

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

" PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN AREAS RURALES POR BOMBEO
UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE "

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MARIO ROBERTO HERNANDEZ MORAN

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1,997.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

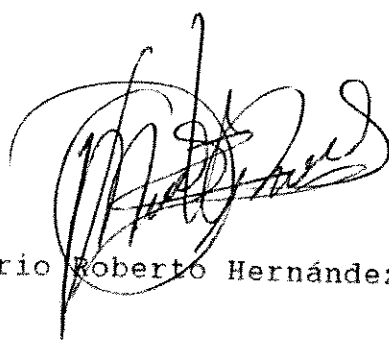
08
T(4106)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

" PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN AREAS RURALES POR BOMBEO
UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE "

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 25 de Agosto de 1,995


Mario Roberto Hernández Morán

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	ING.	HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS
VOCAL PRIMERO:	ING.	MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO:	ING.	JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO:	ING.	JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO:	BR.	VICTOR RAFAEL LOBOS ALDANA
VOCAL QUINTO:	BR.	WAGNER GUSTAVO LOPEZ CACERES
SECRETARIA:	INGA.	GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO:	ING.	JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR:	ING.	BUENAVENTURA CORONADO CASTILLO
EXAMINADOR:	ING.	MARIO RODOLFO CORZO AVILA
EXAMINADOR:	ING.	MARIO RENE DE LEON GARCIA
SECRETARIO:	ING.	FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

Guatemala, 7 de abril de 1,997

Ingeniero
Marco Tulio Ventura Roldan
Jefe del Departamento de Hidráulica
Universidad de San Carlos

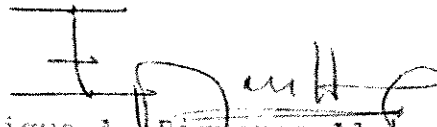
Respetable Ingeniero:

Me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado y efectuado las correcciones del caso para el trabajo de tesis titulado PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN AREAS RURALES POR BOMBEO UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE, del estudiante Mario Roberto Hernández Morán, trabajo para el que fui designado asesor.

Trabajo que satisface los objetivos planteados y el cual presenta un aporte importante para el área de Hidráulica, por lo que, con la aprobación respectiva, lo remito a esa dirección para lo pertinente.

Cordialmente.

ID Y ENSEÑAR A TODOS



Ing. Enrique A. Figueroa Alvarez
Asesor

Enrique A. Figueroa A.
INGENIERO CIVIL
COL: No. 1618

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 17 de agosto de 1997

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra S.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
Su Despacho

Ingeniero Ibarra:

Después de analizar y revisar el trabajo de tesis titulado **PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN AREAS RURALES POR BOMBEO UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE**, del estudiante universitario Mario Roberto Hernández Morán, con Carnet No. 84-13404, y actuando como Jefe del Departamento de Hidráulica, tengo a bien informar que el mismo cumplió con todos los requisitos de índole técnico en forma satisfactoria y a cabalidad.

El presente trabajo tendrá gran utilidad para todos aquellos profesionales que buscan selecciones apropiadas, principalmente en el campo del Abastecimiento de Agua para el Area Rural.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Hidráulico Marco Tulio Ventura Roldán
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

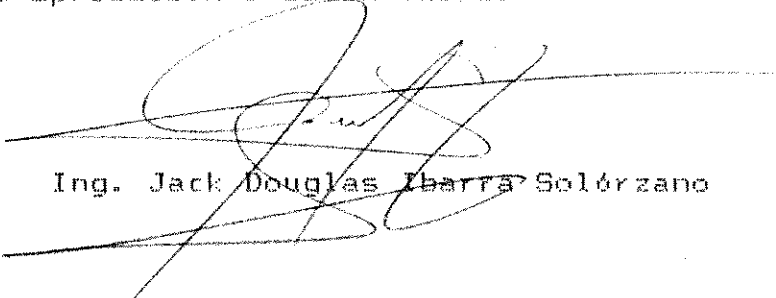


ACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Enrique A. Figueroa Alvarez y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, del trabajo de tesis del estudiante Mario Roberto Hernández Morán, titulado PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN AREAS RURALES POR BOMBEO UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano

Guatemala, agosto de 1,997.



JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN AREAS RURALES POR BOMBEO UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE**, del estudiante Mario Roberto Hernández Morán, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, septiembre de 1,997

/bbdeb.

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Se le agradece por iluminarme en mi vida estudiantil ya que sin El nada de lo que he realizado podría ser una realidad.

MIS PADRES:

Adolfo Roberto Hernández Garzaro
Julia Beatriz Morán de Hernández.
Por sus múltiples sacrificios,
confiando que algún día verían
realizado el fruto de ellos.

MIS HERMANOS:

Erick Gonzalo, Maria Alicia
Con aprecio.

MIS SOBRINOS:

Roberto Daniel, Tamy Sucely.
Con cariño.

MI PROMETIDA:

Eva Guadalupe García De León
Con nucho amor.

MIS AMIGOS Y AMIGAS.

DEDICO ESTA TESIS

A:

Mi Patria Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Facultad de Ingeniería

La Escuela de Ingeniería Civil

La División de Saneamiento del Medio

Fundación Solar

LUEX de Guatemala

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

AL INGENIERO

ENRIQUE FIGUEROA ALVAREZ

POR ESTAR DISPUESTO A COMPARTIR

SUS CONOCIMIENTOS Y EMPRENDER ESTE RETO

INDICE GENERAL

	Página
Glosario	.i.
Objetivos	iii.
Introducción	iv.

CAPITULO 1

1.- Criterios de elegibilidad de comunidades para proyectos de abastecimiento de agua utilizando energía renovable	
1.1.- Aspectos organizacionales	1
1.1.1.- Respaldo comunitario	1
1.1.2.- Respaldo institucional	1
1.1.3.- La coordinación local	1
1.1.4.- Experiencias anteriores	1
1.2.- Aspectos técnicos	2
1.2.1.- Distancia a la red eléctrica	2
1.2.2.- Ventana solar	2
1.2.3.- Acceso al sitio	2
1.2.4.- Cuantificación del recurso	3
1.2.5.- Propiedad del recurso	3
1.2.6.- Perfil del consumo de agua	3
1.3.- Aspectos financieros	3
1.3.1.- Actividad económica	3
1.3.2.- Gasto actual	3
1.3.3.- Capacidad de pago	4
1.3.4.- Costo de la alternativa	4
1.3.5.- Costo de operación y mantenimiento	4
1.3.6.- Estructura operativa y financiamiento	4

CAPITULO 2

2.- Energía solar	
2.1.- Descripción de la energía Fotovoltáica	5
2.1.1.- Brillo solar	10
2.1.2.- Irradiación solar	11
2.2.- Aplicaciones de la energía Fotovoltáica para accionar equipos de bombeo	14
2.2.1.- Centrífugas directas	16
2.2.2.- Centrífugas Autocebantes	16
2.2.3.- Sumergible	16
2.2.4.- Bombas de desplazamiento positivo	16
2.3.- Aplicación de la energía Fotovoltáica para	

accionar equipos de purificación de agua	17
2.4.- Procesos convencionales de desinfección	17
2.4.1.- Método de luz ultravioleta	17
2.4.2.- Método de oxidación	17
2.4.3.- Bombeo	17
2.4.4.- Clorinación	18
2.5.- Otras aplicaciones	18
2.6.- Energía Eólica	18
2.6.1.- Descripción de la energía Eólica	18
2.7.- Aplicación de la energía Eólica para accionar equipos de bombeo	24
2.7.1.- Aeromotor Eólico convencional	25
2.7.2.- Aeromotor Eólico mejorado	26
2.8.- Aplicación de la energía Eólica para accionar equipos de purificación de agua	27
2.8.1.- Procesos Convencionales	27
2.8.2.- Aplicación Electro-eólica	27

CAPITULO 3

3.- Diseño de los componentes para un sistema de bombeo accionado con energía solar	
3.1.- Diseño de equipo de bombeo	29
3.1.1.- Cálculo de la potencia de la bomba (HP)	30
3.1.2.- Cálculo del amperaje de la bomba	31
3.1.3.- Tipo de bombas	32
3.1.4.- Tipos de motor	42
3.1.5.- Reservas de energía en baterías	42
3.1.6.- Reservas de energía en tanques de agua	43
3.1.7.- Los controles necesarios	43
3.1.8.- Definición de la demanda de agua	44
3.1.9.- Niveles diarios de insolación	45
3.1.10.- Determinación del flujo máximo de agua	46
3.1.11.- Producción de agua	46
3.1.12.- Carga estática y dinámica	46
3.1.13.- Selección del sistema	49
3.1.14.- Efectos de la radiación solar variable sobre el rendimiento	50
3.2.- Paneles Fotovoltáicos	55
3.2.1.- Colector Fotovoltáico	56
3.2.2.- Proceso mediante el cual se transforma la luz solar en corriente eléctrica	61
3.2.3.- Capacidad del colector	62
3.2.4.- Colectores autoregulados	66

3.2.5.-	Colectores standard	66
3.2.6.-	Colectores extra	66
3.2.7.-	Efectos del clima sobre el colector Fotovoltáico	67
3.2.8.-	Orientación y colocación de conjuntos Fotovoltáicos	69
3.2.9.-	Ubicación	71
3.3.-	Sistema eléctrico paneles bomba	71
3.4.-	Dispositivos de control	77
3.4.1.-	Inversores y convertidores	79
3.4.2.-	Mecanismo de seguimiento de la luz solar	81
3.4.3.-	Baterías para equipos solares	84

CAPITULO 4

4.-	Diseño de los componentes para un sistema de bombeo utilizando energía Eólica	
4.1.-	Diseño del equipo de bombeo	86
4.2.-	Cálculo de la potencia de la bomba (HP)	88
4.3.-	Cálculo del amperaje de la bomba	90
4.4.-	Tipos de motor	90
4.5.-	Reservas de energía	91
4.5.1.-	Tanques de agua	91
4.5.2.-	Los controles necesarios	91
4.5.3.-	Definición de la demanda de agua	92
4.5.4.-	Producción de agua	92
4.5.5.-	Variaciones por estación	93
4.6.-	Ventajas y desventajas de las bombas utilizadas en los sistemas eólicos	93
4.7.-	Estimación de la potencia	94
4.8.-	Sistema eléctrico turbina-bomba	98
4.9.-	Selección de tensión	99
4.10.-	Dispositivos de control	101
4.11.-	Tierra fisica	101

CAPITULO 5

5.-	Administración operación y mantenimiento sobre los equipos de energía renovable	103
-----	---	-----

5.1.- Localización de fallas	106
5.2.- El comité de administración, operación y mantenimiento local	110
5.2.1.- Respecto al colector	113
CAPITULO 6	
6.1.- Ejemplo de aplicación de la energía renovable en un sistema de bombeo utilizando energía solar	114
6.2.- Diseño de la instalación eléctrica bomba paneles	121
6.3.- Interconexión de los paneles	122
6.4.- Pasos para la localización de fallas en un sistema fotovoltaico	128
6.6.- Ejemplo para el dimensionamiento del equipo de bombeo de un sistema fotovoltaico utilizando nomogramas	130
Conclusiones	v
Recomendaciones	vii
Bibliografía	ix
Apéndice	

GLOSARIO DE TERMINOS

- ACIDIMETRO**
Aparato que sirve para medir la concentración de el ácido de la batería
- BURDO**
Es una forma tosca o grosera
- CELDILLA**
Cada una de las casillas de los paneles.
- DOPA**
Es la capa estimulante que recubre la celda fotovoltaica
- ELECTROEOLIOCO**
Generación de energía eléctrica, producida por una turbina impulsada por el viento
- EFEECTO FOTOELECTRICO**
Cambios en la carga eléctrica de las sustancias debido a la radiación, generalmente en forma de luz.
- FOTOVOLTAJE**
Conversión de fotones de luz a voltaje eléctrico por medio de un material.
- FOTOVOLTAICA, TECNOLOGIA**
La técnica de la fotoelectricidad que transforma la luz solar en energía eléctrica; capaz de generar un voltaje al ser expuesto a la radiación visible o de otro tipo.
- FOTOVOLTAICA, CELDA**
Unidad de material semiconductor (generalmente de silicio) que convierte directamente en electricidad la energía del sol.
- FOTOVOLTAICO, CONJUNTO**
Sistema interconectado de paneles fotovoltaicos que funciona como una sola unidad productora de electricidad. Los paneles están armados como una estructura discreta, con un soporte común.
- FOTOVOLTAICO, PANEL**
Cantidad de celdas solares o fotovoltaicas interconectadas eléctricamente y montadas, generalmente, en una unidad modular o panel sellado, de un tamaño conveniente para el transporte, manejo y armado en conjuntos.
- FOTOVOLTAICO, PROCESO**
Cuando un conjunto fotovoltaico (o solar) queda expuesto a la luz del sol, se genera energía eléctrica. Esta es utilizada directamente por equipos consumidores de energía y/o se almacena en

la batería para uso posterior. La batería es dimensionada para dar amplia capacidad de almacenamiento de energía para la noche y para el tiempo nublado, cuando no hay luz solar disponible. Los sistemas solares utilizados para el bombeo de agua, no usan baterías, sino la energía se almacena en forma de agua bombeada en un tanque de reserva.

FOTOVOLTAICO, SISTEMA

Juego de componentes, completo, para convertir la luz del sol en electricidad, mediante el proceso fotovoltaico, incluyendo el conjunto de paneles solares y los componentes complementarios del sistema, más el (los) dispositivo(s) consumidor(es) de electricidad.

HELIOGRAFO

Aparato que se utiliza para determinar la duración del brillo solar.

HORA-SOL

La insolación que sería recibida por el conjunto solar durante una hora, a una irradiación de $1\text{KW}/\text{m}^2$.

INFLUJO

Influencia de movimiento de ascenso

INSOLACION

Palabra compuesta que indica la entrada de radiación solar; la tasa a la que incide la radiación solar directa sobre una superficie horizontal unitaria, en determinada parte de la superficie de la tierra. Varía de acuerdo a la latitud, estación del año, hora del día, así como las condiciones locales del clima.

INVERSOR

Mecanismo que convierte la corriente eléctrica en corriente alterna (de DC a AC).

IRRADIACIÓN

Medida de la potencia disponible (o sea, la intensidad) del sol por unidad de superficie, normalmente expresada en Kilovatios/ m^2 .

LANGLEY

Unidad de irradiancia solar. Su valor es de una caloría-gramo por centímetro cuadrado.

NANOMETRO

Unidad de medida utilizada en la óptica, para expresar las longitudes de onda, siendo su símbolo nm

PIRANOMETRO

Instrumento que mide la irradiación solar global.

OBJETIVOS

GENERALES

- 1.- Aprovechamiento del manejo sostenible y equitativo de los recursos naturales.
- 2.- Uso de tecnologías apropiadas y eficientes, especialmente aquellas que utilizan recursos naturales renovables, para el área rural.
- 3.- La investigación e intercambio de experiencias de desarrollo de tecnologías especialmente en el sector abastecimiento de agua a nivel rural.

ESPECIFICOS

- 1.- Utilización de las alternativas que presentan los recursos naturales renovables aplicada al abastecimiento de agua en el área rural.
- 2.- Utilización de la energía Fotovoltaica o Eólica para accionar equipos de bombeo de agua.
- 3.- Estudio comparativo de los costos de la alternativa de energía renovable con energía convencional.
- 4.- Contar con una nueva tecnología, así como una alternativa más, para el abastecimiento de agua en el área rural.

INTRODUCCION

Jamás en la historia ha sido tan importante tener acceso al agua como lo es hoy en día. Los métodos para la distribución del agua todavía presentan problemas, aunque tengan miles de años de uso. La forma más simple y más económica es desviar la lluvia o el agua de los ríos para que fluya por gravedad hacia el lugar deseado. Aun así, este método no está al alcance de la gran mayoría de la población.

En donde no ha sido factible usar la fuerza de gravedad, el método más común, por muchos años, ha sido el bombeo manual. Por cierto las bombas manuales exigen mantenimiento constante y deben ser personalmente atendidas, pero son imprescindibles para el abastecimiento de agua, especialmente para consumo humano, en el mundo entero.

Con bombas manuales no se puede mover eficientemente una gran cantidad de agua, ni sacarla de pozos profundos; más bien se necesitan para ello bombas mecánicas impulsadas por motores de combustión o motores eléctricos. Actualmente los sistemas accionados por motores son los que suplen de agua a las grandes comunidades en todo el mundo.

Existen otros sistemas accionados por generadores de viento o por energía solar, los cuales son sumamente confiables. Por tal razón el objetivo de la presente tesis es proveer lineamientos genéricos para guiar la ejecución de programas de introducción de agua potable por bombeo en el área rural en base a fuentes renovables de energía. La tesis describe las características de los sistemas solares y eólicos de bombeo, la facilidad para conseguir e instalarlos y la poca necesidad de mantenimiento.

Ninguna técnica de bombeo por si sola es adecuada con todas las aplicaciones existentes. Cada tipo de bomba tiene su propia utilidad. Las bombas solares son especialmente útiles para las demandas de cantidades medianas de agua, como en los pequeños poblados del área rural de 100 a 1000 habitantes, y para las necesidades agrícolas moderadas. El sol y el viento son quien de una u otra manera permite el aprovechamiento de los recursos naturales, ya que éstos son manifestaciones de la energía estelar. El primer paso en el aprendizaje sobre lo que es un sistema de introducción de agua por bombeo en el área rural utilizando energía fotovoltaica y energía eólica, es describir sus límites y luego caracterizar sus partes y funciones

CAPITULO 1
CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD DE COMUNIDADES PARA PROYECTOS DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO ENERGIA RENOVABLE.

1.1.- ASPECTOS ORGANIZACIONALES

El principal elemento dentro de este aspecto se refiere a la organización existente en la comunidad, la cual puede ser representada por un comité o una cooperativa, si el proyecto es de carácter comunitario; mientras que a nivel privado se analiza al grupo solicitante, sus antecedentes, el respaldo financiero, etc.

1.1.1.- RESPALDO COMUNITARIO:

Esta se lleva a cabo mediante una asamblea en donde los comunitarios priorizan sus necesidades y comprometen su participación y apoyo a las iniciativas de gestión del comité o cooperativa .

1.1.2.- RESPALDO INSTITUCIONAL:

Son todas aquellas instituciones tanto Gubernamentales como internacionales, organismos no gubernamentales, etc. Que tienen la capacidad de apoyar las iniciativas de las comunidades. Para proyectos con energía renovable, se requiere trabajar con comunidades respaldadas por organizaciones de desarrollo que provean un seguimiento al proyecto, Ministerio de Salud Publica Y Asistencia Social, Municipalidades, etc.

1.1.3.- LA COORDINACION LOCAL:

Si el proyecto se ha considerado parte de un enfoque mayor de trabajo en la comunidad; la población debe coordinar para que no se cree competencia con otras necesidades prioritarias y con otros comités locales. Para efectos de desarrollo, los proyectos de energía son un medio de trabajo que se espera que complementen a otras obras, de ninguna manera se desea que los proyectos de energía entren a competir con otros proyectos por recursos financieros con alto costo de oportunidad.

1.1.4.- EXPERIENCIAS ANTERIORES:

Si el comité ya ha participado en proyectos anteriores, el establecer los resultados obtenidos, el apoyo y mecanismos financieros utilizados. Eso permitirá establecer la necesidad de apoyo para el comité: antes, durante y después del proyecto. Dichas experiencias sirven de referencia a la selección de la

comunidad a ser seleccionada para la implementación del paquete de servicios.

1.2.- ASPECTOS TECNICOS

1.2.1.- DISTANCIA A LA RED ELECTRICA:

Incide de manera diferente, dependiendo de la fuente renovable de energía que se tenga pensado utilizar. Por ejemplo para proyectos hidroeléctricos o eólicos, cuyo fin es la cogeneración o producción de energía para ingresarla a la red, es ideal que la distancia a la red de transmisión sea la menor posible. Si el propósito es producir energía para consumo "In situ", mientras mayor sea la distancia a la red eléctrica su justificación técnica y financiera aumenta.

Idealmente un proyecto para ser desarrollado mediante energía fotovoltaica para fines residenciales, debe estar a una distancia superior a los 5 Km. del punto electrificado más cercano; lo cual hace económicamente difícil utilizar la energía convencional, haciendo bajo estas circunstancias competitiva la utilización de la energía renovable.

1.2.2.- VENTANA SOLAR:

A nivel macroscópico se refiere a la ubicación de la comunidad en la orografía local; la ubicación de alguna obstrucción natural para el ingreso de la energía solar; por ejemplo: montañas, bosques, nubosidad en general, etc. Mientras que a nivel microscópico se refiere a la penetración de la luz del sol a los puntos específicos, ya sea sobre los techos u otras áreas de interés para cada proyecto en particular. En muchas ocasiones la ventana microscópica no es tan evidente y debe de buscarse, tratando de evitar sombras actuales o potenciales durante cualquier época del año.

1.2.3.- ACCESO AL SITIO:

Siempre es importante considerar el acceso para un sistema mediante energía renovable; tanto de los centros de distribución de equipo como del sitio donde estarán ubicados los mismos, para el caso de un sistema fotovoltaico, éste bien proyectado funcionará sin necesidad de atención y necesitará un mínimo mantenimiento periódico, por lo que la solución de sitio debe considerar aspectos tales como inundaciones, quemas de terrenos para siembras (rosas), etc.

1.2.4.- CUANTIFICACION DE RECURSOS:

Especialmente cuando se hace referencia a proyectos de energía hidráulica o energía eólica, se debe tener un historial del caudal de agua y del viento disponible, el patrón anual, temporal y diario. Para el caso del recurso fotovoltaico, existe un mapa nacional con curvas de horas sol promedio disponible; información que básicamente se confirma mediante preguntas directas a los vecinos.

1.2.5.- PROPIEDAD DEL RECURSO:

Si existe alguna limitación de carácter legal, natural, social, etc; que impida su aprovechamiento; en el caso de un recurso hidráulico es necesario conocer la forma de propiedad de afloramiento y de los terrenos aguas arriba; en el caso del viento se evalúa la propiedad de los terrenos que se encuentran vecinos al punto de interés en dirección opuesta a la orientación del viento predominante. Similares aspectos deben considerarse para el caso de un sistema de riego.

1.2.6.- PERFIL DEL CONSUMO DE AGUA:

Consiste en establecer las necesidades actuales y futuras de agua de la comunidad. Las fuentes actuales de abastecimiento, las propuestas para el proyecto, el costo, su comportamiento potencial. La posibilidad de considerarlas como influyentes en el diseño.

1.3.- ASPECTOS FINANCIEROS

Con el objeto de asegurar la sostenibilidad, se considera:

1.3.1.- ACTIVIDAD ECONOMICA:

Consiste en establecer a qué se dedican los habitantes de la comunidad para agenciarse de fondos para su subsistencia. Si son empleados asalariados, si son propietarios, agricultores, artesanos etc.

1.3.2.- GASTO ACTUAL:

Establecer cuánto gastan actualmente en las alternativas energéticas (Diesel, candelas, etc.), donde las obtienen, etc.

1.3.3.- CAPACIDAD DE PAGO:

Si la comunidad tiene recursos financieros para afrontar la inversión inicial del proyecto y los costos de la operación y mantenimiento de la alternativa seleccionada.

1.3.4.- COSTO DE LA ALTERNATIVA:

Analizar las diferentes alternativas tecnológicas posibles y dentro de la alternativa que resulte más viable, buscar la opción técnica que resulte financieramente más económica y que cubra las expectativas de la población.

Se debe usar un sistema fotovoltaico si se determina que resulta más económico que otras alternativas de energía. El precio de la energía producida por estos sistemas ha bajado considerablemente desde 1980. Sin embargo, el costo inicial del equipo fotovoltaico es todavía más alto que el costo de un motogenerador. No obstante, hay muchas aplicaciones donde el bajo costo de operación y mantenimiento de la energía fotovoltaica compensa el bajo costo inicial del generador y hace que este tipo de energía sea la opción más económica a largo plazo.

1.3.5.- COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO:

Además de la inversión inicial se deben analizar, qué condiciones existen para asegurar los costos de operación y mantenimiento del proyecto.

Cualquier sistema generador de energía necesita mantenimiento. La experiencia demuestra que el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es menor que el de la mayoría de las otras alternativas.

Para muchas aplicaciones, las ventajas de la energía fotovoltaica compensan el alto costo inicial de los sistemas que la producen. Para un número cada vez mayor de usuarios, la energía fotovoltaica es claramente la alternativa más económica.

1.3.6.- ESTRUCTURA OPERATIVA Y FINANCIAMIENTO:

Consiste en establecer si existe la adecuada estructura local que sea responsable del aspecto financiero (cobro, controles, etc.); si tienen la experiencia mínima necesaria para iniciar las gestiones o bien para modular el nivel de profundidad y urgencia del paquete de servicios, especialmente en el área organizacional y administrativa.

CAPITULO 2

ENERGIA SOLAR

2.1.- DESCRIPCION DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Se consideran fuentes de energía renovables aquellas que manejadas racionalmente, permiten su aprovechamiento en forma sostenible a largo plazo. Así, el término renovable es relativo a la postura que la sociedad tenga en relación a su supervivencia y al valor que asigne a los recursos naturales con que cuenta para su desarrollo.

La irradiación solar es la cantidad de potencia solar que llega a un área determinada. Constituye una medida de la intensidad de la luz del sol y se expresa en unidades de watt (W) o kilowatt (KW) por metro cuadrado. La insolación es la cantidad de energía solar que recibe un área determinada. Se expresa en kilowatt-horas por metro cuadrado (equivalente a horas de sol máximo). También se usan mediciones de insolación en Unidad Térmica Británica por pie cuadrado por hora (Btu/pie² hora), Langleys (L), o megajoules por metro cuadrado (Mj/m²). Los factores de conversión son:

$$\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2} = \frac{\text{Langley}}{85.93} = \frac{316.96 \text{ Btu}}{\text{pie}^2} = \frac{3.6 \text{ Mj}}{\text{m}^2}$$

La atmósfera terrestre más alta recibe un nivel casi constante de potencia solar radiante (la constante solar) equivalente a 1.36 kilowatts por metro cuadrado. Este valor se obtiene al integrar el área en la parte inferior del gráfico de la figura No.II-1

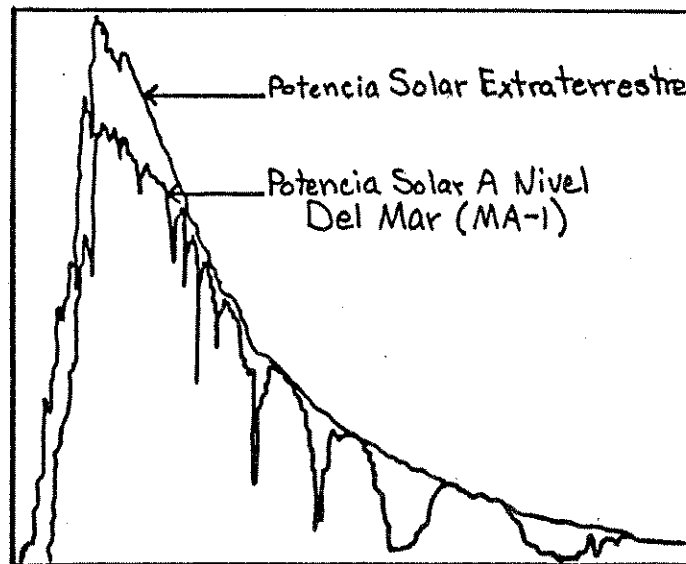


FIGURA No. II-1 Espectro de radiación.

En la figura No.II-1 se muestra el espectro de radiación extraterrestre junto al espectro de radiación conocido como "masa de aire". Es evidente que la atmósfera tiene una gran capacidad de absorción y reduce la energía solar que llega a la tierra, particularmente en ciertas longitudes de onda. La parte del espectro de interés para el presente caso es de 0.3 a 0.6 micrómetros. Estas son las longitudes de onda de la luz a que responden la mayoría de las células fotovoltaicas de silicio. Sin embargo, en un día soleado, la irradiación total que llega a la tierra es de aproximadamente 1.000 W/m^2 .

Los datos de insolación se presentan frecuentemente como valores de promedio diario para cada mes. Por supuesto, en un día cualquiera la radiación solar varía continuamente desde la salida hasta la puesta del sol. La irradiación máxima se indica para el mediodía solar, que se define como el punto medio, en tiempo, entre la salida y la puesta del sol de cualquier día dado, no importa cual sea la estación. El término "horas de sol máximo" se define como el número equivalente de horas diarias en que la irradiación solar alcanza un promedio de 1.000 W/m^2 . Seis horas de sol máximo significa que la energía recibida durante el número total de horas con sol en el día es igual a la energía recibida si el sol hubiera brillado durante seis horas a 1.000 W/m^2 . Por lo tanto, las horas de sol máximo corresponden directamente al promedio diario de insolación. Ver figura No.II-2

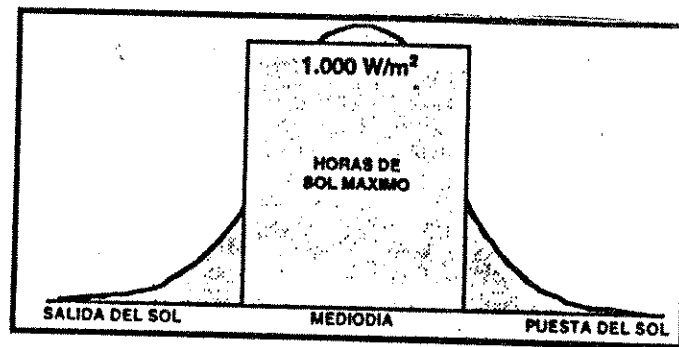


FIGURA No.II-2

El sol, nuestra estrella más próxima, es el lugar donde ocurren conversiones de tipo fusión nuclear, o sea que átomos de hidrógeno se fusionan para dar lugar a átomos de helio. Pequeñas cantidades de masa resultan convertidas en energía radiante, fenómeno que se lleva a cabo en condiciones de elevadísima temperatura (millones de grados centígrados) y gran presión (millones de atmósferas).

La energía generada por este proceso de fusión nuclear atraviesa las diferentes capas que integran el globo solar, llegando a su superficie, donde se tiene una temperatura relativamente baja, entre 5,500 y 6,000 grados centígrados. De allí es emitida al espacio en forma de ondas electromagnéticas de diversa naturaleza, cada una con diferente poder penetrante y cantidad de energía portada. La energía se va dispersando conforme se aleja del sol y llega a la tierra con aproximadamente sólo 2 billonésimos de aquel gran lote de energía emitidos originalmente. La energía, cuando es emitida a través de espacios vacíos, tal como lo hace el sol, se mueve a través de un fenómeno conocido como transferencia de calor por radiación. Como su nombre lo indica, la energía viaja en forma de ondas radiantes, conocidas también como ondas electromagnéticas, las cuales se caracterizan por poseer diferentes longitudes.

Cada una de las longitudes de onda se asocia con un determinado poder penetrante y portación energética, siendo que entre más corta sea la onda, más energía porta y más poder penetrante posee. El sol emite una gama diversa de estas diferentes ondas, las cuales se clasifican de acuerdo a su longitud de onda. Ver tabla No.II-1

TABLA No.II-1

LONGITUDES DE ONDAS	
	Nanómetros (nm)
Cósmicos	0.0-0.000009
Gamma	0.000009-0.006
X	0.006-12
Ultra Violeta	12-380
Luz Visible	380-760
Infra-Rojo	760-3000
Ondas Mayores	3000 o más

Cada onda porta pequeñas cantidades de energía llamadas fotones, los cuales son como paquetes de un tamaño y poder determinados, así la cantidad de energía depende de la longitud de onda y al llegar a la atmósfera exterior de la tierra, las ondas muy cortas (cósmicos, gamma y rayos x) se hallan en proporción pequeña, y las ondas muy largas (radio, etc) no son abundantes y portan poca energía, por tanto energéticamente hablando interesan más las siguientes ondas, como se ve en la tabla No.II-2

Tabla No.II-2

% PORTACION ENERGETICA	
Ondas menores	7%
Luz visible	48%
Infra rojo	39%
Ondas mayores	6%

Sin embargo no toda la radiación ultravioleta (U.V.) y la radiación infrarroja (I.R) son aprovechables y se estima que solo un 86-87% de toda la energía del espectro electromagnético es virtualmente aprovechable. Esto se debe a que las U.V muy cortas son muy penetrantes y no es fácil atraparlos y la I.R. muy larga no tienen verdadera calidad energética que valga la pena y no interesan.

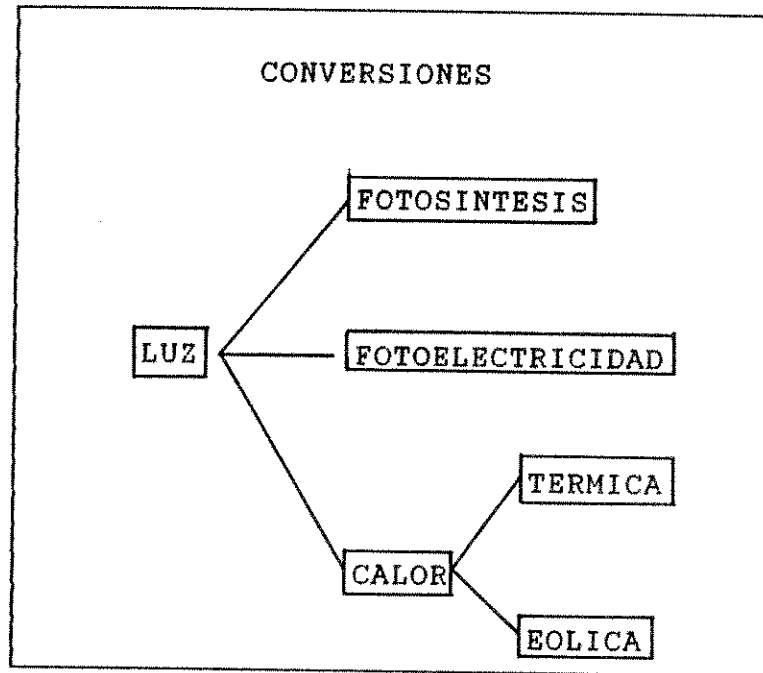
Primero, esencial y originalmente todas son formas de energía estelar, que datan desde la formación del universo y posteriormente, del sistema solar; así, la energía radiante del sol es transformada por procesos físico-químicos (fotosíntesis) en bioenergía y después, se obtiene la biomasa, en forma de leña, por ejemplo.

Los fotones contenidos en la luz solar pueden, por medio del efecto fotovoltaico, producir electricidad.

El ser humano puede aprovechar este recurso de 4 formas, de las cuales 3 son en forma directa y una indirecta. Primero puede convertirse la energía portada por el sol en energía química, fenómeno conocido como FOTOSINTESIS y que es base para la agricultura y la vida en general. La segunda conversión de tipo lumino-térmico, o sea convertir la luz en calor y con ello calentar algún medio líquido o gaseoso, inclusive sólidos. La tercera conversión que poco a poco ira cobrando auge, es convertir la luz en electricidad, fenómeno interesante que se discutirá en detalle.

Finalmente, se dice que se puede aprovechar la energía solar indirectamente, por medio de aprovechar los vientos y las diferencias de temperatura en masas oceánicas. Ver cuadros No.II-1 y No.II-2

CUADRO No.II-1



CUADRO No.II-2

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGIA SOLAR	
VENTAJAS	MUY LIMPIA SIN COSTO INAGOTABLE ABUNDANTE
DESVENTAJAS	VARIABLE POCO CONCENTRADA IMPREDECIBLE

Entonces la energía solar es una fuente limpia, barata y virtualmente inagotable de energía, pero que a su vez es intermitente, variable y poco intensa, de manera que su aprovechamiento debe hacerse en aquellos casos que la termodinámica y el artefacto a usar lo permitan. Los usos son innumerables y los lugares en los que puede servir son virtualmente muchos.

La conversión de energía radiante en electricidad se puede llevar a cabo por varios mecanismos como la conversión luz-calor-electricidad y en efecto foto-eléctrico. Sin embargo el mecanismo más popular y conocido es la generación fotovoltaica.

2.1.1.- BRILLO SOLAR:

El término Brillo Solar es utilizado para designar el intervalo de tiempo en que, en un período dado, un punto seleccionado de la superficie terrestre permanece expuesto a la radiación solar directa. En otras palabras representa el tiempo que el disco solar permanece descubierto en el período (hora, día, mes, etc.) y local considerado.

Si la atmósfera estuviera exenta de impurezas y de agua, el disco solar jamás, sería ocultado por nubes o por ciertos fenómenos meteorológicos. En ese caso, excepto cuando ocurrieran eclipses de sol, para un determinado local un día al año, el brillo solar diario coincidiría con la longitud del día, definido como el intervalo de tiempo que transcurre entre el nacimiento (salida) y ocaso (puesta) del sol, desde que el local considerado tuviera el horizonte libre.

La presencia en la atmósfera de agua y de partículas de otra naturaleza, condiciona el apareamiento de nubes y de fenómenos que reducen el brillo solar. Debido a esto, el brillo solar diario es casi siempre menor que la longitud del día pudiendo por ello, por lo menos en condiciones excepcionales, tornarse igual a éste.

El brillo solar es expresado en horas (enteros y décimos) y en porcentaje, siendo el aparato utilizado para esta medición el HELIOGRAFO. En resumen lo que se mide con este aparato es el tiempo durante el cual los rayos solares han actuado con fuerza suficiente para quemar la banda.

El HELIOGRAFO CAMPELL-STOKES, es el más utilizado en Guatemala por ser especial para latitudes inferiores a 40°. Ver figura No.II-3

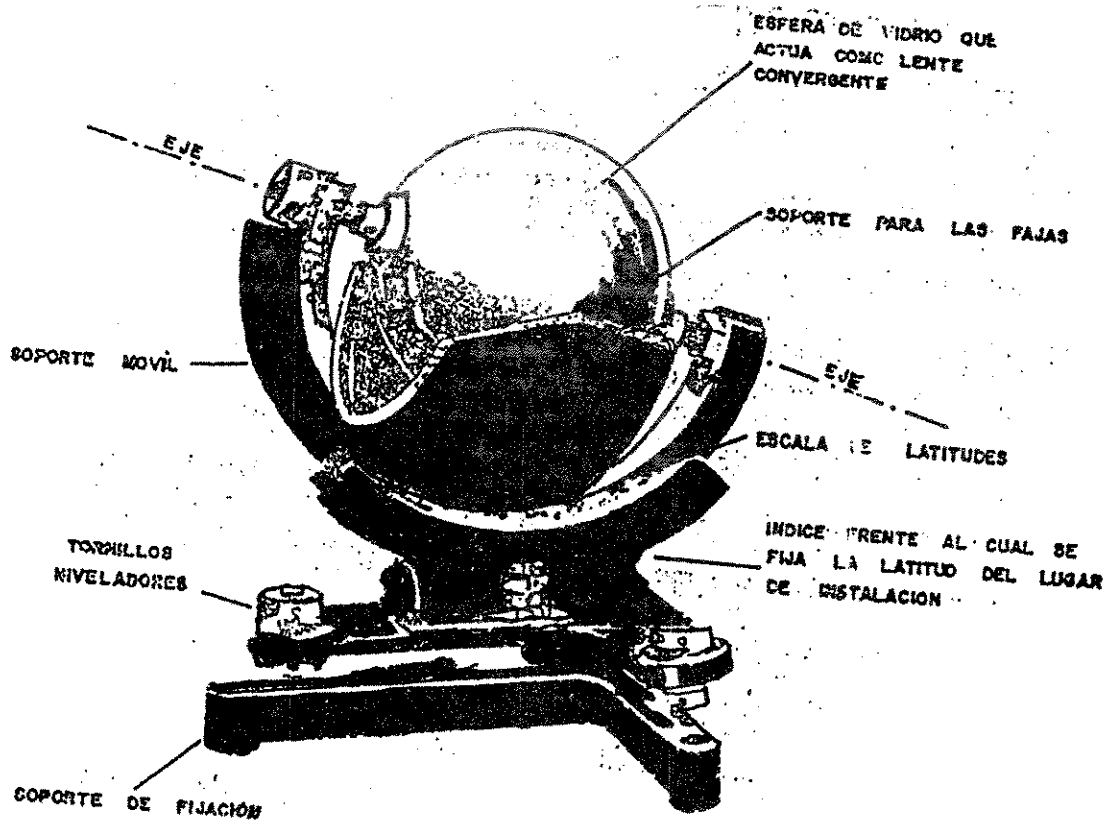


FIGURA No. II-3

2.1.2.- IRRADIACION SOLAR:

La cantidad de radiación recibida en una superficie normal al eje de radiación solar, que se encuentra localizada en el límite de la atmósfera y cuando el sol se encuentra a una distancia media de la tierra es llamada "CONSTANTE SOLAR" (S_0). Para la meteorología es de gran importancia el conocimiento de la constante solar (S_0), es decir, la cantidad total de energía que llega a la tierra por área (m^2 , cm^2 , etc.) y por tiempo (hora, min, etc.).

