	1 980-1 984	Piranómetro
Puno	15,83	70,02	3 820	1 977-1 993	Piranómetro
Characato-La Pampilla	16,45	71,48	2 451	1 978-1 987	Piranómetro
La Joya	16,58	71,92	1 295	1 967-1 993	Actinógrafo

Tabla 4.2. Valores de las principales variables climáticas de las estaciones base

Estación meteorológica	Energía solar diaria (kW h/m ²)	Heliolamia relativa (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación total (mm/año)
Costa					
Miraflores	5,75	56	30,7	19,3	216
A. Von Humboldt	4,06	40	23,3	15,5	16
San Camilo	5,92	61	28,7	13,4	11
La Joya	7,03	75	27,0	10,1	77
Sierra					
Bambamarca	4,56	44	19,4	9,5	737
Weberbauer	4,92	49	21,3	7,6	644
Cosmos	4,92	46	9,2	-0,7	1 047
Huayao	6,00	56	19,6	4,4	765
Granja Kcayra	5,44	53	20,7	3,7	674
Chuquibambilla	6,08	59	16,8	-2,4	715
Puno	6,36	70	14,7	2,0	753
Characato	6,50	73	22,8	6,8	78
Selva					
San Ramón SM	4,67	41	31,3	20,8	2 158
El Porvenir	3,89	41	32,5	20,4	1 041
Bellavista	4,78	40	32,2	20,9	928

La red de estaciones con heliógrafos son de mayor número y cuentan con un buen período de registro de datos que son utilizados para extender información de irradiación solar.

Además, la red de estaciones climatológicas es bastante más densa que las anteriores, y en la gran mayoría cuenta con los datos de temperaturas extremas y precipitación.

4.5 ESTIMACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ

Debido a la poca disponibilidad de los datos de radiación solar, los investigadores han optado por desarrollar modelos y ecuaciones que permitan estimar esta variable a partir de otras, como son temperatura, humedad relativa, nubosidad, pluviosidad y horas de sol.

En el Atlas de Energía Solar del Perú se han utilizado principalmente los siguientes modelos:

4.5.1 MODELO ÅNGSTRÖM-PRESCOTT

El modelo de Ångström-Prescott es el modelo más frecuentemente usado para estimar la irradiación solar relativa (H/H_o) basado en las horas de sol relativas (n/N). Esta ecuación está dada por:

$$\frac{H}{H_o} = a + b \frac{n}{N}$$

Donde H es la irradiación solar medida en superficie, H_o es la irradiación solar en el tope de la atmósfera, n son las horas de sol efectivas o heliofanía y N es la duración astronómica del día para una fecha del año y latitud específicos. Los coeficientes empíricos a y b tienen un significado físico, donde $a+b$ representa el valor máximo de la transmisividad de la atmósfera (τ) mientras que el coeficiente a representa el mínimo valor de τ .

4.5.2 MODELO BRISTOW-CAMPBELL

De acuerdo a Bristow-Campbell la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima en un día determinado, depende de la relación de Bowen, esto es, la relación entre el calor sensible y el calor latente. El calor sensible depende de la irradiación solar y es responsable de las temperaturas máximas. Durante la noche, el calor sensible es perdido hacia el espacio como radiación en onda larga, disminuyendo así la temperatura del aire hasta su valor mínimo, valor que normalmente se alcanza antes del amanecer. Esta explicación física justifica el hecho del uso de modelos para estimar la irradiación solar en función de la temperatura, pero con la ventaja de una gran red de estaciones que realizan este tipo de mediciones.

Este modelo sugiere la estimación de transmisividad o irradiación solar relativa (H/H_o) en función de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínimas (ΔT , °C):

$$\frac{H}{H_o} = a_B \left[1 - \exp(-b_B \Delta T^{c_B}) \right]$$

En este caso, los valores empíricos (a_B , b_B y c_B) tienen también un significado físico; a_B representa el máximo valor de τ que es característico de cada área de estudio y además depende de la contaminación atmosférica y de la altitud; b_B (°C⁻¹) y c_B determinan el efecto del incremento de ΔT sobre la máxima τ de la atmósfera.

Dentro de los modelos que se presentan, el modelo Bristow-Campbell es el que mejor se adecuaba a las condiciones del Perú.

4.5.3 MODELO DE INTERPOLACIÓN

El modelo de interpolación está basado en la estimación de la distribución espacial y temporal de las temperaturas máximas y mínimas para que éstas a su vez sirvan de entrada al modelo de Bristow- Campbell.

El modelo basado en procesos para interpolar temperaturas máximas y mínimas, fue desarrollado para territorios complejos de montaña donde las variaciones microclimáticas son muy grandes y donde los métodos tradicionales de interpolación geoestadística tienen muchos problemas debido a la escasa densidad de información, siendo incapaces de representar las variaciones reales existentes en esta región.

4.6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ

En el Perú, las condiciones orográficas, climáticas y oceanográficas, entre otras, determinan la existencia de tres grandes regiones naturales: Costa, Sierra y Selva.

La Costa es la región limitada por el Océano Pacífico y las laderas andinas por debajo de los 2 000 msnm.

La Sierra es la región de la Cordillera de los Andes, caracterizada por la presencia de cumbres y montañas con alturas de hasta 6 000 msnm.

La Selva es la región formada por dos zonas, el bosque tropical amazónico o selva baja y las pendientes y valles al este de los Andes bajo los 2 000 msnm conocido como selva alta.

4.6.1 DISTRIBUCIÓN ANUAL

A nivel anual, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur (16° a 18° S), donde se dispone de 6,0 a 6,5 kW h/m². Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre 5,5 a 6,0 kW h/m² son la costa norte (3° a 8° S) y gran parte de la sierra sobre los 2 500 msnm, siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: la sierra sur, la sierra central y la sierra norte.

La zona de bajos valores de energía solar en el territorio es la selva, donde se registran valores de 4,5 a 5,0 kW h/m² con una zona de mínimos valores en el extremo norte cerca del ecuador (0° a 2° S).

Asimismo, es importante acotar que la mayor variación anual (desviación estándar) de los valores de energía solar recibida en la superficie está en la costa sur, seguido en orden de magnitud por la costa central, selva norte, costa norte y sierra sur. Las zonas de menor variación anual son la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte.

4.6.2 DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL

Durante el verano austral (diciembre a marzo) el sol se encuentra irradiando el hemisferio sur con mayor intensidad, sin embargo, este hecho no se traduce en los mapas, especialmente en la parte norte y central de la sierra, y selva (0 a 10° S y 70 a 79° W), las mismas que presentan valores relativamente bajos de energía solar; esto se debe a la interacción de los principales controladores climáticos que determinan la llegada y/o formación en el territorio peruano de sistemas nubosos que originan las

lluvias en esta época ("época lluviosa"), lo que genera una sustancial disminución de la transmisividad atmosférica sobre toda esta región.

Durante el invierno, la energía solar recibida disminuye en general en todo el territorio debido a que el sol, se encuentra irradiando más intensamente el hemisferio norte (solsticio de invierno). Este efecto estacional se puede apreciar claramente en el comportamiento de la irradiación solar extraterrestre.

En primavera, el sol inicia su retorno en su marcha aparente hacia el hemisferio sur, determinando disminución de la humedad atmosférica, debido a la ausencia de nubosidad y de lluvias (condiciones de estiaje o estación seca) en la sierra norte y central, por lo que la transmisividad de la atmósfera alcanza sus máximos valores, registrándose consecuentemente los más altos valores de energía solar diaria recibida en esta región en el mes de noviembre. Asimismo, la región de selva alcanza también sus mayores valores en este mes, especialmente la selva norte.

La sierra sur y parte de la central, muestran altos valores de energía solar, presentándose los máximos a fines de primavera y durante el verano, lo cual se debe a que se encuentra menos influenciada por los controladores climáticos que generan los sistemas nubosos.

En términos generales, en la región de la costa central y sur ocurren valores altos de heliofanía y por lo tanto altos valores de energía solar en la época del verano austral; sin embargo, es necesario detallar algunas excepciones. En la franja costera cercana al litoral, ubicada por debajo de los 600 m de altura, el comportamiento descrito anteriormente cambia durante fines de otoño, invierno e inicios de primavera en que esta región muestra valores marcadamente bajos de heliofanía y energía solar, ya que la transmisividad atmosférica disminuye considerablemente debido a la presencia

permanente e intensificación durante estos meses de la inversión térmica, que determina una capa nubosa baja (estratiforme) e incluso fuerte presencia de nieblas en esta región.

A fines de primavera, en la zona sur de la costa por encima de los 1 000 msnm, se alcanzan los mayores valores de energía solar durante el año y de todo el territorio nacional en las terrazas desérticas de Arequipa, Moquegua y Tacna (13,5 a 18° S y 70 a 76° W), lo cual se debe a que están ubicadas encima de la capa de inversión térmica y presentan cielo despejado durante todo el año. La costa norte, entre los 3° y 6° S y los 80° a 81° W (departamentos de Tumbes, Piura y norte de Lambayeque) presenta también valores altos de heliofanía y energía solar durante el verano austral, presentándose, sin embargo, los valores máximos en los meses de octubre y noviembre (primavera) y que constituye otra de las zonas en que se alcanzan altos valores de energía solar en términos anuales.

4.6.3 MAPAS DE ENERGÍA SOLAR

Estos mapas, incluidos en el Atlas de Energía Solar del Perú, permiten conocer las zonas potenciales para el aprovechamiento energético en el Perú, a partir del cual se optimizará el dimensionamiento y diseño de los equipos que utilizan esta fuente de energía.

En el **Apéndice**, se encuentran los esquemas de irradiación solar en promedio a nivel nacional, la desviación estándar nacional y la irradiación existente en la Región Ucayali en diversas estaciones del año.

CAPÍTULO 5

DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.1 MÉTODOS DE DIMENSIONADO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO

La necesidad de aplicar ciertos métodos de diseño en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos conlleva a utilizar métodos de estudios estandarizados tales como:

- Utilización del Método Simplificado de Dimensionado
- Utilización del Mapa de Radiación Solar

5.1.1 MÉTODO SIMPLIFICADO DE DIMENSIONADO

Está basado en un balance energético diario en las condiciones más desfavorables, así mismo la experiencia muestra que es más conveniente realizar un balance de carga (Ah/día) en lugar de un balance de energía (Wh/día), ya que la batería tendrá una tensión variable a lo largo del día dependiendo de su estado, y, consiguientemente, haciendo un balance en Amperios hora generados y consumidos se evita el error derivado de la variación de la tensión de funcionamiento del sistema.

El método utiliza valores medios mensuales de radiación global diaria y de la carga. Se considerarán sólo los valores correspondientes al mes más desfavorable en la relación carga/radiación. Además se debe definir el número máximo de días de autonomía previstos para la instalación, en función de las características climáticas de la zona y el uso o finalidad de la instalación.

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO

Conceptualmente el cálculo de la energía de consumo necesaria diariamente (Wh/día), es sencillo, pues basta con multiplicar la potencia (W) de cada una de los equipos de que se dispone (luces, televisores, videos, ordenadores, etc.) por el número de horas de su utilización respectivamente (h/día). Es claro que este último parámetro se ve afectado por muchos factores, tales como el número de usuarios, sus actividades, costumbres y entorno socioeconómico, la época del año, etc. que resultan de difícil predicción pero que deberán estimarse en base a la experiencia y los datos de que se disponga. Para estimar la carga de consumo diaria (Ah/día), únicamente se deberá dividir la energía de consumo diaria (Wh/día) por la tensión nominal del sistema (Vn), o bien realizar los cálculos anteriores en función de la corriente de consumo de cada equipo (A) en lugar de la potencia (W).

La Tabla 5.1 contiene los equipos que se desea alimentar:

Tabla 5.1 Equipos a alimentar

Descripción	Unidades	Potencia AC (W)	Potencia DC (W)	Horas Uso (h)	Energía/Día (Wh/Día)	Carga/Día (Ah/Día)
Luminaria	2		18	3	108	9.00
Radio o Tv	1		10	4	40	3.33
TOTAL					148	12

5.1.1.1 PANEL FOTOVOLTAICO

La potencia pico del panel fotovoltaico se determina teniendo en cuenta la radiación total diaria incidente sobre la superficie de los módulos, y el rendimiento global de la conversión fotovoltaica, en el cual se incluye también las pérdidas por conexionado, dispersión de parámetros, efecto de la temperatura, acumulación de suciedad en la superficie de los módulos, etc.

El cálculo del número de módulos viene dado por la expresión:

$$N = N_{pp} \times N_{ps}$$

Siendo

$$N_{ps} = \frac{V_{ng}}{V_{np}}$$

$$N_{pp} = \frac{L}{(I_m \times G_{dm}(\beta) \times \eta_g \times \eta_b)}$$

Donde:

- Nps : Número de módulos asociados en serie para trabajar a la tensión nominal del sistema.
- Npp : Número de módulos asociados en paralelo para entregar la intensidad adecuada de suministro.
- Vng : Tensión nominal de la instalación.
- Vnp : Tensión nominal del módulo: 12V (24V en casos especiales).
- L : Energía real que se desea suministrar (Ah)
- Im : Valor medio que toma la intensidad en el rango de tensión de trabajo, desde el punto de máxima potencia al de corto circuito.

$G_{dm}(\beta)$: Media mensual de la radiación global diaria sobre el plano inclinado, en el "mes peor", con base 1.000W/m².

η_g : Rendimiento faradaico de la batería (eficiencia media de carga/descarga de la batería en Amperios hora).

Rendimiento global del generador fotovoltaico: 0.9 (90%). Este factor ha sido contrastado en aplicaciones de electrificación rural, y ratificado por normas internacionales (Universal Standard for Solar Home Systems-SHS, Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998). Incluye pérdidas por dispersión de parámetros, suciedad de los módulos, efecto de la temperatura, pérdidas en el cableado y el regulador, etc.

η_b : Rendimiento faradaico de la batería (eficiencia media de carga/descarga de la batería en Amperios hora).

5.1.1.2 ACUMULADOR

Para el cálculo del sistema de acumulación es necesario estimar el número de días de autonomía requerido en la instalación, d , que evidentemente dependerá del número de días seguidos sin sol que pueden darse en la ubicación de la misma.

El sistema de acumulación, en Ah, vendrá determinado por la expresión:

$$C_x = \frac{L \times d}{P_d}$$

C : Capacidad de la batería (Ah). Será muy importante tener en cuenta el régimen de descarga marcado por el subíndice x y que para aplicaciones fotovoltaicas será generalmente 100h a 25 °C y para una tensión de corte de 1.85V/elem.

L : Carga de consumo (Ah/día)

d : Días de autonomía de la instalación. Este parámetro viene fundamentalmente determinado por las características climatológicas de la zona y el uso o finalidad de la aplicación. La recomendación mínima es de 3 días.

Pd : Profundidad de descarga máxima de trabajo. Dependiendo de la tecnología de la batería este parámetro varía entre 0,5 para baterías de automoción, 0,6 para baterías de placa plana espesas y 0,8 para baterías tubulares ó de varilla.

5.1.1.3 REGULADOR DE CARGA

En cuanto al regulador de carga, la elección se realizará en función de la aplicación, la tensión nominal del sistema y la corriente máxima de generación.

La corriente en operación continua que debe ser soportada por el controlador de carga será como máximo la intensidad de cortocircuito de los módulos multiplicado por el número de módulos en paralelo.

$$I_{mg} = N_{pp} \times I_{cc}$$

I_{mg} : Intensidad máxima a soportar en régimen nominal por el regulador.

N_{pp} : Número de módulos en paralelo que constituyen el generador fotovoltaico.

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito del modulo fotovoltaico.

5.1.1.4 EQUIPOS DEL SISTEMA.

El sistema queda definido, bajo las premisas de cálculo de 5 kWh/m² día y 5 días de autonomía, por los siguientes equipos mostrados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Equipos del Sistema Fotovoltaico

Concepto	Características	Uds.
Modulo Fotovoltaico	50 Wp / 12 V	1
Regulador de Carga	10 A / 12 – 24 V Bitensión	1
Batería Solar	90 Ah C100, 1.85 V / 12 V	1
Estructura de Soporte	Acero Galvanizado en caliente	1

El kit eléctrico constará de los siguientes elementos:

- Cable de sección suficiente para asegurar que la caída de tensión es menor al 1.5 %
- Cajas de conexión.
- Tubo de canalización.
- Varistores.
- Fusibles.
- Todos los elementos de conexión a tierra.

El cálculo de este kit se ha realizado en base a un ratio que debe ser revisado tras un replanteo *in situ* de la instalación.

5.1.2 APLICACIÓN DEL MAPA DE RADIACIÓN SOLAR

El método esta basado en utilizar la fuente de datos de irradiación solar diaria promedio procedente del Atlas de Energía Solar del Perú que fue elaborado por el Ministerio de Energía y Minas conjuntamente con el SENAMHI.

Mediante la utilización de este documento se puede calcular la potencia necesaria de los sistemas fotovoltaicos en las zonas donde se planifica la formulación, evaluación

y posterior ejecución de cada proyecto, esto debido a que en dicho documento se cuenta con la información de la energía solar incidente diaria en el ámbito nacional.

El cálculo de potencia del modulo fotovoltaico se determinara de la siguiente manera:

$$P_p = \frac{E_r}{E_i}$$

P_p = Potencia del modulo fotovoltaico (W)

E_r = Energía requerida por el sistema (W)

E_i = Energía solar incidente diaria de tabla (equivalente en horas).

Para efectos de cálculo, los valores de incidencia solar están referidos a la temporada de lluvias e invierno que según el Atlas Solar para la Región es en promedio de:

Energía Solar Incidente Diaria = [4 – 4.5] (KW-h/m²-dia)

Desviación Estándar Promedio = [0.2 – 0.3] (KW-h/m²-dia)

Por lo tanto para nuestro diseño consideraremos:

Energía Solar Incidente Diaria = 4.2 (KW-h/m²-dia)

Entonces se tendrá una incidencia solar de 4.2 horas por día.

Para realizar el diseño del sistema fotovoltaico se recomienda que:

- E_i sea el menor valor característico que se detalla en la zona
- Si la potencia de generación del modulo fotovoltaico supera los valores estándares del fabricante, entonces este mismo valor se dividirá con el valor de potencia estándar característico de cada panel, obteniendo de esta manera la cantidad de paneles a instalar.

5.2 EJEMPLO DE CÁLCULO

A. CASA RURAL

El análisis esta basado en la instalación de 4 focos, 1 radio y 1 televisor, mostrado en la Tabla 5.3

Tabla 5.3

Cantidad	Equipo	Potencia	Potencia	Horas /día	Energía
A	B	W	W Subtotal	de uso	Wh
		C	D = (A x C)	E	F = (D x E)
4	Lámp fluorescente	15	60	4	240
1	Radiograbadora	10	10	2	40
1	Televisor	60	60	4	120
Total = Wh / día					400

Cálculo de paneles y baterías

El consumo diario promedio es de :	400	Wh/d
Un panel de 110 W produce con 3,5 horas sol / día	385	Wh/d
Para la generación de energía se necesita :	1,04	Paneles
Hay que almacenar (sistema 12 V) la cantidad de :	33	Ah
Se necesita baterías estacionarias 12 V 100 Ah la cantidad (sin reserva o respaldo):	0,33	Baterías
Se necesita baterías estacionarias 12 V 100 Ah la cantidad (con una reserva o respaldo de 1 día*):	0,67	Baterías
Se necesita baterías estacionarias 12 V 100 Ah la cantidad (con una reserva o respaldo de 3 días*):	1,33	Baterías

* Reserva del sistema solar

Depende si el servicio del sistema solar tiene que ser garantizado, como por ejemplo en comunicaciones, equipos médicos, etc. Se necesita una reserva mínima de 3 días.

B. CASA RURAL AMPLIADA

El análisis esta basado en la instalación de 2 focos, 1 radio, 1 televisor y 1 refrigeradora, mostrado en la Tabla 5.4

Tabla 5.4

Cantidad	Equipo	Equipo	Potencia	Horas / día	Energía
A	B	W	W Subtotal	de uso	Wh
		C	D = (A x C)	E	F = (D x E)
2	Lámp fluorescente	15	30	4	120
1	Radiograbadora	10	10	4	40
1	Televisor	60	60	2	120
1	Refrigeradora	48	48	24	1.552
Total = Wh / día					1.552

Cálculo de paneles y baterías

El consumo promedio diario es de :	1552	Wh/d
Un panel de 110 W produce con 3,5 horas sol / día	385	Wh/d
Para la generación de la energía se necesita :	4,0	Paneles
Hay que almacenar (sistema 12 V) la cantidad de :	130	Ah
Se necesita baterías estacionarias 12 V 150 Ah la cantidad (sin reserva o respaldo)	0,86	Baterías
Se necesita baterías estacionarias 12 V 150 Ah la cantidad (con una reserva o respaldo de 1 día*)	1,72	Baterías
Se necesita baterías estacionarias 12 V 150 Ah la cantidad (con una reserva o respaldo de 3 días*)	3,45	Baterías

* Reserva del sistema solar

Sistema modular

Los paneles y las baterías del sistema fotovoltaico son modulares, significa que se puede empezar con menos paneles en el inicio.

C. BOMBEO DE AGUA

El análisis está basado en la instalación de una bomba de agua para abastecer de agua a 100 personas (aproximadamente 20 familias) con 100 l/d hasta 20 m de altura, mostrado en la Tabla 5.5

Tabla 5.5

Cantidad	Equipo	Potencia	Potencia W Subtotal	Horas / día de uso	Energía Wh
A	B	C	D = (A x C)	E	F = (D x E)
1	Bomba (1HP)	1320	1320	1,9	2.444
Total = Wh / día					2.444

En nuestro ejemplo trabajamos con una bomba de 1320 W de consumo eléctrico máximo.

Para la selección de la bomba tiene que tener en sistemas solares dos criterios:

El **caudal** de agua en la altura del tanque o del consumo (Hay que medir la altura entre el punto de succión hasta el punto de salida del agua).

El **consumo** de energía eléctrica real para éste caudal.

Calculo del consumo de la bomba

Se multiplica el consumo de agua necesario por la cantidad de personas usuarios. En este caso 100 personas multiplicado por el consumo diario promedio de 100 l/d son 10000 l/d. La bomba en 20 metros de altura tiene un caudal de 5400 l/h, se divide el consumo diario 10000 l/d por el caudal de la bomba 5400 l/h y obtiene las horas de bombeo necesario. En éste ejemplo la bomba trabaja más o menos 1,9 horas por día.

Cálculo de paneles y baterías

El consumo diario promedio es de:	2444	Wh/d
Un panel de 55 W produce con 3,5 horas sol / día:	193	Wh/d
Para la generación de la energía se necesita:	12,7	Paneles
Hay que almacenar (sistema 12 V) la cantidad de:	204	Ah
Se necesita baterías estacionarias 12 V 100 Ah la cantidad (sin reserva o respaldo) :	2,0	Baterías
Se necesita baterías estacionarias 12 V 100 Ah la cantidad (con una reserva o respaldo de 1 día) :	4,1	Baterías
Se necesita baterías estacionarias 12 V 100 Ah la cantidad (con una reserva o respaldo de 3 días) :	8,1	Baterías

Como se puede ver, la relación de caudal 5400 l/h y consumo 1320 W de esta bomba es buena, lo que resulta en una instalación fotovoltaica más viable. En todos los casos de bombear agua, vale aumentar el diámetro de la tubería para aminorar la pérdida por fricción interna.

El inversor tiene que tener una potencia más grande que la bomba, porque los motores y bombas consuman alrededor de cuatro veces más corriente en el arranque.