Teóricamente el valor de S_0 debería ser constante pero este a variado en cada experimento efectuado para su establecimiento. Esta variación es porque en el pasado las medidas eran realizadas en la superficie terrestre y por lo tanto sufriendo los efectos de las condiciones atmosféricas locales.

La evaluación de esta medida ha sido realizada con exploraciones de cohetes y satélites, permitiendo obtener un valor más real de S_0 . El valor más aceptado es de 1.94 Ly/min que corresponde a 1353 Watts/m^2 . En Guatemala el valor que se utiliza es de $2 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$.

La cantidad de radiación recibida en cualquier lugar de la tierra depende de dos factores:

- La Duración y
- La Intensidad;

de la radiación, la que a su vez está en función del movimiento terrestre en torno del sol.

La "Duración" es indicada por el largo del día. El eje de rotación de la tierra tiene una inclinación de 66.5° con respecto a su plano orbital. Debido a esto, para un observador solidario con la tierra le parecerá que el sol se desplaza en relación a la tierra, este desplazamiento es conocido como "Declinación Solar" (Ver fig. No.II-4)

PLANO ORBITAL

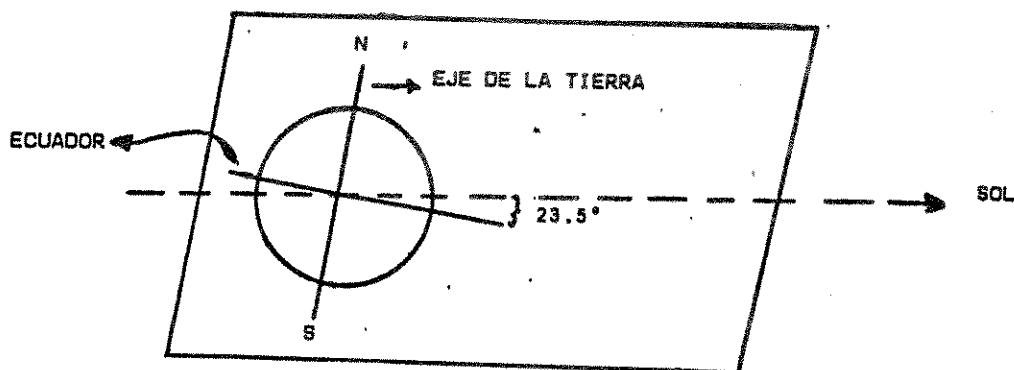


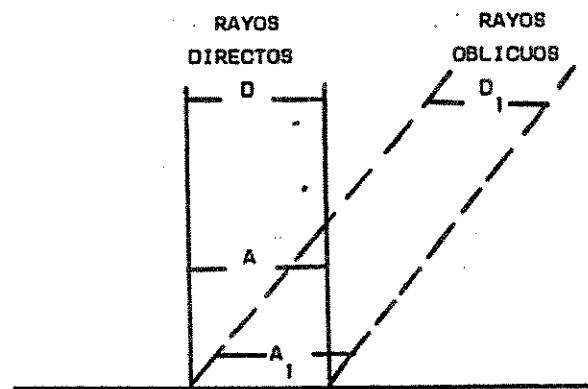
FIGURA No.II-4

La "Intensidad de la Radiación" es controlada por el movimiento de la tierra en relación al sol. La órbita terrestre no es un círculo, pero si una elipse, de acuerdo a ello, en determinada época del año, el sol se encuentra más próximo de la tierra y en otras épocas más alejado.

La intensidad también varía con la posición del sol en el cielo. La intensidad será mayor, cuanto mayor sea la elevación del

sol en el cielo. Por tanto, al medio día, mayor cantidad de radiación es recibida; esto es debido a que:

1.- Los rayos procedentes del sol en una posición elevada por encima del horizonte son detectados en una superficie menor que los rayos oblicuos (ver fig.No.II-5)



A - AREA CUBIERTA
A₁ - (RAYOS OBLICUOS) > (RAYOS DIRECTOS) MEDIO DIA

FIGURA No.II-5

2.- El camino recorrido por los rayos en la atmósfera es menor cuando la elevación solar es mayor, esto significa que los rayos serán menos atenuados al medio día debido a la absorción, dispersión y reflexión por los componentes de la atmósfera incluyendo la nubes.

3.- El "ALBEDO" de la superficie terrestre es mayor cuando el ángulo de incidencia es menor, o sea, al medio día, cuando la elevación solar es mayor, el ángulo de incidencia es menor, entonces menor radiación será reflejada de vuelta al espacio.

Uno de los factores que controla la radiación es la nubosidad. Cuanto más espesas sean la nubes, mayor será la atenuación del eje por la reflexión y la absorción de la radiación por las gotículas de agua. Otro factor que incide en la radiación solar es el ALBEDO de la superficie terrestre, por ejemplo, en un suelo cubierto de nieve más del 80% de la radiación es reflejada para el espacio.

Así como la superficie terrestre absorbe radiación, ella también emite, solo que en onda larga, en la faja infrarrojo. Esta radiación es conocida popularmente como radiación nocturna.

Aunque su existencia es mejor detectada durante la noche, ella también existe durante el día. Sucede que durante el día por ser la magnitud de la radiación muy grande, la emisión en onda larga es prácticamente inexpressiva, en tanto que en días de cielo cubierto la componente de radiación directa se torna inexistente, especialmente cuando es comparada con la radiación difusa.

El instrumento más utilizado es el actinógrafo bimetalico y su localización es realizada en función de la posición geográfica, para permitir un estimado de una determinada área.

2.2.- APLICACIONES DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA ACCIONAR EQUIPOS DE BOMBEO.

El propósito principal es familiarizarse con las diferentes aplicaciones que tiene la energía generada mediante el aprovechamiento de recursos naturales renovables. En términos generales se refiere a tecnologías que aprovechan los recursos naturales renovables, aunque la más especial de todas las energías renovables es aquella relacionada con la fotovoltaica.

Para el propósito de esta tesis se refiere al aprovechamiento de esta energía para el bombeo de agua para el consumo humano en sistemas de bombeo de capacidad intermedia, o sea aquellos entre las bombas de mano y los grandes sistemas alimentados por generador. Las ventajas de las bombas alimentadas con energía fotovoltaica son las siguientes:

- * Bajo costo comparativo
- * Los costos de mantenimiento son mínimos
- * No hay contaminación del ambiente
- * Limpieza
- * Facilidad de instalación
- * Confiabilidad
- * Funcionamiento controlado por los comunitarios
- * La capacidad se ajusta a la necesidad

Las desventajas:

- * Costo inicial alto
- * Caudal de bombeo variable
- * Educación

El bombeo de agua es una aplicación que está creciendo rápidamente mediante energía renovable. Para el caso de necesidad de agua, existe una coincidencia natural con la disponibilidad del recurso. Se necesita agua cuando hay más sol.

Otra aplicación de la energía Fotovoltaica es la rehabilitación de tierras en regiones desérticas y en aquellas en las que los ríos corren en vegas profundas, sobre todo en regiones remotas. Así también la extracción de agua de pozos para riego o para ganado. El consumo de energía al bombear agua depende de:

- 1) Caudal a bombear.
- 2) Altura de bombeo.
- 3) Tipo de sistemas (agua para consumo, agricultura, etc).

El cálculo, al conocerse estos datos, no es complejo y debe tratarse que el número de horas de bombeo coincidan con el número de horas pico de irradiación solar de la región. Cuando el sistema posee almacenaje de agua en un tanque elevado, es más barato que almacenar la energía en baterías. En general la bomba recibe la corriente directa desde colectores y así se simplifica aún más el sistema. En general el sistema de bombeo utilizando energía fotovoltaica representa el tipo más simple de aplicación, pues tiene dos componentes: Colectores y bomba. Los colectores o paneles solares son los que transforman la luz solar en energía eléctrica de doce voltios; y la bomba es la encargada de bombear el agua de la fuente hacia la distribución

Se parte del supuesto que la tecnología está basada en un conjunto de paneles conectados a una bomba. El tamaño de los sistemas se determina partiendo de un nivel de insolación de 5 kilovatios-hora/metros²/día, lo cual equivale a 5 horas de operación al punto máximo de potencia. Debe observarse que esta es una insolación de diseño y no un promedio anual. Ver fig. No. II-6

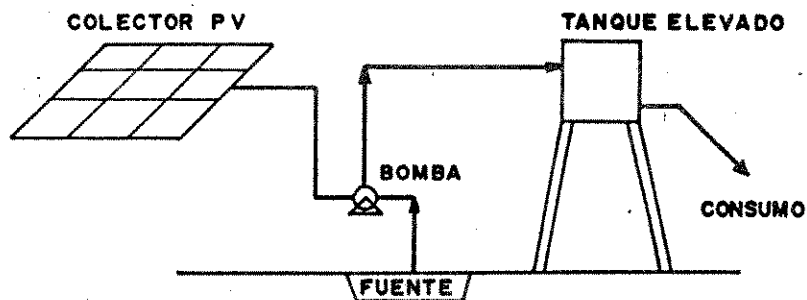


FIGURA No. II-6

Existen dos sistemas generales de bombas: las centrífugas y las de desplazamiento positivo; las más comunes en el medio son las centrífugas, que constan de impulsores que rotan a alta velocidad, creando una presión que obliga al agua a fluir. Mientras que las bombas de desplazamiento positivo mueven el agua por medio de un émbolo o cavidad que obliga al agua a moverse impulsada con otra cantidad de agua.

Las bombas centrífugas son buenas para mover grandes volúmenes de agua. Pueden estar conectadas directamente al sistema fotovoltaico (sin baterías), pero la constancia del rendimiento es muy sensible; si la insolación baja, la corriente del sistema baja y la rotación de los impulsores disminuye; lo cual afecta directamente el caudal movido por el equipo. Llegando inclusive a parar el bombeo debido a insuficiente insolación para luego encender al retornar la energía.

Los tipos de bombas más comunes son:

2.2.1.- CENTRIFUGAS DIRECTAS:

Su succión es limitada hasta unos 6 metros, aunque pueden impulsar el agua hasta cientos de metros; debe ser "cebada" cada vez que se use. Es el tipo de bombas que se encuentran a nivel de ríos, quebradas y pozos.

2.2.2.- CENTRIFUGAS AUTOCEBANTES:

Tienen una cámara sobre los impulsores que le permiten mantener el agua después de apagarse; entonces la bomba queda "cebada" para el siguiente arranque.

2.2.3.- SUMERGIBLE:

Van colocadas dentro del agua, conjuntamente con su motor especial (a prueba de agua). Tanto la bomba como el motor son suspendidos por el mismo tubo que lleva el agua a la superficie. Pueden usarse para grandes profundidades.

2.2.4.- BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO:

Para sistemas de bombeo unidos directamente a paneles fotovoltaicos, podrían ser más recomendables, debido a que varían menos con respecto a los cambios en la insolación; son buenas para grandes profundidades y poco caudal.

2.3.- APLICACIONES DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA ACCIONAR EQUIPOS DE PURIFICACION DE AGUA

No solamente llevar el agua mediante bombeo es importante, también se requiere que la calidad del agua sea sanitariamente segura. Muchos problemas de salud se dan debido al consumo de agua contaminada; también en muchas comunidades cerca de las costas se dan problemas de aguas muy duras (alto contenido de sales). Existe equipo en el mercado que puede ser accionado por corriente directa y paneles fotovoltaicos.

Conforme la tecnología fotovoltaica madure y sus costos bajen, su uso se hace atractivo para una variedad de aplicaciones. En lo relativo al suministro de agua para consumo humano en zonas rurales, se puede contemplar al menos tres áreas de aplicación de esta tecnología: como apoyo a los procesos convencionales de purificación, incluyendo la evaporación instantánea y por etapas, y la destilación solar; como fuente primaria de energía en procesos de desalinización por membranas, como la osmosis inversa y la electrodiálisis; y como fuente de electricidad en procesos de desinfección, como la fotólisis y la hidrólisis.

2.4.- PROCESOS CONVENCIONALES EN DESINFECCION:

Microorganismos y sustancias físico-químicas pueden ser removidas básicamente mediante dos métodos: Luz Ultravioleta y Oxidación.

2.4.1.- METODO DE LUZ ULTRAVIOLETA

Los generadores de luz ultravioleta usan un filtro de carbón activado para remover olor, calor y sabores antes de exponer el flujo de agua en una fuente de radiación ultravioleta. Unidades pequeñas consumen solamente 30 watt y producen hasta 6 litros/minuto.

2.4.2.- METODO DE OXIDACION

Los generadores de gas oxidante (oxidación) producen un ambiente tóxico de oxígeno y cloro, pasando el flujo de agua a través de una solución de cloruro de sodio (sal). Una unidad puede producir más de 18 metros³/día, con una demanda de potencia de solamente 0.13 hp.

2.4.3.- BOMBEO:

Los procesos de purificación de agua requieren invariablemente de una determinada cantidad de energía mecánica

para hacer fluir el líquido. Tanto para la alimentación al proceso cuando, ésta no puede hacerse por gravedad, como para trasvasar de un contenedor a otro en el equipo, o para presurizar ligeramente el agua con propósitos de filtrado. En estas operaciones está implícito uso de bombas cuyas características operativas y de potencia pueden variar según la tecnología de purificación, el volumen de agua requerido y las condiciones particulares del sitio de aplicación.

2.4.4.- CLORINACION:

La adición de cloro es una práctica común para garantizar la potabilidad del agua almacenada. Esto puede efectuarse agregándole hipoclorito de calcio, o mediante la hidroinyección de cloro gaseoso.

Los clorinadores a base de hipoclorito de calcio utilizan una bomba dosificadora, mientras que para la inyección de cloro gaseoso se utiliza una electroválvula.

La potencia de bombas dosificadoras comerciales es alrededor de 0.067 hp. Su operación es por pulsos (unos 120 pulsos al día de 15 segundos cada uno) y consumen alrededor de 25 Watt-hora (Wh), por día, de electricidad. El consumo eléctrico de las electroválvulas es aún menor. Cualquiera de estas aplicaciones podría ser fácilmente satisfecha con un módulo fotovoltaico típico de unos 40-50 Watt de potencia y sus equipos asociados (batería y controlador de carga).

2.5.- OTRAS APLICACIONES:

- Desalinización por membranas
- Electrodialisis
- Osmosis inversa

2.6.- ENERGIA EOLICA

2.6.1.- DESCRIPCION DE ENERGIA EOLICA

El propósito principal es familiarizarse con las diferentes aplicaciones que tiene la energía generada mediante el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, en este caso se habla de la energía renovable que está relacionada con la energía eólica.

El aprovechamiento del viento se inició en los primeros barcos de vela que miles de años antes de Jesucristo (A.C) comenzaron a ser usados por el hombre.

La primera información con que se cuenta sobre la construcción de un molino de viento data de 200 años A.C. El molino de viento fue usado en Persia para moler grano. El eje de rotación era vertical y su estructura estaba hecha con troncos de árboles. Un muro construido a su alrededor servía para orientar el flujo del aire.

Posteriormente aparecieron los primeros molinos de eje horizontal con unos 10 rayos de madera que sostenían las velas. Estas eran enrolladas sobre cada rayo según la velocidad del viento.

Los molinos eran utilizados principalmente para moler granos y su uso se extendió en el siglo XI sobre todo Oriente medio y apareció en Europa en el siglo XII, traído por quienes volvían de las cruzadas.

Estos equipos se desarrollaron especialmente en Holanda, en donde su aplicación se extendió al bombeo de agua, pasando luego a ser utilizados en las primeras industrias de papel.

Con el correr del tiempo, el que más se difundió en América fue el molino de viento para bombear agua, utilizado en el campo para extraer el agua subterránea, alimentando los bebederos de animales y también el pequeño cargador de baterías de menos de 1 Kw, que fundamentalmente proveía la energía eléctrica para los aparatos de radio.

En la actualidad el precio del Kwh ha aumentado y con demasiada frecuencia, lo ha hecho en forma drástica. El precio del petróleo ha subido considerablemente y luego ha oscilado, ajustándose al comportamiento dinámico de la oferta y la demanda.

Frente a esta situación mundial, las fuentes de energía no convencionales comenzaron a ser estudiadas con un renovado interés. De estas energías no convencionales, la eólica en particular, se encontraba en ventajosas condiciones para competir en precio y confiabilidad.

Pequeñas centrales hidroeléctricas y aerogeneradores producen energía en corriente alterna y solo en casos particulares se diseñan para obtener corriente directa. Con respecto a las aplicaciones productivas de la energía para corriente alterna, existe ya un programa de usos productivos de la electricidad; y una oferta diversa en el mercado. Donde actualmente no existe una oferta definida es para todas aquellas aplicaciones que utilizan corriente directa o continua. Este es el tipo de corriente que se obtiene de los sistemas fotovoltaicos y de algunos sistemas eólicos.

El bombeo de agua es una aplicación que se esta expandiendo rápidamente mediante energía renovable. Para el caso de la necesidad del vital liquido (agua), existe una coincidencia natural con la disponibilidad del recurso. Se necesita más agua en la temporada de verano, época en que existe mayor disponibilidad de viento. Por tal razón a continuación una breve descripción de los vientos en Guatemala.

Guatemala se encuentra afectada por el patrón de los vientos alisios. Estos vientos se desplazan con una componente del Norte (puede ser NNE, NE, NNO), durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero; debido a un sistema de alta presión que se ubica, por esta época en la parte central del territorio de los Estados Unidos de Norteamérica y la prolongación de este sistema de presión a través del Golfo de México y la Península de Yucatán (en la república Mexicana), el viento penetra al territorio Guatemalteco por el departamento de Izabal y se encañona entre la las Sierras del Merendón y las Minas.

Estos hacen que los vientos se aceleren y registren velocidades un poco más altas en el oriente del país. Estos vientos pasan a la zona central y se dirigen a la parte Noroeste disminuyendo considerablemente su velocidad, el área cubierta por estos vientos estará comprendida entre la sierra de los Cuchumatanes y el pie del monte de la Costa Sur.

En cambio, durante los meses de marzo, abril, mayo y junio el viento mantiene una componente Sur, por la presencia de sistemas de baja presión ubicados a lo largo del Océano Pacífico, que son responsables de gobernar la circulación o flujo del viento. Cuando estos sistemas de presión son lo suficientemente grandes, hacen que el viento logre rebasar los macizos montañosos del Pie de Monte y la Sierra de los Cuchumatanes, llegando hasta los departamentos de Alta y Baja Verapaz, Huehuetenango y El Quiché.

En los restantes tres meses (julio, agosto y septiembre), el viento también mantiene una componente Norte, debido a la presencia de anticipación semi-permanente del Atlántico, que mantiene un flujo a través del departamento de Izabal; excepto en situaciones donde aparecen los huracanes o tormentas tropicales que hacen que el flujo cambie completamente, pero ello es en forma transitoria.

Con los servicios metereológicos se puede realizar una primera selección de sitios con posibilidades de desarrollar proyectos eólicos a gran escala. Los departamentos del país con mejor potencial son Jutiapa, Escuintla y Zacapa. En estos departamentos hay áreas con un potencial entre 5 a 7 m/s, que están influenciadas, básicamente, por los vientos alisios que en esa zona del país tienen un patrón bastante regular. Desde el punto de vista de la generación eléctrica, este comportamiento regional del viento es ventajoso, ya que permitirá una generación eléctrica en promedio más uniforme y con una aportación de mayor capacidad.

El altiplano del país, muestra poca posibilidad de realización de proyectos grandes y solo tiene potencial para aplicaciones muy puntuales (telecomunicaciones) o algunos proyectos aislados, aquí el promedio de velocidad está entre 3-5 m/s.

La parte sur del país, la costa pacífica, presenta un comportamiento diferente, ya que su localización lo hace estar expuesto fuertemente a un sistema local de brisas marinas de gran intensidad o bien al sistema general de vientos. Aquí en esta región se podría encontrar entre 4-5 m/s, ideal para impulsar proyectos de riego o de electrificación rural.

Por último, la parte norte del país está afectada por el sistema general de vientos (alisios), que en algunas zonas se ven disminuido a partir de las horas de mayor insolación, lo que hace suponer la existencia de un gradiente térmico local que se opone al sistema general. Las velocidades aquí pueden estar entre 3-4 m/s y solo en algunas pequeñas montañas podrían acelerar el viento, para proyectos de telecomunicaciones. (Ver diagramas No.II-1 y No.II-2)

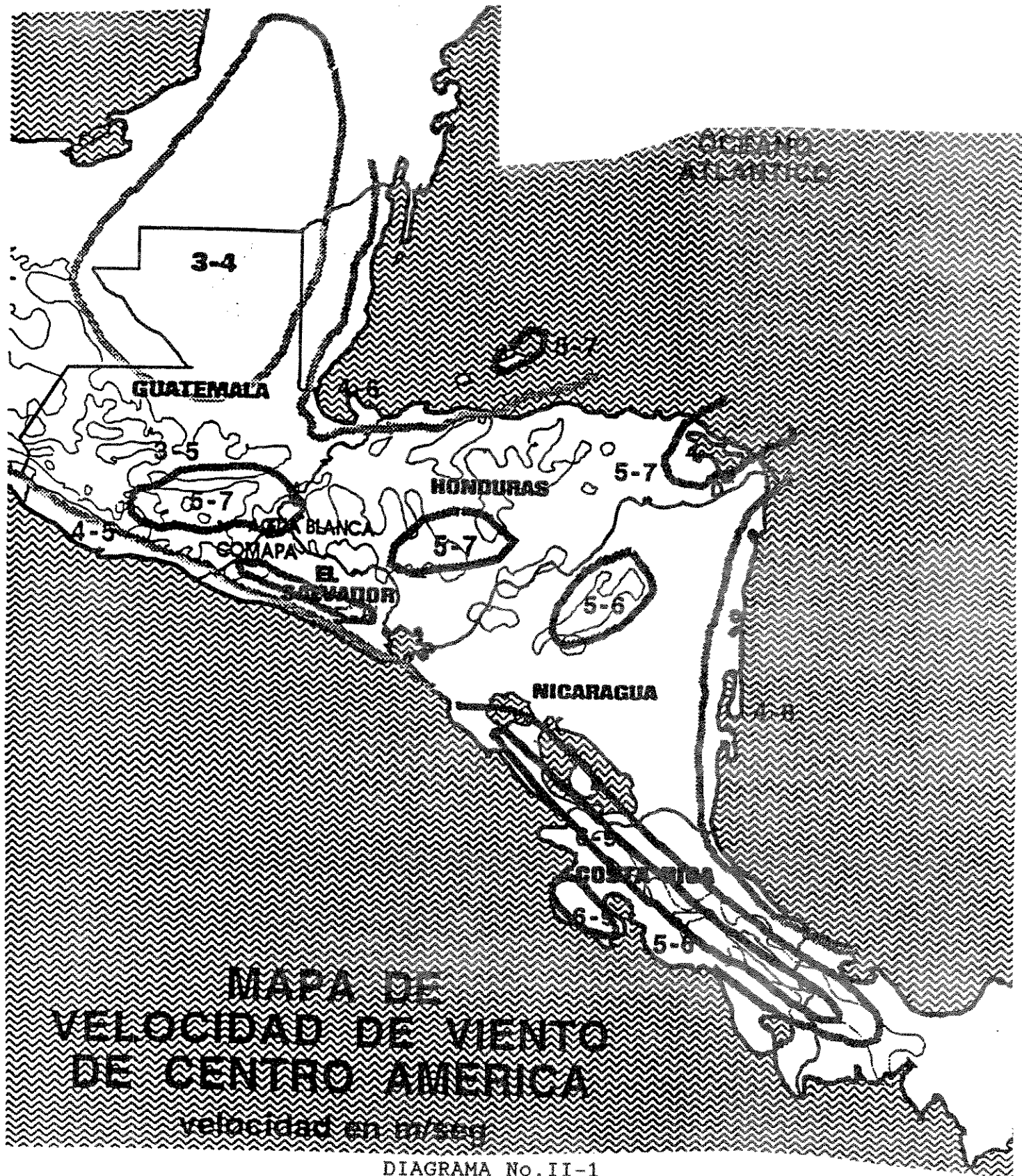




DIAGRAMA No. II-2

2.7.- APLICACIÓN DE LA ENERGIA EOLICA PARA ACCIONAR EQUIPOS DE BOMBEO

El bombeo de agua es una alternativa muy importante para el abastecimiento de agua en las comunidades rurales, siendo los sistemas electroeólicos para el bombeo de agua los que ofrecen una alternativa nueva y prometedora a las opciones existentes. La energía del viento se ha utilizado para el bombeo del agua durante muchos siglos debido a lo relativamente sencillo de la tecnología, a los modestos requerimientos de mantenimiento, y quizás, lo que es más importante, al hecho de que el viento es gratuito.

Los sistemas electroeólicos para el bombeo de agua constan de un generador a viento que produce energía eléctrica, la cual es alimentada directamente a un motor eléctrico que impulsa una bomba. No hay baterías acumuladoras ni equipo complejo para la conversión de la potencia. El generador a viento y el motor/bomba están acoplados directamente. El sistema puede lograr una mejor correspondencia entre el recurso eólico y la carga, permitiendo una eficiencia global del sistema mucho más elevada que la de los molinos de viento convencionales con bombas de pistón. Además, el generador a viento puede ubicarse allí donde los vientos sean más fuertes, con cables que vayan hasta el conjunto del motor/bomba ubicado en la fuente del agua. Esta flexibilidad en cuanto a la ubicación resuelve un problema común con los sistemas mecánicos convencionales, los cuales tienen que estar ubicados directamente encima del pozo (o inmediatamente adyacente a la fuente de agua). Estas son las dos principales ventajas de este sistema. Sin embargo, para un diámetro de rotor dado, estos sistemas conllevan, por lo general, un costo de capital más elevado que los diseños tradicionales. Por ende, es necesario ponderar las ventajas y las desventajas por medio de un estudio comparativo de los costos de los sistemas electroeólicos y los sistemas alternativos.

Al igual que con todos los sistemas eólicos de bombeo, los sistemas electroeólicos tienen un tanque de almacenamiento a nivel de la superficie, cuyo tamaño equivale a 3 días de demanda. (Ver fig. No. II-7)

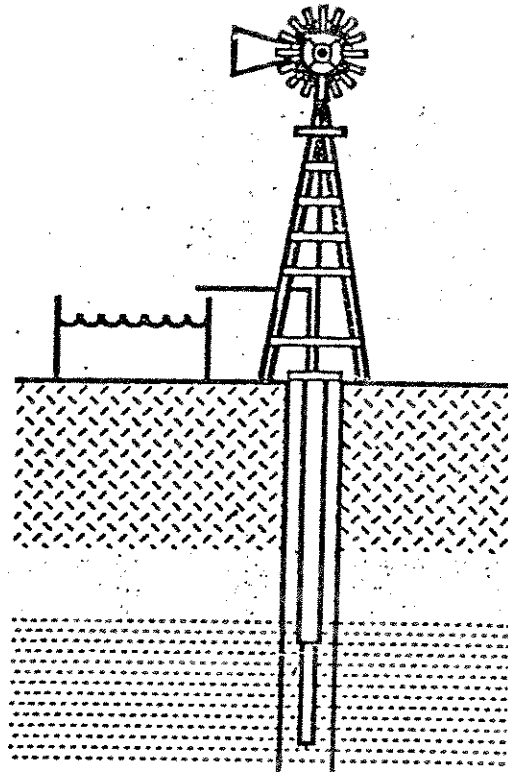


FIGURA No. II-7

La determinación de los rendimientos reales se hace calculando el diámetro requerido a partir de la elevación de bombeo, la demanda de agua, la eficiencia global del sistema y la velocidad del viento corregida según la altura. El diámetro requerido se redondea al tamaño inmediatamente superior disponible a nivel comercial.

La eficiencia real depende del régimen eólico, de la elevación de bombeo del sitio, de los requerimientos de flujo, y de las características de la bomba escogida.

2.7.1.- AEROMOTOR EOLICO CONVENCIONAL:

Una opción importante es el aeromotor eólico convencional de aspas múltiples, el diámetro del molino de viento se calcula a partir de la demanda de agua, de la elevación de bombeo y de la velocidad del viento, redondeándolo al tamaño inmediatamente superior disponible a nivel comercial. Los cálculos de rendimiento se basan en una eficiencia global moderada de 6% a velocidades de viento de 2.5 a 4.0 metros/segundo, con las velocidades de diseño del viento. No se establece ninguna escala de altura ya que, para estos sistemas, la altura típica de la torre sería de 10 metros. Ver Figura No. II-8

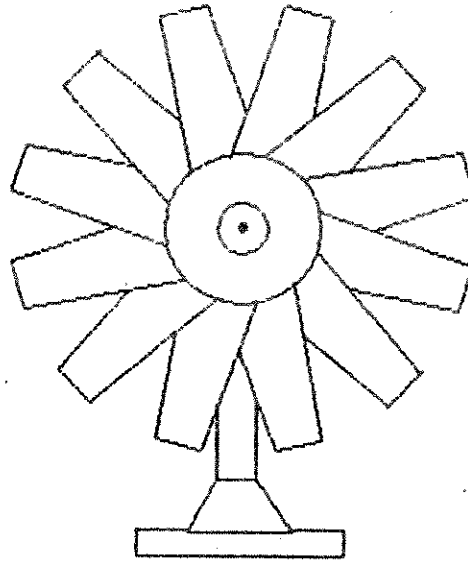


FIGURA No. II-8

2.7.2.- AEROMOTOR EOLICO MEJORADO:

El modelo de la tecnología mejorada de los aeromotores eólicos está basado en nuevos diseños desarrollados recientemente en Holanda, para su fabricación y uso en los países en desarrollo. Se ha iniciado la producción de un modelo de 5 metros de diámetro (ATLAS 5000). Las estimaciones de rendimiento están basadas en una eficiencia global del 8%. La producción se ha calculado con las mismas velocidades del viento usadas para los aeromotores eólicos convencionales, sin corrección por la altura. Ver Figura No. II-9

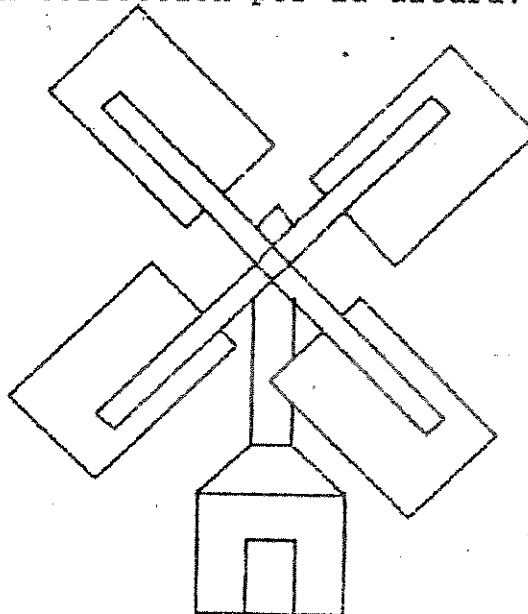


FIGURA No. II-9

2.8.- APLICACIONES DE LA ENERGIA EOLICA PARA ACCIONAR EQUIPOS DE PURIFICACION DE AGUA:

No solamente impulsar el agua por bombeo utilizando energía eólica es importante, también se requiere que el agua sea potable. Muchos problemas de salud se dan debido al consumo de agua contaminada. También en comunidades cerca de las costas se dan problemas de aguas muy duras (alto contenido de sales). Existe equipo en el mercado que puede ser accionado por corriente alterna mediante turbinas o aerogeneradores accionadas por energía eólica.

Por sus características eléctricas, las técnicas para la producción de mezclas oxidantes in situ se presentan fácilmente al acoplamiento con aerogeneradores eólicos. Esto abre la posibilidad de aplicación en zonas rurales sin acceso a la red eléctrica. La celda electrolítica puede operar directamente del arreglo electroeólico durante todo el día.

2.8.1.- PROCESOS CONVENCIONALES:

Los procesos de purificación de agua requieren invariablemente de una determinada cantidad de energía mecánica para manejar el líquido. Tanto para la alimentación al proceso cuando ésta no puede hacerse por gravedad como para trasvasar de un contenedor a otro en el equipo, o para presurizar ligeramente el agua con propósitos de filtrado. En estas operaciones está implícito el uso de bombas cuyas características operativas y de potencia pueden variar según la tecnología de purificación, el volumen de agua requerido y las condiciones particulares del sitio de aplicación.

2.8.2.- APLICACION ELECTROEOLICA:

La electricidad producida por aerogeneradores eólicos se presenta como una alternativa técnicamente viable para la electrificación de equipos de purificación de agua en zonas rurales sin acceso a la red eléctrica. En esta opción, toda la electricidad necesaria para la operación de la planta proviene de un arreglo electroeólico

La adición de cloro es una práctica común para garantizar la potabilidad del agua almacenada. Esto puede efectuarse agregándole hipoclorito de sodio, o mediante la hidroinyección de cloro gaseoso. En muchos casos es preferible utilizar un clorinador automático para facilitar la tarea y abatir el riesgo del error humano. Los clorinadores a base de hipoclorito de sodio utilizan una bomba dosificadora, mientras que para la inyección de cloro gaseoso se utiliza una electroválvula.

La potencia de bombas dosificadoras comerciales es alrededor de 0.067 hp. Su operación es por pulsos (unos 120 pulsos al día de

15 segundos cada uno) y consumen alrededor de 25 Watt-hora por día de electricidad. El consumo eléctrico de las electroválvulas es aun menor. Cualquiera de estas aplicaciones podría ser fácilmente satisfecha con un sistema electroeólico de unos 0.054-0.067 hp de potencia. Puede afirmarse que el suministro eléctrico para sistemas de clorinacion puede ser altamente confiable, siempre y cuando el sistema electroeólico esté adecuadamente dimensionado, especialmente en lo que corresponde al aerogenerador.

CAPITULO 3

DISEÑO DE LOS COMPONENTES PARA UN SISTEMA DE BOMBEO ACCIONADO CON ENERGIA SOLAR

3.1.- DISEÑO DEL EQUIPO DE BOMBEO

Si se desea diseñar un sistema de bombeo confiable, el proyectista debe estar bien familiarizado con las características de la fuente, el sistema de almacenaje, el terreno que rodea la fuente, y los datos de rendimiento de los diversos tipos de bomba disponibles para esta clase de servicio.

El primer requisito es un cálculo estimado del agua necesaria y la cantidad de agua que puede suministrar la fuente (flujo). Si la necesidad de agua varía durante el año, se debe preparar un cálculo estimado mensual y compararlo con la producción esperada de la fuente de agua. Es importante saber las condiciones del peor caso, así que se deben de obtener datos representativos de la demanda y producción durante los meses más secos del año. Si la capacidad de la fuente es limitada, el proyectista debe tomar acción. Una alternativa posible es mejorar la fuente de agua o desarrollar otra. El uso de una bomba más pequeña es otra opción, pero muchas veces la disponibilidad de diferentes tamaños de bombas es limitada. Otro método es incorporar baterías en el sistema y distribuir el tiempo de bombeo sobre un período más largo. Esta es una de las dos razones para usar baterías en un sistema de bombeo de agua. La otra razón es cuando el tiempo de bombeo necesita ser controlado, para bombear con un flujo más grande durante un período de tiempo más corto. Un ejemplo sería un sistema residencial con tanques de almacenaje, para cuando se quiera bombear toda el agua necesaria para la casa durante el tiempo en que no se usan las otras cargas. Aunque el uso de baterías en un sistema aumentaría al máximo el rendimiento de la bomba, debido a las condiciones estables de operación de la bomba y el motor, la mayoría de los sistemas de bombeo de agua no contienen baterías. Generalmente es más económico almacenar agua que almacenar electricidad. Si se dispone de un tanque, el sistema puede bombear todo el día y el agua se almacena para uso futuro.

Otra variable que se debe especificar es el factor del tiempo de bombeo. Para el método de diseño este factor de tiempo se refiere al número de horas de máximo sol en el día. Si se usa una bomba centrífuga propulsada directamente, el factor de tiempo de bombeo será igual a 1.0. En otras palabras, la bomba funcionará durante el número de horas del día que sea equivalente al número de horas de máximo sol. Si se usan baterías, el tiempo de bombeo se puede ajustar para que sea igual al flujo de la fuente.

muchos sistemas de bombeo emplean conjuntos fotovoltaicos montados en sistemas seguidores de la luz solar de un solo eje. Los seguidores de la luz solar o estructura de rastreo son estructuras móviles que siguen el movimiento del sol para maximizar la energía que reciben sus módulos eléctricos solares. La energía eléctrica solar fluye continuamente, desde el amanecer hasta el atardecer. Por tal motivo, los trabajos pesados como el proveer agua al ganado y riego, requieren un rastreador. Los paneles en el rastreador obtienen hasta 50% más de energía que los paneles en una estructura fija. En una latitud templada, este rastreador aumenta la energía hasta en un 35% sobre un período de un año. El seguimiento no sólo aumenta las horas de operación (horas de sol máximo), sino que también provee un punto más constante de operación (tensión y corriente) para el motor de la bomba. Por lo tanto, se recomiendan los sistemas de seguimiento para instalación en latitudes menores de 40°.

3.1.1.- CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA (HP)

El factor de tiempo de bombeo sería igual al número de horas de funcionamiento programado divididas por el número de horas de sol máximo. Si se usa un reforzador lineal de corriente o un controlador de seguimiento de máxima potencia entre el conjunto y la bomba en un sistema propulsión directa, el factor de tiempo de bombeo sería 1.2. Así se toman en cuenta las mejoras que producen estos dispositivos en el rendimiento del sistema.