5.3 MATERIALES Y COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.3.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO

DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD
SISTEMA DE ENERGIA		
BATERIA C31D-75, DE 120 AH O SIMILAR.	1	Und.
CABLE THW 6 mm ²	10	m
CABLE RHW O SIMILAR 2X6 mm ²	15	m
CONTROLADOR de 8 a 12A, 12/24Vdc	1	Und.
MODULO de 50 a 100 W _p DE ALTA EFICIENCIA O SIMILAR.	1	Und.
SOPORTE TIPO POSTE PARA 01 MODULO C/. PERNOS	1	Und.
PRENSAESTOPA DE 1/2" PG 13.5	1	Und.
CONEXIÓN INTERNA		
CABLE THW 2x2.5 mm ²	45	m
CINTA AISLANTE 3M	1	Und.
CINTA VULCANIZANTE	1	Und.
CINTILLOS DE 30 CM	10	Und.
GRAPAS PLANAS	1	Und.
GRAPAS REDONDAS	0.5	Und.
INTERRUPTOR VISIBLE TICINO C/TORNILLOS	3	Und.
LUMINARIAS DE 11W,12 VDC TIPO PL - INCLUYE SOCKET C/TORNILLOS	3	Und.
RACK PARA BATERIAS	1	Und.
TERMINALES DE COMPRESION "O" - PARA BATERIA	2	Und.

5.3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA RADIOCOMUNICACIÓN

DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD
SISTEMA DE ENERGIA		
BATERIA MODELO DE 100 A 120 AMP O SIMILAR.	1	Und.
ARANDELA PLANA DE 1/4"	8	Und.
ARANDELA PRESION DE 1/4"	8	Und.
PERNO INOXIDABLE 1/4" DIA. X 1" C/TUERCA	8	Und.
PERFIL DE ALUMINIO L 2"x 2" x 1/8".	3	Metros
CONDUCTOR ELECTRICO THW DE 10 mm ²	6	Metros
CONTROLADOR DE 30 A, 12/24Vdc O SIMILAR.	1	Und.
PANEL SOLAR SX-60 DE 60W. O SIMILAR.	1	Und.
CABLE DE ALIMENTACION NMT 2x12 AWG	20	Metros
TERMINALES DE CONEXIÓN PARA BATERIA	2	Und.
PRENSAESTOPA DE 1/2" PG 13.5	3	Und.
POZO A TIERRA		
CAJA DE REGISTRO	1	Und.
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO 16 mm ²	18	Metros
CONECTOR TIPO AB COPPERWELD	1	Und.
DOSIS DE SALES ELECTROLITICA	2	Cajas
PARARRAYOS TETRAPUNTAL THOR FRANKLIN	1	Und.
VARILLA DE COBRE PURO 1/2" X 1.90M	1	Und.
SISTEMA DE RADIOFONIA		
AISLADOR DE PORCELANA TIPO CARRETE CLASE 53-1 MAS SEPARADOR	5	Piezas
ANTENA MULTIBANDA NACIONAL CON CABLE RG 8/U	1	Und.
EQUIPO DE RADIO MOD. 600.O SIMILAR.	1	Und.
ESTRUCTURA DE F.G. TUBO 3/4" - H=15M. (3 COLUMNAS)	1	Und.
ALAMBRE GALVANIZADO No.10	180	Metros
BLOQUE DE CONCRETO MURO 50 X 50 X 20 cm.	3	Und.
BLOQUE DE CONCRETO MURO 50 X 50 X 90 cm.	1	Und.
PERNOS 1/2" X 8" C/TUERCA PARA ANCLAJE	3	Und.
TEMPLADOR F.G. 5/8" X 12"	9	Und.
TUBO DE PVC SAP 1/2"	3	Metros
VARILLA DE ANCLAJE GALVANIZADO 5/8" X 2M.	3	Piezas

CAPÍTULO 6

INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES EN LA PROVINCIA DE PURUS-UCAYALI

6.1 ASPECTOS GENERALES

6.1.1 ANTECEDENTES

Para cubrir algunas de las necesidades básicas de energía como la iluminación, los pobladores de diversas localidades y/o comunidades de la amazonía utilizan mecheros o velas, las cuales ofrecen muy baja iluminación y trae riesgos de incendios y quemaduras.

El acceso a la energía eléctrica significa un salto muy grande en la calidad de vida de las personas. Las comunidades nativas viven en extrema pobreza, no cuentan con los servicios básicos, como la energía eléctrica, la cual es indispensable para los requerimientos de iluminación, o para encender los equipos de comunicación, radio y/o televisión y enterarse de la realidad nacional.

Se ha tratado de resolver la falta de electricidad con el uso de Generadores Diesel o a gasolina. Actualmente podemos ver que la gran mayoría de estos grupos

electrógenos no están operativos, por falta de mantenimiento adecuado y por el alto costo del combustible y lubricantes debido a la lejanía. Los pocos grupos electrógenos que trabajan lo hacen muy pocas veces al año, con lo que no están cumpliendo el fin para el que se instalaron.

Así mismo, algunas comunidades han optado por utilizar baterías para el funcionamiento de sus lámparas y de sus pequeñas radios; sin embargo, estas baterías necesitan ser recargadas para lo cual, los pobladores deben invertir dinero y tiempo para transportarlas.

De acuerdo a esto una solución inmediata para estas comunidades es proveerlas de electricidad aprovechando el uso de energías renovables, como los sistemas solares, debido a que en dichas zonas resulta muy costoso el tendido de líneas o la instalación de grupos electrógenos, siendo estos sistemas solares adecuados para satisfacer las necesidades energéticas a corto plazo de las poblaciones más lejanas y de frontera de nuestra patria, por su rápida instalación y su reducido costo de operación y mantenimiento.

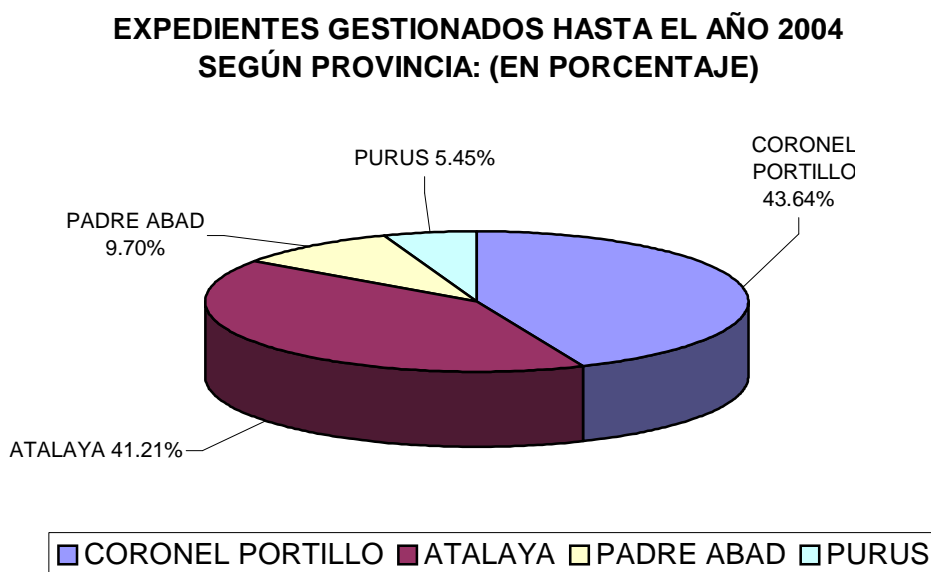
6.1.2 OBJETIVO

El objetivo principal de este proyecto es mejorar la calidad de vida de los pobladores de las Comunidades Nativas beneficiadas, brindándoles acceso a la energía eléctrica a través del uso de la energía solar.

6.1.3 DEMANDA ACTUAL DE PROYECTOS CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Hasta fines del año 2004, la DREM (Dirección Regional de Energía y Minas) recibió aproximadamente 60 solicitudes de diversas comunidades demandando la elaboración y ejecución de proyectos de electrificación mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos.

A continuación se detalla la distribución de estos expedientes en el siguiente gráfico:



6.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el suministro, transporte e instalación de Sistemas Fotovoltaicos en cada una de las comunidades nativas. La instalación incluye lo siguiente:

- Instalación y puesta en marcha del sistema de energía.
- Protocolo de pruebas para verificar los parámetros de operación del sistema.
- Capacitación in situ acerca del uso y mantenimientos básicos del sistema a los usuarios finales.
- Entrega de manuales de cada uno de los equipos.
- Entrega de manual de operación y mantenimiento del sistema.

Este proyecto esta diseñado para suministrar energía eléctrica a 3 tipos de sistemas:

- 1 Sistema para Iluminación de Viviendas
- 2 Sistema para uso de Radiofonía – Radio HF
- 3 Sistema para uso de Módulos Productivos

La implementación de cada uno de estos sistemas se realizara según la información recogida de cada una de las comunidades nativas.

6.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área del proyecto comprende las localidades apartadas de la región Ucayali que no podrán ser interconectadas al SINAC (Sistema Interconectado Nacional). Las Comunidades Nativas beneficiarias se encuentran ubicadas en la ribera de los ríos **Purus y Curanja**, en la Provincia de **Purus**, en el departamento de **Ucayali**.

Entre las 16 comunidades seleccionadas se encuentran::

I. SECTOR ALTO PURUS

1. Gasta Bala
2. Mapalja
3. Santa Margarita

IV. SECTOR MEDIO PURUS

8. Nueva Esperanza
9. San Marcos
10. San Martín de Porras
11. Cashuera

II. SECTOR CURANJA

4. Balta
5. Bola de Oro
6. Santa Rey

V. SECTOR BAJO PURUS

12. Catay
13. Naranjal
14. Alberto Delgado
15. San Bernardo
16. Pozo San Martín

III. PUERTO ESPERANZA

7. San Francisco

El acceso a estas comunidades se debe hacer por vía aérea desde la ciudad de Pucallpa hasta Puerto Esperanza en la provincia de Purus (Aproximadamente 80 minutos de vuelo), desde donde se debe viajar en pequeñas embarcaciones (entre 2 y 20 horas) para llegar a las distintas comunidades nativas. En el **Apéndice E** se encuentra el mapa del departamento de Ucayali.

6.2.2 ENERGÍA SOLAR INCIDENTE EN LA ZONA

Se utilizará la información procedente del Atlas de Energía Solar del Perú que fue elaborado por el Ministerio de Energía y Minas conjuntamente con el SENAMHI; así mismo se ubicarán las localidades en el mapa de incidencia solar diaria para de esta manera conocer acorde con las condiciones climáticas el índice de radiación promedio que poseen las mismas.

A continuación consideraremos los siguientes datos:

Ubicación:

Latitud Sur : 8.7°

Longitud Oeste : 71°

Elevación : 340 m.s.n.m.

Datos de radiación solar:

Se considera el índice de radiación solar diaria más bajo que presenta la zona, para de esta manera asegurar y satisfacer la demanda de energía proyectada. Por tal razón los valores de incidencia solar están referidos a la temporada de lluvias e invierno que según el Atlas Solar para la Provincia de Purus es en Febrero y registra un promedio de:

Energía Solar Incidente Diaria = [4 – 4.5] (KW-h/m²-día)

Desviación Estándar Promedio = [0.2 – 0.3] (KW-h/m²-día)

Por lo tanto para nuestro diseño consideraremos:

Energía Solar Incidente Diaria = 4,2 (KW-h/m²-día)

Entonces se tendrá una incidencia solar de 4,2 horas por día.

Así mismo la inclinación óptima de los paneles a fin de recibir la mayor radiación posible en los meses más desfavorables se consigue, generalmente, aumentando el ángulo de inclinación de la estructura del panel entre 5° y 15° más que la latitud. Al emplear la inclinación óptima se puede determinar el campo solar mínimo que puede suministrar el consumo requerido y de esta forma se aprovecha al máximo la energía solar; la potencia útil mensual se mantiene más uniforme y las necesidades de almacenamiento se reducen.

Para garantizar que el sistema operará de forma confiable aún cuando la radiación en el peor mes se reduzca significativamente por debajo del promedio. Se han especificado las siguientes condiciones:

- Mínimo de 10% de factor de sobre dimensionamiento en el peor mes.
- Un porcentaje de perdidas en los cables y conexiones del 3 %
- Mínimo de 3 a 5 días de autonomía de la batería (fundamental para la confiabilidad del sistema).

6.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

6.3.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

La población beneficiaria está constituida por 300 familias, distribuidas en 16 comunidades. La distancia entre comunidades no permite interconectarlas eléctricamente, por lo que optaremos por colocar sistemas independientes.

Tabla 6.1 CONSUMO DE ENERGÍA DOMÉSTICO

Descripción de Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (v)	Consumo (w)	Servicio Diario (horas/día)	Carga Diaria (w-h/día)
Sistema de Iluminación					
Luminarias Compactas	2	12	15	4	120
Radio ó TV B/N	1	12	15	4	60
Total (W-h / Día)					180

Tabla 6.2 CONSUMO DE ENERGÍA PARA COMUNICACIONES

Descripción de Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (v)	Consumo (w)	Servicio Diario (horas/día)	Carga Diaria (w-h/día)
Sistema de Radio HF					
Radio Tx -Transmisión	1	12	248	1	248
Radio Stand By	1	12	18	1	18
Total (W-h / Día)					266

Tabla 6.3 CONSUMO PRODUCTIVO – LOCAL COMUNAL

Descripción de Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (v)	Consumo (w)	Servicio Diario (horas/día)	Carga Diaria (w-h/día)
Sistema Productivo					
Maquinas Pequeñas	1	220	150	3	495.00
Iluminación	1	220	20	3	60.00
Nota: Pmax. Instantánea Motor = 165W			Total (W-h / Día)		555.00

Tabla 6.4 DEMANDA DE ENERGIA / COMUNIDAD

UBICACIÓN	C-I	CEP	CES	PS	URO	M.P	RADIO	FAMILIAS	Demanda de Energía por Comunidad
									KW-h / Día
I SECTOR ALTO PURÚS									
Gasta bala	1	1	1	1	0	1	1	35	7.84
Mapalja	0	1	0	0	0	1	0	11	2.71
Santa Margarita	0	1	0	0	1	1	1	18	4.42
II SECTOR CURANJA									
Balta	1	1	1	1	0	1	1	15	4.24
Bola de Oro	0	1	0	0	0	1	0	10	2.54
Santa Rey	1	0	0	0	0	1	0	13	3.07
III PUERTO ESPERANZA									
San Francisco	0	1	0	1	1	1	0	12	3.25
IV SECTOR MEDIO PURÚS									
Nva. Esperanza	1	1	1	0	0	1	1	25	5.86
San Marcos	0	1	1	1	0	1	1	27	6.22
San Martín de P.	0	0	1	0	1	1	1	17	4.24
Cashuera	0	1	1	1	0	1	1	22	5.32
V SECTOR BAJO PURÚS									
Catay	0	0	1	0	1	1	0	17	3.98
Naranjal	0	0	1	0	0	1	0	9	2.35
Alberto Delgado	0	1	0	0	0	1	0	17	3.79
San Bernardo	1	1	1	1	0	1	1	34	7.66
Pozo San Martín	0	0	1	0	0	1	1	18	4.24
TOTALES	5	11	10	6	4	16	9	300	71.73

LEYENDA	
C-I	COLEGIO DE EDUCACIÓN INICIAL
CEP	COLEGIO DE EDUCACIÓN PRIMARIA
CES	COLEGIO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA
PS	PUESTO DE SALUD
URO	UNIDAD DE REHIDRATACIÓN ORAL
M.P	MODULO PRODUCTIVO
RADIO	PUESTO DE RADIOFONIA

La población demandante por cada comunidad se muestra en la siguiente tabla

Tabla 6.5

UBICACIÓN	N° DE VIVIENDAS	NÚMERO DE POBLADORES
I SECTOR ALTO PURÚS		
Gasta bala	35	210
Mapalja	11	66
Santa Margarita	18	108
II SECTOR CURANJA		
Balta	15	90
Bola de Oro	10	60
Santa Rey	13	78
III PUERTO ESPERANZA		
San Francisco	12	72
IV SECTOR MEDIO PURÚS		
Nueva Esperanza	25	150
San Marcos	27	162
San Martín de Porras	17	102
Cashuera	22	132
V SECTOR BAJO PURÚS		
Catay	17	102
Naranjal	9	54
Alberto Delgado	17	102
San Bernardo	34	204
Pozo San Martín	18	108
TOTALES	300	1800

La demanda potencial está de acuerdo con las características de diseño del proyecto y presupone un máximo de consumo para cada uno de los tipos de usuarios. La demanda efectiva en cambio, es una estimación más realista del consumo y está en función de las luminarias y tomacorrientes efectivamente colocados.

Los detalles del **Análisis General de la Demanda** y el **Balance Oferta-Demanda** están detallados en la **Tabla 6.6** y **Tabla 6.7** respectivamente.

6.3.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA

Las comunidades nativas consideradas no se encuentran dentro de los proyectos de ampliación del Ministerio de Energía y Minas, y la demanda de energía es relativamente pequeña. El proyecto busca cubrir las necesidades básicas de energía, instalando sistemas solares unifamiliares, los cuales pueden ser ampliados posteriormente.

DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR DOMICILIARIO

El cual se instalará en cada vivienda; además, se propone instalar un sistema en cada centro educativo y en cada puesto de salud, para cubrir la demanda de iluminación.

Demanda de energía DC = 180 Wh - día

Potencia del panel = Demanda de Energía diaria / Horas de Incidencia Solar diaria

Potencia del panel = 180 Wh-día / 4,2 h-día

Potencia del panel = 42,86 W

Por lo tanto la potencia necesaria de los paneles que se requiere para cubrir la demanda existente y los futuros incrementos será de: **1 modulo de 50 Wp**

DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR PARA RADIOFONÍA

El que se instalará en las comunidades que cuentan con equipos de radio HF.

Demanda de energía DC = 266 Wh - día

Potencia del panel = Demanda de Energía diaria / Horas de Incidencia Solar diaria

Potencia del panel = 266 Wh-día / 4,2 h-día

Potencia del panel = 63,33 W

Por lo tanto la potencia necesaria de los paneles que se requiere para cubrir la demanda existente y los futuros incrementos será de: **2 módulos de 50 Wp c/u.**

DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR PARA MODULOS PRODUCTIVOS

El cual se instalará uno en cada comunidad nativa.

Demanda de energía DC = 369,57 Wh - día

Potencia del panel = Demanda de Energía diaria / Horas de Incidencia Solar diaria

Potencia del panel = 369,57 Wh-día / 4,2 h-día

Potencia del panel = 87,99 W

Por lo tanto la potencia necesaria de los paneles que se requiere para cubrir la demanda existente y los futuros incrementos será de: **3 módulos de 50 Wp c/u.**

6.4 PARAMETROS DE DISEÑO

Los parámetros que se deben de tener en cuenta para el diseño completo del sistema a instalar son los siguientes:

DÍAS DE AUTONOMÍA

En un sistema fotovoltaico se considera como elemento de almacenamiento de energía a las baterías, las cuales se utilizarán como reserva del sistema de alimentación, recibiendo la energía producida por los módulos solares y suministrándola durante la noche ó durante los momentos en que la energía del arreglo solar no es suficiente para la carga, debido a que en ocasiones la energía producida por los módulos es deficitaria en algunos meses, por lo que se debe establecer una autonomía adecuada. En este caso se esta considerado una autonomía de 3 a 5 días.

RELACIÓN ARREGLO / CARGA (ALR)

Este valor indica la relación entre la energía producida por el arreglo fotovoltaico y la energía requerida por la carga a lo largo de todo el año. Este factor debe ser necesariamente mayor que 1, y se recomienda que su valor mínimo durante el año sea 1,1 en sistemas rurales.

ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA (BSOC)

La vida útil de las baterías se da en número de ciclos de carga y descarga antes que en años; y el número de ciclos tiene una relación inversa a la profundidad de descarga a la cual es sometida. En ningún caso la profundidad de descarga puede alcanzar un valor mayor al 80%, por que esto significaría la inutilización de la batería. Se recomienda en sistemas fotovoltaicos rurales que la batería tenga como mínimo 75% de carga, es decir una profundidad de descarga máxima de 25%.

6.5 SISTEMAS A SUMINISTRAR

6.5.1 SISTEMAS PARA ILUMINACION DOMICILIARIO

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

El Sistema Fotovoltaico está diseñado para suministrar energía eléctrica a equipos de iluminación, pequeñas radios o TV blanco/negro de uso frecuente en viviendas ubicadas en zonas alejadas y de frontera tales como las comunidades nativas anteriormente mencionadas y que generalmente se distribuyen por los ríos de difícil acceso en donde no es posible llegar con energía eléctrica haciendo uso de grupos electrógenos ni mucho menos de la energía proveniente del sistema interconectado.

REQUERIMIENTO DE ENERGÍA

El sistema debe suministrar energía suficiente para atender las cargas que se mencionan en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8

Descripción Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (V)	Consumo (W)	Consumo (A)	Servicio Diario (Horas/Día)	Carga D�aria (W-h/Día)
Sistema de Iluminación						
Luminaria Compacta	2	12	15	2.50	4	120
Radio o TV B/N	1	12	15	1.25	4	60
Potencia Máxima Instantánea (W)			45	Total Cargas DC		180.00
				A-h/día		15.00

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

a). Panel solar de 50 Wp

El arreglo solar está formado por un modulo solar de 50Wp, fabricado con células de Silicio Policristalino, e incluye el suministro de la estructura de soporte, diseñada para soportar el módulo solar, las inclemencias del clima, y los cables y accesorios de conexión. Este arreglo solar nos permitirá obtener un ALR de 1.17%.

b). Controlador de carga de 8 A

El controlador de carga tiene una capacidad de 8 A. Debido a que las baterías sufren un “envejecimiento” a lo largo de su vida útil, preferimos utilizar controladores que regulen por la carga por estado de carga (SOC) y no por voltaje.

c). Baterías de 100 A-h / 12 VDC

La batería debe ser de ciclo profundo, sellada, con una capacidad mínima de 100 A-h en 100 horas, lo que nos permitirá tener 4 días de autonomía.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

a). Modulo Fotovoltaico

Potencia Pico	Mínimo 50 Wp Nominales en 12 VDC, en condiciones STC.
Tipo	Policristalino.
Construcción	Marco de Aluminio, encapsulado EVA, con caja de conexiones, tapa de presión y bornera para conexión
Estructura de Soporte	Fabricada de perfiles de acero Galvanizado en caliente y/o aluminio, para montaje en techo o en poste.
Certificaciones	Certificación IEC-61215

b). Regulador de Carga

Capacidad	Mínimo 8 Amperios
Tecnología	Estado Sólido
Voltaje	12 y 24 VDC (Selección automática)
Regulación	Control de carga por Estado de carga de la batería (SOC)
Indicadores	LEDS indicadores del estado de carga de la batería
Temp. de operación	-25°C hasta 50°C
Protección	Contra sobrecarga (HVD) y contra descarga excesiva (LVD)
Certificaciones	Fabricado en plantas que cuentan con ISO 9001- IEC 800, protección contra descargas electrostáticas y eléctricas.

c). **Baterías**

Tipo	Baterías de Ciclo profundo con signos de polaridad perfectamente marcados y terminales diferenciados. Capaz de soportar una profundidad de descarga de 80 %.
Capacidad	Mínimo 100 A-h a 100 horas.
Voltaje	12 VDC.
Vida Útil	4 años según fabricante
Temp. de Operación	Entre 0 °C y 40°C