Por ejemplo si se tienen 6 horas de funcionamiento programado, y 5.5 horas de sol máximo se obtiene el factor de tiempo de bombeo

$$\text{Factor de tiempo de bombeo} = \frac{6 \text{ hra. de funcionamiento}}{5.5 \text{ hrs. de sol máximo}} = 1.1$$

Ahora se puede calcular la capacidad de la bomba, el tiempo de funcionamiento y la demanda total de potencia si se conoce el rendimiento de la bomba y la profundidad del agua. El rendimiento de bombas específicas depende del tipo de bomba y de las condiciones de funcionamiento. Para las bombas centrífugas, el rendimiento es una función de la presión, flujo e insolación solar, todo lo cual varía durante el día. Bajo ciertas condiciones, el rendimiento medio diario, llamado rendimiento de cable a agua, puede ser tan bajo como un tercio del rendimiento máximo de la bomba. Por contraste, el rendimiento de una bomba de desplazamiento cambia muy poco con el cambio de las condiciones solares.

Entonces el tiempo de funcionamiento es:

Número de horas de tiempo de funcionamiento * factor de tiempo de bombeo

tiempo de funcionamiento = 6 horas/día * 1.1 = 6.6 horas/día

por ejemplo si se tiene un caudal medio de 0.30 litros/segundo entonces se obtiene un caudal de bombeo de:

$$\text{Caudal de bombeo} = \frac{\text{caudal medio} * 24 \text{ hrs/día}}{\text{tiempo de bombeo}}$$

$$\text{Caudal de bombeo} = \frac{0.30 \text{ l/s} * 24 \text{ hrs/día}}{6.6 \text{ hrs/día}} = 1.1 \text{ l/s} = 17.43 \text{ gal/min.}$$

Suponiendo que se tiene que bombear una altura de 20 metros, entonces se utiliza la tabla de A.Y MacDonald, del anexo B, para poder determinar la capacidad de la bomba.

Para el ejemplo, con un caudal de bombeo de 17.43 gal/min y una altura de bombeo de 20 metros, se elige la bomba 211008DM la cual necesita 15 paneles, 5 en serie y 3 en paralelo.

Y por último para poder determinar la potencia de la bomba se hace con la siguiente formula:

$$\text{potencia} = \frac{Q \text{ bombeo} * \text{altura}}{3960 * \text{eficiencia}}$$

$$\text{potencia} = \frac{17.43 * 65.62}{3960 * 0.6} = 0.48 \text{ HP}$$

3.1.2.- CALCULO DEL AMPERAJE DE LA BOMBA:

Dependiendo del tipo de configuración serie paralelo en que queden los paneles solares, así es como se va a poder calcular el voltaje y el amperaje que necesite la bomba, a mayor número de paneles en serie mayor será el voltaje y a mayor número de paneles en paralelo mayor será el amperaje.

De la tabla módulos de potencia solar, que se encuentra en el anexo B de esta tesis se puede observar que la corriente de un

panel de 50 watt, serie SM50, el amperaje es de 3.05 amperios, entonces se procede a calcular la cantidad de corriente que necesita la bomba con la siguiente formula:

Número de paneles
de 50 watt en paralelo * 3.05 amperios = # de amp. necesarios
panel

3.1.3.- TIPO DE BOMBAS:

Un sistema de bombeo accionado por energía solar puede aceptar bombas de distintas variedades. Sin embargo hay dos categorías amplias: centrífugas (roto-dinámicas) y volumétricas (de desplazamiento positivo), con características fundamentalmente diferentes.

Tanto las bombas centrífugas como las volumétricas pueden ser propulsadas por motores de corriente alterna o de corriente directa. La selección del tipo de motor depende del volumen de agua que se necesite, así como del rendimiento, precio, confiabilidad y disponibilidad de apoyo técnico. Los motores de corriente directa constituyen una alternativa atractiva debido a su compatibilidad con la fuente de energía y porque generalmente su rendimiento es más alto que el de los motores de corriente alterna. Sin embargo, el costo inicial de estos motores es mayor, la selección puede estar limitada en algunos países y el motor de tipo de escobillas requieren un mantenimiento periódico. Se pueden obtener algunos tipos de motores de corriente directa sin escobillas que prometen una mejor confiabilidad y menos mantenimiento. Los motores de corriente alterna poseen las ventajas de un bajo precio y facilidad de adquisición, aunque tienen la complejidad adicional de necesitar un inversor de corriente directa a corriente alterna.

BOMBAS CENTRIFUGAS:

Estas bombas se diseñaron para una presión hidráulica (carga) fija y su rendimiento de agua aumenta con la velocidad de rotación. Entre más se aleja esa presión hidráulica del punto fijo del diseño, más disminuye la eficiencia de la bomba. Estas bombas son muy adecuadas para las aplicaciones en que se requieren grandes flujos desde cisternas o depósitos de poca altura. Ellas se pueden conectar directamente a la salida del conjunto fotovoltaico, pero se puede aumentar el rendimiento con un controlador electrónico, tal como el reforzador lineal de corriente, para mejorar el acoplamiento entre la bomba y el conjunto fotovoltaico.

Las bombas centrífugas se adaptan idealmente a las condiciones de flujo moderado, en cisternas, o en otros embalses. Se han instalado bombas centrífugas de capacidad hasta de 1200 metros cúbicos/día y se pueden usar para suplir un volumen tan bajo como de 10 - 15 metros cúbicos/día. Sin embargo, no se recomienda usarlas para niveles de abatimiento mayores de 5-6 metros.

BOMBAS VOLUMETRICAS:

Las bombas volumétricas dan una capacidad de bombeo casi independiente de la carga pero directamente proporcional a la velocidad. Existen varios tipos de bomba volumétrica. El más usado con los sistemas fotovoltaicos de bombeo es el de pistón equilibrado o bomba de palanca y la bomba de cavidad progresiva (a veces denominada bomba espiral). La eficiencia de esta bomba aumenta conforme aumenta la carga. Las bombas denominadas volumétricas o de desplazamiento (bombas de gasto) se usan para bombear agua de pozos profundos. La salida resulta casi independiente de la altura pero aumenta con la radiación solar.

Las bombas volumétricas son ideales para situaciones de caudal de flujo bajo y/o grandes alturas de elevación. Las bombas de este tipo se han instalado con caudales de flujo tan bajas como 0.3 metros³/día y tan altas como 40 metros³/día, y con elevaciones tan pequeñas como de 10 metros hasta otras tan grandes como de 500 metros.

En el mercado existen las siguientes bombas solares:

- Bombas de presión o empuje
- Bombas sumergibles de corriente continua
- Bomba tipo gato (Jack pump)
- Bomba "Turbo-booster"
- Bombas de bajo flujo
- Bomba de presión de agua superficial
- Bomba sumergible

Ver figuras No.III-1 al No.III-8

Ventajas de la bomba solar:

- No requieren combustible; son silenciosas, no contaminan, y requieren de muy poco o ningún mantenimiento
- Producen más durante los días soleados, cuando la necesidad de agua es mayor. Comparadas con los molinos de viento, las bombas solares son más baratas y mucho más fáciles y seguras en su instalación y mantenimiento. Proveen un suministro de agua más constante, especialmente durante el tiempo seco cuando hay mucho sol y poco viento. Pueden ser instaladas en

valles, cañones y áreas boscosas, donde la exposición al viento es pobre.

- El banco eléctrico solar no necesita colocarse cerca de la fuente de agua. Para obtener exposición total al sol, puede ser instalado lejos de la bomba, hasta cientos de metros, siempre que el calibre del cable eléctrico sea el correcto.
- Hay disponibles sensores de nivel para apagar la bomba cuando el tanque de agua se llene y evitar el desperdicio. Se pueden utilizar controles similares para apagar la bomba, si el nivel de la fuente de agua baja demasiado.
- Los sistemas de bombeo de agua son expandibles. Una bomba puede ser instalada con un banco eléctrico solar mediano, entregando la mitad del volumen. Posteriormente, cuando haya dinero o aumenten las necesidades de agua, se puede expandir a una capacidad mayor.
- Una bomba de agua puede estar respaldada por un motor, un generador o baterías. Las bombas solares pequeñas pueden ser alimentadas con la batería de un vehículo en caso de emergencia.
- Las bombas solares de bajo volumen permiten el uso de fuentes marginales y filtraciones pequeñas de agua, inclusive las que producen menos de $\frac{1}{2}$ galón por minuto. El bombeo lento reduce el costo de transferir modestas cantidades de agua a través de largas tuberías, ya que se pueden utilizar tuberías pequeñas y baratas. Las bombas solares pueden bombear agua a través de kilómetros de tubería y a cientos de metros de altura hasta donde se necesite.
- Los sistemas solares de bombeo pequeños son compactos y ligeros. Esto minimiza el costo de transportación. muchos sistemas pequeños se instalan a mano. No se requiere equipo especial o experiencia previa. Pueden ser hasta portátiles, permitiéndoles el ser movidos de una fuente de agua a otra.

Desventajas del bombeo solar:

- Dependencia del clima, está íntimamente ligado a las condiciones del clima, mucho sol implica alta producción, poco sol, muchas nubes o lluvia entonces poca producción.
- Alto costo inicial.
- Educación.

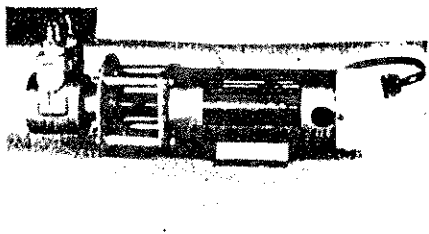
.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS BOMBAS SOLARES:

Las características principales de las bombas solares de bajo volumen han implantado el liderazgo de eficiencia y confiabilidad en bombeos de agua solar, donde la demanda de agua es 50 a 3,000 galones (190 a 1,359 litros) por día.

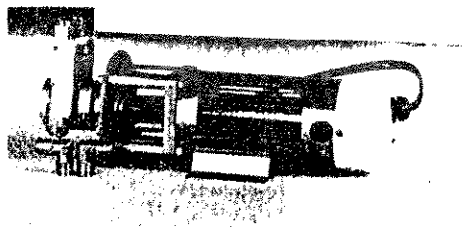
Las bombas de bajo volumen ofrecen beneficios singulares, éstas permiten el uso de pozos marginales y filtraciones pequeñas de agua, inclusive los que producen menos de 1/2 galón por minuto (2 lpm). El bombeo lento reduce el costo de transferir modestas cantidades de agua a través de largas tuberías, ya que se pueden utilizar tuberías pequeñas y baratas.

Están diseñadas para bombear agua de manantiales, cisternas, tanques, ríos, arroyos o pozos de 17 pies (5 metros) de profundidad o menos. Pueden empujar el agua verticalmente hasta 450 pies (137 metros, 200 libras por pulgada cuadrada).

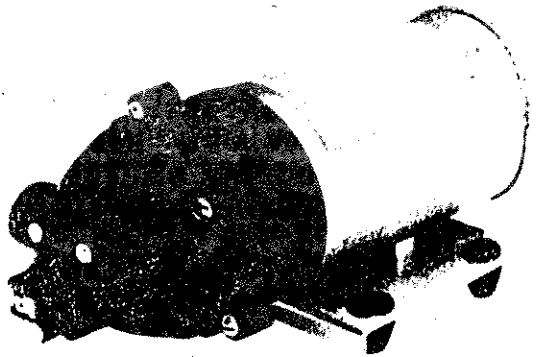
Las bombas de bajo flujo pueden ser energizadas por electricidad solar directamente o con baterías. Disponibles en ocho modelos de 1/4 caballo de fuerza y siete modelos de 1/2 caballo de fuerza. Los modelos de 1/4 de caballo de fuerza vienen en 12-24 Voltios de corriente continua y los modelos de 1/2 caballo de fuerza vienen en 24-48 Voltios de corriente continua



**BOMBA SOLAR DE BAJO VOLUMEN
FIGURA No. III-1**



**BOMBA SOLAR DE BAJO VOLUMEN
FIGURA No. III-2**



BOMBA SOLAR DE BAJO VOLUMEN

FIGURA No. III-3

Las características de la bomba de presión Flowlight: provee agua a presión (de ciudad) para casas con sistemas de energía de 12-24 voltios; durará mucho más que las bombas más baratas que utilizan el mismo cabezal de bronce fundido, proveyendo una operación silenciosa y eficiente. Típicamente se instala por encima del nivel de agua, con un tanque de presión convencional y un interruptor. Un sistema de presión que utilice esta bomba es mucho más económico que un tanque elevado.

Hay dos modelos disponibles: 5.5 gpm(galones-por-minuto), 21 lpm (litros-por-minuto), 50 libras por pulgada cuadrada o en el modelo de menor flujo a 3 gpm (11 lpm), 65 libras por pulgada cuadrada. Si la succión vertical es mayor de 10 pies (3 metros) o se vislumbran atascamientos frecuentes del filtro, entonces se recomienda el modelo de menor flujo. La succión máxima a nivel del mar es de 17 pies (5 metros). Restar un pie (0.3 metros) por cada 1,000 pies (330 metros) de elevación. Ambos modelos están disponibles en 12-24 Voltios de corriente continua. Otros voltajes y motores de corriente alterna están disponibles bajo ordenes especiales.



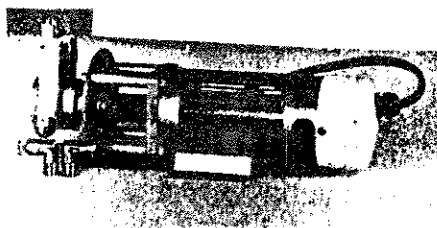
BOMBA DE PRISIÓN FLOWLIGHT

FIGURA No. III-4

Las características de la bomba solar de bajo flujo Flowlight presentan una gran eficiencia y confiabilidad en bombeos de agua solar, donde la demanda de agua es de 50 a 3,000 galones (190 - 1,350 litros) por día. Las bombas de aguas solares son más confiables que las de los molinos de viento y eliminan el combustible y el mantenimiento de los sistemas de energía con motores de combustible.

Las bombas de bajo flujo son de desplazamiento positivo, y operan en forma eficiente a lo largo del día solar a velocidades lentas y variables dependiendo de las condiciones de la luz solar. Están diseñadas para bombear agua de manantiales, cisternas, tanques, ríos, arroyos o pozos de 17 pies (5 metros) de profundidad o menos. Pueden empujar el agua verticalmente hasta 450 pies (137 metros, 200 libras por pulgada cuadrada) para almacenaje; presión o riego. La capacidad de succión vertical es de 20 pulgadas (6 metros) a nivel del mar (restar un pie (0.3 m) por cada 1,000 pies (330 m) de elevación).

Las bombas de bajo flujo pueden ser energizadas por electricidad solar, directamente o con baterías. Disponibles en ocho modelos de 1/4 de caballo de fuerza y siete modelos de 1/2 caballo de fuerza. Los modelos de 1/4 de caballo de fuerza vienen en 12-24 Voltios de corriente continua y los modelos de 1/2 caballo de fuerza vienen en 24-48 Voltios de corriente continua



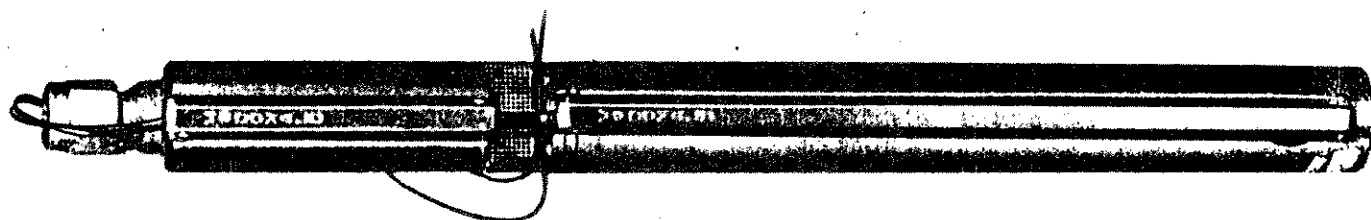
BOMBA SOLAR DE BAJO FLUJO FLOWLIGHT

FIGURA No. III-5

Las características de la bomba solar sumergible A.Y. MacDonald presentan una de las mejores opciones disponibles para aplicaciones de bombeo.

Esta bomba de gran volumen está diseñada para pozos superficiales y profundos, con profundidad de hasta 450 pies (150 metros). Consiste en un motor y varias etapas que se combinan para cubrir una gran variedad de necesidades de bombeo.

Encapsulada en latón y acero inoxidable, esta bomba sin escobillas posee rotores magnéticos permanentes. Requiere de muy poco mantenimiento y ofrece una larga vida de alta eficiencia y confiabilidad.



BOMBA SOLAR SUMERGIBLE A.Y. MacDonald

FIGURA No.III-6

En los sistemas de bombeo de agua el almacenaje se puede obtener mediante baterías o almacenando el agua en tanques. El añadir baterías a un sistema aumenta el costo y reduce la confiabilidad. El almacenaje de agua es más usado y recomendado para la mayoría de las aplicaciones de bombeo. Sin embargo, ocurren pérdidas considerables por evaporación si el agua se almacena en tanques o depósitos descubiertos. Los tanques cerrados son los más apropiados desde el punto de vista técnico sanitario.

Muchas de las fallas de los sistemas de bombeo fotovoltaicos se deben a problemas en la bomba. La fuente de alimentación fotovoltaica tiene una confiabilidad mucho más alta que el subsistema de la bomba y el motor. Una buena instalación del equipo de bombeo aumentará la confiabilidad. A continuación se describen algunas de las medidas que conviene tomar para evitar en lo posible que ocurran desperfectos.

Se recomienda el uso de tubería de acero en el pozo, especialmente cuando se emplean bombas sumergibles. La tubería plástica se puede romper. Por otra parte, la tubería plástica constituye un medio económico de llevar el agua desde el pozo hasta el tanque de almacenaje o hasta donde sea necesario. Las varillas de succión hechas de fibra de vidrio se pueden usar en un pozo con una bomba de gato. Estas varillas son más livianas que las metálicas, son flotantes y se sacan con mayor facilidad para el mantenimiento de la bomba.

BOMBA CENTRIFUGAS MULTI - ETAPA

SUMERGIBLE Y TURBINA VERTICAL

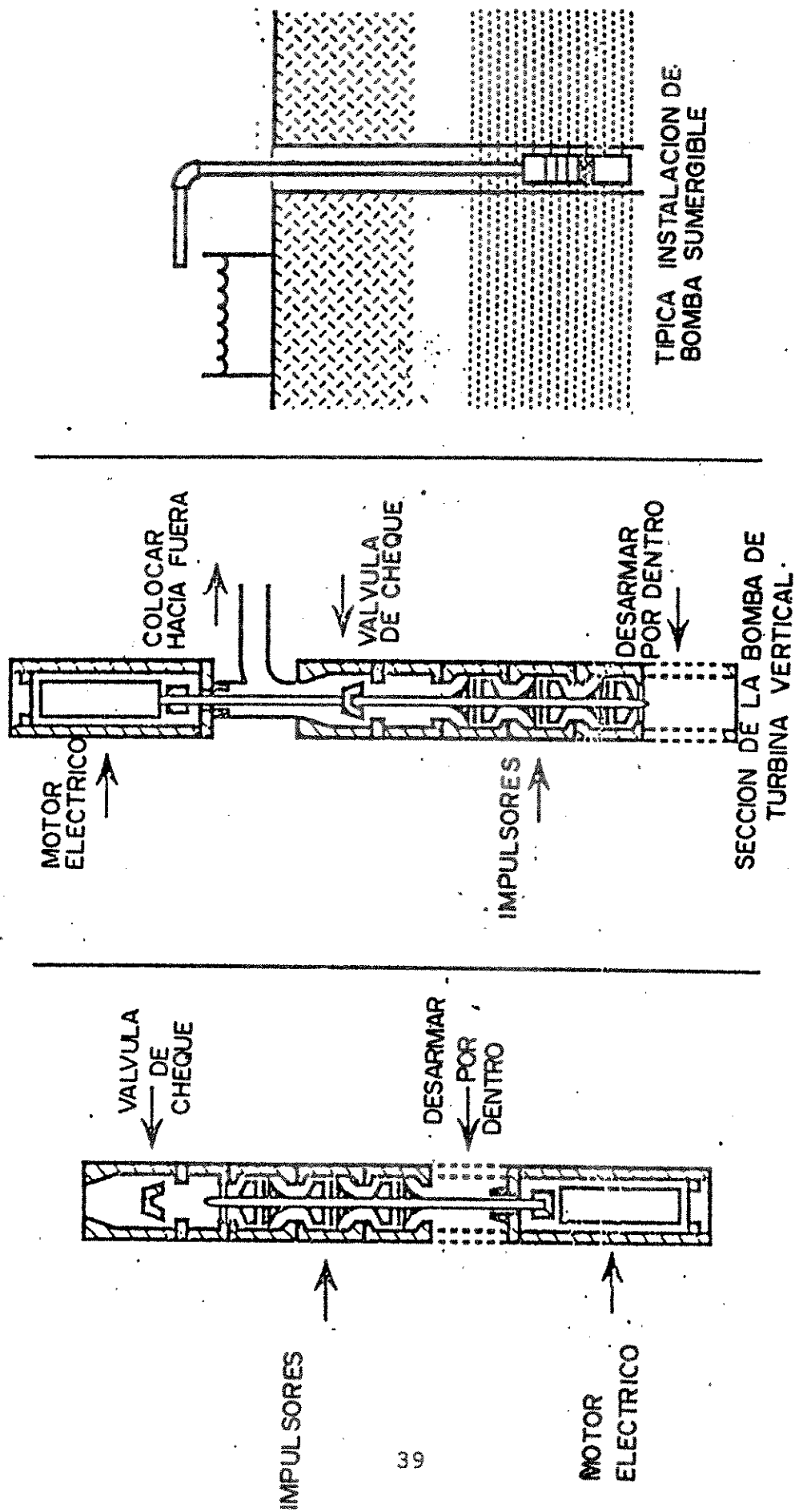
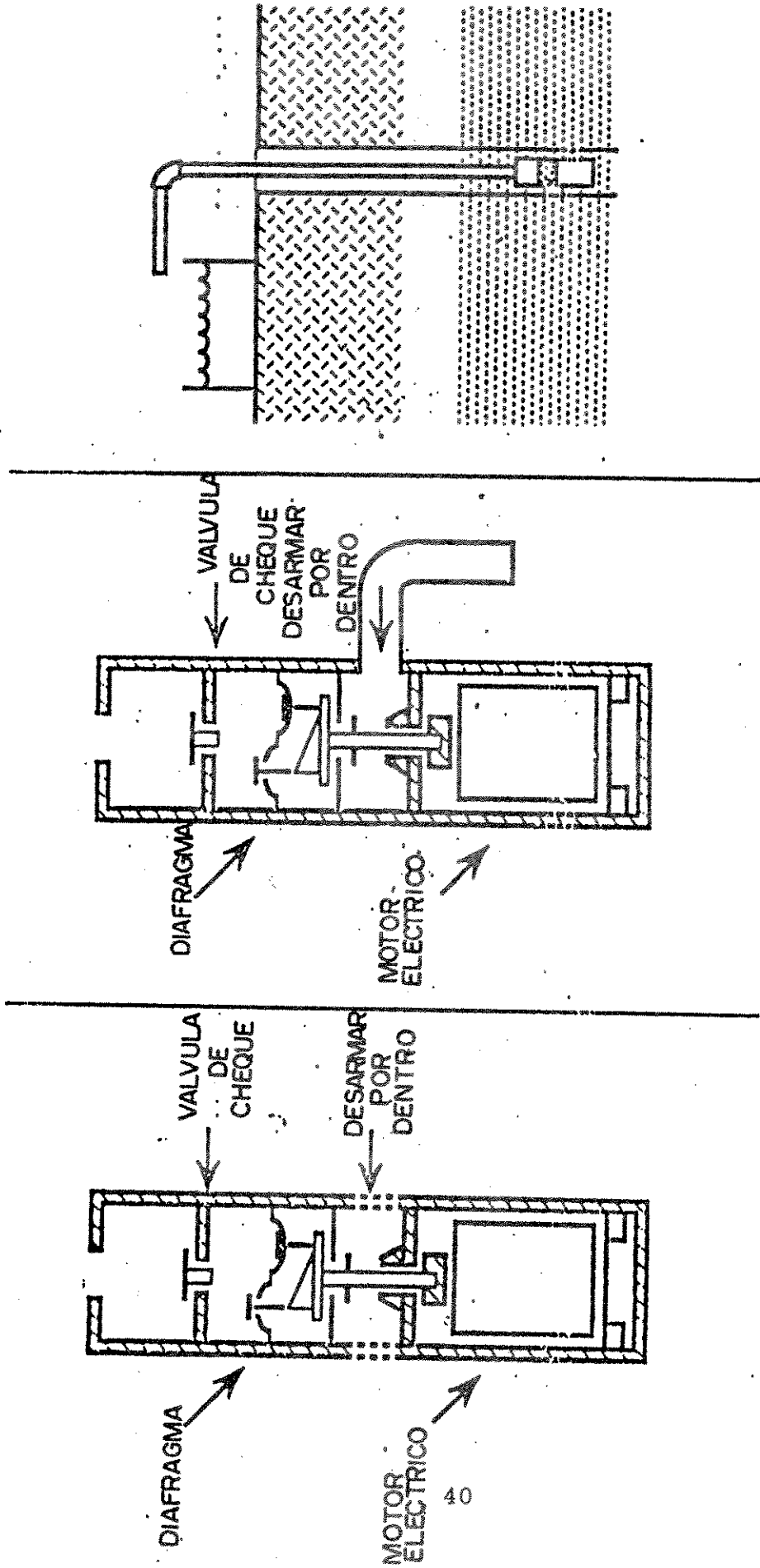


FIGURA No. III - 7

DIAGRAMA DE BOMBAS



INSTALACION TIPICA

SECCION DE BOMBA DE SUPERFICIE

SECCION DE BOMBA SUMERGIBLE

FIGURA No. III-8

Un sistema de agua impulsado por energía solar es básicamente parecido a cualquier otro (ver figura No.III-9). Como mínimo tendrá un conjunto fotovoltaico, un motor y una bomba. El conjunto se puede conectar directamente a un motor DC (corriente directa) o a un motor AC (corriente alterna), por medio de un inversor. Puede usarse un banco de baterías en ambos sistemas (AC y DC) para acumular la energía, o se puede apartar más bien una reserva de agua. El motor se conecta a cualquiera de una variedad de bombas de velocidad variable.

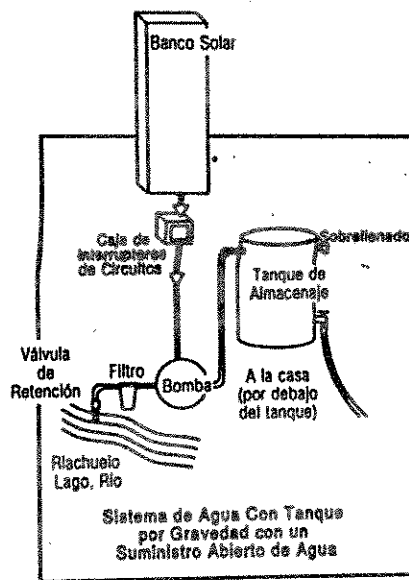


FIGURA No.III-9

Se debe enfatizar que el dimensionamiento del conjunto es el más importante de los conocimientos que debe tenerse al respecto del sistema fotovoltaico. Resulta que el uso adecuado y balanceado de un sistema fotovoltaico es producto de un balance de energía teórico inicial.

O sea que se diseña en función de :

1. Características del clima local (Fuente Energética Solar). Número de horas pico y temperatura promedio del día.
2. Características de las cargas a servir. (Consumo)
3. Tiempo de uso de las cargas.
4. Distancias del acumulador a las cargas.

Y de allí se derivan parámetros como:

1. Tamaño del colector. (Vatiaje en W)
2. Capacidad de almacenaje de batería (Amperios-Hora)
3. Calibre de los cables. (No. AWG)
4. Tamaño y características del control. (A. y V.)
5. Tamaño de los fusibles. (Amperios).

3.1.4.- TIPOS DE MOTOR:

La elección de un motor para el sistema solar depende del tamaño requerido, de la necesidad de tener el motor sumergido o no, y de la disponibilidad de la electrónica para impulsarlo. Los tres tipos básicos son motores DC de imán permanente (con escobilla o sin escobilla), motores DC de campo embobinado, y motores AC.

Un motor DC siempre será atractivo porque los conjuntos solares suplen electricidad DC. Sin embargo, los motores AC junto con los inversores DC-AC se pueden usar para las aplicaciones de alta potencia.

Los criterios para la selección del motor son: eficiencia, precio, confiabilidad y disponibilidad. Normalmente la potencia en vatios define la escogencia del motor: los motores de imán permanente si se requiere menos de 2.250 vatios (3-10 caballos de fuerza), y los motores AC si se requiere más de 7.500 vatios (10 caballos de fuerza).

Se usan motores AC para las aplicaciones de alta potencia en los sistemas de bombeo impulsados por la energía solar porque requieren inversores, lo cual presenta costos adicionales y cierta pérdida de energía. Aunque los sistemas AC normalmente son menos eficientes que los motores DC; actualmente se consiguen modelos especiales de eficiencia aumentada para sistemas solares.

3.1.5.- RESERVAS DE ENERGIA EN BATERIAS:

La bomba impulsada por energía solar suple agua solamente durante las horas de luz, a menos que se incluyan acumuladores. ¿pero serán éstos realmente indispensables? Puede ser que, si se conectan las baterías al sistema fotovoltaico, disminuya su confiabilidad y aumenten las demandas de mantenimiento. Sólo se justifica la inclusión de baterías cuando el producto máximo del pozo durante las horas de luz no es suficiente para cumplir con la demanda diaria de agua. En este caso, se podría perforar otro pozo.

3.1.6.-RESERVAS DE ENERGIA, TANQUES DE AGUA:

Es muy importante tener una reserva de agua, ya que las bombas sin baterías no producen agua cuando el sol no brilla. Donde el agua es para irrigación es menos problemático pues la evapo-transpiración de las plantas es proporcional a la intensidad solar. O sea, las plantas requieren menos agua durante los períodos en que la bomba produce menos agua. Además, casi siempre en las raíces de las plantas hay disponibles unos dos a tres días de reserva de agua.

La demanda de agua también varía según la intensidad solar. Sin embargo, siempre se recomienda tener agua acumulada en un tanque de almacenamiento. Una reserva de tres días es típica, pero las condiciones locales del clima y el uso del agua deben definir el tamaño óptimo para suplir la demanda.

3.1.7.- LOS CONTROLES NECESARIOS:

La bomba funcionará con eficiencia si se mantienen iguales los voltajes (la corriente eléctrica de la bomba, del motor y del conjunto solar). Hay tres maneras básicas de conectar un equipo de bomba al conjunto fotovoltaico. La más sencilla es unirlo directamente al conjunto. Otro método es interponer una batería. El tercero es usar un regulador electrónico.

Las bombas centrífugas son las que casi siempre se acoplan directamente porque la electricidad que producen los conjuntos fotovoltaicos equipara bastante bien sus características de funcionamiento. Este acoplamiento directo exige que se escojan con cuidado la relación de engranajes, la velocidad del motor, el voltaje y el grado de bombeo, para que la bomba funcione bien. La equiparación del conjunto con las características de la bomba se complica por la cantidad limitada que existe de tamaños para la misma.

Un sistema bien equiparado de conjunto de paneles y bomba puede tener un desempeño de 10 a 15% mejor que si se usan controles electrónicos. Estos se usan a menudo en los lugares en donde fluctúan los niveles de agua o las características del clima.

Por otro lado, las bombas volumétricas empatan poco con el producto de los conjuntos solares por sus características funcionales. Aunque la relación se pueda mejorar con baterías que permitan que el motor arranque a niveles bajos de luz solar, como se dijo anteriormente, tiene sus desventajas.

Normalmente las bombas volumétricas usan reguladores de potencia máxima (RPM). Estos utilizan aparatos electrónicos "inteligentes" que hacen coincidir la energía solar con los requisitos de potencia del equipo de bomba. Los reguladores

permiten un funcionamiento a diferentes niveles de irradiación, de agua y de velocidad de flujo. Además, resuelven el problema de arranque de la bomba volumétrica. Los reguladores electrónicos típicamente consumen de 4 a 7% del rendimiento de potencia del conjunto fotovoltaico.

3.1.8.- DEFINICIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

El que diseña un sistema de agua debe conocer el volumen de agua que se requiere por día y hasta dónde hay que transportarlo y, en el caso de sistemas solares, la cantidad de energía disponible del sol. El diseñador puede proyectar entonces varios sistemas alternos y definir el costo de cada uno.

Hay tres necesidades de agua que se deben considerar:

- Agua para consumo humano
- Agua para animales
- Agua para regadío.

Los factores que afectan la dotación de agua son: el clima, tamaño de la población, su ubicación, su estilo de vida, condiciones socioeconómicas, tipo de sistema de abastecimiento, y costo del servicio al usuario. Existen normas para las dotaciones de agua, como por ejemplo la del Ministerio de Salud Pública y Asistencia social, División de Saneamiento del Medio (DSM), Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (UNEPAR), Programa de Agua Y Saneamiento(PAYSA), etc. Ver cuadro No.III-1

Los valores de Dotación de agua pueden oscilar entre

SISTEMA RURAL	SISTEMA URBANO
60 - 100 L/H/D	200 - 300 L/H/D

CUADRO No.III-1

Exclusivamente para el área rural:

- Servicio a base de llenacántaros 30 - 60 l/h/d
- Servicio mixto de llenacántaros y conexiones prediales 60 - 90 l/h/d

- Servicio exclusivo de conexiones prediales fuera de la vivienda 60 - 120 l/h/D
- Servicio de conexiones intradomiciliarias con opción a varios grifos por vivienda 90 - 170 l/h/d
- Servicio de pozo excavado mínimo 15 litros.

3.1.9.- NIVELES DIARIOS DE INSOLACION:

La energía producida por un sistema fotovoltaico depende de la cantidad de luz solar (insolación) disponible. Esta insolación varía de un sitio a otro y de mes a mes, debido a cambios estacionales y climáticos. La insolación generalmente se mide en horas de sol. Una hora-sol equivale a la luz solar que proporciona 1 Kw/metro² durante una hora en una superficie perpendicular al sol, lo que es aproximadamente equivalente a una hora al mediodía de un día de verano despejado. Por ende, una hora de sol = 1 Kwh/metro².

Si las necesidades de agua no cambian durante el año, los cálculos de diseño del sistema solar deben hacerse usando el mes con menos insolación, para asegurar que se contará con agua suficiente durante todo el año. Si el agua se va a emplear para regadío, a menudo los meses con menos insolación coinciden con aquellos en los que la cantidad de agua de regadío es menor; por eso, estos cálculos no tienen que ser tan conservadores como los que se hacen cuando se trata exclusivamente de agua para consumo humano.

Si el consumo de agua varía durante el año, el diseño del sistema se debe basar en la demanda de agua dividida por la insolación disponible. El mes que tenga la tasa más grande será el que determine el diseño del sistema. Cuando se va a definir la irradiación para determinado lugar, se deben obtener datos del puesto meteorológico más cercano y tomar en cuenta cualquier factor diferente conocido en el clima local.

Los componentes directos y difusos de la luz del sol se miden con un instrumento llamado piranómetro. Estos valores se deben integrar sobre el tiempo para obtener un cálculo estimado de insolación. Algunos de los piranómetros más precisos han sido calibrados cuidadosamente y son más costosos. Los modelos más económicos usan una sección calibrada de una célula fotovoltaica para medir la irradiación disponible y se recomiendan para los propietarios de sistemas fotovoltaicos pequeños instrumentos, si es que desean observar el rendimiento del sistema.

3.1.10.- DETERMINACION DEL FLUJO MAXIMO DE AGUA:

Como se mencionó anteriormente, se mide la insolación en función de horas de sol. Si, por ejemplo, en un sitio hay 5 horas de sol disponibles al día, esto no significa que el sol produce 1 Kw/m² cada hora por 5 horas. En realidad, el sol brilla durante más de 5 horas diarias pero su intensidad es menor de 1 Kw/m² durante la mayoría de esas horas. El flujo máximo necesario de agua en litros/hora corresponde aproximadamente a las necesidades del sistema, divididas por el número de horas de sol. Se divide este resultado por 3600 segundos/hora, se obtiene el flujo máximo esperado de agua en litros/segundo.

El próximo paso consiste en definir si la fuente es capaz de producir ese flujo.

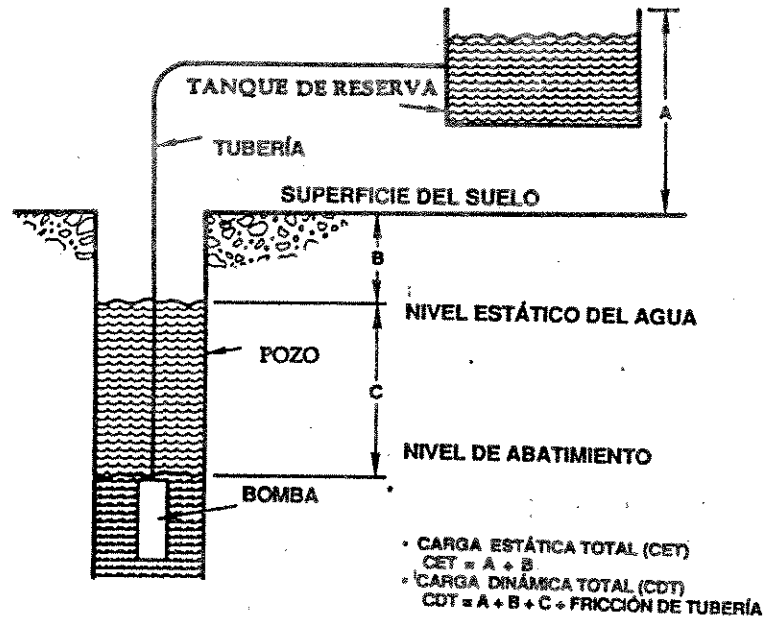
3.1.11.- PRODUCCION DE AGUA:

La cantidad de agua que puede producir la fuente es uno de los factores más importantes en el diseño de un sistema de bombeo. Por ejemplo, si produce solamente 0.5 litros/segundo, un sistema capaz de bombear el doble de esa cantidad solo lograría secar la fuente. Por ello, y para planificar las necesidades futuras, es importante conocer cuánto puede producir la fuente, es decir, se necesita estudiar la hidrología del sitio.

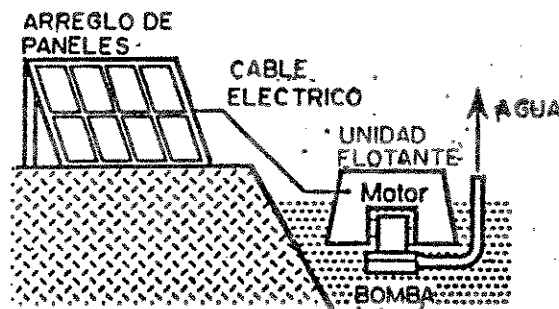
3.1.12.- CARGA ESTATICA Y DINAMICA:

La carga estática es la distancia desde el nivel del espejo de agua hasta el borde superior del tanque de almacenamiento, o hasta el punto más alto al que se bombeará. En un sistema de agua potable, el agua generalmente se almacena en un tanque lo suficientemente elevado para que la gravedad entregue el agua a presión a los usuarios. Si se usa un tanque a presión en vez de uno por gravedad, cada kg/cm² de presión positiva en el tanque equivale a 10 metros de carga estática. En los sistemas de riego o de abrevadero de animales, se usan generalmente tanques o reservorios a nivel del suelo.