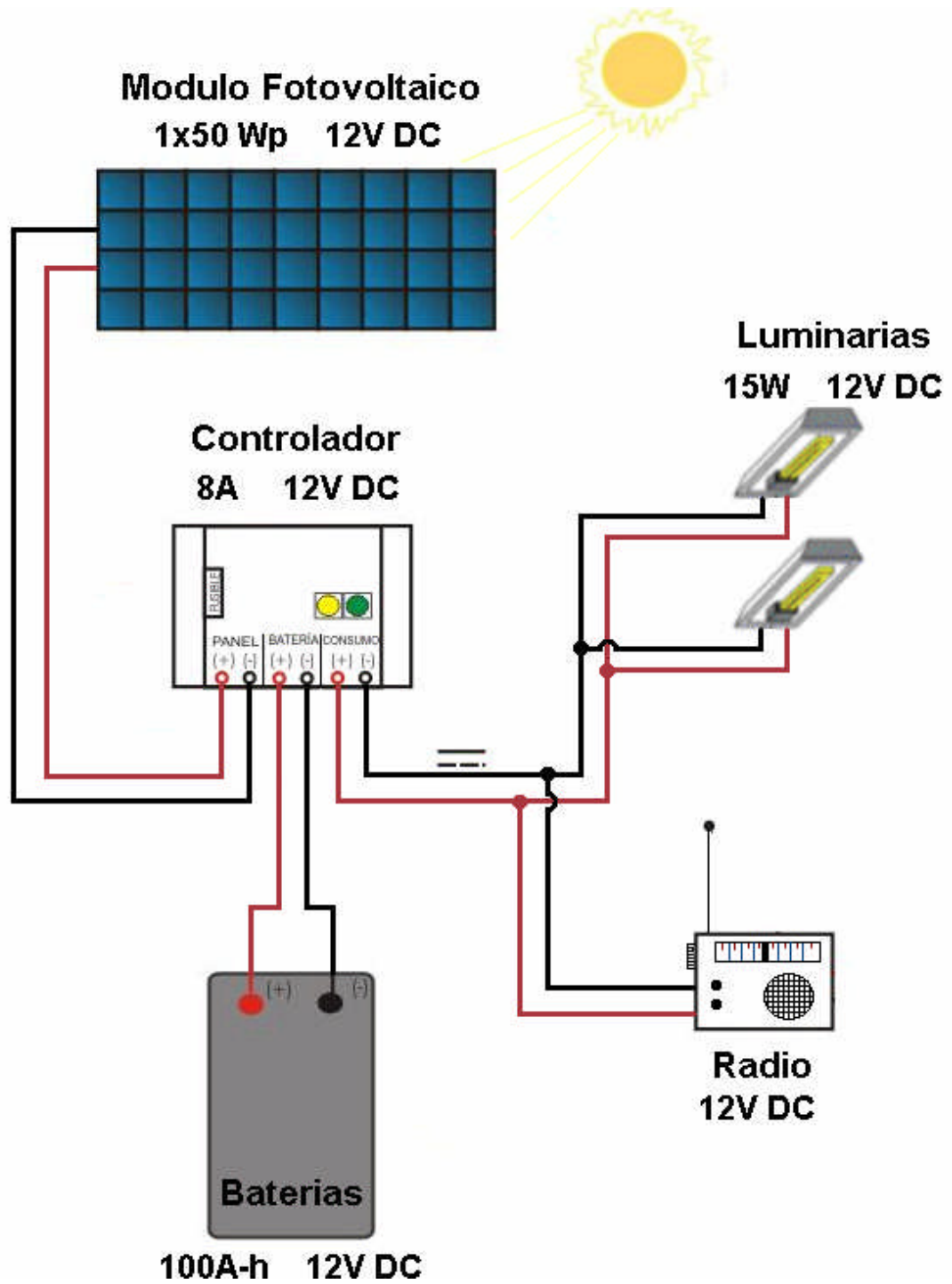
d). **Luminarias**

Características	Lámpara ahorradora compacta, 12 VDC, socket E27
Luminosidad	Mínimo 550 Lm de iluminación a 12 VDC
Voltaje Nominal	10.5 – 14.5 VDC
Consumo Máximo	1.43 A.
Potencia Nominal	15 W
Vida Útil	6000 horas
Certificaciones	Fabricado en plantas que cuentan con ISO 9001 - IEC 800, Protección contra descargas electrostáticas y eléctricas.

e). **Cables y accesorios de conexión**

De Arreglo Solar a Controlador	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x6 mm ² tipo RHW-2. Longitud máxima de 10 metros.
De Controlador a Baterías	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x6 mm ² tipo THW. Longitud máxima de 3 metros x polo.
De Controlador a Luminarias	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x2.5 mm ² , tipo THW. Longitud máxima de 10 metros por luminaria
Sellado de caja de conexión	Con prensaestopas tipo NPT de ½”

**DIAGRAMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
ELECTRIFICACIÓN DE VIVIENDAS**



6.5.2 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

El Sistema Fotovoltaico esta diseñado para suministrar energía eléctrica necesaria en el funcionamiento de un equipo de Radiofonía HF, el mismo que permite mejorar las comunicaciones en tiempo real de diversas comunidades.

Este sistema deberá contar un sistema de protección mediante la instalación de un pozo a tierra menor o igual a 10 ohmios. La resistencia se medirá al instalarse los equipos

REQUERIMIENTO DE ENERGÍA

El sistema debe suministrar energía suficiente para atender las cargas que se mencionan en la Tabla 6.9

Tabla 6.9

Descripción Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (V)	Consumo (W)	Consumo (A)	Servicio Diario (Horas/Día)	Carga Diaria (W-h/Día)
Sistema de Radio						
Radio Tx	1	12	248	20.67	1	248
Radio St By	1	12	18	1.50	1	18
					Total Cargas DC	266
					A-h/día	22.17

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

a). Panel Solar de 100 Wp

El arreglo solar está formado por Dos (02) módulos solares de 50Wp, fabricado con

células de Silicio Policristalino, e incluye el suministro de la estructura de soporte, diseñada específicamente para soportar el módulo solar, las fuerza del viento, las inclemencias del clima, y los cables y accesorios de conexión.

Este arreglo solar nos permitirá obtener un ALR de 1.58%

b). Controlador de carga de 30A

El controlador de carga tiene una capacidad de 30 A. Debido a que las baterías sufren un “envejecimiento” a lo largo de su vida útil, preferimos utilizar controladores que regulen por la carga por estado de carga (SOC) y no por voltaje.

c). Baterías de 100 A-H / 12 VDC

La batería debe ser de ciclo profundo, sellada, con una capacidad mínima de 100 A-h en 100 horas, lo que nos permitirá tener más de 3 días de autonomía.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

a). Modulo Fotovoltaico

Potencia Pico	Mínimo 100 Wp Nominales en 12 VDC, en condiciones STC.
Tipo	Policristalino.
Construcción	Marco de Aluminio, encapsulado EVA, con caja de conexiones, tapa de presión y bornera para conexión
Estructura de Soporte	Fabricada de perfiles de acero Galvanizado en caliente y/o aluminio, para montaje en techo o en poste.
Certificaciones	Certificación - IEC61215

b). Regulador de carga

Capacidad	Mínimo 30 Amperios
Tecnología	Estado Sólido
Voltaje	12 y 24 VDC (Selección automática)
Regulación	Control de carga por Estado de carga de la batería (SOC)
Indicadores	LEDS indicadores del estado de carga de la batería
Temp. de operación	-25°C hasta 50°C
Protección	Contra sobrecarga (HVD) , contra descarga excesiva (LVD)
Certificaciones	Fabricado en plantas que cuentan con ISO 9001- IEC 800, protección contra descargas electrostáticas y eléctricas.

c). Baterías

Tipo	Baterías de Ciclo profundo con signos de polaridad perfectamente marcados y terminales diferenciados. Capaz de soportar una profundidad de descarga de 80 % DOD.
Capacidad	Mínimo 100 A-h a 100 horas.
Voltaje	12 VDC.
Temp. de Operación	-10 °C hasta 40°C

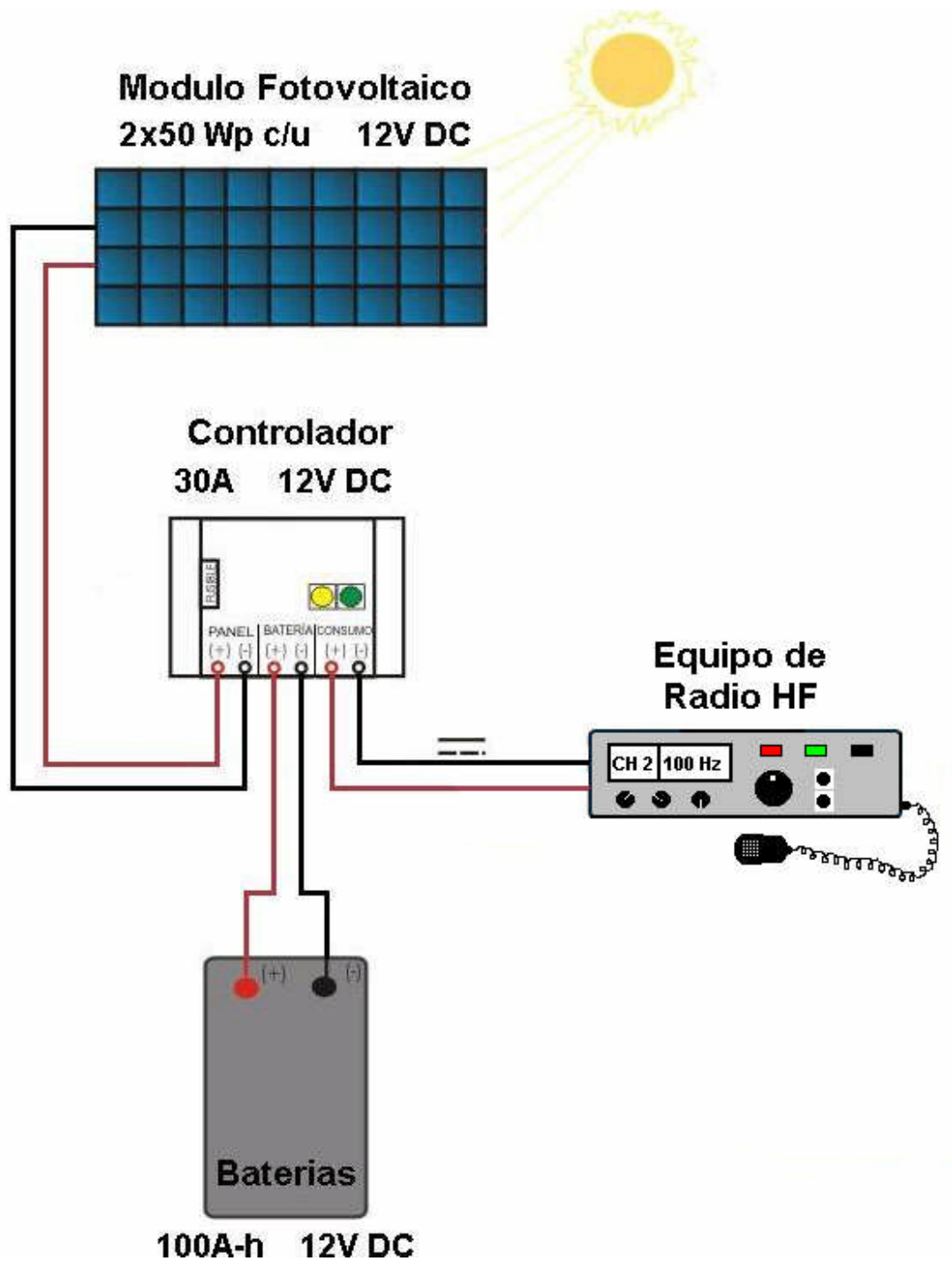
d). Cables y accesorios de conexión

De Arreglo Solar a Controlador	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x6 mm ² tipo RHW-2. Longitud máxima de 10 m.
De Controlador a Baterías	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x6 mm ² tipo THW. Longitud máxima de 3 m x polo.
De Controlador a Luminarias	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x2.5 mm ² , tipo THW. Longitud máx. de 10 m x luminaria
Conexión a Tierra	Cable de cobre desnudo de 16 mm ²
Sellado de caja de conexion	Con prensaestopas tipo NPT de ½”

f). Equipo de Radiofonía

Especificaciones Generales	
Numero de Canales	100 Canales
Rango de frecuencias	
Recepción	50 kHz-30 MHz
Transmisión	1.8-30 MHz
Resolución del Paso del Sintetizador de Frecuencia	10 Hz, 100 Hz, 1 kHz
Consumo	
Recepción (No hay señal)	1.2 A
Transmisión	20 A
Rango de temperatura del ambiente	-10°C to +50°C
Estabilidad de frecuencia	± 10 ppm
Impedancia RF Input-Output	50 ohms
Voltaje de la fuente de alimentación	12 VDC

**DIAGRAMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA USO
EN EQUIPOS DE RADIO-COMUNICACIÓN**



6.5.3 SISTEMAS PARA MODULOS PRODUCTIVOS

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

El Sistema Fotovoltaico está diseñado para suministrar energía eléctrica necesaria en el funcionamiento de pequeñas máquinas (máquinas de coser, de tejer, licuadoras, pequeños molinos, etc.), lo que permite mejorar las condiciones sociales y económicas de estas comunidades.