La carga estática es la medida de la altura de bombeo total de un sistema en reposo. Sin embargo, cuando se está bombeando, hay que tomar en cuenta otros factores. Por una parte, el nivel de agua, y por otra, el paso del agua bombeada por la tubería ocasiona pérdidas por fricción. Estos factores adicionales constituyen la carga dinámica total (CDT), como se ve en la figura No.III-10. Ver figura No.III-11



Bombeo en un pozo
FIGURA No. III-10



Ejemplo de bombeo en un nacimiento superficial

FIGURA No. III-11

La carga dinámica total (CDT) es la suma de la carga estática, de la distancia de abatimiento y del equivalente en distancia de la fricción del agua en la cañería. Ya que tanto el abatimiento como la fricción dependen de la velocidad de flujo de bombeo, la CDT siempre debe estar especificada para un determinado flujo. A mayor flujo, mayor CDT.

Las pérdidas por fricción dependen del diámetro interior de la tubería (a mayor diámetro, menor pérdida por fricción), de su longitud, del número y tipo de accesorios y del flujo. En los sistemas fotovoltaicos de bombeo es importante mantener la fricción al mínimo. Por esta razón, conviene emplear tuberías de mayor diámetro que las que se usarían en un sistema convencional. El cuadro No.III-2 muestra las pérdidas de carga debidas a pérdidas por fricción para diversos tamaños de tuberías y flujos. La pérdida por fricción normalmente no debe exceder el 10% de la carga estática.

1

CUADRO No. III-2

Pérdida de presión por fricción (en pies) por 100 pies del tubo de 1.5 pulgadas				
Caudal (gal/min) (l/seg)	Pérdida de Presión			
	Acero	Cobre	Plástico	
6	0.4	0.57	0.36	0.31
8	0.53	0.96	0.61	0.52
10	0.67	1.45	0.92	0.79
12	0.8	2.04	1.29	1.10
15	1.0	2.95	1.86	1.59
20	1.33	5.24	3.31	2.83
25	1.67	7.90	5.0	4.26
30	2.0	11.1	7.0	6.00
40	2.67	18.9	12.0	10.20
50	3.33	28.5	14.9	15.40
60	4.0	40.0	25.3	21.60
70	4.67	53.2	33.9	28.70
80	5.33	68.1	43.1	36.80
90	6.0	84.7	53.6	45.70
100	6.67	103.0	65.1	56.60

¹Fuente bibliografica: La opción solar en Guatemala para el bombeo de agua, Alburquerque, Nuevo Mexico U.S.A. 1,989 paginas 1-26

3.1.13.- SELECCION DEL SISTEMA

Anteriormente se examinó una serie de opciones para el sistema fotovoltaico de bombeo de agua. También se discutió la demanda de agua y la capacidad de las fuentes existentes.

Ahora se utilizara esta información para seleccionar la configuración del sistema, y sus componentes de acuerdo con la misma. De ahí pueden sugerir varios diseños alternos. Se debe escoger aquella configuración que use partes disponibles localmente. Como alternativa, se puede hacer la selección con varias técnicas comunes.

El diseño básico de un sistema solar de bombeo de agua es sencillo. Una vez que se halla definido la demanda, se estudia la capacidad de la fuente de agua. Si ésta es igual o mayor que la demanda, se puede comenzar a escoger los componentes.

Con el fin de que el sistema solar rinda el producto deseado, lo primero que hay que hacer es estimar el tamaño o la capacidad indispensable de todos sus elementos principales. Para determinar la utilidad del sistema solar de bombeo de agua en cierta aplicación, los posibles usuarios quisieran poder estimar su tamaño, rendimiento y costo. Pero la mayoría de los métodos que se usan para realizarlo son complejos y exigen usar programas de computación que dan respuestas exactas. Ahora se esbozara un método sencillo que pretende ayudar a los diseñadores a formular estimaciones a grandes rasgos. Estas no deberán variar más del 20% del valor preciso de los sistemas que tengan algún tipo de regulación de voltaje, (Sin el control del voltaje, como en el caso del sistema de acoplamiento directo, la eficiencia del conjunto puede disminuir por casi 50%).

En el apéndice C se puede encontrar dos nomogramas que liberan el tener que efectuar los cálculos indicados anteriormente. Estos nomogramas se pueden usar para definir el tamaño de un conjunto solar que cumpla con la carga hidráulica necesaria durante el mes crítico del diseño. Además, ofrecen la información necesaria para escoger el tamaño del motor y la bomba. Los nomogramas sustituyen los siguientes pasos básicos en el dimensionamiento del sistema:

1. Calcular carga hidráulica: El promedio de carga diaria de energía en kilovatios-hora se calcula para el mes crítico de cada estación. La carga hidráulica es directamente proporcional al producto diario del volumen/carga del agua.

2. Calcular pérdidas del sistema: Esto incluye pérdidas y los efectos del mal empalme en alambres, controles electrónicos, bomba y motor. Predominan pérdidas en la bomba (40-60%) y el motor (10-20%).

3. Definir la insolación local: Se puede ver en el apéndice A el mapa de irradiación solar en Guatemala (insolación) que podría recibir el sistema fotovoltaico en el sitio de aplicación.

4. Definir el período crítico para el diseño: La insolación disponible varía con el cambio de estación, que también afecta la demanda de agua o el nivel de agua en la fuente. Si se identifica la peor combinación posible de carga hidráulica e insolación, se puede dimensionar el sistema.

Esta peor combinación se puede identificar construyendo un cuadro de promedios de insolación y carga, que señale la época de menor insolación a mayor carga.

Se usa este valor, entonces, para el próximo paso:

5. Calcular la potencia del conjunto solar: Una vez terminados los pasos 1-4, se calcula la potencia del conjunto. Generalmente los conjuntos fotovoltaicos se clasifican por producción en vatios bajo condiciones estándar de 100 mW/cm^2 de insolación, con la temperatura de las celdas a 25°C . Sin embargo, la temperatura tiene un efecto negativo sobre el rendimiento, que baja aproximadamente 0.5% por grado Centígrado sobre este estándar. Como la temperatura normal de las celdas es de unos 30°C sobre la temperatura ambiental (que a su vez, a menudo supera mucho a los 25°C), el rendimiento real del conjunto solar puede ser mucho menor que la potencia medida.

Las bombas centrífugas logran una eficiencia máxima solamente cuando funcionan a toda capacidad. Cuando se bombea a menor capacidad que la especificada en el diseño, hay menor eficiencia. Es difícil pronosticar a largo plazo la eficiencia promedio de una bomba centrífuga, porque la potencia de un sistema fotovoltaico cambia constantemente. Pero esa eficiencia será menor que la que se calculó para su capacidad máxima. Por contraste, la eficiencia de una bomba volumétrica es constante durante toda la serie de operaciones.

3.1.14.- EFECTOS DE LA RADIACION SOLAR VARIABLE SOBRE EL RENDIMIENTO

Un factor principal en el dimensionamiento de los sistemas de la naturaleza de la radiación solar: cambia durante el día, se ve afectada por el clima, y cambia según la época.

Esta variación en la potencia de entrada no afecta mucho los sistemas que pueden entregar agua en proporción a la intensidad del sol ambiental. Producen menos agua cuando hay poco sol y producen más agua cuando hay mucho. Esto se va emparejando sobre la marcha.

La variación sí afecta aquellos sistemas de bombeo en que el producto de agua no esté en línea directa con la intensidad solar. O sea, el rendimiento no varía directamente con la velocidad de operación de la bomba. Son muy complejas las implicaciones para el rendimiento de estos sistemas. Además, destacan la importancia, a la hora de establecer especificaciones de compra, de describir adecuadamente la distribución diaria de agua deseada y de exigir una prueba de aceptación bien definida.

Variaciones Diarias: La característica más importante de la insolación es su patrón diurno. En un día despejado típico, la curva de generación de electricidad de un conjunto de paneles solares tiene forma de campana, comenzando desde cero al amanecer, alcanzando su punto más alto al medio día, y volviendo gradualmente a cero al atardecer. Ver fig. No.II-2 en pagina 6.

Por lo general, las bombas volumétricas son lineales y cuando se acoplan con un regulador electrónico "inteligente", pueden aprovechar plenamente la radiación solar disponible. Las bombas centrífugas no son lineales, por lo que su eficiencia, y de ahí la producción de agua, disminuye cuando funcionan lejos de condición óptima de diseño.

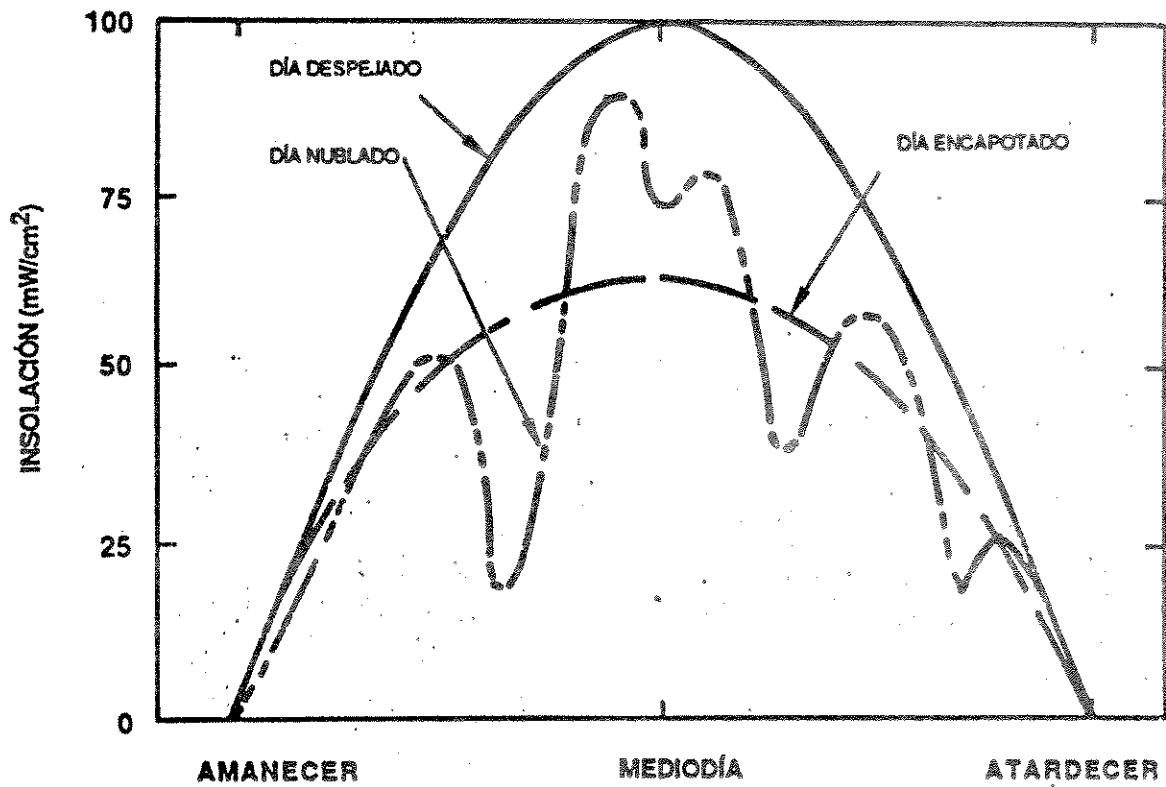
Los fabricantes deberán tomar en cuenta estos efectos a la hora de citar promedios diarios de velocidades de flujo. El diagrama No.III-1 demuestra estas variaciones y también los toman en cuenta los nomogramas anteriores de dimensionamiento.

Variaciones del clima: El clima nublado reduce bastante la cantidad de insolación y, por ende, el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Los cuadros de insolación incluyen ajustes según las variaciones del clima, porque éstas se expresan normalmente como promedios diarios durante un mes entero. Por tanto, las variaciones en el clima, en general, no afectan la entrega de agua de sistemas lineales, o sea, con bombas volumétricas. Pero las bombas centrífugas sí se ven afectadas considerablemente.

La curva que se ve en el diagrama No.III-2 muestra la pérdida de producción de agua cuando hay menor radiación solar para dos diferentes tipos de bombas. Para dimensionar las bombas sumergibles y centrífugas de tipo fotovoltaico, en condiciones óptimas sin neblina, polvo etc.; se debe tomar para el perfil solar diario un valor máximo de 100 mW/cm^2 , en lugares que experimentan poca insolación o cielos encapotados (con neblina, bruma, polvo, nubes dispersas o contaminación), se debe tomar para el perfil solar diario un valor máximo de 80 mW/cm^2 en vez de 100 mW/cm^2 .

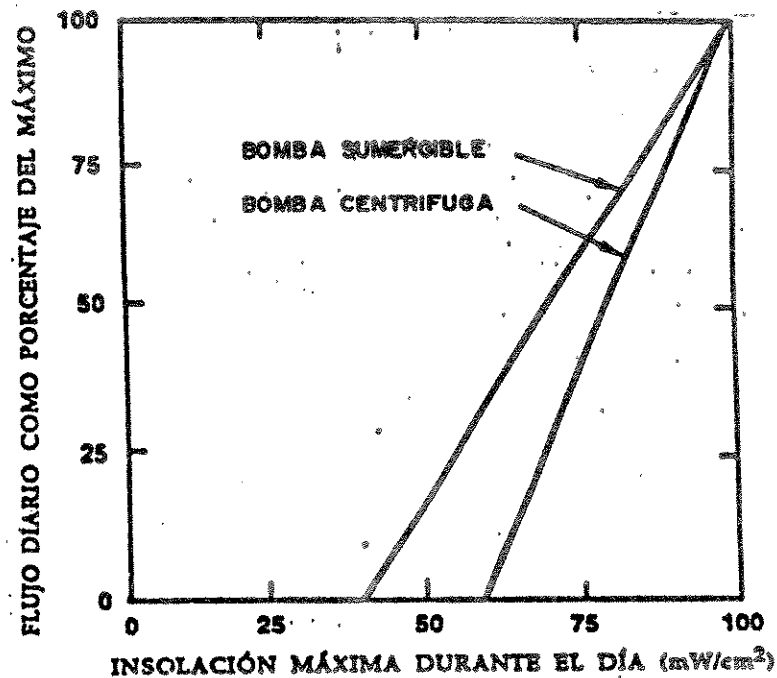
Se puede observar en la curva del diagrama No.III-2 que la bomba sumergible es más eficiente y necesita menos potencia de arranque, mientras que la bomba centrífuga es menos eficiente y necesita una mayor potencia de arranque, y las dos bombas llegan al 100% de eficiencia estando en condiciones óptimas. Aunque la

irradiación esté baja se puede observar que la bomba sumergible proporciona un mejor caudal que la bomba centrífuga.



Variaciones Diarias Típicas de la Radiación solar

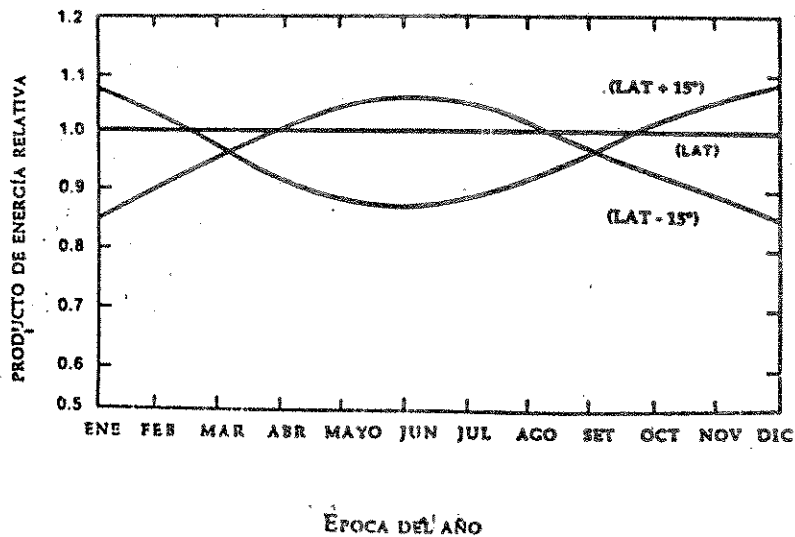
DIAGRAMA No. III-1



Relación entre insolación Máxima Diaria y
Rendimiento de la Bomba Sumergible Vrs. Centrífuga
En condiciones óptimas
DIAGRAMA No. III-2

Variaciones por Estación: Como hay diferencias por estación en la travesía diaria del sol por el cielo, variará la cantidad de energía solar que capta un conjunto fotovoltaico fijo. Observar que estos efectos se deben solamente a los cambios anuales en el ángulo del sol, y son distintos a los cambios típicos de insolación por estación debido a patrones cambiantes del clima.

En el diagrama No. III-3 se observa el efecto sobre la energía relativa, para los ángulos de inclinación del conjunto iguales a la longitud, e iguales a la latitud más o menos 15°. En este diagrama se normaliza el rendimiento del conjunto y aparece como fracciones del rendimiento de un conjunto inclinado a latitud.

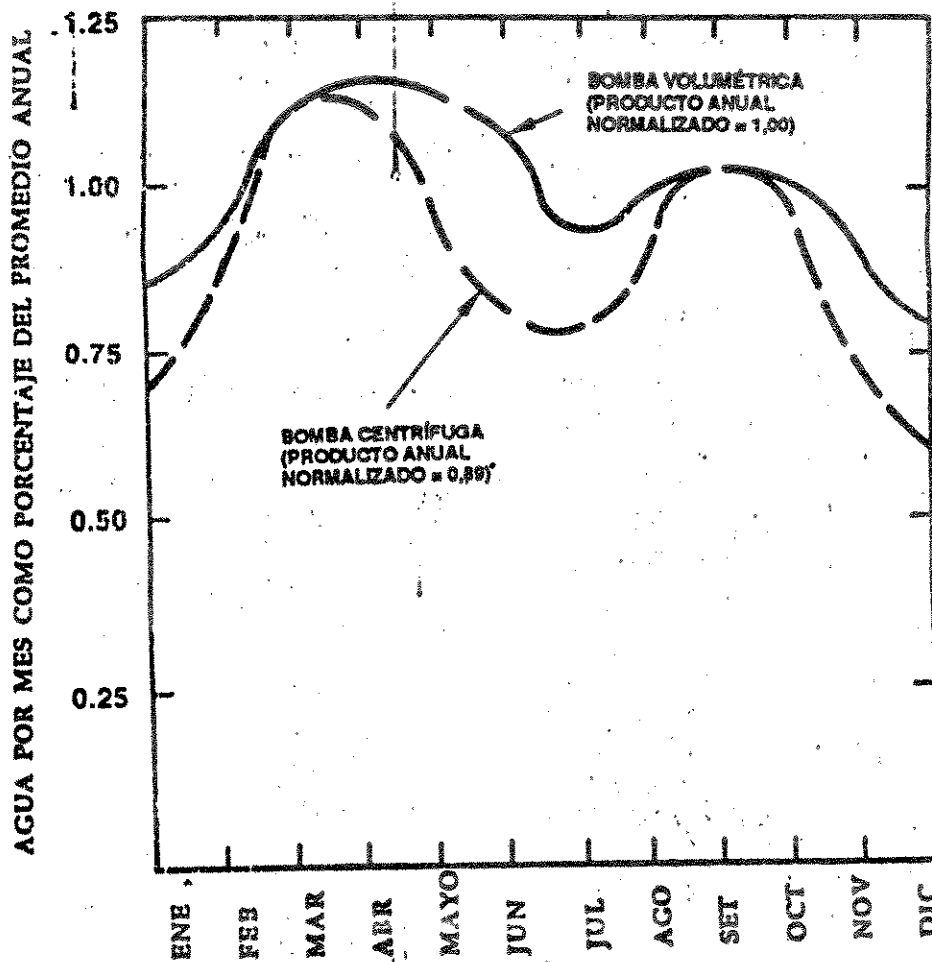


Energía Relativa a Varios Angulos de Inclinación

DIAGRAMA No. III-3

El producto de una bomba volumétrica depende de la cantidad total diaria de insolación solar que capte el conjunto. Por otro lado, el rendimiento de una bomba centrífuga se ve afectado no sólo por la cantidad, sino también por el valor máximo de insolación solar. Para un conjunto con un ángulo de inclinación fijo, la potencia máxima variará de acuerdo con la estación según cambie el ángulo del sol respecto al conjunto. El diagrama No. III-4 aclara este efecto.

En la licitación se les debe exigir a los fabricantes que cuando indiquen la producción esperada de agua, tomen en cuenta el efecto del ángulo de inclinación, y otros efectos definidos aquí. Las técnicas presentadas anteriormente (utilizadas en los nomogramas) sí toman en cuenta el efecto del ángulo de inclinación.



Rendimiento de la bomba Centrífuga y la Volumétrica
 (El ángulo de inclinación del conjunto se fija al ángulo
 igual a la latitud)

DIAGRAMA No. III-4

3.2.- PANELES FOTOVOLTAICOS (Capacidad, Orientación y Ubicación)

La energía fotovoltaica es producida directamente por la luz solar que brilla sobre una serie de paneles solares. No requiere partes móviles y es sumamente sencilla y confiable. Hay muchos materiales que responden a la luz visible, entre los cuales el más común es el silicio, un elemento proveniente de la arena corriente.

3.2.1.- COLECTOR FOTOVOLTAICO:

Los conjuntos fotovoltaicos incluyen paneles y circuitos fuentes. Un panel es un grupo de módulos fotovoltaicos empacados en un solo marco. Un circuito fuente, a veces llamada una cadena, es un número de módulos fotovoltaicos conectados en serie para producir la tensión del sistema. Muchos paneles pueden estar conectados eléctricamente para formar un circuito fuente, pero cada panel debe tener el tamaño correcto para facilidad de manejo y montaje.

Todos los grupos de módulos fotovoltaicos deben tener conectores duraderos en el mismo módulo. Los conectores deben ser resistentes y el método de conectar los cables debe ser simple y proveer una conexión segura. La mayoría de los módulos tienen cajas de empalme selladas para proteger las conexiones. La experiencia de pruebas en el campo muestra que las células fotovoltaicas y las conexiones entre células dentro del laminado del módulo raramente fallan. La mayoría de los problemas ocurren en la capa de empalmes del módulo donde se efectúan las interconexiones entre módulos. Muchas veces estas fallas pueden ser reparadas en el campo sin cambiar el módulo. Antes de comprar un módulo, conviene inspeccionar la caja de empalmes y determinar el estado de las conexiones.

Sinonimos: panel, módulo, plancha. Este es el equipo característico de la tecnología fotovoltaica. Es la parte menos convencional de estos sistemas, y a la vez la más segura en funcionamiento, pues tiene garantía de hasta 15 años o más.

Su funcionamiento es simplemente convertir la luz del sol en corriente eléctrica de tipo Directo (DC) o sea corriente continua. La forma como se integra es por medio de un conjunto de celdillas fotovoltaicas integradas en un circuito en serie, en números que van de 28 a 40, de áreas diferentes (las celdillas). Generalmente estas celdillas son de Silicio-boro y Silicio-fósforo, cada una produce alrededor de 0.46 Voltios por unidad.

Una celda fotovoltaica consiste en un conjunto estructural integrado por:

- * Una plancha de vidrio bajo contenido de hierro (1/8" -1/16").
- * 1 rejilla metálica recolectora.
- * Una capa de material semiconductor dopado con cargas positivas (boro) 0.01 micras.
- * Una capa semiconductor sin dopa (0.3 - 1 micra).
- * Una capa de semiconductor negativo (Fósforo) 0.02 micras

* Una placa metálica de recolección de electrones (0.3 - 0.5 micras)

* Protección posterior (plástico ambiental).

Ver figuras No.III-12, No.III13, NoIII-14 y NoIII-15

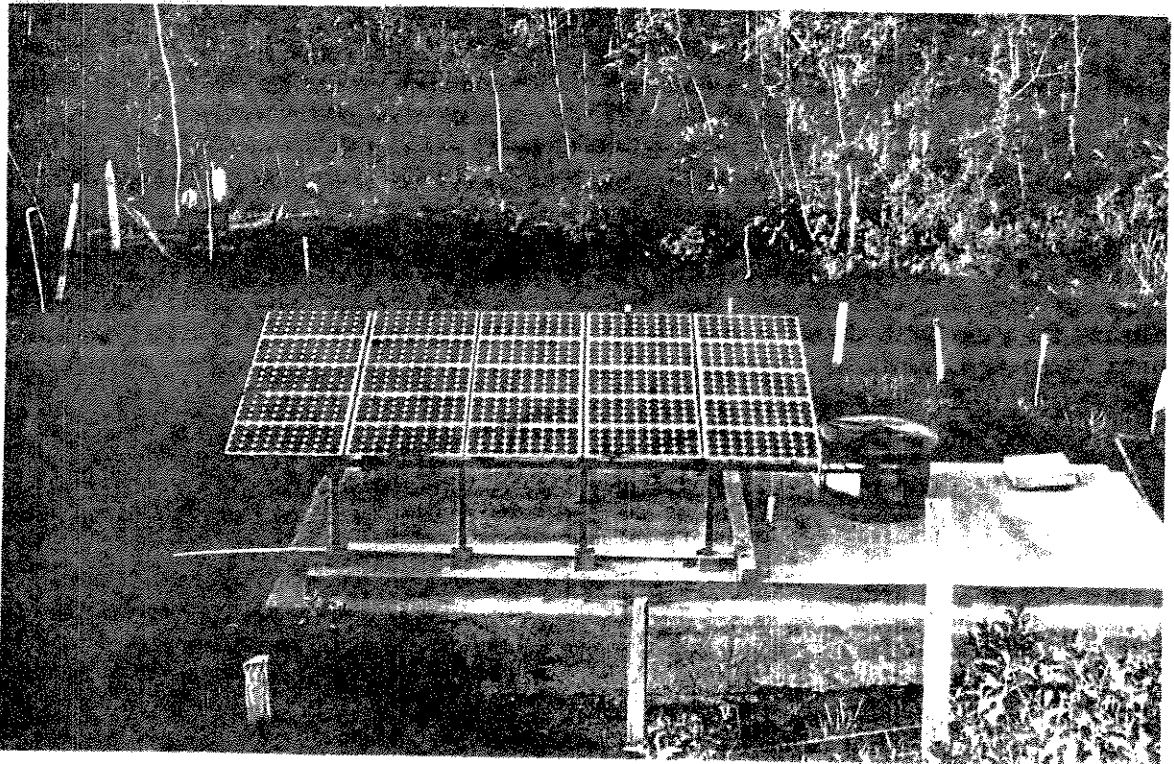
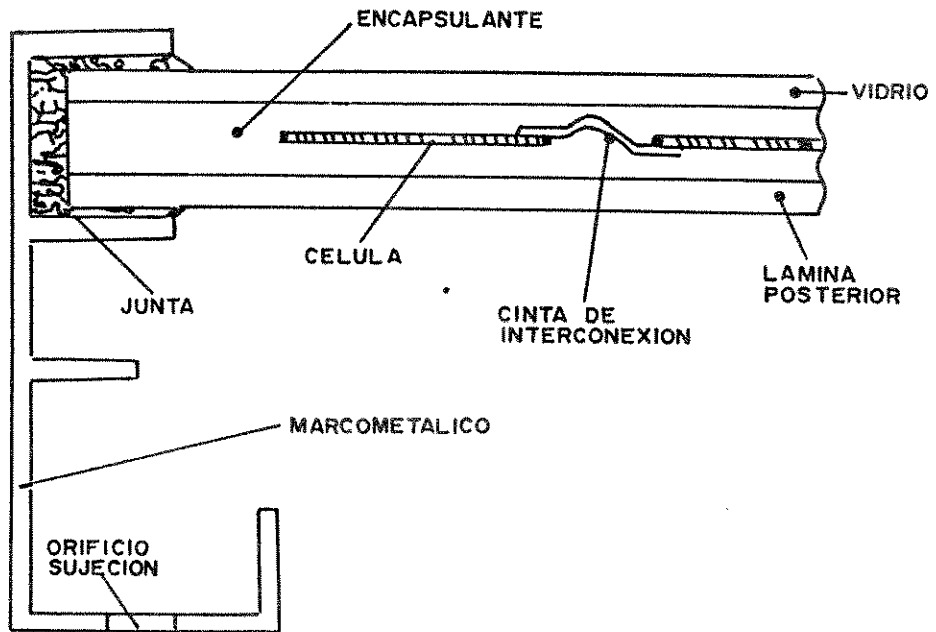
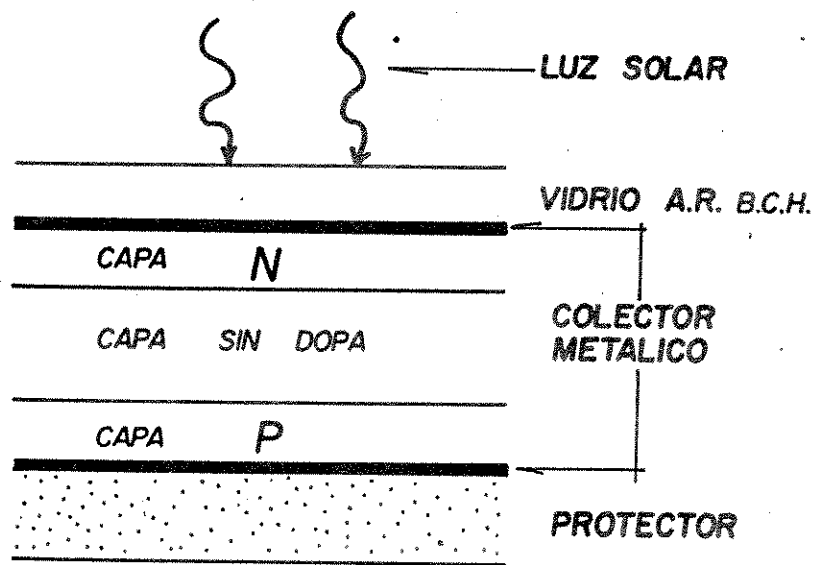


FIGURA No.III-12



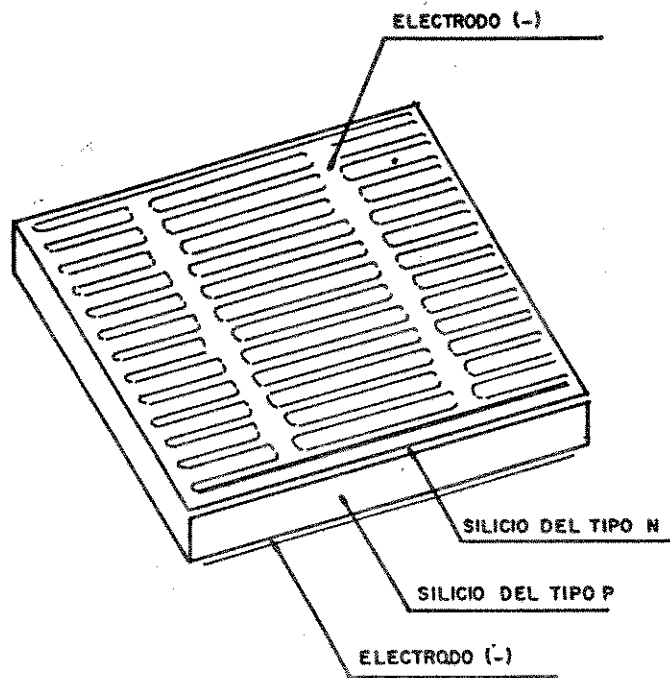
CORTE DE UN PANEL FOTOVOLTAICO.

FIGURA No. III-13



CORTE SECCIONAL
CELDA P.V.

FIGURA No. III-14



CONFIGURACION TIPICA DEL ELEMENTO SOLAR
DE SILICIO

FIGURA No. III-15

El material semiconductor es generalmente silicio muy purificado, en forma monocristalina, policristalina o amorfa.

Como los colectores son conjuntos de celdas fotovoltaicas en serie se pueden encontrar 3 tipos de colectores de acuerdo al voltaje producido.

3.2.2.- PROCESO MEDIANTE EL CUAL SE TRANSFORMA LA LUZ SOLAR EN CORRIENTE ELECTRICA

La electricidad solar es la conversión directa de luz solar a electricidad. Es la opción más limpia de energía disponible actualmente. La electricidad solar es prácticamente inagotable y depende de dos de los recursos naturales más abundantes en la tierra: arena y los rayos solares.

Las células eléctricas solares proveen una alternativa atractiva a los generadores diesel y costosas construcciones del tendido eléctrico. Estas suministran una fuente económica de energía a los consumidores que buscan una fuente energética confiable para operar su maquinaria y aparatos electrodomésticos, en lugares distantes del tendido eléctrico.

El termino técnico para "electricidad solar" es el "fotovoltaicos", un fenómeno natural descubierto en 1839 por el científico francés Edmund Becquerel. Dice así: "cuando una célula eléctrica solar es expuesta a la luz solar, se produce una corriente eléctrica, que es la base de la electricidad". La mayoría de las pilas solares del mercado actual están fabricadas de cristal de silicio sumamente puro. Un material semiconductor más barato conocido como silicio amorfo o película delgada, ha tenido avances técnicos significativos en los últimos años.

Las pilas solares se sueldan entre si y luego son incorporadas en paneles o módulos. Los módulos se pueden interconectar unos con otros para formar lo que se llama un banco. un sistema sencillo utiliza la energía del módulo eléctrico-solar (o banco) según se va generando, sin almacenarse y sin cambiar la forma de la energía-corriente continua.

Un sistema independiente utiliza un banco (dos o más módulos) montados en un soporte y conectados con equipos de control, un sistema regulador de carga, baterías de almacenaje y un invertidor.

Si la electricidad se necesita durante la noche o en días nublados, se tiene que almacenar en baterías. Estas son un poco diferentes a las usadas en los automóviles, siendo las más comunes, las baterías selladas. Estas son recargables y pueden proveer la cantidad adecuada de energía durante un lapso de tiempo determinado. Ver figura No.III-16

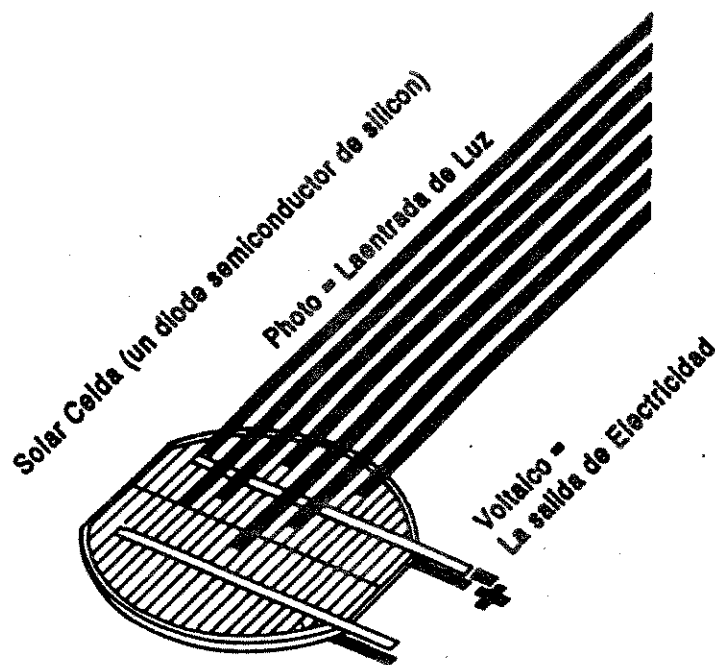


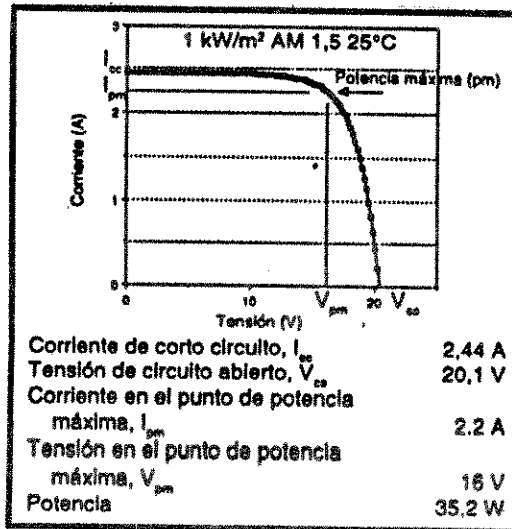
FIGURA No. III-16

3.2.3.- CAPACIDAD DEL COLECTOR:

La tensión del punto de potencia máxima se especifica en 16 V. La tensión de la batería determina la función de funcionamiento de un conjunto fotovoltaico. El valor de tensión varía dentro de un estrecho margen, lo que depende del estado de carga y de temperatura de la batería. Generalmente esta tensión es de 1 a 4 V más baja que la tensión de los valores de potencia máxima especificados por las fabricas de módulos. Afortunadamente, la corriente varía muy poco desde el valor máximo de tensión (17 V) hasta la tensión normal de la batería (12 V).

Sin embargo, si se usan módulos cristalinos la tensión disminuirá aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado de aumento de temperatura. El módulo que se especifica en el diagrama No. III-5 tiene una tensión de potencia máxima de 16 V a 25°C. Si la temperatura de este modulo subiera a 50°C, en una aplicación especifica, la tensión de potencia máxima bajaría a cerca de 14 V, que todavía resulta adecuada para un sistema que requiere una

tensión nominal de 12 V, pero el proyectista debe asegurarse que la corriente suministrada por el módulo sea adecuada bajo las condiciones más calurosas. Además, si se usa un diodo de bloqueo entre el modulo y la batería, se producirá una caída de tensión de cerca de 0.7 V. Los módulos deben ser capaces de soportar esta caída de tensión, además de cualquier otra causa por los cables, y todavía suministrar suficiente tensión para cargar completamente la batería.



Especificaciones de un módulo fotovoltaico.

DIAGRAMA No. III-5

Al calcular el número de módulos conectados en paralelo que son necesarios para generar la corriente del proyecto, rara vez se obtiene un número entero y el proyectista debe decidir si redondearlo al entero siguiente o al anterior. Para tomar una decisión es necesario considerar los requisitos de disponibilidad del sistema. Como aquí se describe el proyecto de un sistema moderado, destinado a suministrar la demanda de carga durante el peor mes del año promedio, se recomienda la siguiente decisión: para disponibilidad crítica: redondear al número siguiente. Para disponibilidad no crítica: redondear al número anterior.

El número de módulos conectados en serie se calcula dividiendo la tensión del sistema por la tensión nominal del módulo. En los sistemas fotovoltaicos independientes se utilizan generalmente módulos de 12 V.

Una celda delgada de silicio, de 10 cm cuadrados, puede producir más de un vatio (W) de energía eléctrica DC bajo un cielo despejado.