El sistema proporciona energía a 220 Vac, el mismo que deberá contar un sistema de protección mediante la instalación de un pozo a tierra menor o igual a 10 ohmios.

La resistencia se medirá al instalarse los equipos.

REQUERIMIENTO DE ENERGÍA

El sistema debe suministrar energía suficiente para atender las cargas que se mencionan en la Tabla 6.10, así mismo a efecto de simplificar cálculos se esta considerando un factor de carga cercano a la unidad, esto debido a que no se consideran cargas reactivas de gran potencia.

Así mismo se muestra para el Circuito Inversor / Carga en la Tabla 6.11.

Tabla 6.10

Descripción Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (V)	Consumo (W)	Consumo (A)	Servicio Diario (Horas/Día)	Carga Diaria (W-h/Día)
Sistema Productivo						
Maquinas Pequeñas	1	12	150	13.75	3	495.00
Iluminación	1	12	20	1.67	3	60.00

Pot. Máx. Instantánea de la maquina (W)	165	Total Cargas DC	555.00
		A-h/día	46.26

Tabla 6.11

Descripción Cargas	Cantidad	Voltaje de Operación (V)	Consumo (W)	Consumo (A)	Servicio Diario (Horas/Día)	Carga Diaria (W-h/Día)
Sistema Productivo						
Maquinas Pequeñas	1	220	150	0.75	3	495.00
Iluminación	1	220	20	0.09	3	60.00
Pot. Máx. Instantánea de la maquina (W)			165	Total Cargas AC		555.00
				A-h/día		2.52

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

a). Panel Solar de 150 Wp

El arreglo solar está formado por tres (03) módulos solares de 50Wp, fabricado con células de Silicio Policristalino, incluye el suministro de la estructura de soporte, diseñada específicamente para soportar el módulo solar, las inclemencias del clima, y los cables y accesorios de conexión. Este arreglo solar nos permitirá obtener un ALR de 1.13%.

b). Controlador de carga de 20A

El controlador de carga tiene una capacidad de 30 A. Debido a que las baterías sufren un “envejecimiento” a lo largo de su vida útil, preferimos utilizar controladores que regulen por la carga por estado de carga (SOC) y no por voltaje.

c). Inversor de corriente de 1 KW, 12 VDC / 220 VAC

El sistema contará con un inversor de onda sinusoidal de una potencia mínima de 1,0 Kw, para soportar las corrientes de arranque de las maquinarias a conectar.

d). Baterías de 200 A-H / 12 VDC

La batería debe ser de ciclo profundo, sellada, con una capacidad mínima de 200 A-h en 100 horas, lo que nos permitirá tener más de 3 días de autonomía.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**a). Modulo Fotovoltaico**

Potencia Pico	Mínimo 150 Wp Nominales en 12 VDC, en condiciones STC.
Tipo	Policristalino.
Construcción	Marco de Aluminio, encapsulado EVA, con caja de conexiones, tapa de presión y bornera para conexión
Estructura de Soporte	Fabricada de perfiles de acero Galvanizado en caliente y/o aluminio, para montaje en techo o en poste.
Certificaciones	Certificación IEC-61215

b). Baterías

Tipo	Baterías de Ciclo profundo con signos de polaridad perfectamente marcados y terminales diferenciados. Capaz de soportar una profundidad de descarga de 80 %.
Capacidad	Mínimo 200 A-h a 100 horas.
Voltaje	12 VDC.
Vida Útil	4 años según fabricante
Temp. de Operación	Entre 0 °C y 40°C

c). Regulador de Carga

Capacidad	Mínimo 30 Amperios
Tecnología	Estado Sólido
Voltaje	12 y 24 VDC (Selección automática)
Regulación	Control de carga por Estado de carga de la batería (SOC)
Indicadores	LEDS indicadores del estado de carga de la batería
Temp. de operación	-25°C hasta 50°C
Protección	Contra sobrecarga (HVD) , contra descarga excesiva (LVD)
Certificaciones	Fabricado en plantas que cuentan con ISO 9001- IEC 800, protección contra descargas electrostáticas y eléctricas.

d). Inversor de corriente

Voltaje de Entrada	10 – 16 VDC
Voltaje de Salida	230 VAC
Sobrecarga	Mínimo del 50%
Frecuencia	50 – 60 Hz
Consumo Máximo	Stand By : menor a 22 W Search : menor a 1.5 W
Potencia Nominal	Mínimo 1000 W
Tipo de Onda	Sinusoidal Pura
Certificaciones	Fabricado en plantas que cuentan con ISO 9001, Certificación UL.

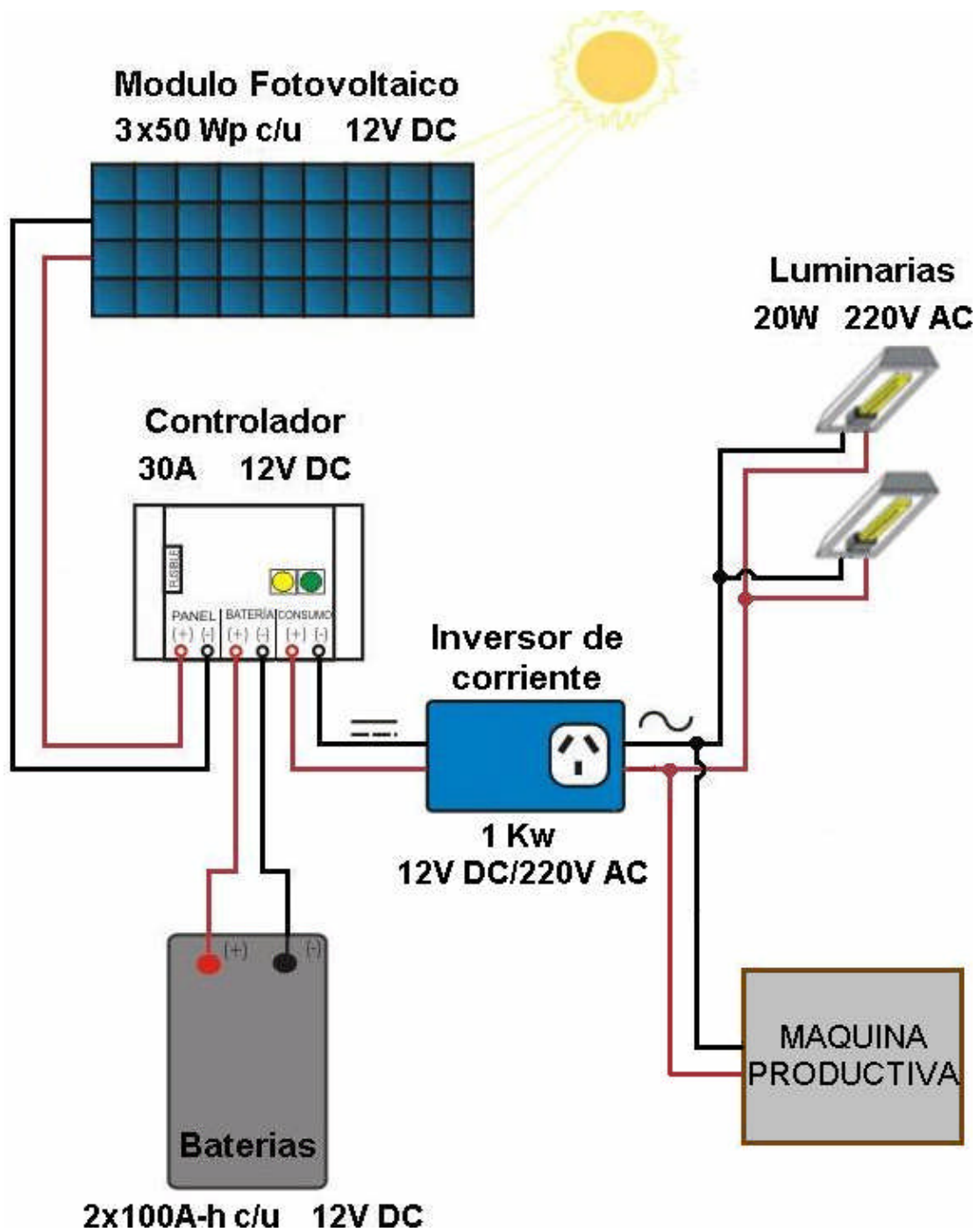
e). Luminarias

Características	Lámpara ahorradora compacta, 220 VAC, socket E27
Luminosidad	Mínimo 1000 Lm de iluminación a 220 VAC
Voltaje Nominal	220 - 240 VAC
Potencia Nominal	20 W
Vida Útil	3000 horas
Certificaciones	Fabricado en plantas que cuentan con ISO 9001 - IEC 800, Protección contra descargas electrostáticas y eléctricas.

g). Cables y accesorios de conexión

De Arreglo Solar a Controlador	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x6 mm ² tipo RHW-2. Longitud máxima de 10 metros.
De Controlador a Baterías	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x6 mm ² tipo THW. Longitud máxima de 3 metros x polo.
De Controlador a Luminarias	Conductor de cobre electrolítico recocido 2x2.5 mm ² , tipo THW. Longitud máxima de 10 metros por luminaria
Conexión a Tierra	Cable de cobre desnudo de 16 mm ²
Sellado de caja de conexión	Con prensaestopas tipo NPT de ½"

**DIAGRAMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA USO
EN MODULOS PRODUCTIVOS**



6.6 INSTALACIÓN

La instalación del sistema fotovoltaico consiste en el montaje de todos los componentes y el conexionado entre ellos siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y las normas eléctricas vigentes.

6.6.1 INSTALACIÓN DE LOS PANELES SOLARES

La estructura de soporte será fabricada de perfiles de acero galvanizado y/o aluminio, con un ángulo de inclinación de 15°; esta estructura puede apoyarse sobre el techo de la caseta, en el suelo o sobre un poste según se crea conveniente, así mismo es necesario ubicar el norte geográfico y orientar la estructura hacia el norte, procediendo al montaje de los módulos solares.

La inclinación adecuada y la orientación hacia el norte de los paneles solares van a permitir captar la mayor cantidad de energía al año.

El cable de bajada del arreglo solar se sujetará adecuadamente a la estructura y al poste, evitando que pueda vibrar con la fuerza del viento y aflojarse, ocasionando problemas en las conexiones. Todas las conexiones aéreas se deben hacer con los elementos de sujeción adecuados (Cintillos de plástico). La distancia entre el arreglo solar y el controlador debe ser menor a 10 metros, para disminuir las pérdidas por el conductor.

6.6.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN

Es importante elegir un lugar adecuado para colocar la unidad de regulación, se recomienda que este lugar sea: seco, fresco, bien ventilado, limpio de polvo y suciedad, protegido de gases de batería ya que estos gases son corrosivos y pueden dañar los equipos.

Revisar que todas las conexiones de la unidad de regulación se encuentren bien ajustadas.

Fijar la unidad de regulación en la pared (se recomienda utilizar tirafones y tarugos) en un lugar ventilado, limpio y seguro a una distancia no mayor a 3 metros de las baterías.

La conexión entre la unidad de regulación y los otros componentes del sistema se debe hacer siguiendo las indicaciones del fabricante.

Si es necesario utilizar un inversor, este puede estar junto al regulador, o en una caja separada, y se debe seguir las mismas recomendaciones dadas para la instalación del regulador.

6.6.4 INSTALACIÓN DE LA BATERÍA

La batería va colocada en un gabinete o rack metálico con tapa para evitar daños en los terminales o cortocircuitos; así mismo esta caja se debe ubicarse en una zona ventilada dentro del recinto, a una distancia no mayor a los 2 metros.

La batería a instalar será de ciclo profundo, sellada. Antes de instalar la batería, se debe verificar que el voltaje de cada una sea mayor a 12.5V, así mismo, verificar

que el nivel del electrolito dentro de los acumuladores esté dentro del rango establecido por el fabricante, de lo contrario se debe completar con agua destilada.

6.6.5 CONEXIONES

La unidad de control contiene interruptores termomagnéticos y borneras que van a facilitar la interconexión entre los componentes.