Normalmente se combinan muchas celdas individuales en un panel sellado entre capas de vidrio o polymer transparente, para proteger el circuito eléctrico de su medio ambiente (Ver Figuras No.III-17, No.III-18, No.III-19 y No.III-20). Un panel puede producir decenas de vatios de potencia. Varios paneles se conectan entonces en un conjunto para suplir la potencia necesaria que impulse el motor y la bomba en el sistema de bombeo. Normalmente este conjunto se monta sobre una base de preferencia metálica, orientada hacia el ecuador, en Guatemala la orientación se hace hacia el sur, con un ángulo de inclinación similar a la latitud del sitio, en Guatemala el ángulo de inclinación es mas o menos 15°. Esto asegura que capte bastante energía solar en su superficie durante todas las estaciones del año.

La capacidad depende del voltaje y amperaje de operación del panel o en otras palabras la potencia de generación del panel. La configuración de los paneles puede variar dependiendo si es en serie o en paralelo y depende del consumo eléctrico de la bomba. Existen varias marcas y diseños de paneles. Las marcas reconocidas en Guatemala son: Solarex, Kyocera y Siemens (cristalinos)

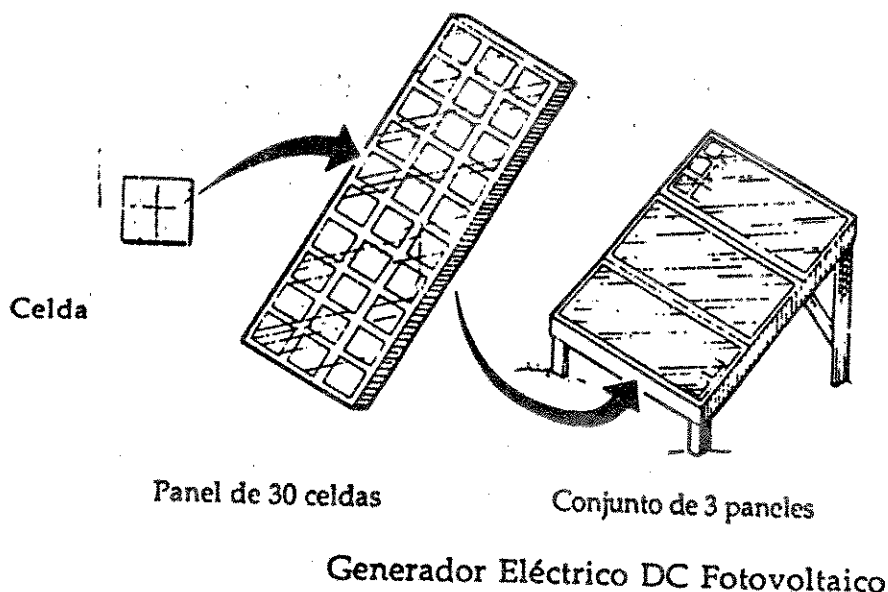


FIGURA No.III-17

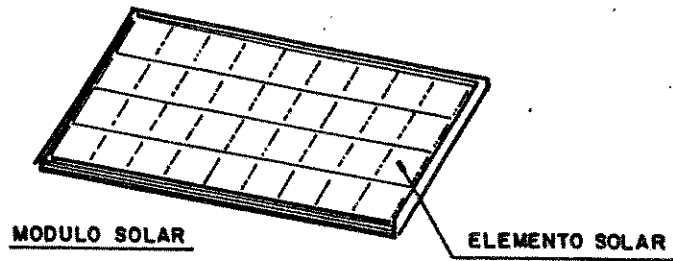


FIGURA No. III-18

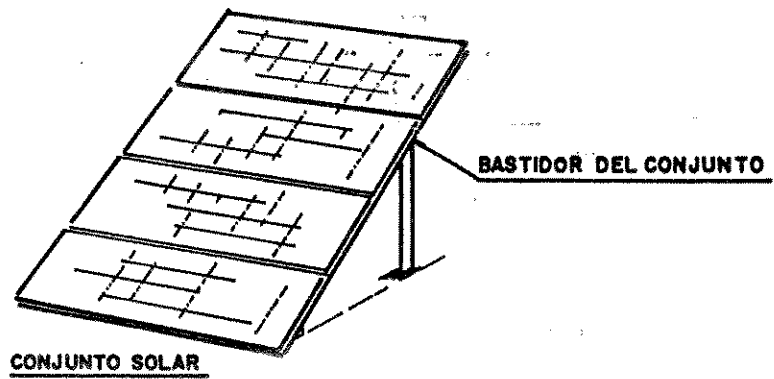


FIGURA No. III-19

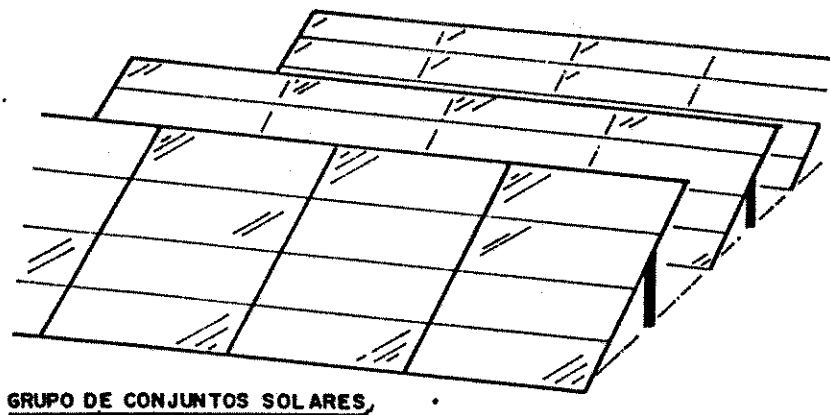


FIGURA No. III-20

3.2.4.-COLECTORES AUTOREGULADOS:

De 28-32 celdillas en serie. Producen un voltaje de 14 a 15 voltios. Estos colectores dado el voltaje que brindan, no requieren de regulador de carga para la batería, pues conforme ésta se va cargando (y su voltaje sube) va limitando poco a poco el influjo de corriente que baja del colector autoregulado. En general se trabaja con ellos en climas que no sean extremadamente cálidos (la temperatura hace disminuir el voltaje del colector) (arriba de los 40°C), y con baterías sobre dimensionadas de unos 120 Ah de ciclo profundo y con posibilidad de mantenimiento.

3.2.5.- COLECTORES STANDARD:

Son generalmente de 36 celdillas en serie. Producen entre 16-17 voltios, por lo cual necesitan un regulador de carga entre el colector y la batería, Son los más usuales.

3.2.6.- COLECTORES EXTRA:

Tienen 40 celdillas y producen entre 18-20 voltios. Estos módulos se usan en lugares muy cálidos o bien donde el cableado del colector a la batería es muy largo y esto baja el voltaje de carga a la misma. El extra-voltaje compensa esa baja. Tamaños usuales de colectores en el medio: Cuando se caracteriza un colector, la

medida más importante es el watt nominal de captación que produciría en condiciones de insolación de $1\text{Kw}/\text{m}^2$ -hora, y temperatura de 25°C ambiental. Otras características son su voltaje y amperaje de trabajo. A fin de ilustrar se dice que:

Potencia (vatios) = Voltaje (voltios) x Amperaje (amperios)

3.2.7.- EFECTOS DEL CLIMA SOBRE EL COLECTOR FOTOVOLTAICO:

En general el área de captación es la variable más importante; o sea, a más área de exposición más corriente producida. Sin embargo como las áreas vienen fijadas, la variable que más afecta operativamente es el nivel de radiación, siendo que la corriente producida es casi directamente proporcional a la radiación incidente. A más sol más corriente producida.

La última variable que afecta la producción de un módulo fotovoltaico es la temperatura de éste. En general el módulo está a unos 25 - 30°C arriba de la temperatura ambiental, por lo cual es esencial que el módulo se ventile, para evitar que la temperatura suba mucho en las celdillas. El efecto de la temperatura se nota más sobre el voltaje de salida, siendo que si la temperatura sube el voltaje baja, aunque no tan drásticamente. Así, si T sube la corriente producida también bajará. A más temperatura del módulo menos voltaje sostenido. A más temperatura del módulo menos corriente producida. Climaticamente hablando el efecto del nivel de radiación (horas pico o Kw/m^2), es el parámetro más importante, pues da idea de la cantidad de energía solar disponible en función de la potencia del sol. Como la corriente eléctrica DC generada es función del área de captación (que no se puede variar una vez realizado el diseño) y del tiempo que sea efectivo el sol (horas por día), la expresión horas pico, que equivale a Kw/m^2 -día, debe tenerse en cuenta. A manera de ejemplo, se imagina un colector cuyo voltaje es de 46 W . Esto se refiere a que por cada hora pico de sol, el aparato producirá una cantidad de 46 W-h (Vatios-hora). Recordar que vatio es una medida de potencia instalada, pero Watt-hora lo es de energía captada.

De acuerdo a su forma de producción existen tres grandes métodos de fabricar módulos fotovoltaicos:

- 1) El método Monocristalino consiste en que al producir los lingotes de silicio puro, éste se cristaliza en un solo punto (Mono), dando origen a las celdas de un color azul profundo, casi negro, muy parejo, de muy buena calidad pues su eficiencia prácticamente no se degrada con el tiempo, estando al rededor del 12%
- 2) El método Policristalino realiza la cristalización del lingote de silicio en varios puntos (Poli), dando origen a unas celdas de color azul y violeta, jaspeados disparejos, de buena

calidad ya que su eficiencia casi no se degrada con el tiempo, estando alrededor del 10-11% de conversión.

- 3) El método amorfo consiste en depositar vapores de silicio en una plancha de vidrio o metal. Produce tiras y no celdas, de apariencia azul o negra, sin veteado visible, bonitas, pero con el defecto que su eficiencia aparte de estar alrededor del 8% se degrada fuertemente con el tiempo, llegando a dar problemas al tercer año de uso. Es típico de las celdillas que se usan en calculadoras solares.

En cuanto a precios, los Monocristalinos son los más caros, siendo muy parecido al precio de los Policristalinos. Los amorfos están más abajo, pero no significativamente. La única ventaja del amorfo es que es flexible y puede plegarse, inclusive enrollarse, pero no es recomendable.

Las marcas reconocidas en Guatemala son:

- SOLAREX
- KYOCERA
- SIEMENS

Ventajas de los Paneles Solares:

- Producen electricidad limpia, lo que significa que no hacen ruido, ni humo, ni desechos como aceite, no contamina el aire, ni contribuye con el efecto de invernadero. En otras palabras es amigable con el medio ambiente.
- No hay costo de combustible, los paneles solares eléctricos solo necesitan luz solar. Debido a que los paneles solares tienen un promedio de vida útil de más de 20 años, se cuenta con electricidad para más de dos décadas. La mayoría de los sistemas de energía necesitan reabastecimiento de combustible como gasolina o diesel, el cual muchas veces es difícil de transportar al lugar y además caro.
- Bajo y difícil mantenimiento, los paneles solares no tienen partes que se muevan de uso inmediato y solo necesitan un montaje y cableado sencillos. Personas locales pueden muy fácilmente ser técnicos y así poder instalar y dar mantenimiento a los sistemas de paneles solares. Se requiere de limpieza ocasional de la superficie del panel, revisión de las conexiones de equipo y el cuidado de las baterías (si existieran).
- Confiables, dada a su larga vida útil juegan un papel muy importante en aplicaciones delicadas.
- Autonomía, especialmente en lugares remotos de difícil acceso.

- Modular, pueden producir desde pequeñas cantidades de energía, con pocos paneles a grandes cantidades de energía con muchos paneles.

Desventajas

- Dependencia al clima, están íntimamente ligados a las condiciones del clima, mucho sol mucha energía; poco sol, muchas nubes o lluvia poca energía.
- Almacena la energía en baterías, el uso de baterías tiene ciertos cuidados y manejo delicado, el mal uso o descuido pueden resultar perjudiciales; quemaduras en la piel, ojos y hasta posible explosión, sin embargo tiene una gran utilidad almacenar la energía para usos diversos.
- Alto costo inicial, aunque comparativamente sea más barata que la energía convencional.
- Educación, dado que es relativamente una tecnología nueva y por lo tanto muy pocas personas la conocen, lo que hace difícil su difusión e implementación.

3.2.8.- ORIENTACION Y COLOCACION DE CONJUNTOS FOTOVOLTAICOS:

La orientación se refiere a la posición de una superficie en relación al ecuador. Los paneles ubicados al norte del ecuador normalmente se orientan hacia el sur verdadero y a un ángulo de inclinación en relación al horizontal próximo a la latitud del lugar. Asimismo, al sur del Ecuador, los paneles generalmente se orientan hacia el norte verdadero. Los conjuntos fotovoltaicos que se orientan a unos 15° del ecuador reciben casi toda la luz solar; sin embargo, cualquier superficie despejada que se oriente en general hacia el ecuador se puede considerar un buen sitio para un conjunto. En muchos lugares se prefiere una orientación un poco hacia el oeste para evitar la bruma o neblina de la mañana. No se debe permitir que el conjunto quede sombreado por edificios o árboles u otros objetos. Las obstrucciones que tal vez en el verano no se interpongan, podrán arrojar largas sombras cuando el sol esté a un ángulo más bajo durante el invierno.

Los paneles solares o paneles fotovoltaicos siempre se orientan de norte a sur con elevación norte, se orientan de esta forma porque el sol sale en el este y se oculta en el oeste (siempre dependiendo del lugar en donde se ubiquen), porque la variación del sol es respecto a la línea del ecuador. La altura sobre el nivel del mar es muy importante porque si se encuentra más elevado se obtiene mayor irradiación solar. Ver figura No. III-21

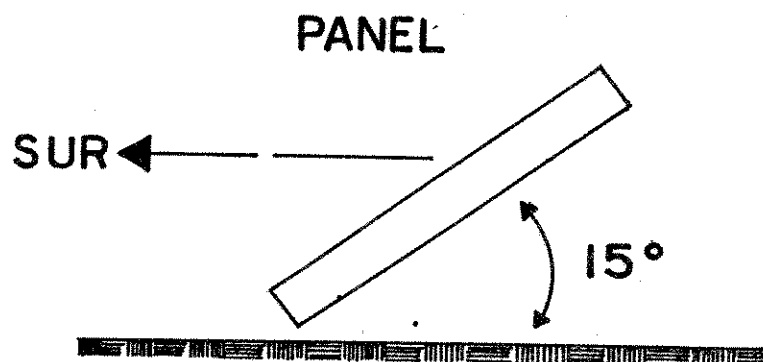


FIGURA No. III-21

Cuando las superficies de los paneles se inclinan perpendiculares a los rayos del sol, captan la mayor cantidad de luz solar por área unitaria. Un ángulo igual a la latitud local se aproxima más a esa inclinación perpendicular y sería la dirección ideal para el conjunto. Sin embargo, cuando la demanda de agua no es pareja durante todo el año, un ángulo de inclinación más alto o más bajo podría ser ventajoso y conducir a un mejor rendimiento del sistema. Por ejemplo, si en los meses de verano es cuando se necesita más agua, se recomienda una inclinación de los paneles de 15° menor que la latitud local. Igualmente, si en invierno la demanda es mayor, se debe aumentar la inclinación por 15°.

El anexo contiene una serie de mapas de la disponibilidad de insolación para todas las estaciones del año y para tres ángulos distintos de inclinación. Estos datos son un aporte al diseño preliminar y al cálculo de costos.

Hay que tener en cuenta que el número de horas de sol en un determinado lugar es distinto al número total de horas que brilla el sol. El promedio mundial anual de insolación es de 5 horas de sol (o sea, 5kwh/día). Para el diseño, tomar en cuenta las condiciones del clima.

El conjunto fotovoltaico se puede instalar a un ángulo fijo desde el plano horizontal, o se puede montar sobre un mecanismo seguidor de la luz solar. El acimut preferible para la instalación

del conjunto en el hemisferio norte es el sur verdadero. La disminución de producción de energía de los conjuntos desplazados del sur verdadero constituye aproximadamente una función cosinusoidal, de manera que, si el acimut del conjunto se mantiene a $\pm 20^\circ$ del norte verdadero, la producción actual de energía no será afectada. Algunos conjuntos se sitúan al oeste del norte con el fin de orientar la producción hacia un máximo después del mediodía. El efecto del ángulo de inclinación del conjunto en la producción anual de energía se muestra en el diagrama No. III-5 pagina 51. En la mayoría de las aplicaciones de sistemas fotovoltaicos, el máximo de energía durante un año completo se obtiene con un ángulo de inclinación próximo al de la latitud. Los ángulos de inclinación de $\pm 15^\circ$ orientan la producción de energía hacia el invierno o el verano, respectivamente.

3.2.9.- UBICACION:

Los paneles se ubican idealmente lo más cerca de la bomba, a razón de 10 a 20 metros es lo ideal para evitar perdidas de corriente eléctrica que se manifiestan como caídas de voltaje. Estas caídas de voltaje se compensan aumentando el calibre del conductor, pero eso aumenta los costos.

3.3.- SISTEMA ELECTRICO PANELES - BOMBA:

Antes de entrar en detalle se debe recordar que los módulos fotovoltaicos producen corriente eléctrica directa, por lo cual su envío debe hacerse en cables o alambres de espesor mayor que los equivalente de corriente alterna. A manera de explicación se debe decir que la resistencia eléctrica de un cable o alambre es función de su diámetro, o sea que entre más diámetro tenga más corriente puede conducir.

Si el voltaje es alto (120 V.) para llevar una cantidad dada de energía (12 joules) en un segundo se requerirían una potencia de 12 vatios, hacer pasar una corriente de $12/120$ amperios o sea 0.1 Amperios. Para hacer llegar esos 12 joules en un segundo pero trabajando a 12 voltios se requerirá hacer pasar $12/12 = 1$ amperio (o sea 10 veces mas que en el primer caso). Se ve pues que al trabajar a 12 voltios y en corriente directa, típica de los fotovoltaicos, se necesita enviar 10 veces mas corriente que al trabajar en 120 voltios AC, que es lo típico en el medio.

Si se hacen pasar muchos amperios en un cable delgado éste se calienta y puede ser peligroso, pues aparte de que un cable delgado ocasiona caída de voltaje a la corriente, puede provocar un incendio.

La función de los cables es llevar corriente; los tipos de cables recomendados en los sistemas típicos fotovoltaicos rurales es cable AWG No. 10, la distancia entre el colector y el control entre éste y la batería, generalmente es de menos de 8 metros. Como el colector está en intemperie, y produce alrededor de 3 amperios como máximo, y como parte de la instalación está en exteriores, se recomienda, que el tipo de cable sea TSJ. Así, se recomienda cable TSJ 2x10 AWG.

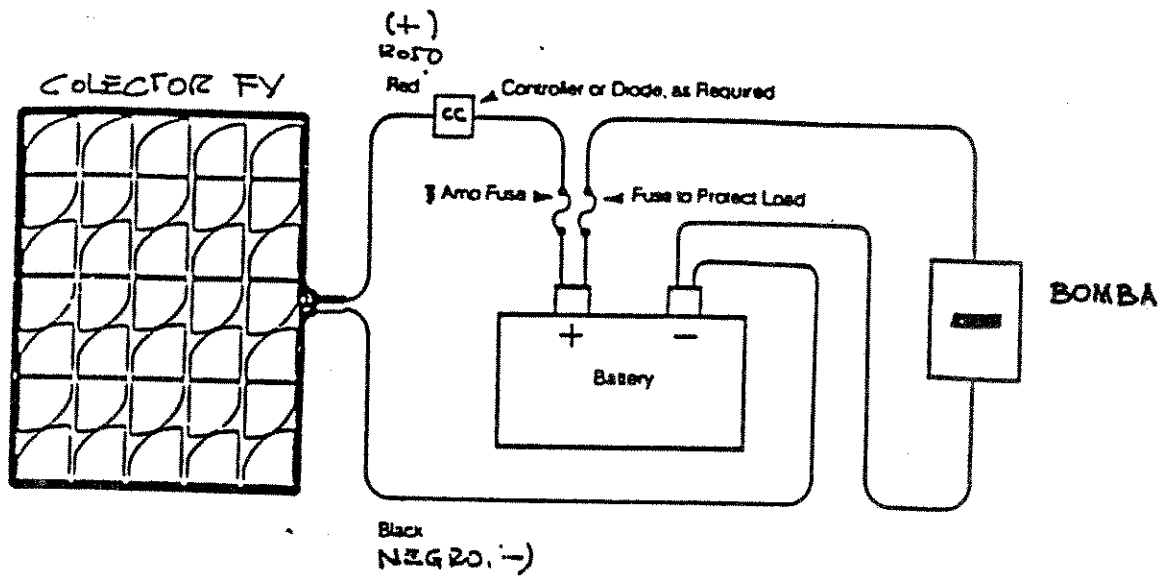
Al hacer los tendidos, es preferible que éstos sean expuestos y que las grapas sustentadoras no queden estrangulando a los cables, pues esto ocasiona caídas de voltaje. Cuidar que los empalmes estén bien hechos, que tengan amplio contacto y cinta de aislar de buena calidad (que resista humedad y clima cálido).

Se recomienda para empalmar los cables, pelarlos entre 1¼" a 1½" juntar enrollándolos uno con otro, luego se aíslan usando una buena cinta. Se procede igual con el otro alambre, ya aislados no juntarlos. Si se unen tres o cuatro cables, se pela un poco más largo y unir un par de cables primero, hacer lo mismo con los otros dos cables que se quiere unir y luego unir estos dos pares en uno solo, apretando con un alicate y luego aislarlo con cinta.

En los sistemas fotovoltaicos, en caso de ponerse un enchufe, éste debe ser polarizado o sea que de alguna forma, por la configuración del enchufe mismo, no permita que el cable (+) del acumulador se conecte con el (-) de la bomba, pues podría dañarla. Así, un enchufe polarizado, jamás permite que se de la conexión equivocada y por ello es el único adecuado y recomendable en este tipo de instalaciones.

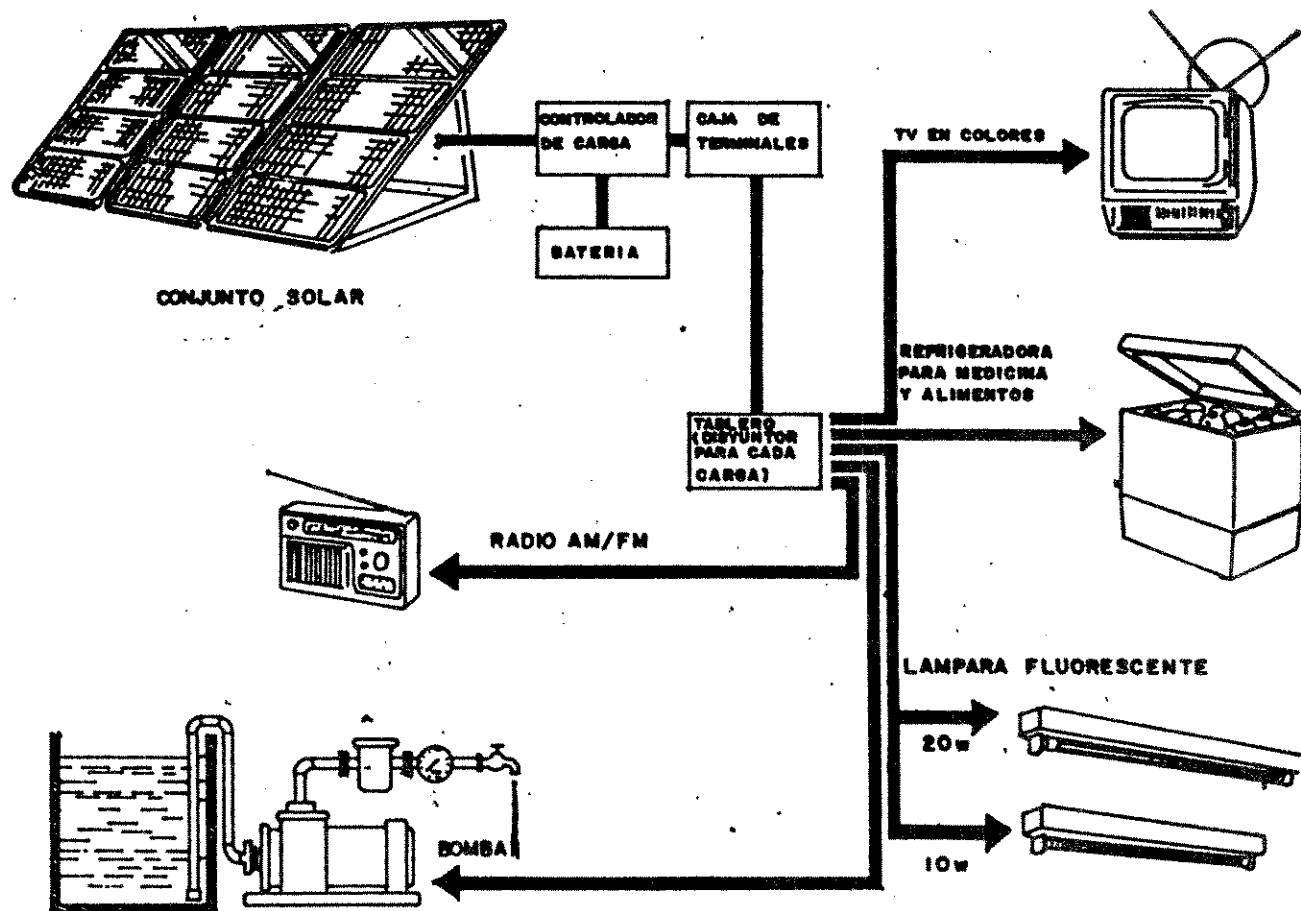
Recordar que los empalmes piratas y los enchufes no reglamentarios, y mucho peor los no polarizados pueden dar dolores de cabeza, pues por un lado pueden arruinar la bomba, y por el otro ocasionan, a veces, un consumo no contemplado al calcular los sistemas, lo cual podría provocar una excesiva descarga de la batería, reduciendo la vida útil de la misma. Si se trabaja con cable paralelo no polarizado, dejar pistas de su polaridad usando cinta de aislar roja para el + y negra para el negativo.

El siguiente es un bosquejo del sistema más sencillo de un colector, una batería, un control y su carga, así como los fusibles. El calibre de los alambres y el amperaje de los fusibles serán proporcionales al tamaño del sistema. Ver figura No.III-22 Y No.III-23



SISTEMA FV TÍPICO

FIGURA No. III-22



PROTOTIPO GENERAL
CONJUNTO FOTOVOLTAICO

FIGURA No.III-23

Las bombas de agua atraen a los rayos debido al excelente paso a tierra que les proporcionan. Si es posible, no ubicar en un terreno elevado el sistema de bombeo. Considerar la instalación de varillas pararrayos en lugares más altos, alrededor de la bomba. Para efectuar la conexión a tierra, conectar la estructura de montaje del conjunto, todas las cajas del equipo y un conductor del sistema al revestimiento del pozo (si es de metal) o a un conductor desnudo que baje hasta el nivel del agua. Nunca se debe usar la tubería de la bomba como punto de paso a tierra, debido a que esta conexión se interrumpirá cuando se efectúen trabajos de mantenimiento. Se recomienda el uso de movistores para proteger los circuitos electrónicos en las regiones propensas a la caída de rayos.

Todos los instrumentos electrónicos de control deben instalarse en cajas resistentes a la intemperie (tipo NEMA 3R o equivalente). Todos los cables deben ser aprobados para uso externo o ser instalados en conductos o tuberías eléctricas. Los cables que se usen para las bombas sumergibles deben ser apropiados para esa aplicación. Las fábricas de bombas pueden recomendar los tipos de cables para el equipo que se utilice.

Los cables más usados son los que se conocen como cable paralelo (cable spt), y del panel a la batería (si la hubiera) usar un cable para la intemperie como el "TJS" (tipo especial de cable que resiste muy bien exposición a exteriores). Se puede usar otra clase de cable pero si no es para uso a la intemperie, entonces hay que protegerlo con tubo plástico. Si el cable del panel solar a la batería no es más largo de 10 metros se puede usar calibre #12, si la distancia es mayor, entonces un cable #10.

La correcta selección del tipo y calibre de los conductores y cables aumentará el rendimiento y la confiabilidad de todo el sistema fotovoltaico. El calibre del cable debe ser suficientemente grande para llevar la corriente anticipada sin pérdidas excesivas. Todos los conductores presentan cierta resistencia a flujo de la corriente. Esta resistencia produce una caída de tensión desde la fuente hasta la carga. Esta caída puede causar ineficiencias y hasta serias fallas del sistema, particularmente en los de baja tensión. En un sistema de 12 voltios, una caída de 1 voltio representa más del 8% de la tensión de la fuente de alimentación. Evitar el tener que usar cables muy largos. También es importante reducir la capacidad de corriente de los conductores cuando las temperaturas son altas. Es importante saber que aunque un cable sea apropiado para instalaciones de alta temperatura (60 - 90°C), esto no significa que la corriente no sea afectada; sólo quiere decir que el aislamiento del conductor puede soportar la temperatura de régimen. Debido a que los cables y las conexiones son tan importantes para una vida larga del sistema, se recomienda que el proyectista/instalador estudie los códigos y reglamentos eléctricos del país antes de proceder. Estos códigos usualmente contienen informaciones sobre los tipos y características de

cables, métodos de cableado y factores de reducción de capacidad debido a la temperatura.

Existen muchos tipos de conductores y de aislamientos disponibles y la especificación del cable puede resultar confusa. Consultar un electricista local o proveedor de cables y describir la forma y el sitio de instalación del cable. Pedir recomendaciones. Es obligatorio especificar cables resistentes a la luz del sol si se van a quedar expuestos. Si el cable se va a enterrar sin estar dentro de tubería, debe tener una capa externa apropiada para un enterramiento directo. Pedir recomendaciones al vendedor para aplicaciones tales como el cableado para una bomba sumergible y para interconexiones de baterías. Muchas veces el proveedor entrega el cable con los conectores apropiados. Especificar un cable que pueda soportar las peores condiciones del tiempo. El pequeño gasto adicional en un cable de alta calidad es una buena inversión.

En muchos sistemas de baja tensión, la caída se debe mantener en menos de 1%. Para toda la longitud del cable en cualquier trayectoria desde la fuente hasta la carga, la pérdida no debe exceder 5%. Se recomienda usar conductores de cobre. Los conductores de aluminio son menos costosos, pero pueden causar problemas si se usan incorrectamente. Los cables trenzados se usan generalmente en los circuitos de corriente directa porque son más flexibles y fáciles de usar que los cables de un solo conductor, particularmente en los tamaños más grandes. A continuación se describen algunos de los tipos de cables usados comúnmente con las iniciales de cada tipo (vea el glosario). Se deben usar estos cables u otros equivalentes.

Alimentador Subterráneo (UF): Se usa para interconexiones en el conjunto fotovoltaico si se especifica una cubierta externa resistente a los efectos de la luz del sol; se puede usar para interconectar el resto del sistema, pero no se recomienda usarlo dentro de las cajas de baterías.

Bandeja de cables (TC): Se puede usar para interconectar el resto del sistema.

Entrada de servicio subterráneo (USE): Se puede usar para la interconexión del resto de los equipos y también dentro de las cajas de baterías.

TW/THHN: Se usa para interconectar todos los demás componentes de un sistema fotovoltaico pero debe instalarse en conducto, ya sea enterrado o sobre la superficie. Es resistente a la humedad.

El uso del NMB (Romex) no se recomienda, excepto para circuitos de corriente alterna en una instalación típica

residencial. Aunque se puede obtener fácilmente, no resiste la humedad o la luz solar.

La capacidad total de conducción de corriente (ampacidad) de un cable depende de la temperatura y se debe aplicar un factor de reducción de capacidad a los cables que estén expuestos a altas temperaturas. Por ejemplo, un cable tipo UF que funciona a 55°C puede conducir solamente el 40% de la corriente que puede llevar a 30°C. Si se excede la ampacidad del cable, podrá ocurrir sobrecalentamiento, falla del aislamiento y hasta un incendio. Consultar a un electricista acerca de los factores de reducción de capacidad para cables debido a la temperatura. Deben usarse fusibles de tamaño adecuado para proteger los conductores y evitar daño. El tamaño adecuado del conductor es particularmente importante en los sistemas de baja tensión y alta corriente, pero en cualquier sistema el proyectista debe tomar una decisión de compromiso entre las pérdidas causadas por conductores de calibre pequeño y el costo de cables de mayor calibre.

La conexiones mal hechas son la causa más común de problemas en los conjuntos fotovoltaicos independientes. Para hacer una buena conexión se requiere mucha atención a los detalles, pero el trabajo resulta fácil si se usan las herramientas y conectores apropiados.

3.4.- DISPOSITIVOS DE CONTROL:

Se usan interruptores y fusibles para proteger los equipos y al personal. Los interruptores permiten cortar manualmente el flujo de corriente en caso de una emergencia o para mantenimiento programado. Los fusibles proporcionan protección contra sobrecorrientes en caso de un cortocircuito del sistema o de una falla a tierra.

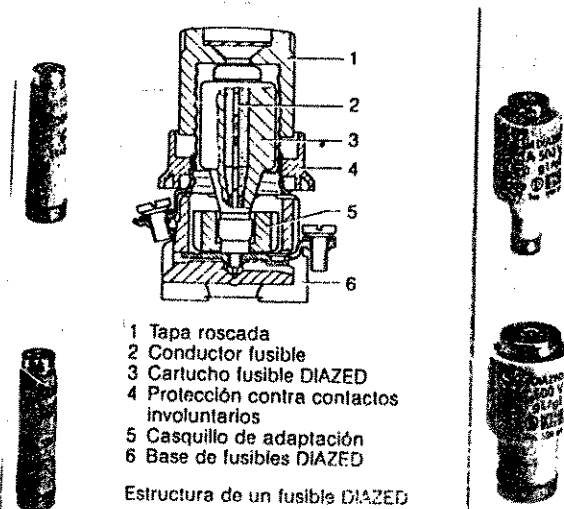
En los sistemas fotovoltaicos independientes se usan fusibles y disyuntores o rompecircuitos para limitar la corriente y evitar daños a las personas y a los equipos. La mayor fuente de corriente del sistema es la batería. Cualquier batería puede suministrar más de 6,000 amperios durante unos milisegundos si ocurre una falla y se cortocircuita la batería. Este nivel de corriente puede destruir los componentes y lesionar a las personas, por lo que se debe usar un fusible en línea en todos los circuitos de batería.

Todos los interruptores usados en circuitos de corriente directa deben ser diseñados específicamente para funcionamiento con corriente directa.

Es recomendable poner un interruptor termo magnético (flipon) en una caseta externa a la bomba, si ésta es sumergible. Si la bomba fuera centrífuga el flipon se coloca en un lugar visible y de acceso para la persona encargada; con el fin de cortar la energía

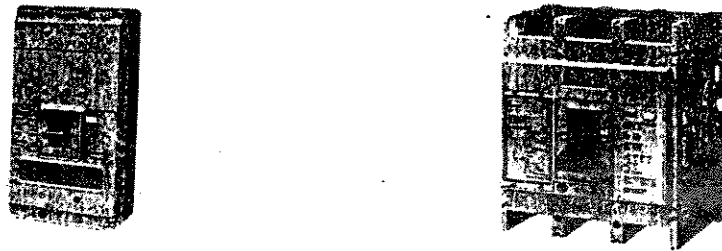
a la bomba para dar un mantenimiento a la misma o por cualquier otra causa (quitarla, limpiar el tanque etc.).

En el tanque de alimentación se debe instalar un interruptor de nivel o una válvula mecánica para proteger la bomba contra el funcionamiento "en seco". En los tanques de almacenaje se deben instalar interruptores de flotación si la capacidad del tanque es menor que el volumen de agua bombeado diariamente. Así se evitará desperdiciar agua o, lo que es peor, dañar la bomba debido a calentamiento excesivo. Ver figuras No.III-24 y No.III-25



FUSIBLES TIPO CARTUCHO

FIGURA No.III-24



INTERRUPTORES AUTOMATICOS

FIGURA No.III-25

3.4.1.- INVERSORES Y CONVERTIDORES:

Las unidades acondicionadoras de potencia, llamadas comúnmente inversores, son necesarias en cualquier sistema fotovoltaico independiente que debe alimentar cargas de artefactos eléctricos de corriente alterna.

Otras características que poseen algunos inversores son:

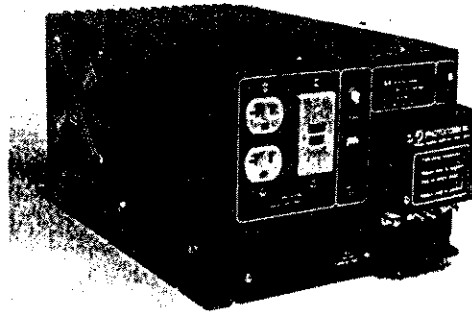
- Capacidad de recargar la batería
- Funcionamiento por control remoto
- Interruptor de transferencia de carga externa
- Capacidad de funcionamiento en paralelo

Los inversores comunes de sistemas independientes funcionan en 12,24,48, o 120 Voltios de corriente continua, con salida de 110 o 220 Voltios corriente alterna a 50 o 60 Hz. Los inversores de onda sinusoidal producen una forma de onda de corriente alterna, buena como la de la mayoría de las empresas de servicios públicos. Estos inversores pueden alimentar cualquier artefacto o motor eléctrico de corriente alterna, dentro de su capacidad de potencia. Las especificaciones de fábrica de muchos inversores contienen algunos de los siguientes parámetros:

- Rendimiento de la conversión de potencia.
- Potencia de régimen.
- Régimen de funcionamiento.
- Tensión de entrada.
- Capacidad de sobretensión transitoria.
- Corriente de reposo.
- Regulación de tensión.
- Protección de tensión.
- Frecuencia.
- Modularidad.
- Factor de potencia.