La conexión de los equipos se realizará según la secuencia siguiente:

CONECTAR EL REGULADOR DE CARGA A LA BATERÍA

Conectar el cable positivo de la batería al respectivo interruptor termo magnético, y el cable negativo a la bornera preparada para la batería. Verificar que la polaridad de la batería y la del controlador sea la misma. Si el voltaje de las baterías fuese menor a 11.5 V, entonces la batería se deberá recargar antes de ser conectada al sistema.

CONECTAR EL ARREGLO SOLAR AL CONTROLADOR

Conectar el cable positivo del arreglo solar al respectivo interruptor termo magnético, y el cable negativo a la bornera preparada para los paneles. Si se tienen que pasar cables aéreos, verificar que se utilicen los accesorios adecuados para adosar. Para conectar el arreglo solar se utilizará un conductor de 6 mm² Tipo RHW-2 con terminales de conexión en los extremos. La interconexión entre los módulos se realizará con el mismo tipo de conductor y se sellarán las cajas de conexión con prensaestopas NPT de ½”.

CONECTAR EL INVERSOR DE CORRIENTE

El inversor se conecta directamente a la batería. Esta conexión se debe hacer a través de un breaker o interruptor termo magnético con terminales de conexión en los extremos.

CONECTAR LAS CARGAS DC AL CONTROLADOR

El cableado interior se debe realizar siguiendo las normas de electricidad establecidas. Cada luminaria va en un socket en la pared o techo y estar conectada a través de un interruptor de pared. Luego de verificar que las conexiones internas, se procede a conectar las luminarias a las borneras conectadas a la salida de 12 VDC del regulador.

6.7 PUESTA EN MARCHA

La puesta en marcha del sistema consiste en realizar un protocolo de pruebas, verificando el buen funcionamiento del sistema y conocer los parámetros de funcionamiento del mismo.

Para empezar a utilizar el sistema fotovoltaico, primero se debe conectar el interruptor de las baterías, luego el del arreglo solar y por último el de las cargas, sin embargo, es recomendable levantar los 3 interruptores al mismo tiempo. Asegurarse que los indicadores de carga del controlador estén encendidos.

6.8 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los sistemas fotovoltaicos están diseñados para ser operados fácilmente por los usuarios, esta operación es tan sencilla como prender y apagar interruptores; así mismo el usuario debe verificar las señales de “Buen Funcionamiento” del sistema para evitar fallas posteriores y/o deficiencias de operación.

El mantenimiento de este tipo de sistemas es mínimo y su operación es muy simple no requiriéndose mayores conocimientos técnicos para ello.

Para efectos de un correcto mantenimiento y una adecuada operación de los Sistemas Fotovoltaicos, se debe de tener en cuenta lo siguiente:

- Desconectar los equipos eléctricos en los días de fuerte tormentas eléctricas y de viento para evitar que una descarga atmosférica pueda averiarlos.
- No permitir que otros usuarios se conecten a su instalación (no hacer tendederas).
- No conectar equipos de potencia superior a la del inversor CD/CA, pues esta sobrecarga puede dañarlo.
- No utilizar, en sustitución del agua destilada para rellenar la batería de acumulación, agua de río, hervida u otro tipo que no sea la recomendada, ya que esto daña la vida útil de la batería de acumulación. Una vía para recolectar agua destilada es en los días de lluvia.
- Fijarse regularmente en los indicadores lumínicos del controlador de carga.
- Se recomienda limpiar la superficie del panel solar de agentes externos, tales como el polvo y así de esta manera poder optimizar una alta eficiencia de generación.

CAPÍTULO 7

IMPACTO AMBIENTAL

7.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituye, frente a los combustibles fósiles, una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de su uso directo (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras, etc.). Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

Clima.- La generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero.

Geología.- Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se

producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

Suelo.- Al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.

Aguas superficiales y subterráneas.- No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

Flora y fauna.- La repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Paisaje.- Los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

Ruidos.- El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

Medio social.- El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en los techos de las viviendas.

Sin embargo, en la fabricación de los componentes de los Sistemas Fotovoltaicos se produce contaminación, una contaminación que debe reducirse.

No todas las formas de producir energía contaminan lo mismo, aquí es donde radica la ventaja de la instalación de paneles solares. Estos no contaminan una vez instalados y no producen residuos de complicado y peligroso almacenaje. Por eso, podemos afirmar que la energía solar es una energía limpia y respetuosa con el medio ambiente.

Tabla 7.1: Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad

(Emisiones de contaminantes - toneladas por GWh - para la producción de electricidad)

Fuente de energía	CO ₂	NO _x	SO ₂	Partículas sólidas en suspensión	CO	Hidro-carburos	Residuos nucleares	Total
Carbón	1.058,2	2,986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1.066,
Gas natural	824,0	0,251	0,336	1,176	TR	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,029	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomasa	0,0	0,614	0,154	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotérmica	56,8	TR*	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eólica	7,4	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidráulica	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

(*) TR: trazas

7.2 CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE FÍSICO, BIOLÓGICO Y SOCIO ECONÓMICO DE LAS COMUNIDADES DE PURUS

- 1 La zona de estudio comprendida es de clima húmedo tropical, cálido, con ligeras variaciones conformadas en las llamadas épocas secas y lluviosas.
- 2 La temperatura promedio anual es de 24.5 C°, con una temperatura máxima promedio de 36 C° y una mínima de 21C°.
- 3 La vegetación que rodea a las Comunidades están constituidos por bosques altos o por sábanas de vegetación.
- 4 El área donde se desarrollará el Proyecto corresponde a la provincia de Purus del Departamento de Ucayali.
- 5 La educación de la mayoría de la población que se va beneficiar con el Proyecto es de un nivel primario, el que a su vez se comunican en el idioma castellano y en su propio lenguaje nativo.
- 6 La mayoría de viviendas de las Comunidades son de madera, techos de paja, calaminas, con pisos de tierra y madera.

7.3 IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO

Por las características de la infraestructura a instalar y la puesta en marcha del sistema; este proyecto por su naturaleza no va generar impactos negativos en el medio ambiente, toda vez que los trabajos de instalación y montaje de los paneles solares se van a realizar en el techo de cada una de las viviendas, sin embargo para la

instalación de los elementos de Puesta a Tierra se tendrá que remover el suelo, cuyo impacto ambiental en la zona es mínimo o casi nulo.

7.3.1 CONSIDERACIONES PARA EL PROYECTO

FASE DE DISEÑO

El Proyecto se tiene que diseñar con instalaciones y materiales que permitan la seguridad de las personas y animales considerando los sistemas de protección adecuados, los mismos que permitan brindar la continuidad permanente del servicio.

FASE DE CONSTRUCCIÓN

El supervisor de la entidad deberá exigir al contratista las constancias de la buena salud de los trabajadores, asimismo exigirá la capacitación del personal de trabajo a través de un programa de manejo ambiental en mínimas condiciones el cual estará a cargo del contratista.

La movilización de los equipos y el manipuleo deberá realizarse con las máximas condiciones de seguridad.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN O COMPENSACIÓN

En el medio físico, la remoción de la tierra en el área de trabajo deberá realizarse en forma cuidadosa, rellenándose el agujero al final del trabajo, así mismo el **Plan de Monitoreo Ambiental** debe considerar en condiciones mínimas lo siguiente:

- 1 Diagrama de flujo del proceso
- 2 Monitoreo de residuos

- 3 Selección de residuos
- 4 Criterios para la selección de estaciones de muestreo.
- 5 Identificación de las estaciones de muestreo
- 6 Frecuencia de monitoreo
- 7 Metodología de muestreo
- 8 Manejo de datos

CAPÍTULO 8

EVALUACIÓN ECONÓMICA

8.1 PRESUPUESTO

8.1.1 COSTOS UNITARIOS: SISTEMA DOMICILIARIO

Los costos unitarios de los materiales y equipos se detallan en la **Tabla 8.1**

8.1.2 COSTOS UNITARIOS: SISTEMA DE RADIOFONÍA

Los costos unitarios de los materiales y equipos se detallan en la **Tabla 8.2**

8.1.3 COSTOS UNITARIOS: MÓDULO PRODUCTIVO

Los costos unitarios de los materiales y equipos se detallan en la **Tabla 8.3**

8.1.4 COSTOS DE INSTALACIÓN, TRANSPORTE Y FLETE

Los costos se detallan en la **Tabla 8.4**

8.1.5 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

El costo total del proyecto se detalla en la **Tabla 8.5**

TABLA 8.1 COSTOS UNITARIOS: SISTEMA DOMICILIARIO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
SISTEMA DE ENERGÍA			
Modulo Policristalino de 50 Wp	1	1100.00	1100.00
Batería de ciclo profundo, sellada, 12 V DC, 100 A-h a 100 horas	1	345.00	345.00
Controlador de carga de 8 A, selección automática 12 / 24 V DC	1	320.00	320.00
Estructura de soporte de acero galvanizado y/o aluminio para modulo tipo poste	1	100.00	100.00
Rack metálico con tapa para 01 batería	1	50.00	50.00
Cables y accesorios de conexión del sistema de energía	1	180.00	180.00
CONEXIONES INTERNAS			
Luminarias compacta de 15 W, 12 VDC tipo PL con socket y tornillos	2	52.50	105.00
Interruptor simple TICINO con tornillos	2	4.34	8.68
Tomacorriente doble con tornillos	1	7.79	7.79
Cables y accesorios de conexión	1	150.00	150.00
VALOR DE VENTA POR SISTEMA PARA VIVIENDAS			2366.47

TABLA 8.2 COSTOS UNITARIOS: SISTEMA DE RADIOFONÍA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
SISTEMA DE ENERGÍA			
Modulo Policristalino de 50 Wp	2	1100.00	2200.00
Batería de ciclo profundo, sellada, 12 V DC, 100 A-h a 100 horas	1	345.00	345.00
Controlador de carga de 30 A selección automática 12 / 24 V DC	1	500.00	500.00
Estructura de soporte de acero galvanizado y/o Aluminio para 02 módulos tipo poste	1	150.00	150.00
Rack metálico con tapa para 01 batería	1	50.00	50.00
Cables y accesorios de conexión del sistema de energía	1	270.00	270.00
POZO A TIERRA			
Caja de registro	1	60.00	60.00
Conductor de cobre desnudo 16 mm ²	35	1.20	42.00
Dosis de sales electrolítica	2	25.00	50.00
Pararrayos tetrapuntal Thor Franklin (incluye separador)	1	200.00	200.00
Varilla de cobre puro ½ " x 1.90 m ; incluye conector tipo AB COPPERWELD	2	100.00	200.00
SISTEMA DE RADIOFONÍA			
Antena multibanda nacional con cable RG 8/U drizas	1	100.00	100.00
Equipo de radio YAESU MOD. 600. UHF	1	4800.00	4800.00
Estructura de F.G. tubo ¾" · H=15 m. (3 columnas) ; incluye cable de F.G para templado	1	1000.00	1000.00
Bloque de concreto muro 50x50x20 cm (materiales)	3	35.00	105.00
Bloque de concreto muro 50x50x90 cm (materiales)	1	50.00	50.00
Varilla de anclaje galvanizado 5/8"x 2m	3	8.00	24.00
Cables y accesorios de conexión del sistema de radio	1	80.00	80.00
VALOR DE VENTA POR SISTEMA PARA RADIO HF			10226.00