El inversor se debe instalar en un ambiente controlado porque las altas temperaturas y el polvo excesivo reducirán su vida útil y podrán causar fallas. El inversor no debe ser instalado en el mismo panel o gabinete de las baterías, porque los gases que desprenden éstos son corrosivos y pueden dañar los circuitos electrónicos. Sin embargo, el inversor se debe instalar cerca de

las baterías para mantener en un mínimo las pérdidas resistivas causadas por los cables. Después de la conversión a corriente alterna se puede reducir el calibre de los conductores porque la tensión de corriente alterna es generalmente más alta que la de corriente continua. Ver figura No.III-26 y No.III-27



INVERTIDOR DE CA/CC

FIGURA No.III-26

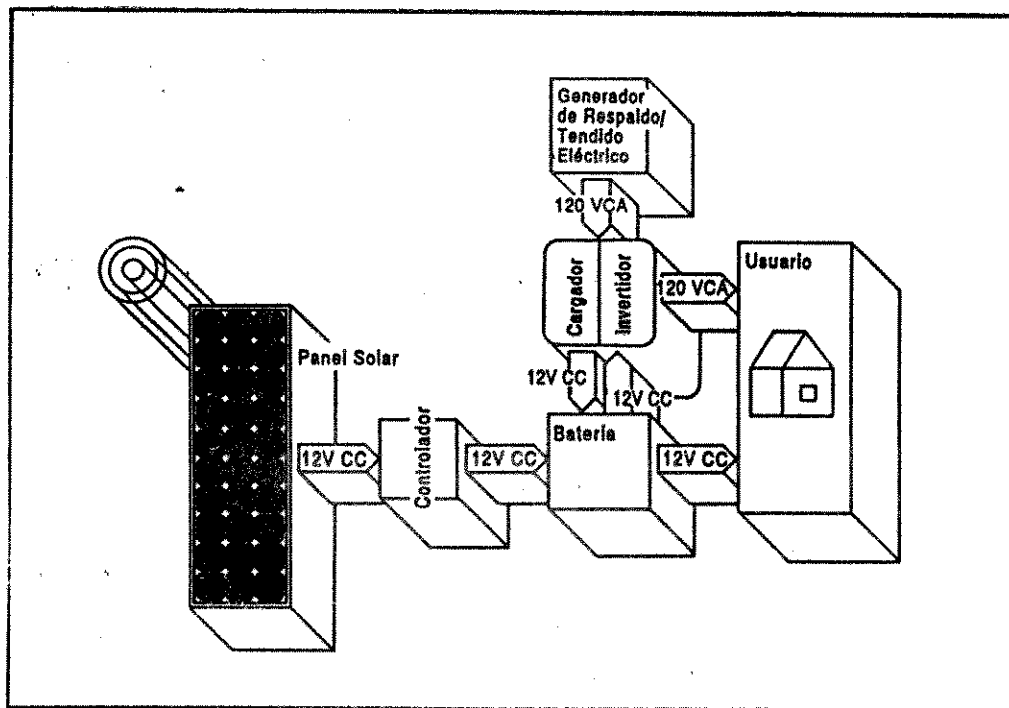
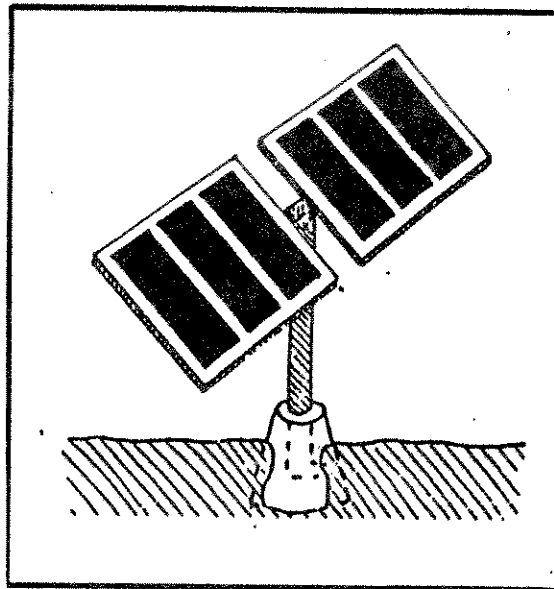


FIGURA No.III-27

3.4.2.- MECANISMO DE SEGUIMIENTO DE LA LUZ SOLAR:

No es necesario cambiar el ángulo de inclinación de un conjunto fotovoltaico para compensar los cambios estacionales de la posición del sol. En regiones situadas a latitudes medias, se estima que un cambio del ángulo de inclinación cada tres meses produciría un aumento de energía de menos del 5%. En la mayoría de las aplicaciones, el costo de mano de obra adicional y la complejidad de la estructura de montaje no compensan el pequeño aumento de energía que se obtiene.

Si se desea que el conjunto siga la trayectoria del sol, se recomienda usar unidades pasivas de seguimiento con un solo eje de rotación. Estas unidades no necesitan control o alimentación eléctrica. Ver la figura No.III-28. Las unidades pasivas de seguimiento usan un sistema cerrado de freón que le permite al conjunto seguir la posición del sol con una exactitud adecuada para módulos fotovoltaicos que no sean del tipo concentrador. Las unidades de seguimiento para pequeños sistemas fotovoltaicos independientes se instalan sobre postes y pueden sostener de 4 a 12 módulos.



Unidad de seguimiento pasivo para un conjunto fotovoltaico

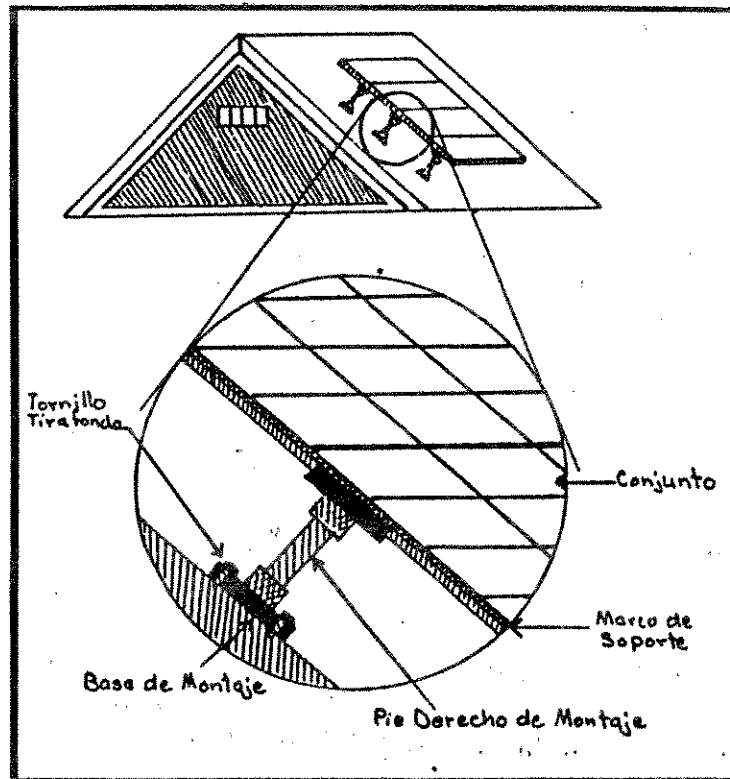
FIGURA No.III-28

Las fábricas de estas unidades normalmente suministran todos los herrajes necesarios y las instrucciones para una instalación segura de la unidad. El tipo y tamaño de la base necesaria para la

unidad de seguimiento, montada sobre un poste, depende del tamaño del conjunto a ser sostenido. Se recomienda usar concreto reforzado (hormigón armado), con pernos de anclaje. La base y la estructura de soporte se deben diseñar para resistir la mayor fuerza de viento que se pueda esperar en la región. El movimiento del conjunto fotovoltaico debe ser verificado para tener la certeza de que el trayecto está libre de obstrucciones.

En general, se debe evitar el montaje de módulos fotovoltaicos sobre el techo, porque la instalación y el mantenimiento resultarían más difíciles, particularmente si la orientación y el ángulo del techo no son compatibles con el óptimo ángulo de inclinación del conjunto. También es muy importante que las ménsulas de montaje queden fijas en el techo en forma firme y segura. Sería mejor fijar las ménsulas a las vigas principales del techo, pero esto puede ser difícil porque generalmente no hay compatibilidad entre el tamaño de los módulos y el espacio entre las vigas. Si hay acceso a la parte inferior del techo, se pueden insertar bloques de 5*15 cm entre las vigas y fijar los módulos sobre los bloques. En regiones de vientos fuertes, el techo se puede dañar si el conjunto se soporta solamente de la madera contrachapada.

Si se desea hacer la instalación sobre el techo, debe mantenerse libre de obstrucciones el paso del aire por debajo del conjunto, como se muestra en la figura No.III-29. El conjunto funcionará a menor temperatura y producirá más energía si queda a una distancia del techo no menor de 8 cm. No se recomienda montar los módulos directamente a ras del techo, pues entonces serían más difíciles de probar y reemplazar, y se reduciría el rendimiento debido a la mayor temperatura de funcionamiento.

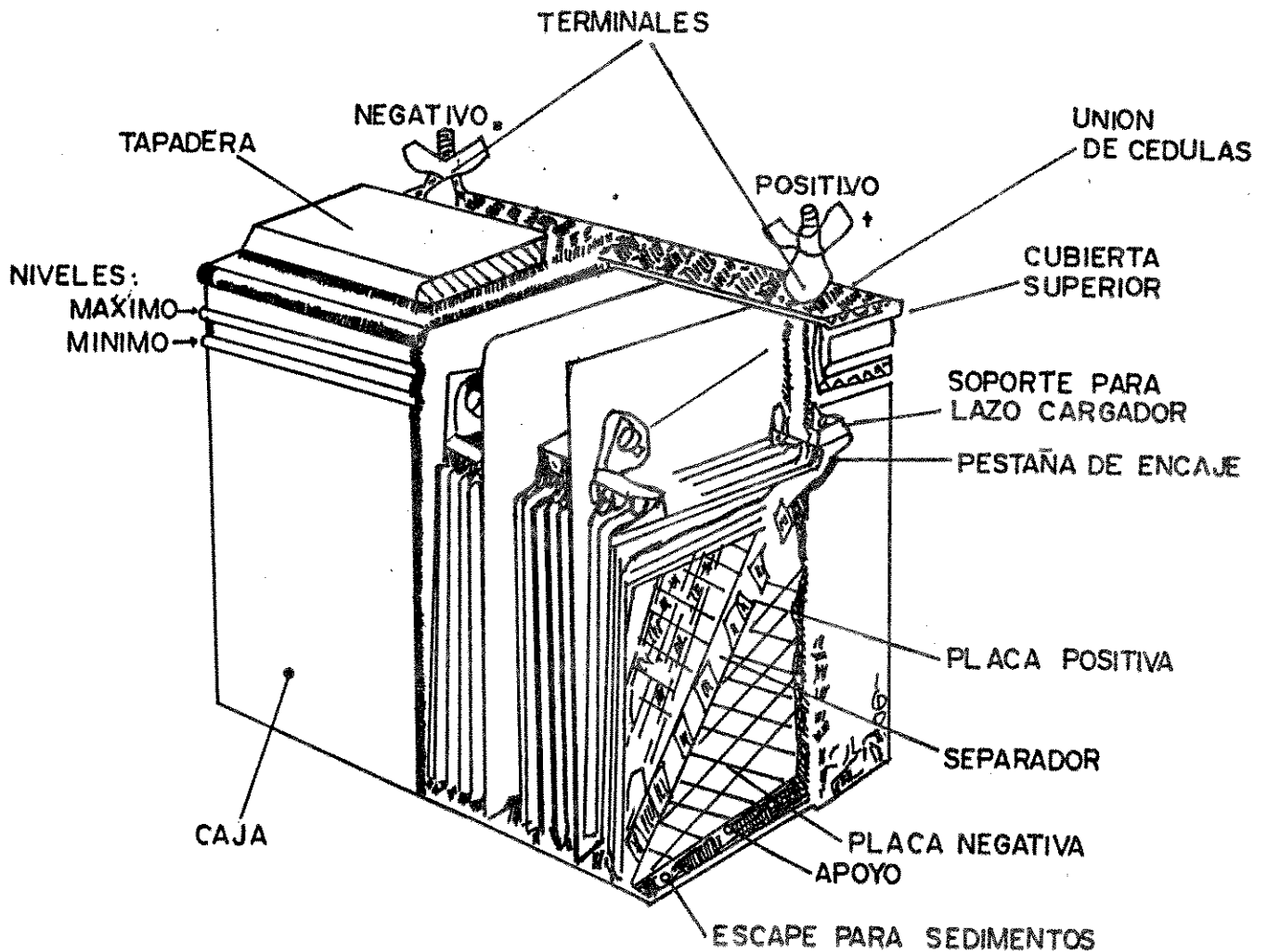


CONJUNTO FOTOVOLTAICO DE MONTAJE EN EL TECHO

FIGURA No. III-29

3.4.3.- BATERIAS PARA EQUIPOS SOLARES:

Las baterías más usadas para sistemas solares, son de ciclo profundo, de plomo ácido. Las baterías usadas en los autos no son recomendadas para aplicaciones solares, pues se arruinan muy rápido y entregan poco tiempo de energía. Ver figura No.III-30.



BATERIA DE PLOMO ACIDO .

FIGURA No.III-30

Las baterías usadas en sistemas solares pueden ser potencialmente "peligrosas" si son mal manipuladas, transportadas, instaladas o si reciben un mantenimiento inadecuado.

En su interior hay químicos peligrosos, es pesada, puede producirse corrientes que pueden dar un golpe eléctrico, quemar, explotar o corroer cemento, metales, etc.

Las baterías se calientan cuando se descargan o cuando se cargan, esto provoca el calentamiento del electrolito produciendo vapores de oxígeno y de hidrógeno los cuales son explosivos.

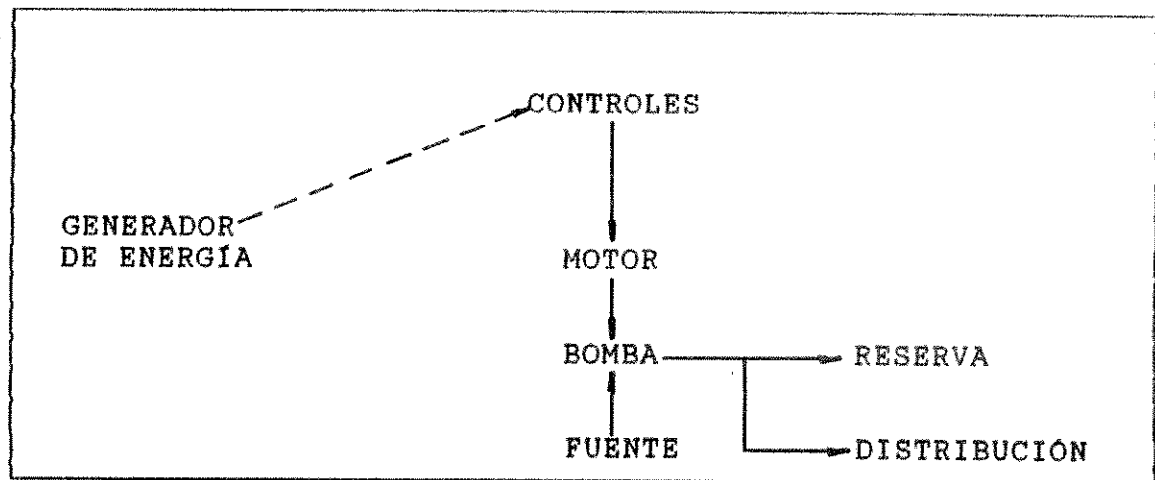
Las baterías requieren de un cuidado periódico y verificación del sistema. Se utiliza solo agua destilada para nivelar o reponer el agua evaporada; jamás se debe utilizar líquido electrolito ya que esto solo aumentaría la concentración del ácido dentro de la batería y arruinaría la misma.

CAPITULO 4

DISEÑO DE LOS COMPONENTES PARA UN SISTEMA DE BOMBEO UTILIZANDO ENERGIA EOLICA

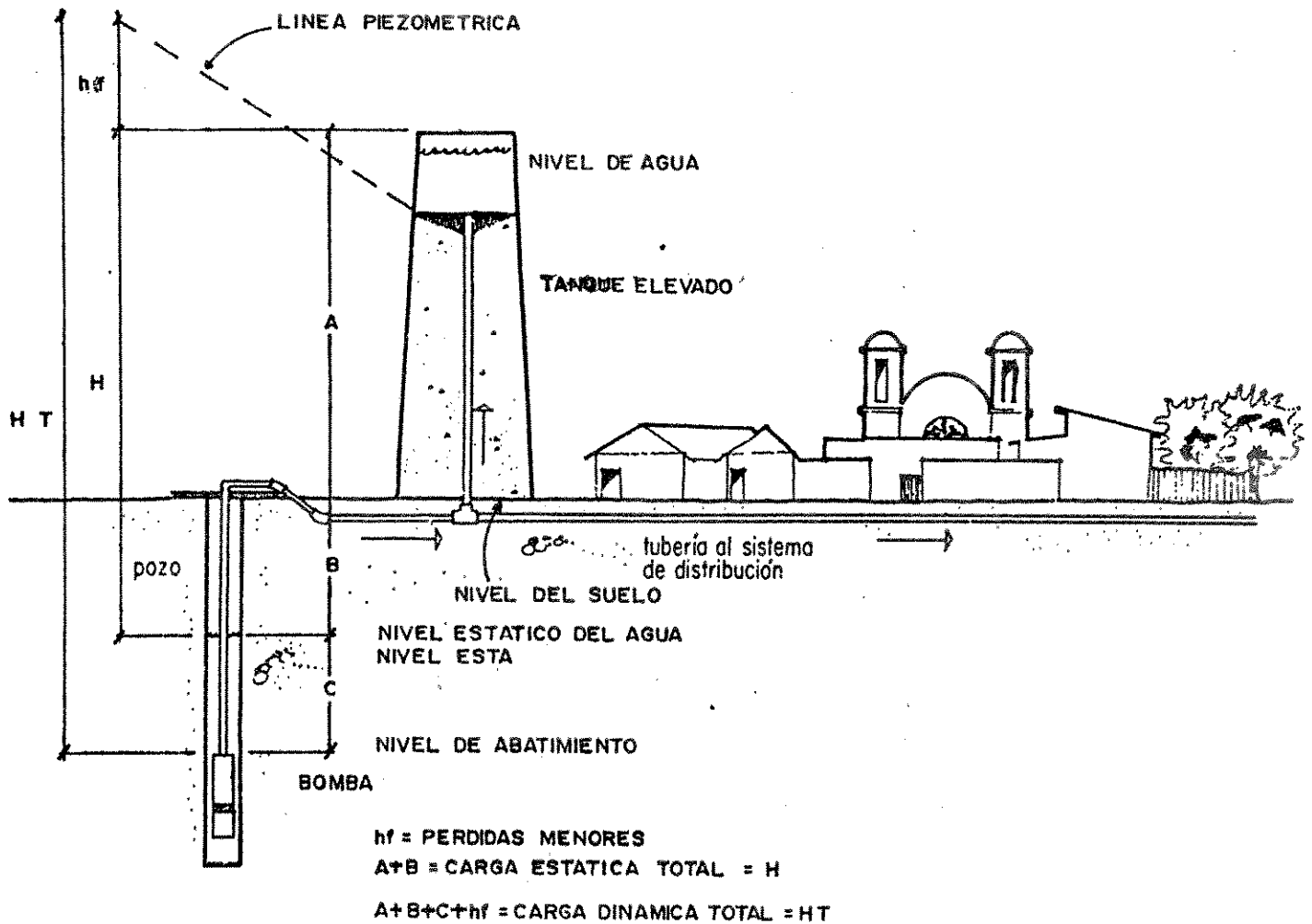
4.1.- DISEÑO DEL EQUIPO DE BOMBEO

Un sistema de agua impulsado por energía electroeólica es básicamente parecido a cualquier otro (ver figura No.IV-1, sistema desde el punto de vista eléctrico y figura No.IV-2, sistema desde el punto de vista hidráulico). Como mínimo tendrá una turbina que genera corriente eléctrica alterna (AC), mediante la energía eólica, un motor y acoplada una bomba. El conjunto se puede conectar directamente a un motor de corriente alterna (AC) o a un motor de corriente directa (DC), por medio de un inversor. En este caso no se necesita de un banco de baterías como en el caso fotovoltaico, pues la turbina es impulsada por el viento durante las 24 horas.



SISTEMA ELECTRICO
FIGURA No.IV-1

Como se observa en la figura No.IV-1, el generador que es impulsado por el viento produce energía eléctrica, luego esta energía es enviada hacia los controladores de carga, los cuales evitan que la energía enviada por el generador pase directamente hacia el motor, protegiéndolo, luego los controladores envían la corriente eléctrica, ya regulada, hacia el motor, el cual impulsa la bomba para extraer el agua de la fuente. Una vez bombeada el agua de la fuente es enviada hacia la reserva o directamente a la distribución.



SISTEMA HIDRAULICO
FIGURA No.IV-2

Entonces se diseña un sistema eólico en función de :

1. Características del clima local (Fuente Energética del Viento). Básicamente se recolecta información de los servicios meteorológicos que de una idea de la circulación de los vientos planetarios y de la formación de vientos locales, así como de los aspectos morfológicos y vegetativos que hacen que el viento aumente o disminuya su velocidad y energía.
2. Características de la bomba
3. Tiempo de bombeo.
4. Distancia de la turbina al motor.

allí se derivan parámetros como:

1. Tamaño de la turbina. (Vatíaaje en Watt)
2. Calibre de los cables. (No. AWG)
3. Tamaño y características del control. (Amperaje y Voltaje)
4. Tamaño de los fusibles. (Amperios).

4.2.- CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA (HP)

Un sistema de bombeo accionado por energía electroeólica puede aceptar bombas de distintas variedades. Sin embargo, hay dos categorías amplias: Centrífugas (roto-dinámicas) y volumétricas (de desplazamiento positivo), con características fundamentalmente diferentes. Las bombas centrífugas se adaptan idealmente a las condiciones de caudal moderado (0.12 l/s - 14 l/s) en los pozos perforados o en cisternas. Estas bombas se diseñaron para una presión hidráulica (carga) fija y su rendimiento de agua aumenta con la velocidad de rotación. Entre más se aleja esa presión hidráulica del punto fijo del diseño, más disminuye la eficiencia de la bomba.

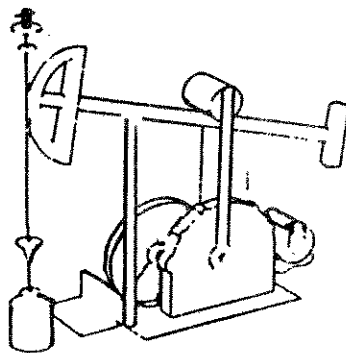
Las bombas volumétricas dan una capacidad de bombeo casi independiente de la carga, pero directamente proporcional a la velocidad. La eficiencia de esta bomba aumenta conforme aumenta la carga.

Las bombas volumétricas son ideales para caudales pequeños (0.0035 l/s - 40 l/s) y/o grandes alturas de elevación 10 - 500 metros (33 - 1,640 pies).

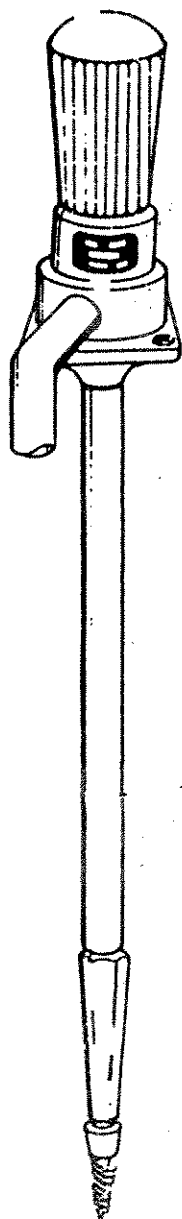
Existen varios tipos de bomba volumétrica. El más usado en los sistemas electroeólicos de bombeo es el de pistón equilibrado

o bomba de palanca y la bomba de cavidad progresiva (a veces denominada bomba espiral). Ver figuras No. IV-3, No. IV-4 y No. IV-5.

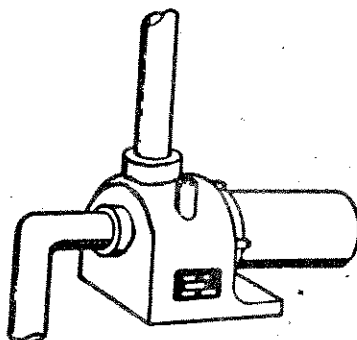
Bomba volumétrica utilizada en pozos perforados, idealmente para caudales pequeños y grandes alturas de elevación.



BOMBA DE PALANCA
FIGURA No. IV-1



AUTOCEBANTE
FIGURA No. IV-2



Bomba centrífuga,
ideal para
condiciones de caudal
moderado, utilizada en
pozos y cisternas. Su
rendimiento aumenta con
la velocidad de rotación.

Bomba volumétrica, ideal para
caudales pequeños y grandes alturas
de elevación

TURBINA DE EJE VERTICAL
FIGURA No. IV-3

Para poder calcular la potencia de la bomba, cualquiera que ésta fuera, se utiliza la siguiente fórmula

$$\text{Potencia} = \frac{Q * H}{3,960 * \text{ef.}} = \text{HP}$$

de donde:

Q = Caudal (galones/minuto)

HP = Caballos de fuerza

H = altura dada en pies

3,960 = factor de conversión, constante

ef. = eficiencia de la bomba, generalmente 60%.

4.3.- CALCULO DEL AMPERAJE DE LA BOMBA:

Generalmente los datos del amperaje de las bombas siempre son dados por los fabricantes, pero si no fueran proporcionados entonces, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = i^2 * R \quad \text{entonces}$$

$$i = \left(\frac{P}{R} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{amperios}$$

P = potencia (watt)

R = resistencia (ohmios)

i = corriente (amperios)

4.4.- TIPOS DE MOTOR:

La elección de un motor para el sistema electroeólico depende del tamaño requerido, de la necesidad de tener el motor sumergido o no, y de la disponibilidad de la electrónica para impulsarlo.

Un motor AC siempre será atractivo, porque los conjuntos electroeólicos suplen electricidad AC. Sin embargo, los motores DC junto con los inversores AC-DC se pueden usar para las aplicaciones de baja potencia.

Los criterios para la selección del motor son: eficiencia, precio, confiabilidad y disponibilidad. Normalmente la potencia en caballos de fuerza (HP) define la escogencia del motor.

Se usan motores AC para las aplicaciones de alta potencia en los sistemas de bombeo impulsados por la energía electroeólica porque no requieren inversores, lo cual no presenta costos adicionales y cierta pérdida de energía. Aunque los sistemas DC normalmente son menos eficientes que los motores AC; actualmente se consiguen modelos especiales de eficiencia aumentada para sistemas electroeólicos.

4.5.- RESERVAS DE ENERGIA:

4.5.1.- TANQUES DE AGUA:

Es muy importante tener una reserva de agua, sin importar el uso que se le vaya a dar. Las bombas sin baterías no producen suficiente agua cuando el viento es mínimo. Donde el agua es para irrigación es menos problemático pues la evapotranspiración de las plantas es proporcional a la intensidad del viento. O sea, las plantas requieren menos agua durante los períodos de poco viento y por consiguiente menos bombeo de agua. Además, casi siempre en las raíces de las plantas hay disponibles unos dos a tres días de reserva de agua.

La demanda de agua para los animales y los seres humanos también varía según la intensidad del sol. Sin embargo, siempre se recomienda tener varios días de agua acumulada en un tanque o cisterna. Una reserva de tres días es típica, pero las condiciones locales del clima y el uso del agua deben definir el tamaño óptimo para suplir la demanda.

4.5.2.- LOS CONTROLES NECESARIOS:

La bomba funcionará con eficiencia si se mantienen iguales los voltajes (la corriente eléctrica de la bomba, del motor y del conjunto electroeólico). Hay dos maneras básicas de conectar un equipo de bomba al conjunto electroeólico. La más sencilla es unirlo directamente al conjunto. El segundo método es usar un regulador electrónico.

Las bombas centrífugas son las que casi siempre se acoplan directamente, porque la electricidad que producen los conjuntos electroeólicos equipara bastante bien sus características de funcionamiento. Este acoplamiento directo exige que se escojan con cuidado la relación de engranajes, la velocidad del motor, el voltaje y el grado de bombeo, para que la bomba funcione bien. La equiparación del conjunto con las características de la bomba se

complica por la cantidad limitada que existe de tamaños para la misma.

Un sistema bien equiparado del conjunto de turbina y bomba pueden tener un desempeño de 10 a 15% mejor que si se usan controles electrónicos. Estos se usan a menudo en los lugares en donde fluctúan los niveles de agua o las características del clima.

Por otro lado, las bombas volumétricas se adaptan poco con el producto de los conjuntos electroeólicos por sus características funcionales.

Normalmente las bombas volumétricas usan reguladores de potencia máxima (RPM). Estos utilizan aparatos electrónicos "inteligentes" que hacen coincidir la energía electroeólica con los requisitos de potencia del equipo de bomba. Los reguladores permiten un funcionamiento a diferentes niveles de viento, de agua y de velocidad de flujo. Además, resuelven el problema de arranque de la bomba volumétrica. Los reguladores electrónicos típicamente consumen de 4 a 7% del rendimiento de potencia del conjunto electroeólico.

4.5.3.- DEFINICION DE LA DEMANDA DE AGUA:

El que diseña un sistema de agua potable debe conocer el volumen de agua que se requiere por día y hasta dónde hay que transportarlo y en el caso de sistemas eólicos la cantidad de energía disponible, es decir, el viento. El diseñador puede proyectar varios sistemas alternos y definir el costo de cada uno. Ver el numeral 3.1.8 para mayor información.

4.5.4.- PRODUCCION DE AGUA:

La cantidad de agua que puede producir el pozo es uno de los factores más importantes en el diseño de un sistema de bombeo. Por ello, y para planificar las necesidades futuras, es importante conocer cuánto puede producir un pozo. Si se necesitan más pozos, se debe estudiar la disponibilidad del agua subterránea del lugar.

Comúnmente se usan dos métodos para determinar la capacidad de producción de un pozo.

.- El primer método sirve para pozos poco profundos cavados a mano hasta 25 metros. Se necesita contar con alguna forma de medir el nivel de agua en el pozo, ya sea con una vara de medición o una cuerda con nudos cada 50 cm, por ejemplo.

.- El segundo método sirve para pozos profundos perforados con máquina. Para efectuar esta prueba se necesita una bomba portátil capaz de bombear un caudal que sea un 25% mayor que el caudal

máximo necesario, el bombeo se efectúa durante 48 horas y si el nivel del pozo no se abate; entonces quiere decir que el caudal que el pozo produce es suficiente para la comunidad. Si el nivel del pozo se abate rápidamente quiere decir que se debe perforar otro pozo para aumentar el volumen de agua.

4.5.5.- VARIACIONES POR ESTACION:

Como hay diferencias por estación en la travesía diaria del viento por el cielo, variará la cantidad de energía eólica que capta un conjunto electroeólico fijo.

4.6.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS EOLICOS:

Ventajas de la bomba Volumétrica:

- Son buenas para niveles de bajo caudal y la carga elevada.
- Dan una capacidad de bombeo casi independiente de la carga.

Desventajas de la bomba Volumétrica:

- Depende de la cantidad total diaria de viento.
- La eficiencia aumenta conforme aumenta la carga.

Ventajas de la bomba Centrífuga:

- Son apropiadas para volúmenes elevados de caudal con carga mediana.
- Se adaptan inmediatamente a las condiciones de caudal moderado.

Desventajas de la bomba Centrífuga:

- El rendimiento se ve afectado no solo por la cantidad sino también por el valor máximo de viento.
- Se diseña para una presión hidráulica (carga) fija, su rendimiento aumenta con la velocidad de rotación, entre más se aleja esa presión más disminuye la eficiencia de la bomba.
- No son recomendables para niveles de abatimiento muy altos; las bombas centrífugas no son recomendables porque en un determinado momento pueden bombear cantidades elevadas de agua en períodos cortos de tiempo, por lo que se ve afectado el abatimiento de los pozos.

4.7.- ESTIMACION DE LA POTENCIA:

Normalmente, en la turbinas eólicas, el costo del Kw instalado disminuye al aumentar la potencia de la máquina. Sin embargo, esta disminución de costos, se confirma sólo hasta potencias de 100 a 200 Kw, para el nivel actual de la tecnología.

Para mayores potencias, los costos aumentan nuevamente debido a la falta de experiencia en las grandes turbinas, que aún tienen problemas no resueltos.

Es posible que en el futuro, con el mayor perfeccionamiento de estos equipos, el decrecimiento del costo del Kw instalado pueda ser extendido hasta los 500 Kw o más.

Por el momento y por las razones expuestas, para grandes instalaciones se pueden considerar máquinas de 100 a 200 Kw o tal vez 300 Kw.

En estos casos, se debe estimar la potencia necesaria para satisfacer los requerimientos específicos del usuario, determinando la potencia en vatios de cada equipo, instrumento o luces que se deseen conectar. Esto es fácilmente realizable observando la placa que cada equipo posee, donde se indica potencia, tensión y otras características. Luego, debe estimarse cuántas horas por mes están encendidos cada equipo, haciendo un promedio entre los meses de mayor y menor consumo. Multiplicando potencia por tiempo, se tendrá aproximadamente la energía requerida. Ver fórmula

$$\text{Energía Requerida} = \text{Potencia} * \text{tiempo}$$

Como ejemplo se considera el consumo de una vivienda familiar
(Consumos reportados por los fabricantes)

	Potencia (watt)	Tiempo (hrs/mes)	Energía (Kwh/mes)
Nevera	200	240	48
Luces	500	150	75
Radio	100	240	24
T.V	120	150	18
Plancha	1000	12	12
OTROS	300	150	45
Total	2220	942	222

cálculo de consumo para los diferentes aparatos de la familia del ejemplo

.- nevera

$$\text{energía requerida} = 200 \text{ watt} * 240 \text{ hrs/mes} = 48 \text{ kwh/mes}$$

.- luces

$$\text{energía requerida} = 500 \text{ watt} * 150 \text{ hrs/mes} = 75 \text{ kwh/mes}$$

.- radio

$$\text{energía requerida} = 100 \text{ watt} * 240 \text{ hrs/mes} = 24 \text{ kwh/mes}$$

.- T.V

$$\text{energía requerida} = 120 \text{ watt} * 150 \text{ hrs/mes} = 18 \text{ kwh/mes}$$

.- plancha

$$\text{energía requerida} = 1000 \text{ watt} * 12 \text{ hrs/mes} = 12 \text{ kwh/mes}$$

.- otros

$$\text{energía requerida} = 300 \text{ watt} * 150 \text{ hrs/mes} = 45 \text{ kwh/mes}$$

Esta familia consume 222 Kwh/mes.

Para satisfacer este consumo, se considera una turbina eólica de potencia nominal(Pn).

Para una primera aproximación, se supondrá que la turbina está instalada en una región de vientos que se podría denominar como moderada.

En esta zona la turbina genera anualmente una energía (E_g), operando a la potencia nominal (P_n) durante 3000 horas por año.

$$E_g = P_n * 3000$$

El valor estimativo de 3000 horas generando la potencia nominal, es un valor empírico aproximado. Para zonas de vientos muy intensos ese valor puede elevarse hasta los 4500 hrs/año mientras que en zonas de bajos vientos puede considerarse 2000 hrs/año.

Para el consumo de la familia del ejemplo se tendría entonces:

$$P_n * 3000 = 222 \text{ Kwh/mes} * 12 \text{ mes/año}$$

de donde

$$P_n = 0.855 \text{ Kw}$$

que con un pequeño margen, se puede considerar que la turbina requerida es de 1 Kw. Este margen es necesario debido a que si se prevé una cierta acumulación de energía para los periodos de calma, usando baterías, se deben tener en cuenta las pérdidas por carga y descarga.

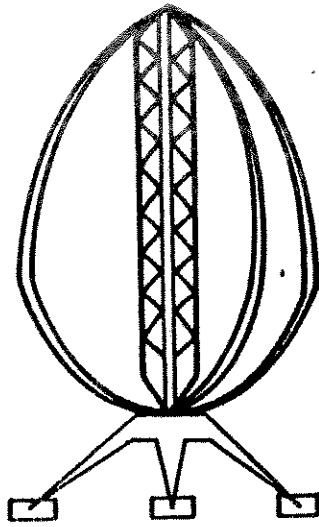
Disponiendo ahora de la potencia, se puede comenzar a definir nuestra máquina eólica.

Gran parte del diseño, consiste en realizar una adecuada selección de las características de la turbina y de los elementos constitutivos de la misma, entre las variadas opciones disponibles.

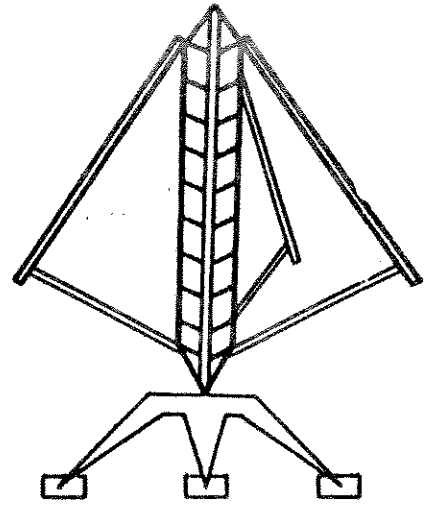
Primeramente, se deberá elegir si la turbina es de eje horizontal o de eje vertical; Ambas opciones son validas.

Basado en el mayor rendimiento de la hélice de eje horizontal y en la disponibilidad de mayor información y conocimiento de estas hélices, se puede considerar que las turbinas de eje horizontal son más recomendables para aplicaciones comerciales, mientras que las de eje vertical tipo Darrieus Ver Fig. No.IV-6, estarían más orientadas, por el momento, para aplicaciones de tipo experimental.

Suponiendo que por esta razón se elige una turbina de eje horizontal, deberá luego decidirse si la hélice estará ubicada detrás o delante de la torre. Ver fig. No.IV-7

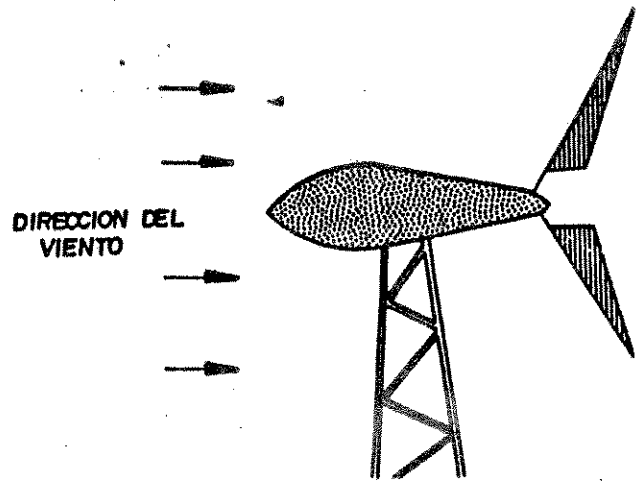
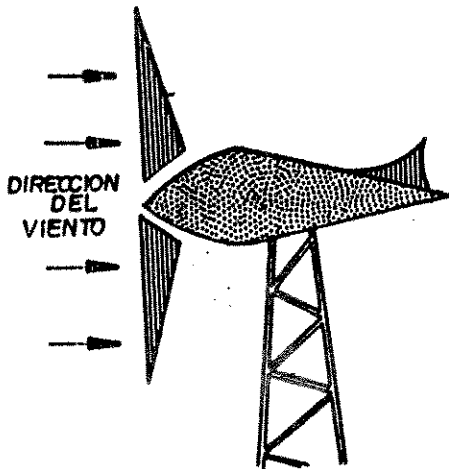


♣ - DARRIEUS



△ - DARRIEUS

Turbinas de eje Vertical
FIGURA No.IV-6



Turbinas de eje Horizontal
FIGURA No.IV-7

4.8.- SISTEMA ELECTRICO TURBINA - BOMBA:

En los sistemas eólicos, ya sean conectados a la red o aislados, el equipo estará instalado, para que se justifique la instalación eólica, éste debe estar en una zona de vientos. Ver Fig. No.IV-8 donde se indican los componentes del sistema

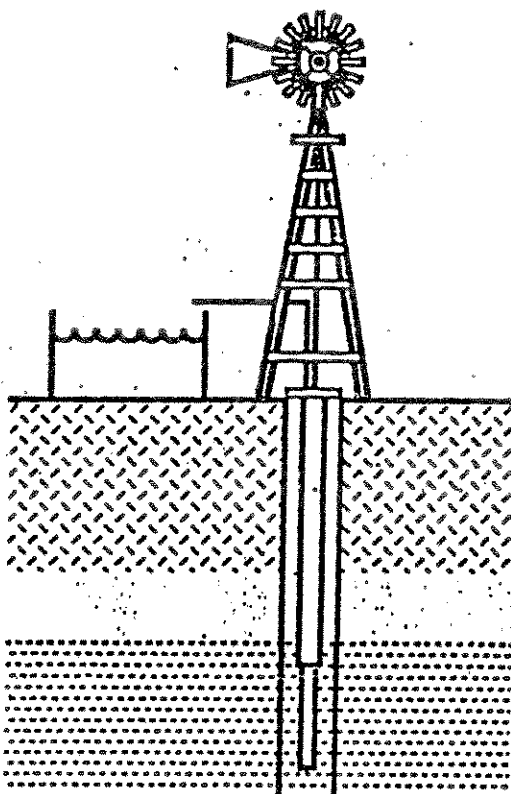


FIGURA No.IV-8

Estas turbinas no son diseñadas a medida para un lugar, sino que deben ser suficientemente aptas para zonas de variada velocidad media, para que puedan ser utilizadas por la mayor cantidad de usuarios posibles. Se debe recordar que las turbinas eólicas producen corriente eléctrica alterna, por lo cual su envío debe hacerse en cables o alambres de corriente alterna. A manera de explicación se debe decir que la resistencia eléctrica de un cable o alambre es función de su diámetro, o sea que entre más diámetro tenga más corriente puede conducir.

4.9.- SELECCION DE TENSION:

La tensión de funcionamiento seleccionada para un sistema electroeólico independiente depende de los requisitos de tensión y de la corriente total. Si las demandas de potencia más elevadas son para artefactos de corriente alterna, debe elegirse el valor de la tensión de la carga mayor, pero manteniendo la corriente por debajo de 20 amperios en cualquier circuito de fuente y 100 amperios en cualquier sección del sistema. El mantener la corriente debajo de estos niveles recomendados permitirá usar componentes y cables eléctricos de tipo standard y fáciles de obtener. Cuando las cargas necesitan potencia de corriente continua, la tensión del sistema de corriente alterna se debe determinar después de estudiar las características de los inversores disponibles.

Las cargas de corriente continua funcionan generalmente a 12 voltios o a una tensión múltiple de 12, por ejemplo 24, 36 o 48 voltios. Para sistemas de corriente alterna, la tensión debe ser la requerida por las cargas mayores. La mayoría de los sistemas electroeólicos de corriente alterna con menos de 1KW de capacidad funcionan a 110 voltios entonces la corriente total se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{corriente c.a} = (\text{potencia c.a}) / (\text{tensión c.a})$$

Potencia = watt
tensión = voltios
corriente = amperios

Luego para calcular el calibre del conductor se realiza en el siguiente ejemplo:

Datos:

Caudal = 1 litro/segundo = 15.85 galones/minuto
Altura de elevación = 33 metros = 108.00 pies
Distancia de la turbina a la bomba = 30 metros

1.- cálculo de la potencia

$$\text{potencia} = \frac{\text{caudal}(\text{gal./min.}) * \text{altura}(\text{pies})}{3,960 * \text{eficiencia}(0.60)}$$

$$\text{potencia} = \frac{15.85 \text{ gal./min.} * 108 \text{ pies}}{3,960 * 0.60} = 0.72 \text{ HP}$$

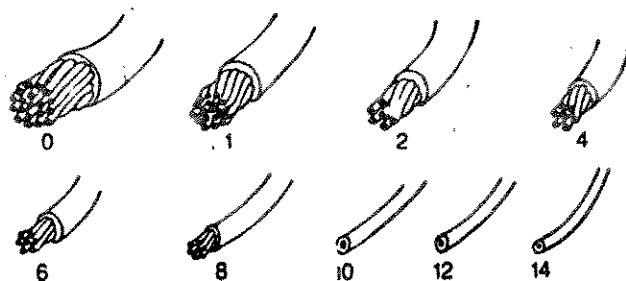
$$\begin{array}{l} 1 \text{ HP} \text{ ----- } 746 \text{ watt} \\ 0.72 \text{ HP} \text{ ----- } X \end{array} \quad X = 537.12 \text{ watt}$$

$$\text{Corriente} = \frac{537.12 \text{ watt}}{110.00 \text{ volts}} = 4.88 \text{ amperios}$$

Segun la tabla No.IV-1

para una corriente de 5 amperios y una distancia de 30 metros de la turbina a la bomba se necesita un cable calibre No.12

Tabla de Calibres de Cables



Amperios	Calibre del Cable						
	12	10	8	6	4	2	0
2	68	130	220	360	560	900	1500
5	35	56	90	114	225	362	600
10	18	29	45	77	112	181	300
15	11	18	30	47	75	120	200
20	8.5	13	22	36	58	90	150
25	6	11	17	29	45	72	120
30	5	8.5	15	25	37	60	100
50	3	5	8	15	22	36	60

Tabla de alambrado
Esta tabla representa la distancia máxima de la fuente de poder a la carga, para cables de cobre de 2 conductores en un sistema de 12 voltios. Para 24 voltios, multiplique la distancia por 2.

TABLA No. IV-1

4.10.- DISPOSITIVOS DE CONTROL:

Es recomendable poner un interruptor termo magnético (flipon) en una caseta externa a la bomba si ésta es sumergible. Si la bomba fuera centrífuga el flipon se coloca en un lugar visible y de acceso para la persona encargada; con el fin de cortar la energía a la bomba para dar un mantenimiento a la misma o por cualquier otra causa (quitarla, limpiar el tanque, etc.).

Los dispositivos de control son los flotes que existen en el mercado; también son dispositivos de control los controladores de carga, si se usan baterías, y su función es para que las baterías no sean sobrecargadas y se produzca el efecto gaseoso o evaporación del ácido sulfúrico que conforma el hipoclorito de la batería.

Otro dispositivo de control también es evitar que la bomba funcione en seco, es importante colocar la boca de entrada de agua a la bomba a un nivel más bajo que el nivel de abatimiento más bajo que se anticipe. Esto no aumenta la altura de aspiración del agua (carga) porque la carga se calcula a partir del nivel del espejo de agua del pozo, y no del de la bomba. Si hay que usar un pozo marginal, con peligro de bombeo excesivo, se debe usar un dispositivo para evitar que el pozo se seque. Este podría ser un interruptor de flotador, o una válvula de flotador de recirculación, dependiendo de las circunstancias.

El agua del pozo no siempre permanece en el mismo nivel todo el año. Para asegurar que produzca suficiente agua a lo largo del año, se deben hacer las medidas durante el mes más seco, cuando el nivel del agua en el pozo y la rapidez con que se recupera sean normalmente los más bajos.

4.11.- TIERRA FISICA:

Una buena conexión a tierra permitirá un trayecto bien definido, de baja resistencia, desde el sistema electroeólico independiente a tierra. Este trayecto deberá conducir la corriente de falla si ocurre un mal funcionamiento en el sistema. Se necesitan dos tipos de conexiones a tierra en todo sistema: conexión a tierra del sistema y conexión de los equipos. En la conexión a tierra del sistema, uno de los conductores, usualmente el negativo, se conecta a tierra en un solo punto. Esta conexión establece la tensión máxima con respecto a tierra y también sirve para descargar las corrientes transitorias inducidas por los rayos. Cualquier metal expuesto que pueda ser tocado por el personal se debe conectar a tierra. Esto incluye las cajas de equipos. Esto limitará el riesgo de choque eléctrico si ocurre una falla a tierra.

Una conexión de baja resistencia requiere un buen contacto con la varilla de tierra y el suelo mismo. El contacto con el agua subterránea ayuda a reducir la resistencia. Si el sistema estuviera sobre un suelo rocoso, resultaría ser más difícil lograr una buena conexión.

CAPITULO 5

ADMINISTRACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE ENERGIA RENOVABLE

Los sistemas fotovoltaicos independientes podrán producir energía en forma confiable durante más de 20 años si se calculan con la capacidad adecuada, se diseñan correctamente y se instalan con todo cuidado. Por ejemplo, en un sistema fotovoltaico los paneles deben durar 20 años, mientras que puede ser necesario cambiar la bomba cada diez. La "vida del sistema" es la vida del componente con el período de reemplazo más largo. Los costos del ciclo de vida están compuestos por el costo inicial del sistema completo instalado en el año 0, más la bomba de repuesto (con su instalación) en el año 10, más los gastos anuales de operación, reparación y mantenimiento.

La atención técnica preventiva es el mejor mantenimiento. Se recomienda una inspección periódica en todo sistema fotovoltaico independiente. Así se pueden descubrir y corregir problemas pequeños antes de que lleguen a afectar el funcionamiento del sistema. Uno de los miembros del comité de mantenimiento debe hacer la inspección poco tiempo después de la instalación, cuando se presume que esté funcionando bien. Es posible hacer una gran parte de la inspección sólo con un voltímetro, un hidrómetro y un poco de sentido común. Se pueden evitar muchas fallas si se hacen inspecciones periódicas y se toman las medidas necesarias con anticipación. Para que los miembros del comité de mantenimiento puedan realizar su trabajo se presenta a continuación un listado de las herramientas con la que deben contar:

- Brújula
- Voltímetro
- Acidímetro
- probador de continuidad en fusibles
- Cepillo de alambre
- Guantes
- Gafas de Seguridad
- Zapatos de suela de caucho
- Sierra para cortar tubería
- Dos Llaves de tubo

- Un Cangrejo
- Tres Destornilladores (pequeño, mediano y grande)
- Lima
- Alicata
- Cuchara de albañil
- Pala
- Piocha
- Martillo

Los miembros del comité de mantenimiento deben realizar las siguientes inspecciones en forma rutinaria. Tal como se muestra en el Cuadro No.V-1

Actividad	frecuencia	
	Mensual	trimestral
Limpieza del colector	4	
Verificación de sombras sobre el colector	1	
Verificar si el poste está firme y no se ha ubicado algún nido de abejas o avispas en la parte baja del colector		1
Asegurarse que los cables estén sujetos a las orquillas	1	
En el caso de las baterías abiertas revisar el nivel del electrolito	4	
Asegurar buen contacto de los bornes y sus fusibles	1	
Revisar que los contactos estén firmes y que el agua no haya caído sobre el control de carga	1	
Revisar que las grapas estén firmes y que los cables no hayan sido mordidos o cortados	1	
Revisar que los empalmes hechos con cinta de aislar estén firmes	1	

CUADRO No.V-1

Ver que todas las conexiones del sistema estén bien firmes. Las conexiones de la batería deben ser limpiadas y tratadas periódicamente con un inhibidor de corrosión.

Verificar el nivel del electrolito y añadir agua limpia (destilada), cuando sea necesario. No llenar demasiado las baterías. Medir la gravedad específica de cada celda de la batería todos los años. La gravedad específica es un indicador del estado de carga de la batería, pero las mediciones pueden causar indicaciones falsas si el electrolito se ha estratificado. Si existe estratificación la batería se debe cargar vigorosamente para mezclar el electrolito. Si la lectura de gravedad específica de cualquier celda difiere en más de 0.050 de las otras, indica que la celda está débil. Observar el funcionamiento de esta celda para determinar si es necesario cambiar la batería.

Con la batería bajo carga, medir la tensión de cada celda y compararla con la tensión media de todas las celdas. Si la tensión de cualquier celda del mismo sistema varía en más del 10% del valor medio, es posible que exista un problema. Consultar a la fábrica o al vendedor de la batería. Observar el funcionamiento de esta celda para determinar si es necesario cambiar la batería.

Inspeccionar el alambrado del sistema. Si el alambrado está al descubierto, observar si se ha dañado o roto el aislamiento. Inspeccionar los puntos de entrada y salida de todas las cajas de empalme y ver si el aislamiento de los cables tiene roturas o rajaduras. Cambiar los cables si es necesario. No confiar en la cinta aisladora eléctrica común de color negro para una reparación duradera de un aislamiento dañado, utilizar cinta de aislar vulcanizada.

Verificar que todas las cajas de empalmes y conexiones estén cerradas y selladas. Ver si hay daños causados por el agua o la corrosión. Si hay componentes electrónicos instalados en cajas de empalme verificar la ventilación en la caja. Cambiar o limpiar los filtros de aire.

Inspeccionar la estructura de montaje del conjunto y el mecanismo de seguimiento. Revisar periódicamente cualquier sistema de anclaje que se haya usado.

Inspeccionar el funcionamiento de los interruptores. Asegurarse que el movimiento sea firme. Ver si los contactos están corroídos o quemados. Inspeccionar los fusibles con un voltímetro. Un fusible bueno no debe tener casi ninguna caída de tensión cuando circula la corriente. Ver si hay decoloración en los extremos de los fusibles.

El diseñador le debe suministrar al comité de mantenimiento un instructivo con las instrucciones específicas para el mantenimiento del sistema, como se muestra en el numeral 6.4 del capítulo 6. Si

se siguen las instrucciones, se hacen simples inspecciones y se corrige cualquier problema visible, aumentará la disponibilidad del sistema y se prolongará su vida útil.

5.1. LOCALIZACION DE FALLAS:

Si ha ocurrido un tipo de problema ya conocido o sospechado, generalmente se puede ubicar siguiendo una serie lógica de pruebas y analizando los resultados. Las pruebas básicas se pueden efectuar con instrumentos sencillos y herramientas comunes. Todo lo que se requiere es un voltímetro, un hidrómetro, pinzas (alicates), destornilladores (desarmadores) y llaves ajustables o de expansión. Para trabajar en el cuarto de las baterías se recomienda usar guantes, gafas de seguridad y zapatos con suela de caucho. Conviene quitarse cualquier joya antes de probar los circuitos eléctricos. Las pruebas del sistema deben hacerse entre dos personas. Antes de comenzar, asegurarse que ambas personas conozcan la ubicación de los interruptores de desconexión o disyuntores y sepan como operarlos. Recordar que los conjuntos fotovoltaicos producen energía eléctrica todo el tiempo que brille el sol y que cualquier conjunto con más de dos módulos puede producir suficiente electricidad para matar a un ser humano. Siempre medir la tensión presente antes de tocar un alambre o conector y nunca desconectar un alambre antes de saber qué tensión o corriente tiene presente.

Si la carga de artefactos eléctricos funciona algunas veces pero se sospecha que la cantidad de potencia disponible no es la normal, el problema podrá ser más difícil de encontrar. La potencia de salida de un sistema fotovoltaico independiente varía con las condiciones, y la inspección del funcionamiento del sistema requiere la medida simultánea de las condiciones solares dadas y de la potencia de salida del sistema. Estas mediciones podrán requerir equipos de pruebas específicos y tener conocimientos difíciles de conseguir.

La experiencia indica que es necesario cambiar el subsistema de la bomba y del motor después de aproximadamente 10 años, aunque es posible que sea necesario hacerlo antes en un ambiente rural difícil.

Se recomienda sobre todo que la bomba no se exceda en el horario de uso recomendado por el diseñador e instalador, por lo que es conveniente usar un máximo de 8 horas por día.

Recordar que jamás debe hacerse empalmes o enchufes extraoficiales, pues pueden dañar el sistema o bien desbalancear su consumo, lo cual daña la batería, ya que acorta su vida útil.

Suciedades mayores: Cuando una fruta podrida, como podría ser un mango, un banano, una hoja grande, que cubran una celda completa,

sea detectada sobre el colector, deberá quitarse lo más pronto posible.

Polvo y pequeñas suciedades: Polvo natural y pequeñas suciedades, como defecación de pájaros pequeños, frutillas y hojitas que no cubran una celda sino una cuarta parte de la celda o menos, no son tan críticas. En este caso una vez por semana limpiar el colector así:

Por la mañana, antes de que el sol caliente y cuando el conector este frío aun, aplicar con un paño limpio y suave, bien empapado en agua limpia (si le aplica jabón este debe ser muy suave y muy diluido). Esperar unos segundos y proceder con ese mismo trapo a aflojar el polvo y suciedades. Masajear con suavidad y tratando de no apoyarse sobre el colector, para no aflojarlo, ni desviarlo del sur o del ángulo establecido en la instalación.

Una vez aflojado el polvo aplicar agua limpia para que la suciedad (lodillo) se afloje y caiga.

Antes de que el colector se seque, por si solo, pasar un paño suave, limpio y seco, que evitará se empañe.

Recordar que si se sube en escalera, ésta no debe de aflojar el poste, buscar la forma de apoyar ésta o usar algún tonel alto o escalera de dos cuerpos, de manera de no aflojar el poste. Ver figura No.V-1

**EN VERANO, LIMPIAR
UNA VEZ POR SEMANA**

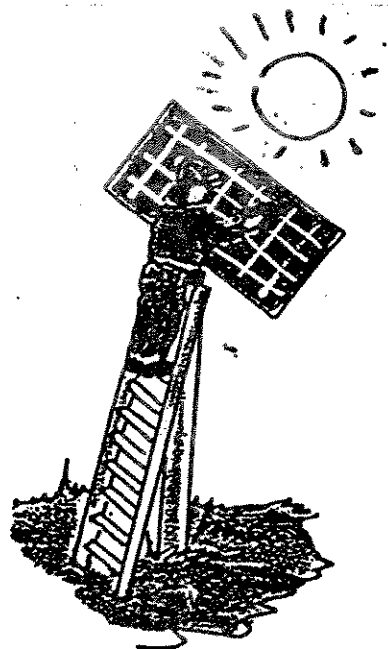
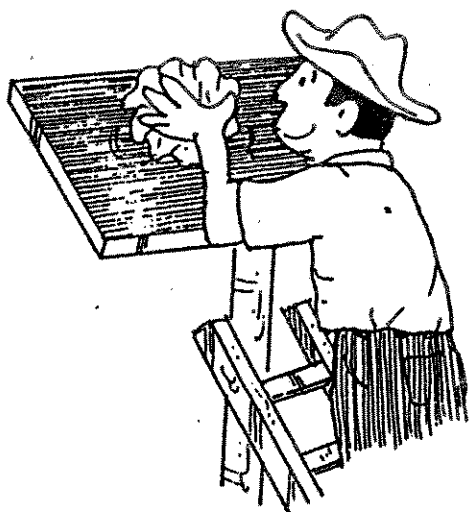


FIGURA No.V-1

Una vez por mes, en horas de la mañana, a eso de las 8:30 (sobre todo en diciembre) verificar que no haya proyección de sombra sobre el colector. Repetir esto al medio día y a las 15:30 por la tarde. Si hubiera proyección de sombra, proceda a chapear las ramas que la produzcan, recordar que no es necesario botar el árbol entero. Ver figura No.V-2

**CUANDO SEA NECESARIO,
CORTAR LAS RAMAS
QUE DEN SOMBRA.**

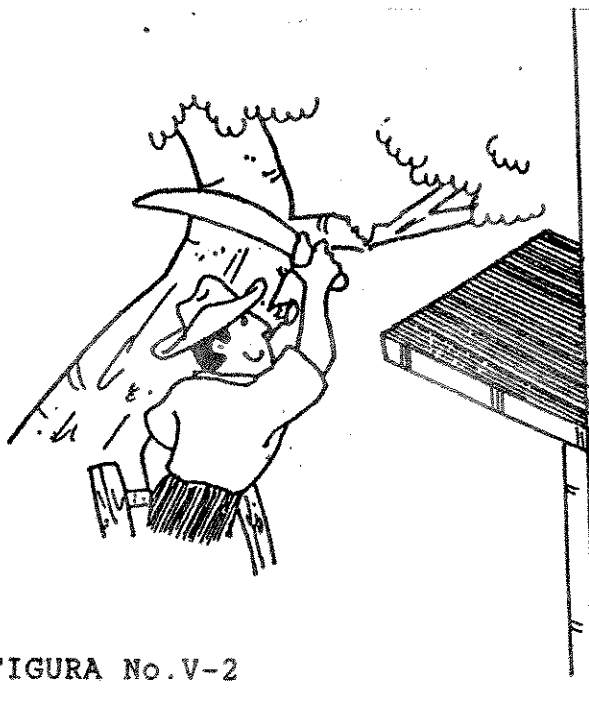


FIGURA No.V-2

Una vez cada tres meses, verificar si el poste está firme y si no se ha ubicado algún nido de abejas o avispa en la parte baja del colector. En todo caso, eliminar los nidos (no aplicar fuego en este caso) usando insecticida suave, y luego lavar con agua, cuidando de no mojar la cajuela de contactos. En caso de poste flojo, asegurarlo bien, cuidando de no perder la orientación sur y la inclinación dada. Memorizar hacia donde está orientado el colector.

Si la batería es sellada, es libre de mantenimiento, entonces lo más prudente es revisar si sus borne están bien sujetos y si los fusibles están bien. Asegurarse también que los cables estén bien sujetos a las horquillas o lengüetas. Esta labor la debe de realizar cualquiera de los miembros del comité, previamente capacitados, una vez por mes, pues el comité cuenta con un aparato para probar fusibles. También se debe limpiar de polvo usando un cepillo de raíz en seco. Recordar que los borne no se deben engrasar, no se deben golpear, no se deben lavar con agua de bicarbonato, ni deben aflojarse las lengüetas u horquillas. Si un borne aparece con sales de sulfato, aflojar la horquilla y cepillar con un cepillo de dientes seco, tanto el borne como la horquilla, y luego reinstalar cuidando de no cambiar las polaridades, (hacer primero un borne y luego el otro), luego asegurarse que quede firmemente apretado el empalme.
Ver figura No.V-3

LIMPIAR LAS TERMINALES DE LA
BATERIA CUANDO SEA NECESARIO

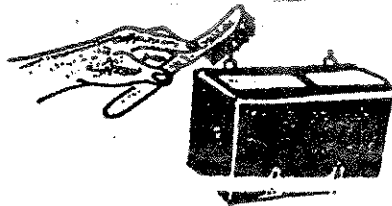


FIGURA No.V-3

En caso de baterías abiertas, una vez por semana revisar el nivel del electrolito. Este debe estar dentro de los límites de fábrica, y como los acumuladores son generalmente transparentes, este nivel es fácil de ver. Recordar que las celdas son separadas entre si. Las celdas metálicas jamás deben de quedar en seco, pues se oxidan. Si el nivel está bajo, no aplicar agua destilada. Si está muy bajo se procede a aplicar exclusivamente agua destilada de fábrica y jamás usar agua de pozo, de río, de chorro, de lluvia y

nunca agua gaseosa mineral (esto es mortal a la batería). No confundir con ácido de batería, el cual tampoco es recomendable de usar, aplicar el agua con cuidado pretendiendo no sobrecargar cada celda, y que queden parejas todas ellas. Ver figura No.V-4

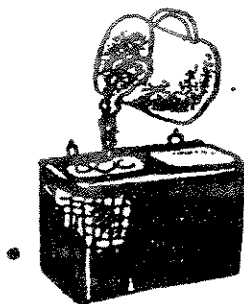


FIGURA No.V-4

Una vez por mes seguir las mismas instrucciones para asegurar buen contacto en los borne (dadas ya para acumuladores libres de mantenimiento), y de sus fusibles.

Una vez al mes el comité de mantenimiento local debe revisar que los contactos estén firmes y que el agua no haya caído sobre el control de carga, revisar también si no hay oxido en los empalmes con el alambrado.

Una vez por mes un integrante del comité debe revisar que las grapas estén firmes y que los cables no hayan sido mordidos o cortados, revisar también que los empalmes hechos con cinta de aislar estén firmes.

5.2.- EL COMITÉ DE ADMINISTRACIÓN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO LOCAL:

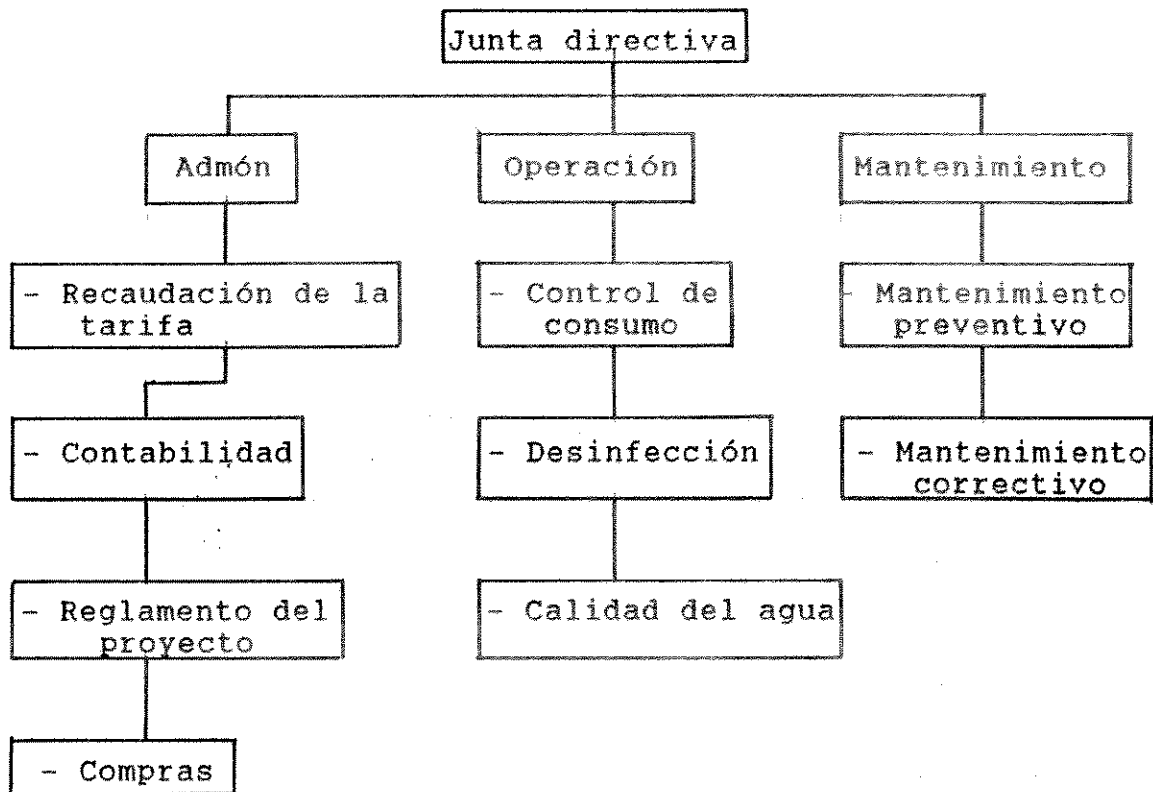
Esta entidad se debe formar entre vecinos beneficiarios que tengan alguna habilidad mayor, y que por su preparación puedan aprender conocimientos más profundos y operar algunos aparatos tales como:

- 1- Brújula
- 2- Acidímetro
- 3- Voltímetro
- 4- Probador de continuidad en fusibles

Los candidatos deben buscarse entre gente que sabe leer y que haya trabajado preferiblemente en mecánica de carros o camiones, especialmente electro-mecánica, preferiblemente personas que conozcan la capital y que tengan cierto nivel de preparación puede agregarse el maestro, el epesista y el cura local (estos últimos no siempre necesarios). Deben ser nombrados por el comité ejecutivo de vecinos y su puesto no es de elección sino que pueden ser removidos por el comité citado. Deben ser voluntarios.

A estas personas, se les proporciona una formación más profunda, indicándoles el por qué de los problemas, y una fórmula de solucionar los menores, dejando los de tipo mayor al contratista instalador (si hay garantía vigente) o a un electricista especializado en energía solar fotovoltaica. A continuación se presenta una lista de instrucciones que deben conocer los señores integrantes del comité de mantenimiento local:

ESTRUCTURA DEL COMITÉ



FUNCIONES Y ATRIBUCIONES:

El comité de agua potable, es el representante de los vecinos, para la administración operación y mantenimiento del sistema de agua potable local y estará formado por cinco (5) vecinos honorables de la comunidad. Todos los miembros del comité serán electos por la comunidad en asamblea general y desempeñarán sus cargos sin remuneración alguna, con excepción del tesorero. El comité de agua estará integrado por el presidente, secretario, tesorero, vocal primero y vocal segundo, de los cuales el secretario y el tesorero deben saber leer y escribir.

Es función específica del comité de agua cumplir y hacer cumplir el reglamento y las normas que eventualmente se pongan en vigor, solicitando el auxilio de la autoridad del lugar. También es responsable ante las dependencias especializadas en agua potable y saneamiento rural de velar para que prevalezcan condiciones higiénicas y sanitarias adecuadas en las fuentes de abastecimiento y sus alrededores, evitando así la contaminación de las mismas. El comité debe mantener en buen estado de conservación y funcionamiento las instalaciones del sistema de agua potable, con el fin de garantizar el abastecimiento adecuado del líquido a la comunidad, evitando así la falta de confianza al mismo; por otra parte velará porque el agua sea utilizada exclusivamente con fines domésticos.

El tesorero será el encargado de recaudar las cuotas mensuales por concepto de servicio de agua potable y rendir cuentas de las mismas.

El comité se reunirá ordinariamente una vez por mes y en forma extraordinaria cuando el presidente convoque a sesionar.

El comité de agua deber encargarse de realizar todas las actividades necesarias para la administración, operación y mantenimiento del sistema de agua y en especial; recaudar y manejar los fondos, proporcionar la política del cuidado del sistema y el uso racional del agua; establecer el programa de compras de accesorios y repuestos para sistemas por bombeo. El comité deberá ordenar la suspensión del servicio para aquellos usuarios que estén utilizando el agua para fines distintos del expresado anteriormente, además también están comprendidos los usuarios que incurran en mora por mas de tres meses.

Con respecto a los manuales descritos en la estructura del comité se tiene: el manual de Administración Operación y Mantenimiento del Ministerio de salud Publica y Asistencia Social y el manual de Operación y Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.

5.2.1.- RESPECTO AL COLECTOR:

Dentro de la capacitación que se les da a los miembros del comité de mantenimiento se les debe de instruir para que identifiquen la polaridad de los borne del colector en su cajilla de contactos. Debe de recordárseles que cualquier trabajo en el colector, éste debe taparse totalmente con un cartón y usar herramienta aislada eléctricamente.

Como los sistemas que usan control de carga de acuerdo a cada fabricante tienen una rutina de conexión específica y una de desconexión específica (lo cual debe darlo el instalador por escrito), deberán ser instruidos cuál es ésta. En casos de hacer desconexiones y reconexiones forci voluntarias (casos eventuales) los miembros del comité de mantenimiento sabrán cómo es el orden de conexión adecuado.

Deberán saber usar la brújula e identificar el sur, en caso de que por algún percance un poste se desubique del sur. También podrán tantear el ángulo de 15°, en caso de desnivelados horizontales. Ver la figura No.III-21 de la página 70.

Aprenderán a usar un probador barato de continuidad eléctrica de fusibles. Este se integra básicamente por un bombillo de 12V. DC y 25W, un par de lagartos sujetadores y un socket común. Otra alternativa son las lamparillas para auto iluminación de carros, que venden en ventas de repuestos automotrices y que consisten básicamente en los mismo; un foco de 12V DC y 6W, su socket y sus dos lagartos. Si un fusible está bien el foco dará luz. Así, pondrá un lagarto en un borne de la batería, el otro lagarto atrapa una cabeza del fusible y la cabeza suelta del fusible se contactará con el borne restante de la batería, si hay luz el fusible estará bien.

También deberán aprender a usar multímetros digitales sencillos que sirvan para evaluar el estado de carga de una batería. Deberá recordárseles que dicha prueba se realiza entre las 17:00 y 18:00 horas y con la bomba apagada. Esta prueba es más rápida y concluyente que la de densidades. Deberán aprender a correlacionar el valor del voltaje con el del % de carga contenida en la batería mediante tablas suministradas por el fabricante a través del instalador. O bien aprenderán a utilizar un aparato que mide directamente dicho % de carga.

La labor principal del comité de mantenimiento será probablemente la de evaluar el estado general del sistema de abastecimiento de agua, niveles de electrolito y la de evaluar voltajes para conocer el estado de las baterías.

CAPITULO 6

6.1.- EJEMPLO DE APLICACION DE LA ENERGIA RENOVABLE EN UN SISTEMA DE BOMBEO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

Localidad: El Arbolito
Municipio: La Libertad

Departamento: El Petén

DATOS PARA DISEÑO

Población actual: 165 habitantes, fecha 25/08/95
No. de viviendas: 25 Escuela: 01
Período de diseño: 20 años
Tasa de crecimiento geométrica adoptada: 3.52%
Población futura: 330 habitantes
Plano de ubicación ver apéndice B

$$Pf = Pa * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Pf = Población al año "n"
Pa = Población actual
r = Tasa de crecimiento
n = Período de diseño

$$Pf = 165 * \left(1 + \frac{3.52}{100}\right)^{20} = 330 \text{ Habitantes}$$

Aforo de la fuente : 2 l/s , Fecha del aforo: 06/04/95
Dotación: 60 l/h/d
Tipo de sistema: Bombeo accionado por energía solar
Servicio por: Conexiones prediales No. 25
Caudal medio: 0.23 l/s

Dotación * población futura

$$Q_{\text{medio}} = \frac{\text{Dotación} * \text{población futura}}{86400 \text{ seg/día}}$$

$$Q_{\text{medio}} = \frac{60 \text{ l/h/d} * 330 \text{ hab.}}{86400 \text{ seg/día}} = 0.23 \text{ l/s}$$

Factor de hora máximo: 2.4
Caudal de bombeo: 15.85 gal./min.

$$Q_B = \frac{Q_{\text{medio}} * 24 \text{ hrs/día}}{\text{tiempo de bombeo}}$$

$$Q_B = \frac{0.23 \text{ l/s} * 24 \text{ hrs/día}}{5.5 \text{ hrs/día}} = 1.00 \text{ l/s}$$

$$Q_B = \frac{1.00 \text{ l} * 1 \text{ gal.} * 60 \text{ seg}}{\text{s} \quad 3.785 \text{ l} \quad 1 \text{ min.}} = 15.85 \text{ G.P.M}$$

Caudal de distribución:

$$Q_{\text{dist.}} = Q_{\text{medio}} * \text{factor de hora máximo}$$

$$Q_{\text{dist.}} = 0.23 * 2.4 = 0.55 \text{ l/s}$$

Almacenamiento:

Tanques de almacenamiento: El tanque se calcula en base a la relación entre el caudal de bombeo = 1 L/S y el caudal de la fuente que llega al tanque = 1 L/S en ningún caso será menor de 5 mts³.

$$\text{Volumen} = Q_B * T_b$$

Q_B = Caudal de bombeo
 T_b = Tiempo de bombeo

$$\text{Volumen} = 3,600 \text{ Lts/hora} * 5.5 \text{ horas} = 19,800 \text{ Lts} \approx 20 \text{ Mts}^3$$

Es muy importante tener una reserva de agua, sin importar el uso que se le vaya a dar. Las bombas sin baterías no producen agua cuando el sol no brilla. Si las condiciones económicas lo permiten se tendría que almacenar el agua de unos tres (3) días de consumo, pero las condiciones locales del clima y el uso del agua deben definir el tamaño óptimo del tanque de almacenamiento para suplir la demanda.

$$\text{Reserva} = 20 \text{ Mts.}^3/\text{día} * 1.25 \text{ día} = 25 \text{ Mts.}^3$$

Clima: cálido

Cálculos hidráulicos: Hazen & Williams

1.- Cálculo del diámetro de la tubería del tanque de alimentación al tanque de distribución con la siguiente fórmula.

$$D_t = \frac{1743811}{\frac{28.22 * 1000}{77.00 * (2.00)^{1.85}} * (140)^{1.85}} = 1.13''$$

Como el diámetro teórico da 1.13 se aproxima al diámetro comercial siguiente el cual es 1.5 pulgadas = 1½"

Cálculo del diámetro por la formula de Chezy

$$V = C * (R * I)^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \left(\frac{4(Q^{0.2} * n^{0.2})}{\pi^3} \right)^{\frac{1}{9.03}}$$

$$R = \left(\frac{4 * (2^{0.2} * 0.013^{0.2})}{\pi^3} \right)^{\frac{1}{9.03}} = 0.35''$$

Se sabe que $D = 2R$ entonces $D = 2 * 0.35'' = 0.70''$

Como el diámetro teórico da $0.70''$ se aproxima al diámetro comercial siguiente el cual es de $0.75'' = 3/4''$.

La diferencia de diámetros entre las formulas de Hazen & Williams y la formula de Chezy se debe a que las constantes que se utilizan en la formula de Hazen & Williams son más conservadoras que las constantes que se utilizan en la formula de Chezy

Luego se calcula el K' para el diámetro de $1\frac{1}{2}''$ con la siguiente fórmula

$$K' = \left(\frac{1743811}{C^{1.852} * D^{4.87}} \right) =$$

$$k' = \left(\frac{1743811}{(140)^{1.852} * (1\frac{1}{2})^{4.87}} \right) = 25.66$$

Obteniendo el K' se procede a calcular la pérdida de carga h_2 con la siguiente fórmula

$$h_f = \frac{k' * L}{1000} * Q^{1.85} \text{ (bombeo)}$$
$$h_2 = \frac{25.66 * 77}{1000} * (1.00)^{1.85} = 1.98 \text{ mts.}$$

Luego conociendo :

Cota del nivel en el tanque de alimentación = 50.00 mts.

Cota piezométrica a la entrada del tanque de distribución = 77.00

$$h_1 = 77.00 - 50.00 = 27.00 \text{ mts.}$$

Habiendo calculado h_1 y h_2 se procede a calcular las pérdidas menores.