TABLA 8.3 COSTOS UNITARIOS: MÓDULO PRODUCTIVO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
SISTEMA DE ENERGÍA			
Modulo Policristalino de 50 Wp	3	1100.00	3300.00
Batería de ciclo profundo, sellada, 12 V DC, 100 A-h a 100 horas	2	345.00	690.00
Controlador de carga de 30 A, , selección automática 12 / 24 V DC	1	500.00	500.00
Estructura de soporte de acero galvanizado y/o Aluminio para 03 módulos tipo poste	1	200.00	200.00
Inversor de corriente de onda sinusoidal, 1 KW, 12 V DC, 220 V AC	1	2800.00	2800.00
Rack metálico con tapa para 02 batería	1	85.00	85.00
Cables y accesorios de conexión del sistema de energía : (cinta especial 3M, terminales, etc)	1	300.00	300.00
CONEXIONES INTERNAS			
Lámpara ahorradora de 20 W, 220 V AC, rosca E27 incluye el socket y tornillos	1	45.00	45.00
Interruptor simple TICINO con tornillos	1	4.34	4.34
Tomacorriente doble con tornillos	1	7.79	7.79
Cables y accesorios de conexión (cinta aislante, terminales, grapas, cintillos,, etc.)	1	450.00	450.00
POZO A TIERRA (ESTRUCTURA /EQUIPOS)			
Caja de registro	2	60.00	120.00
Conductor de cobre desnudo 16 mm2 por metro	25	1.20	30.00
Estructura de F.G. tubo ¾" · H=10 m. (3 columnas) ; incluye cales de sujeción	1	700.00	700.00
Dosis de sales electrolítica x caja	2	25.00	50.00
Pararrayos Tetrapuntal Thor Franklin (incluye separador)	1	200.00	200.00
Varilla de cobre puro ½" x 1.90 m, (incluido conector tipo AB COPPERWELD)	2	100.00	200.00
VALOR DE VENTA PARA MÓDULOS PRODUCTIVOS			9682.13

TABLA 8.4 COSTOS DE INSTALACIÓN TRANSPORTE Y FLETE

Instalación y puesta en marcha	Cantidad	Precio Unitario de Instalación (S/.)	Precio Unitario de Transporte y Fletes (S/.)	Precio Unitario por sistema Instalado (S/.)	Precio Total (S/.)
Sistema de Energía Domiciliario	336	250.00	150.00	400.00	134,400.00
Sistema de Radiofonía HF	9	500.00	400.00	900.00	8,100.00
Módulo Productivo	16	450.00	350.00	800.00	12,800.00
PRECIO TOTAL DE INSTALACIÓN Y TRANSPORTE (Inc. IGV)					155,300.00

TABLA 8.5 RESUMEN

Descripción del Sistema	Cantidad	Valor Venta Unitario (S/.)	Valor Venta Total (S/.)
Sistema de Energía Domiciliario	336	2366.47	795133.92
Sistema de Radiofonía HF	9	10226.00	92034.00
Módulo Productivo	16	9682.13	154914.08
Instalación y puesta en marcha	1	155300.00	155300.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO			1'197,382.00

8.2 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

8.2.1 COSTOS EN LA SITUACIÓN SIN PROYECTO

Tabla 8.6 COSTO DE LA ENERGIA MENSUAL POR FAMILIA

Necesidad	Fuente Actual de Energía	Unidad de Medida	Unidades Consumidas Mensuales	Precio Unitario (S/.)	Gasto Mensual (S/.)
Iluminación	Kerosene	L.	3	8.00	24.00
	Velas	Un.	30	0.30	9.00
Información, esparcimiento (Radio y TV)	Baterías	Carga	2	5.00	10.00
	Pilas	Un.	8	2.50	20.00
TOTAL					63.00

Nota : S/. 63.00 ; es el costo por familia al mes, el costo anual sería S/.756.00.

8.2.2 COSTOS EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO

El costo en la situación con proyecto es la inversión inicial y los gastos de operación y mantenimiento de acuerdo a las proyecciones de consumo en las comunidades para un horizonte de proyecto de 20 años.

A continuación se detalla de manera general el presupuesto que se requiere para implementar los sistemas en las diversas localidades. (Los detalles de estos costos están especificados en la **Tabla 8.7**).

Tabla 8.8 PRESUPUESTO DE LA OBRA

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO (S/.)
1	336 Sistema de Energía Solar Domiciliario	795133.92
2	9 Sistema Solar para Radiofonía HF	92034.00
3	16 Sistema para Módulo Productivo	154914.08
	TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES	1'042,082.00
	Instalación y puesta en marcha, Transporte y fletes	155300.00
	TOTAL COSTO DE OBRA	1'197,382.00

8.2.3 BENEFICIOS EN LA SITUACIÓN SIN PROYECTO

El único beneficio en la situación sin proyecto sería el ahorro en la inversión inicial. Actualmente la comunidad no cuenta con ninguna fuente de energía eléctrica, por lo que cubren sus necesidades energéticas básicas con fuentes alternativas como velas, combustibles, baterías y otros.

8.2.4 BENEFICIOS EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO

El proyecto permitiría cubrir la demanda básica de energía de los pobladores, teniendo la opción de ampliarse posteriormente.

El acceso a la energía en estas comunidades permitirá un cambio importante en la calidad de vida de los pobladores permitiéndoles realizar nuevas tareas y actividades beneficiosas para el desarrollo cultural y social de la comunidad. El acceso de la

información a través de la radio y la televisión mejorará la participación institucional y potenciará el compromiso civil de los pobladores con los objetivos de los gobiernos regionales y del gobierno central, así mismo, la comunicación por radio contribuirá al desarrollo socioeconómico de la zona.

8.3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

8.3.1 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

Los recursos para la etapa de inversión provendrán del Canon y Sobre Canon, consignados en el Presupuesto Anual del GOREU (Gobierno Regional de Ucayali)

8.3.2 GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN

La capacidad de gestión y organización del proyecto en sus etapas de inversión y operación estarán a cargo del Gobierno Regional de Ucayali que será la encargada en su oportunidad de ejecutar el estudio final de Ingeniería del Proyecto, el cual beneficiará a las 16 comunidades nativas de la provincia de Purus, definiendo además cuanto y como se debe cobrar a los pobladores de estas comunidades de bajos recursos, sin que los costos de cobranza incrementen sustancialmente los costos en instalaciones.

Siempre lo más difícil es que usuarios de bajos recursos paguen mensualmente por un crédito, peor aún si son comunidades nativas y si tienen los equipos ya instalados.

Por ello la capacitación en aspectos organizativos de los usuarios durante un tiempo anterior a la instalación de los sistemas debe ser priorizada.

8.3.3 PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

Este proyecto pretende involucrar a los pobladores de las comunidades en el proceso de planificación e instalación de los sistemas fotovoltaicos, **siendo ellos los responsables del mantenimiento y operación de los sistemas;** para esto, es necesario contar con una organización eficiente con procedimientos sencillos, prácticos y modernos, logrando finalmente la incorporación de la nueva tecnología a su estilo de vida. Cada comunidad posibilitará el planeamiento estratégico y económico para las labores de mantenimiento correctivo de lámparas y baterías.

8.3.4 CAPACITACIÓN TÉCNICA

Las entidades interesadas en la ejecución del proyecto han elaborado un plan de capacitación necesario para que los pobladores utilicen correctamente los sistemas fotovoltaicos, se encarguen de la administración de los mismos y realicen las tareas de control y mantenimiento.

8.3.5 IMPACTO AMBIENTAL

Los sistemas fotovoltaicos no generan ningún impacto ambiental negativo en el ecosistema, durante su transporte, instalación o tareas de mantenimiento, por ser totalmente productos inocuos.

CONCLUSIONES

1. El Sol posee una elevada calidad energética no contaminante y renovable que permite usos variados y efectivos, es inagotable a escala humana y no necesita de mucho espacio para ser utilizada. La energía solar puede ser utilizada de una manera muy fácil para la generación de energía eléctrica; además, no requieren sofisticar las medidas de seguridad, y no produce residuos tóxicos de difícil o imposible tratamiento o eliminación.
2. Las desventajas del uso de esta energía son despreciables al compararla con el inmenso beneficio de la explotación de esta misma, por lo tanto, debemos considerarla como una buena alternativa al momento de elegir y así contribuiremos con un planeta más limpio y podremos aprovechar un recurso natural y de fácil procesamiento.
3. La utilización de la energía solar mediante sistemas fotovoltaicos, tiene un gran futuro como un tipo de energía alternativa. Además con el avance de la tecnología se disminuirá el costo por panel así como su instalación, dando así una mayor accesibilidad para familias de sectores rurales.

4. Una de las aplicaciones más importantes de estos sistemas es la electrificación de zonas rurales, en las cuales no es posible hacer llegar la red de energía eléctrica convencional. Por tanto en estos lugares es mejor instalar sistemas fotovoltaicos donde uno o varios paneles solares carguen baterías para que posteriormente la energía almacenada en estas pueda ser utilizada por dispositivos convencionales (televisiones, radios, fluorescentes, etc).
5. La capacitación técnica y adecuada de los pobladores para la utilización, control y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es necesario para el correcto funcionamiento de estos sistemas y puedan cumplir de esta manera con su ciclo de vida útil.
6. Los sistema fotovoltaicos son confiables y duraderos, no ocasionan ningún desequilibrio al ambiente y son competitivos cuando la cantidad de energía demanda es pequeña y los sitios son lejanos o es difícil llegar a ellos no teniendo acceso a la red eléctrica.
7. La sostenibilidad de los proyectos tendrá por un lado la participación del Estado en cuanto a los subsidios, y por otro la inteligencia de los propios inversionistas para hacer rentables los proyectos.
8. Este proyecto permitirá el desarrollo social, cultural y económico de las comunidades nativas de la cuenca de los ríos Purus y Curanja, mejorando su infraestructura de servicios básicos, sustituyendo las velas o mecheros por el sistema de iluminación fotovoltaica, permitiendo el acceso a la información, a

través de la radio y televisión, a una educación de mejor calidad y a la generación de pequeños procesos productivos; utilizando para ello la Energía Solar.

- 9.** La sostenibilidad del proyecto solo podrá garantizarse si a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto contamos con un plan de desarrollo comunitario, el cual permitirá que las comunidades beneficiarias se identifiquen con el proyecto, tomando conciencia de su responsabilidad e importancia para el éxito del mismo.

- 10.** La provisión de servicios eléctricos rurales no es una empresa complicada, pero requiere considerable experiencia y puede ser muy intensiva en materia de inversión de capital. Estos proyectos son más exitosos cuando las instituciones no se ven sobrecargadas con costosos sistemas administrativos y cuando están bien capacitadas y preparadas para ofrecer un servicio de calidad a precios razonables.

RECOMENDACIONES

1. Los programas deben basarse en el mercado, evitar subsidios continuos y establecer metas para la recuperación de costos y normas mínimas de calidad del servicio con el fin de asegurar la satisfacción del usuario.
2. En el proceso actual de descentralización, el Estado debe promover la inversión privada en la electrificación rural.
3. Las enseñanzas recogidas del diseño y la implantación de programas de electrificación convencionales deben y pueden aplicarse a los nuevos programas de electrificación mediante energía solar, si se quiere que estos programas alcancen el nivel de autosuficiencia necesario para ingresar al mercado comercial.

BIBLIOGRAFÍA

Centro de Energías Renovables, UNI. Gestión y administración de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos, Lima – Perú, 1998.

Comisión Europea, Proyecto Joule-Thermie. Norma técnica universal para sistemas fotovoltaicos domésticos, Thermie B: SUP-995-96, Traducción al español, Instituto de Energía Solar, UPM, Madrid - España, 1998.

"ELECTRIFICACIÓN RURAL CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS", Espinoza y Horn, Lima- Perú, noviembre de 1992; publicación del CER con auspicio del CONCYTEC. CER-UNI.

"Electricidad Solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos". Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid. Lorenzo, E. 1994

"Energía Solar Fotovoltaica". Ed. Orbis S.A. España, 1986

"Evaluación de la radiación solar para una electrificación solar de las islas Amantaní y Taquile, Puno", M. Horn ,CER-UNI, Lima, 1994

Ley de Concesiones Eléctricas y Reglamento - DGE/MEM - (Decreto Ley N° 25844, DS N° 009-93-EM.

"Manual de Prácticas Recomendadas para proyectos de Sistemas Fotovoltaicos Independientes". Sandia National Laboratories, Nuevo México, E.U. 1990.

Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) 2004-2013 – DEP/MEM

Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú; "Atlas de Energía Solar del Perú". Junio 2003 (SENAMHI – DEP/MEM).

Taller de Capacitación OPGC/DEP – Gobiernos Regionales; SISPLA (Sistema de Información de Planeamiento de Proyectos).

Páginas Web

<http://solar.ujaen.es/cursolar.htm>

www.energias.com.ar

<http://www.rc.sandia.gov/espanol/home.htm>

<http://www.codeso.com>

<http://www.minem.gob.pe/dcp/>

<http://.fc.uni.edu.pe/solar/fv>

<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias>

www.censolar.es

<http://www.solarweb.net/fotovoltaica>