De la tabla pérdidas locales en tuberías, que se encuentra en el apéndice B, se obtiene la pérdida de carga para accesorios, en este caso se necesita la de codos a 45° con un diámetro de $1\frac{1}{2}$ " y resulta que es de 0.6 mts pero como son 3 codos se multiplica por 3.

$$h_f \text{ menores} = 0.6 * 3 = 1.80 \text{ mts.}$$

Entonces las pérdidas de carga en la línea de bombeo son:

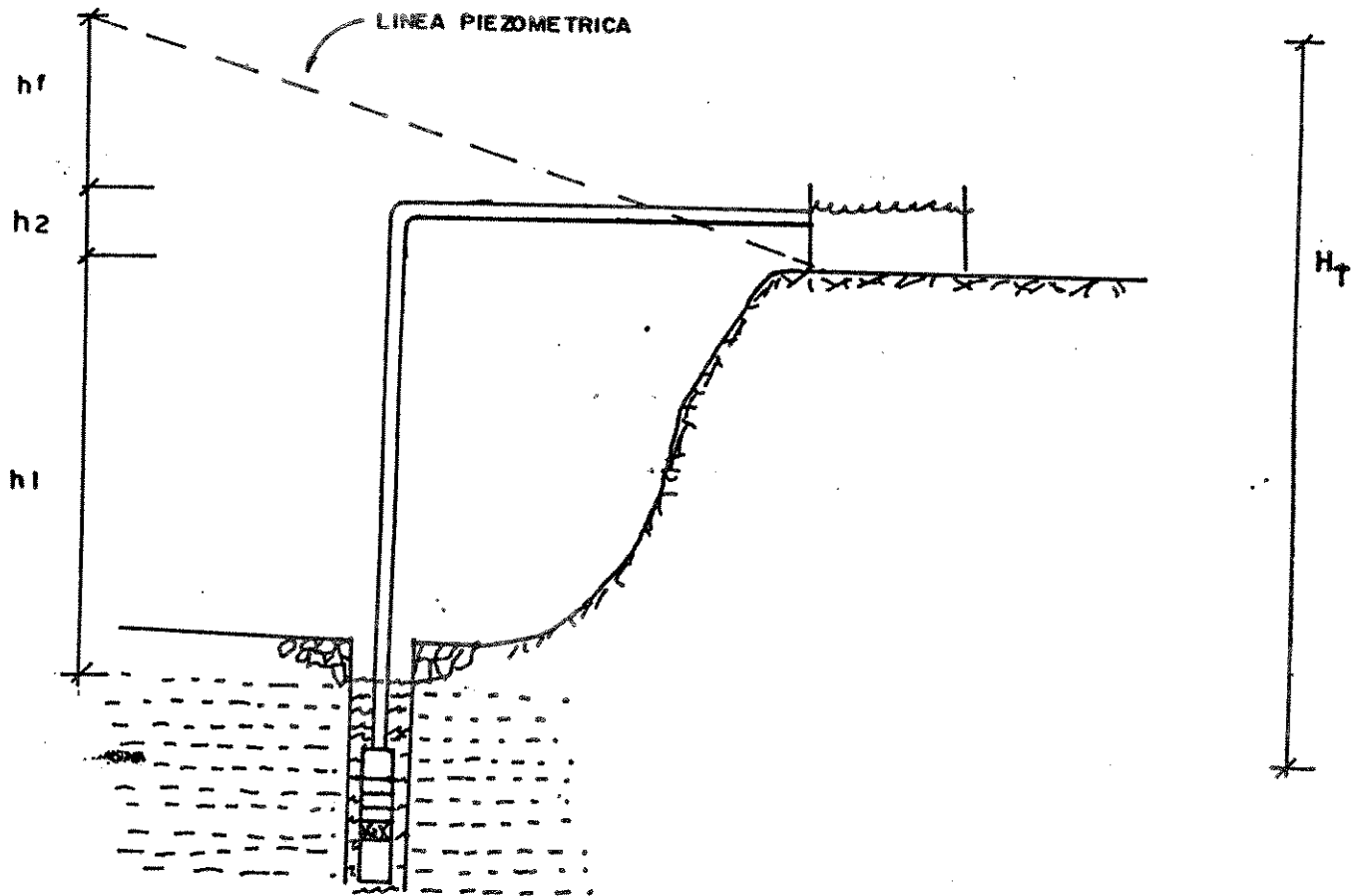
$$h_1 = 27.00 \text{ mts.}$$

$$h_2 = 1.98 \text{ mts.}$$

$$h_{f \text{ menores}} = \underline{1.80 \text{ mts.}}$$

$$H_{\text{total}} = 30.78 \text{ mts.}$$

Ver figura No.VI-1



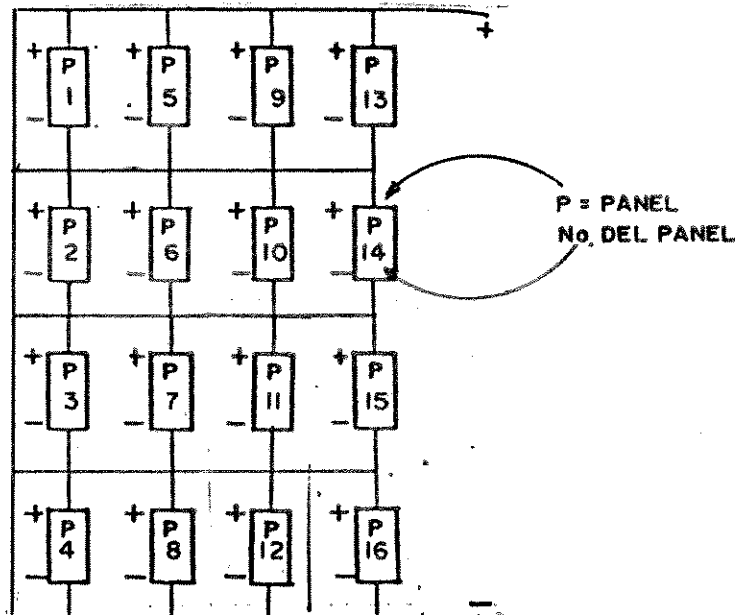
PERDIDAS EN LA LÍNEA DE BOMBEO
FIGURA No.VI-1

2.- Conociendo la altura total a la que se debe elevar el agua, de la tabla del fabricante se procede a elegir la bomba solar, para este ejemplo se elige una bomba solar sumergible de A.Y MacDonald, con los datos que proporciona la tabla del apéndice B se pueden obtener de las fábricas o de los distribuidores de dichas bombas.

A continuación se presentan tres (3) incisos que indican cómo se usa la tabla que proporciona el fabricante de bombas solares A.Y McDonald Mfg.Co para elegir la bomba adecuada, con su respectiva configuración de módulos solares y que se encuentra en el apéndice B.

- a) Cuando se conoce la profundidad del agua y el levantamiento total, seleccionar la columna más cercana al levantamiento requerido.
- b) Seleccionar los galones por día más cercanos a las necesidades moviéndose verticalmente bajo la columna de levantamiento seleccionada para encontrar la mejor bomba.
- c) Moverse horizontalmente a la izquierda para encontrar la cantidad de módulos de 53 vatios requeridos.

Entonces al observar la tabla de A.Y MacDonald se determina que para bombear 12 galones por minuto a una altura total de 33.33 mts, se tendría que usar una bomba sumergible modelo 211009DP y una configuración de 16 paneles, quedando de la siguiente manera: 4 en serie y 4 en paralelo. Ver figura No.VI-2



CONFIGURACIÓN DE LOS PANELES
FIGURA No.VI-2

La figura No.VI-2 muestra que para que el sistema funcione en óptimas condiciones se necesita una configuración de 16 paneles serie-paralelo, entonces el arreglo queda con 4 filas de 4 paneles en serie y 4 columnas con 4 paneles en paralelo.

La potencia de la bomba se calcula de la siguiente manera:

$$\text{potencia} = \frac{\text{caudal de bombeo(G.P.M.)} * \text{Altura (pies)}}{3,960 * \text{eficiencia}(0.60)} = \text{H.P}$$

$$\text{potencia} = \frac{15.85 * 109.35}{3,960 * 0.60} = 0.73 \approx 1.00 \text{ HP}$$

6.2.- DISEÑO DE LA INSTALACION ELECTRICA BOMBA PANELES

Dependiendo de la configuración de los paneles solares así es como se va a poder determinar el voltaje y el amperaje que necesita la bomba, a mayor número de paneles en serie mayor será el voltaje y a mayor número de paneles en paralelo mayor será el amperaje.

Como la configuración del ejemplo es de 4 paneles en serie y 4 paneles en paralelo, utilizando módulos de 53 watt entonces se procede a calcular la cantidad de watt en la configuración

$$4 \text{ paneles en serie} * 53 \text{ watt} = 212 \text{ watt}$$

Como son 4 filas de 4 paneles en serie entonces la potencia máxima de conjunto es igual a:

$$212 \text{ watt} * 4 = 848 \text{ watt}$$

de la tabla de fabricantes de módulos de potencia solar Solarex, que se encuentra en el apéndice B, se observa que la corriente de un panel de 60 watt, serie MSX-60, el amperaje es de 3.5 amperios, y que la corriente de un panel de 50 watt nominales, serie MSX-50, la potencia media es de 2.92 amperios; entonces para encontrar el amperaje de un panel de 53 watt nominales se procede a interpolar.

60 watt	—————	3.5 amp.	
53 watt	—————	X	X = 3.09 Amp.
50 watt	—————	2.92 amp.	
10		0.58	

$$4 \text{ paneles en paralelo} * 3.09 \text{ amp.} = 12.36 \text{ amperios}$$

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla No.IV-1 de la página 100 se puede calcular el calibre del alambre. Conociendo el amperaje y la distancia entre la bomba y los paneles.

- 1) Cuando se conoce el amperaje se selecciona la columna más cercana al amperaje requerido.

- 2) Seleccionar los metros más cercanos a las necesidades moviéndose horizontalmente a la derecha de los amperios seleccionados.
- 3) Moverse verticalmente hacia arriba para encontrar el calibre de alambre requerido.

Para 12.36 amperios y una distancia de 77 metros se usara calibre THHN No.8

6.3.- INTERCONEXION DE LOS PANELES

Los paneles se conectan según la necesidad, ya sea en serie, paralelo o en serie-paralelo, para el ejemplo se tienen 16 paneles serie-paralelo, 4 en serie y 4 en paralelo, quedando conectados de la siguiente manera: la figura No.VI-3 muestra una conexión en serie y la figura No.VI-4 muestra una conexión en paralelo.

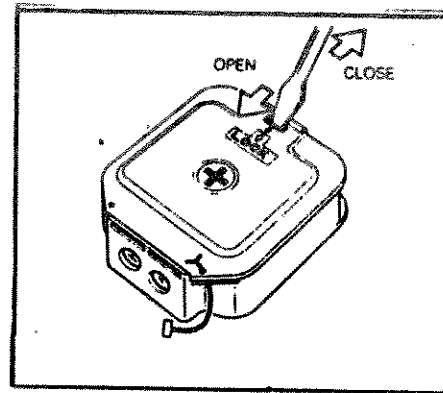
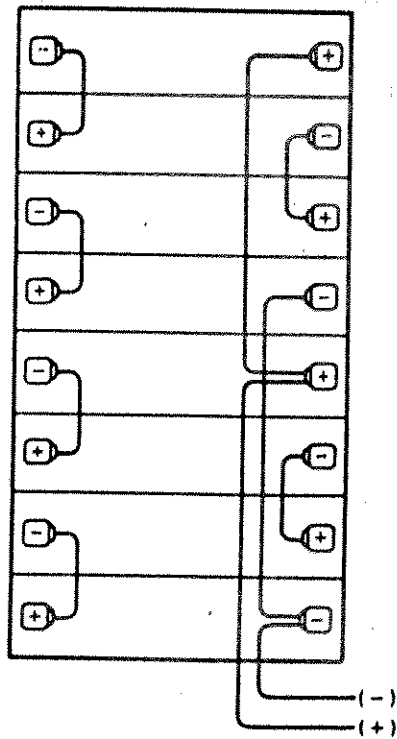


FIGURA No.VI-3

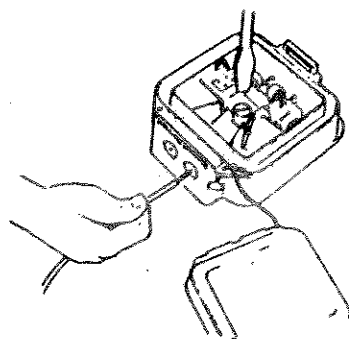
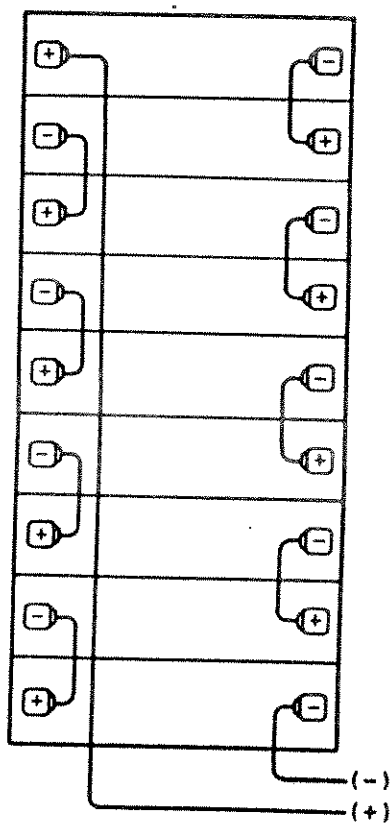


FIGURA No. VI-4

Los paneles los se deben instalar en una estructura metálica para paneles, y siempre orientados de Norte a Sur con elevación Norte, el ángulo de inclinación es unos 15° , también deben de tener una separación adecuada tal como se muestra en las figuras No.VI-5 y No.VI-6

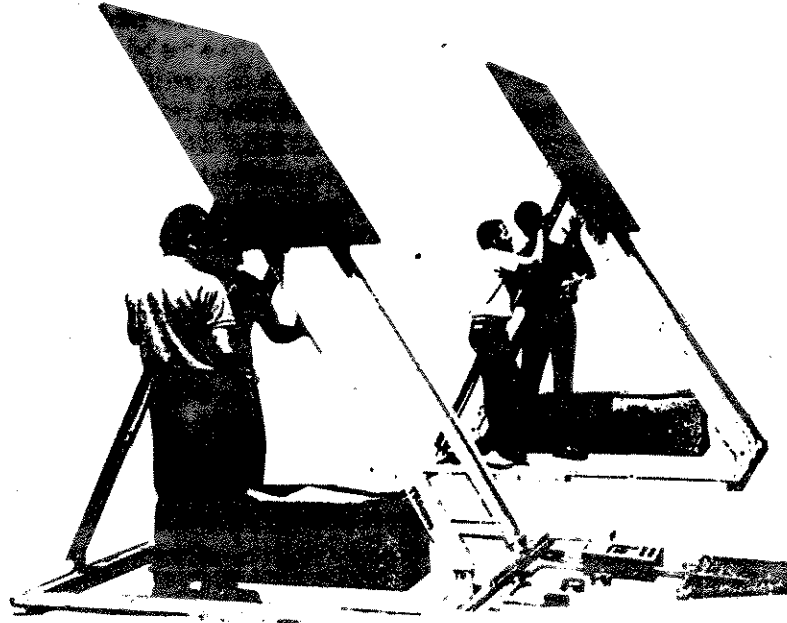
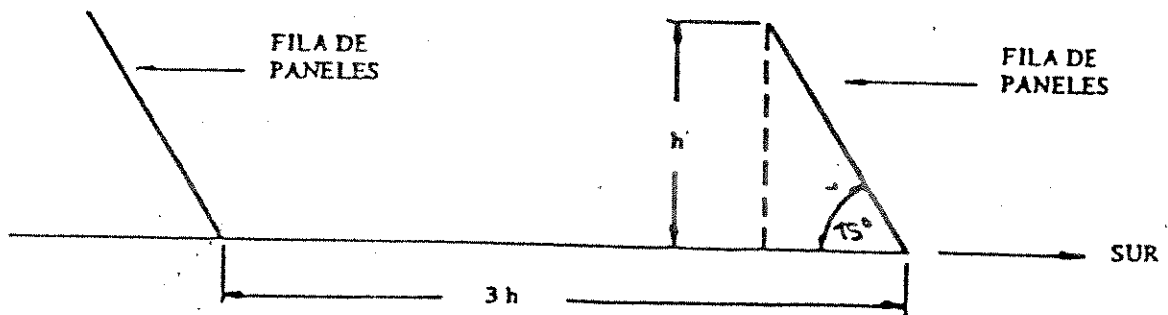


FIGURA No.VI-5



Separación recomendada entre dos filas consecutivas de un campo de paneles.

FIGURA No.VI-6

La bomba necesita de una estructura metálica para poder ser instalada, ya sea en un pozo o en un tanque de alimentación. A continuación se presenta un esquema de colocación de la bomba en un pozo y un esquema de colocación de la bomba en un tanque de succión. Ver figura No.VI-7

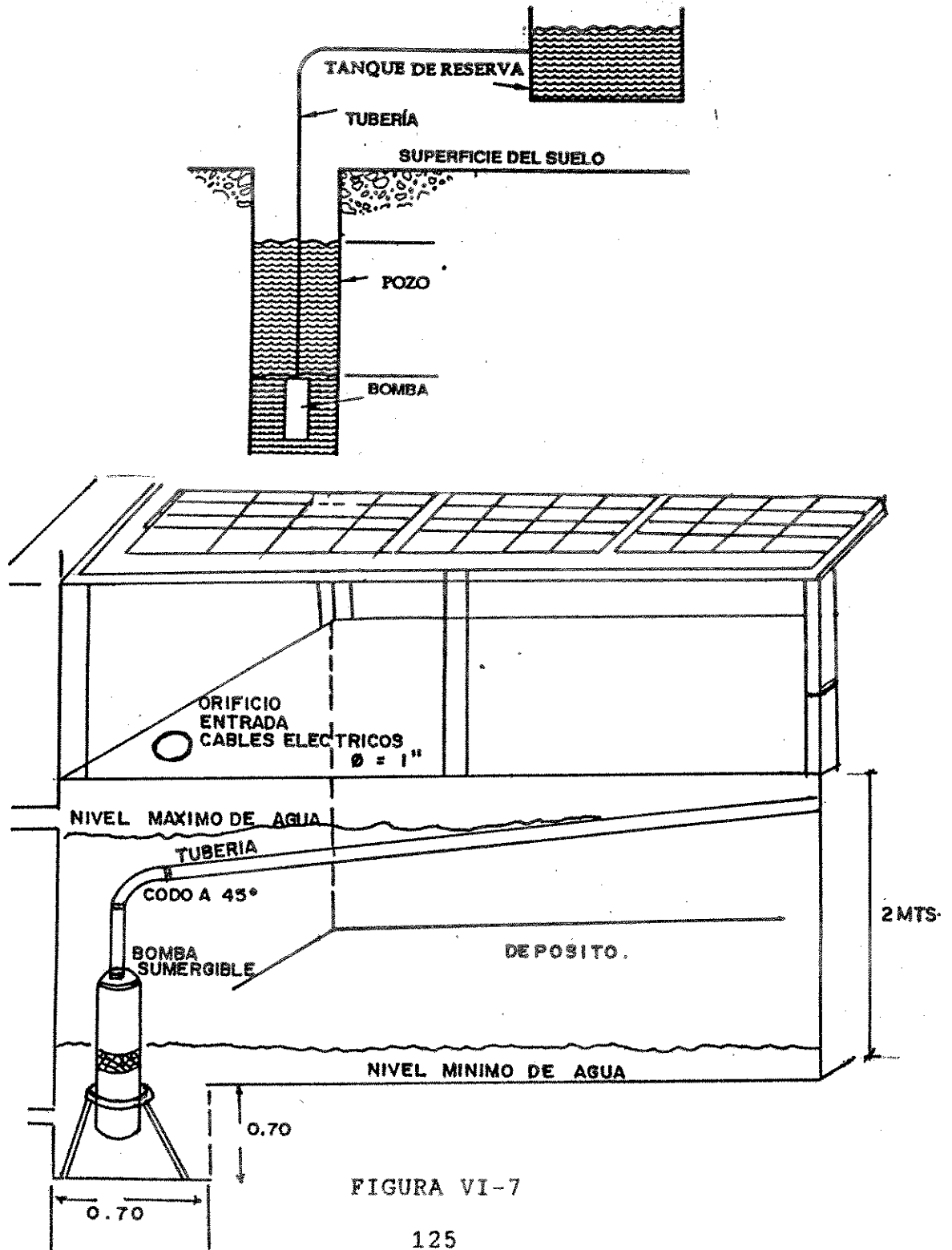
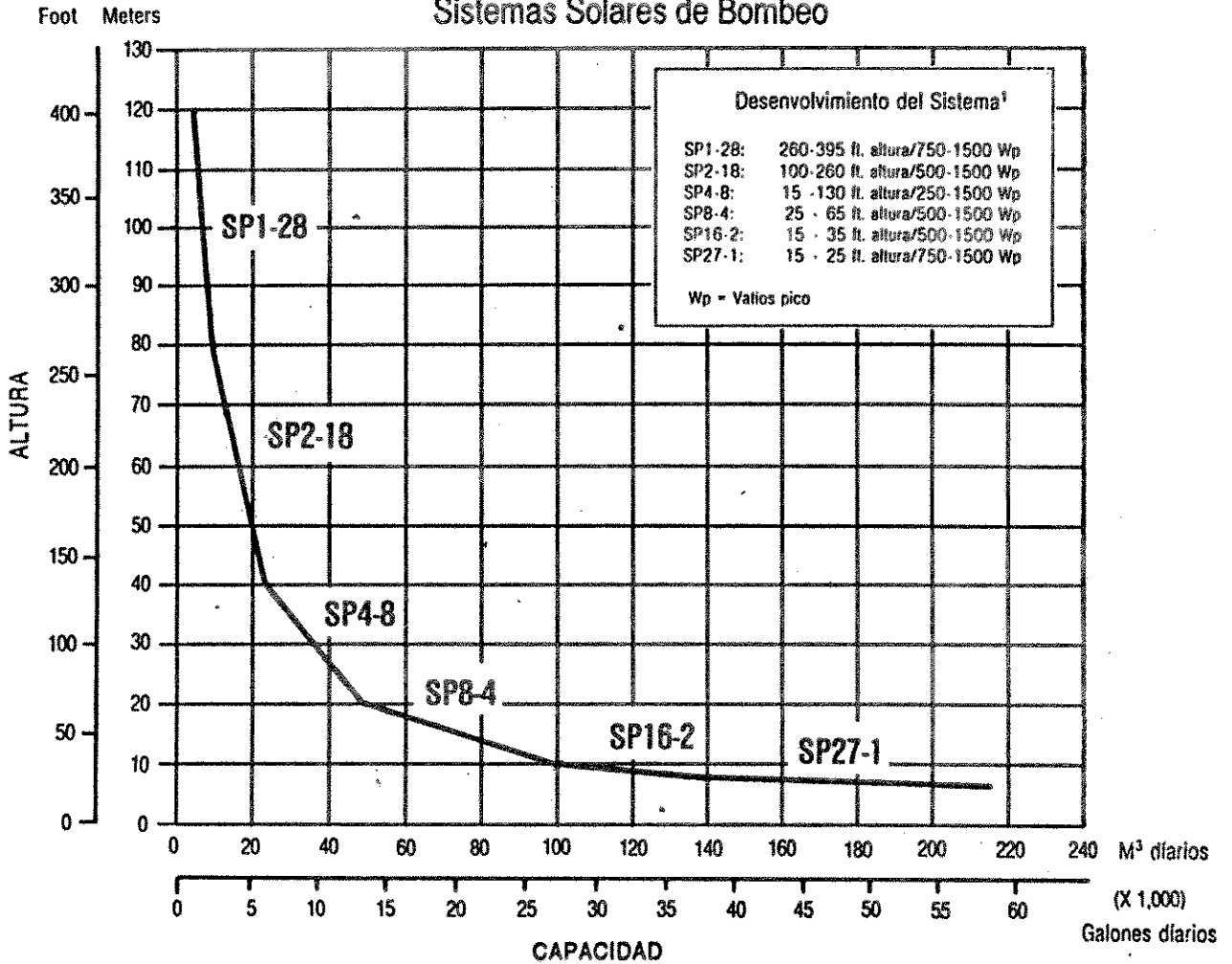


FIGURA VI-7

En el siguiente diagrama se puede observar la altura en pies vrs galones por minuto, en donde también está relacionada la energía suministrada

Bombas Grundfos para Aplicaciones Especiales Sistemas Solares de Bombeo



SP = modelo de la bomba marca Grundfos para aplicaciones especiales

Los dispositivos de control necesarios para proteger el sistema del ejemplo son:

- Guarda nivel; pumpmaster plus float switch SJE
- Interruptor termomagnético para corriente directa con tablero

- Varilla de cobre, tierra física

Existen variedades de paneles con capacidad de vatios, ¿cómo quedaría el arreglo del ejemplo si los paneles fueran de 75 watt?.

Si al usar paneles de 53 watt se necesitan 212 watt, y 12.36 amperios entonces:

$$\# \text{ de paneles de } 75 \text{ watt en serie} = \frac{212 \text{ watt}}{75 \text{ watt}} = 3$$

$$\# \text{ de paneles de } 75 \text{ watt en paralelo} = \frac{12.2 \text{ amperios}}{4.56 \text{ amp.}} = 3$$

Entonces la nueva configuración con paneles de 75 watt quedaría: 3 serie y 3 en paralelo

Si se quisiera utilizar un banco de baterías para aumentar las horas bombeo/día, por ejemplo, 8 horas /día ¿cómo se diseñaría el sistema?.

Como el ejemplo está diseñado para 5½ horas/día y si se quiere bombear 8 horas/día, entonces se tendrá un excedente de 2½ horas/día, que se tendría que compensar con un banco de baterías que se diseñara en tres (3) pasos:

- 1) Estimado burdo de baterías: utilizar esta ecuación para estimar aproximadamente el banco de baterías

presupuesto ajustado de energía * horas de autonomía =
estimado burdo de baterías en watt

212 watt * 2½ horas = 530 watt-hora, estimado burdo de baterías

- 2) Margen de seguridad para el diseño de baterías en watt-hora no se pueden descargar completamente las baterías sin afectar su vida útil. Utilizando un límite del 50% de descarga, le da un margen razonable de seguridad en el diseño del banco de baterías. Utilizar esta ecuación para tener un adecuado margen de seguridad :

Estimado burdo de baterías en watt-hora * 2 = tamaño seguro del banco de baterías en watt-hora

$$530 \text{ watt-hora} * 2 = 1060 \text{ watt-hora}$$

- 3) Tamaño seguro del banco de baterías en amperios-hora: se tendrá que convertir el tamaño estimado del banco de baterías a amperios-hora, ya que el almacenaje de energía en baterías se especifica en amperios-hora y no en watt-hora.

$$\text{banco de baterías amperios-hora} = \frac{\text{banco de baterías watt-hora}}{\text{voltaje del sistema corriente continua}}$$

En el ejemplo se tiene un sistema de 12 voltios corriente continua,

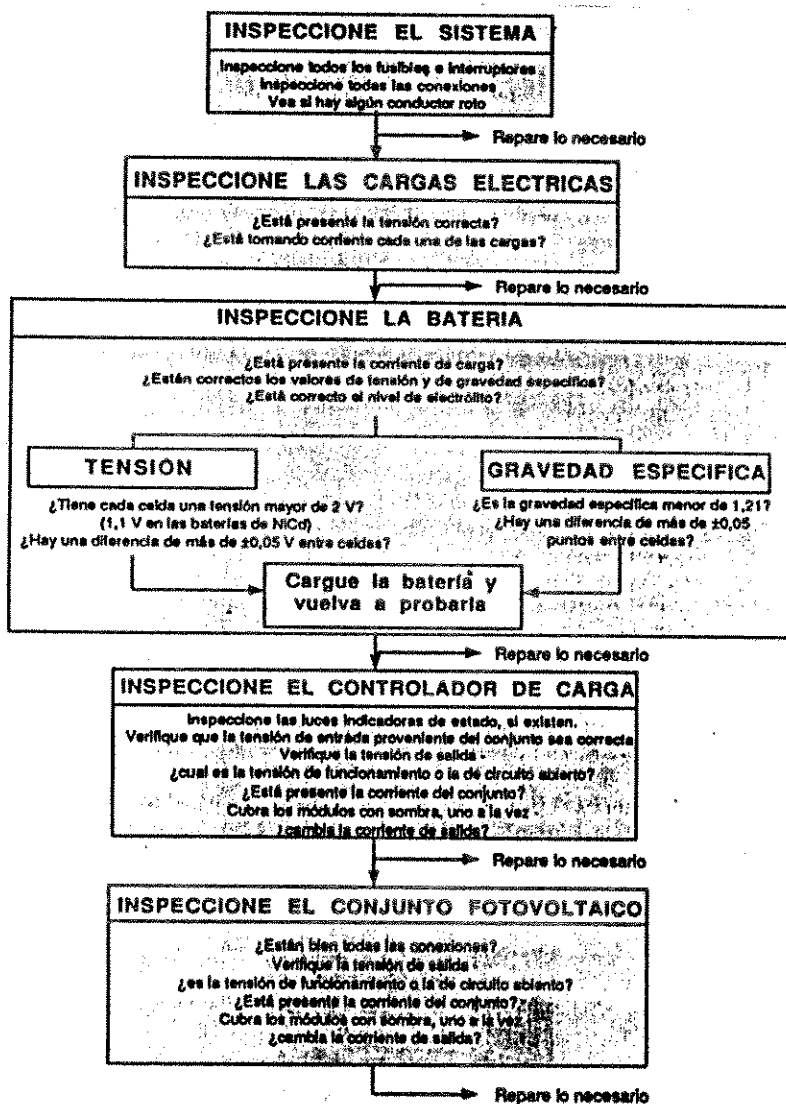
$$\text{banco de baterías amperios-hora} = \frac{1,060 \text{ watt-hora}}{12 \text{ voltios}} = 88 \text{ amp-hora}$$

Entonces si se quiere aumentar el bombeo 2½ horas, que es el número de horas de autonomía que se asumió en el paso No.1, se necesita una batería de 100 amperios-hora.

6.4.- PASOS PARA LA LOCALIZACION DE FALLAS EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

A continuación se presenta una guía general para encontrar averías en los sistemas fotovoltaicos independientes provistos de baterías. Buscar primero las cosas simples. Ver si hay fusibles quemados, disyuntores abiertos, o malas conexiones. Hacer las reparaciones necesarias. Ver el estado de las luces indicadoras del controlador, si existen. Después inspeccionar las cargas, los artefactos, bombas, etc. pueden tener un fusible quemado o haber fallado. Ver si la tensión disponible en la entrada de la carga tiene el valor correcto. Si tiene otra carga similar, enchufarla en ese circuito. Si esta carga funciona, entonces el artefacto original está defectuoso. Si no hay tensión o es incorrecta, verificar la tensión de la batería. Si la tensión correcta está presente en la salida, inspeccionar el circuito entre la batería y la carga. Recargar la batería si la tensión es baja. También se debe inspeccionar la tensión y gravedad específica de cada celda y ver si alguna está débil. Si la tensión de la batería es baja (menos de 11 V en un sistema de 12 V) el problema podrá ser el controlador. (¿Ha estado nublado el cielo por mucho tiempo? En este caso tal vez no hayan problemas en el sistema). Verificar la tensión de entrada al controlador. ¿Es igual a la tensión de la

batería? Si es así, el controlador tiene el conjunto conectado a la batería. ¿Fluye corriente de carga por el conjunto? Si la respuesta es afirmativa, se deberá desconectar la carga de artefactos y dejar que el conjunto recargue la batería. Si no fluye corriente o si la tensión en la entrada del controlador es igual a la tensión de circuito abierto del conjunto, el controlador puede haber fallado. Si se determina que el controlador está bien, inspeccionar el conjunto. Medir la tensión en la salida. Puede ser necesario desconectar el controlador y conectar el conjunto directamente a la batería. Medir la corriente. Cubrir con sombra cada módulo y ver si cambia la corriente. Se debe asegurar de retornar el sistema a su configuración original cuando se termine de localizar la falla. Ver figura No.V-8



Guía de localización de fallas.

FIGURA No.V-8

6.5.- EJEMPLO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZANDO NOMOGRAMAS.

Se utilizan los datos obtenidos en el ejemplo numérico:

Estación	Caudal(m ³ /día)	Carga Dinámica total (m)	Temperatura ambiente(°C)
Verano	20	33.33	30
Invierno	20	33.33	30

Lugar: municipio La Libertad, Departamento de Petén

PASO 1

Definir si la bomba es centrífuga o volumétrica, del diagrama Tipos de bomba versus régimen de bombeo, que se muestra en el apéndice C, se desprende que la bomba será de tipo volumétrica sumergible.

PASO 2

Partiendo del nomograma de energía hidráulica que se muestra en el apéndice C, se calcula la potencia de entrada al motor.

Del nomograma se obtiene que la potencia de entrada al motor en el punto E es de aproximadamente 3,900 watt-hora-día. Entonces

$$\text{potencia} = \frac{3,900 \text{ watt-hora-día}}{5.5 \text{ hora-día}} = 709.1 \text{ watt}$$

Para convertir de watt a HP se utiliza la siguiente regla de tres

$$\begin{array}{l} 1\text{HP} \text{ ----- } 745.7 \text{ watt} \\ X \text{ ----- } 709.1 \end{array}$$

$$X = 0.95 \text{ HP}$$

PASO 3

Definir la potencia del conjunto, a partir del nomograma de potencia del conjunto, que se encuentra en el apéndice C; del nomograma se desprende que con una potencia de entrada al motor de 3,900 watt-hora-día y con una insolación de 5.5 Kwatt-hora/m²-día la potencia que se necesita es de aproximadamente 840 watt.

CONCLUSIONES

- 1.- El bajo índice de electrificación rural y la incapacidad de la institución rectora, a nivel nacional, para atender esa demanda insatisfecha a nivel rural; ofrece una oportunidad competitiva a los proyectos de energía renovable, especialmente relacionados con el recurso fotovoltaico. Aspectos relacionados a la inaccesibilidad, falta de vías de comunicación, etc., encarecen aun más los proyectos convencionales y aquellos dependientes de combustibles externos.
- 2.- Para resolver las necesidades la inversión en recurso humano es tan necesaria como las inversiones en equipo. El espíritu de sostenibilidad con que han sido programados los proyectos, demanda que se continúe prestando atención al desarrollo de recursos humanos locales.
- 3.- Es una innovación tecnológica, para conocer nuevas alternativas que ayuden a solucionar los problemas de agua a nivel rural. Y contar con personal capacitado en ellas.
- 4.- La región posee un alto potencial para el desarrollo de proyectos de generación aislada y de bombeo de agua eólico-eléctrico, por la poca cobertura de la red de distribución de la energía eléctrica en Guatemala.
- 5.- Los resultados cambian en forma drástica con la velocidad del viento. A velocidades de viento muy pequeñas, como por ejemplo 2.5 metros/segundo, los sistemas electroeólicos no pueden competir; el sistema solar parece ser el mejor, para las demandas pequeñas y el diesel para las demandas más elevadas. A una velocidad de diseño de viento mayor, como por ejemplo 3 metros/segundo, el solar es el más barato, a demandas bajas, el electroeólico a demandas moderadas, y el diesel a demandas altas. No obstante, al aumentar la velocidad de diseño del viento, el sistema electroeólico toma la delantera como la opción más económica.
- 6.- La velocidad del viento a la que el sistema electroeólico se hace atractivo es un parámetro importante a determinar. La velocidad del viento exacta a la cual esto sucede dependerá de la aplicación.
- 7.- Los procedimientos para calcular los costos de un sistema de bombeo usando diesel o con energía eléctrica convencional se pueden aplicar a otros tipos de bombas, tales como las bombas accionadas por energía solar y las bombas accionadas por el viento. Es muy importante hacer la comparación basándose en el mismo servicio hidráulico por ejemplo el volumen de agua

suministrada diariamente en un punto común con el mismo grado de confiabilidad.

- 8.- Cuando se calculan los costos del bombeo de agua potable para diferentes sistemas de bombeo, en relación a las condiciones particulares de una aplicación específica en un sitio dado, los resultados dependerán mucho de algunos supuestos, por ejemplo, en general las bombas solares tendrán un costo más bajo en situaciones en donde el volumen de agua sea bajo y la carga dinámica muy alta, si la demanda de agua corresponde relativamente bien con la energía solar disponible.

RECOMENDACIONES

- 1.- Implementar proyectos piloto en sitios estratégicos que reúnan los criterios básicos de elegibilidad analizados en esta tesis y que se consideren de prioridad para los comunitarios. La implementación de los proyectos pilotos deben considerarse con carácter integral, buscando una participación total de los beneficiarios y sus líderes.
- 2.- Como parte del enfoque integral, se recomienda la implementación de un programa de capacitación, orientado a las organizaciones ejecutoras o acompañadoras de proyectos de las zonas de interés y de representantes locales de las comunidades a beneficiar. Dicho programa de capacitación, estará orientado al establecimiento de criterios y rutinas de trabajo, tanto en el campo técnico como organizacional, para asegurar estabilidad e independencia de los proyectos en el mediano y largo plazo.
- 3.- Evaluar la posibilidad de formar un subcomité de electrificación rural, dentro de los comités de desarrollo, a fin de respetar la organización local y evitar el recargo de trabajo. Este subcomité se constituiría en el receptor de capacitación y asistencia técnica, desarrollando la capacidad local para la sostenibilidad de los proyectos de energía renovable. Este proceso puede ser fortalecido con el desarrollo de reglamentos que normen el manejo y administración de los proyectos de energía renovable, tanto a nivel de usuarios finales, como de los miembros del subcomité.
- 4.- Considerando las necesidades de energía, tanto a nivel residencial como para aplicaciones comunitarias, se recomienda enfatizar proyectos de impacto rápido mediante energía renovable, que promuevan la generación de ingresos, empleo y seguridad alimentaria para las comunidades del área rural.
- 5.- Se recomienda establecer acuerdos con los servicios meteorológicos del área con el fin de administrar mejor la información y los recursos.
- 6.- Es necesario fomentar los recursos humanos, con capacidad en energía renovable.
- 7.- Las bombas accionadas por el viento pueden tener un costo más bajo que el de las bombas accionadas por energía solar, pero se recomienda que sean utilizadas en condiciones en donde la velocidad media del viento, durante el período de máxima demanda de agua, sea superior a 3 m/s (10.8 Km/hora).
- 8.- Es importante mencionar que la elección final de un sistema por bombeo no debe basarse exclusivamente en el costo, sino en

otros factores tales como confiabilidad y facilidad de mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- Azurdia Bravo, Ivan
Arriaza Morales, Hugo
De Leon, Otto

Manual de Capacitación
"Aplicaciones Productivas de la Energía
Renovable"
NRECA/CARES PROGRAM SANDIA NATIONAL LABORATORIES
Guatemala, 1,994, páginas 1-90

- 2.- Bastiaman A, Ricardo

Revista Proyecto Energético del Instituto
Argentino de la Energía General
"Energía del Viento y Diseño de Turbinas
Eólicas"
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos
Aires
Buenos Aires, 1,985, páginas 1-159

- 3.- Echeverria Cordova, Carlos Arturo

Tesis de graduación de ingeniero Electricista
"Energía Solar para la Estación Telefónica
Chanmagua, Chiquimula"
Facultad de Ingeniería, Universidad de San
Carlos de Guatemala
Guatemala, 1,990, páginas 29-91

- 4.- Giron Giron, Erwin Armando

Tesis de graduación de Ingeniero Electricista
"Energía Eléctrica por medio de Sistemas Eólicos
en Guatemala"
Facultad de Ingeniería, Universidad de San
Carlos de Guatemala
Guatemala, 1,990, páginas 24-51

- 5.- Godinez, Guillermo Ariel

"Análisis Preliminar Sobre Radiación y Brillo
Solar en Guatemala"
Guatemala, 1,995, páginas 3-6

6.- Huacruz Villamar, Jorge M.

"Tecnología Fotovoltaica y el Abastecimiento de
Agua Potable en Zonas Rurales"
Cuernavaca, Morelos, México, 1,993, páginas 1-11

7.- Morales Manchame, Edward

"El Viento en Centro América"
Guatemala, 1,994, páginas 6-8

8.- Ministerio de Energía y Minas

Dirección General de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía

"Fundamentos Sobre el Aprovechamiento Solar en
Guatemala" " Aplicación Sobre la Energía Solar
en Guatemala"
Guatemala, 1,992, páginas 9-42 y 34-35
respectivamente

9.- Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social - UNICEF

"Guía de Administración Operación y Mantenimiento de
acueductos rurales"
Guatemala C.A, páginas 1-41

10.- Thomas, Michael G.

"La Opción Solar Para el Bombeo de Agua"
Albuquerque, Nuevo México, USA, 1989, páginas
1-26

11.- Vernon Risser, V

"Manual de practicas Recomendables para
Proyectos de Sistemas Fotovoltaicos
Independientes"
Las Cruces, Nuevo México USA, 1,994, páginas 19-
66

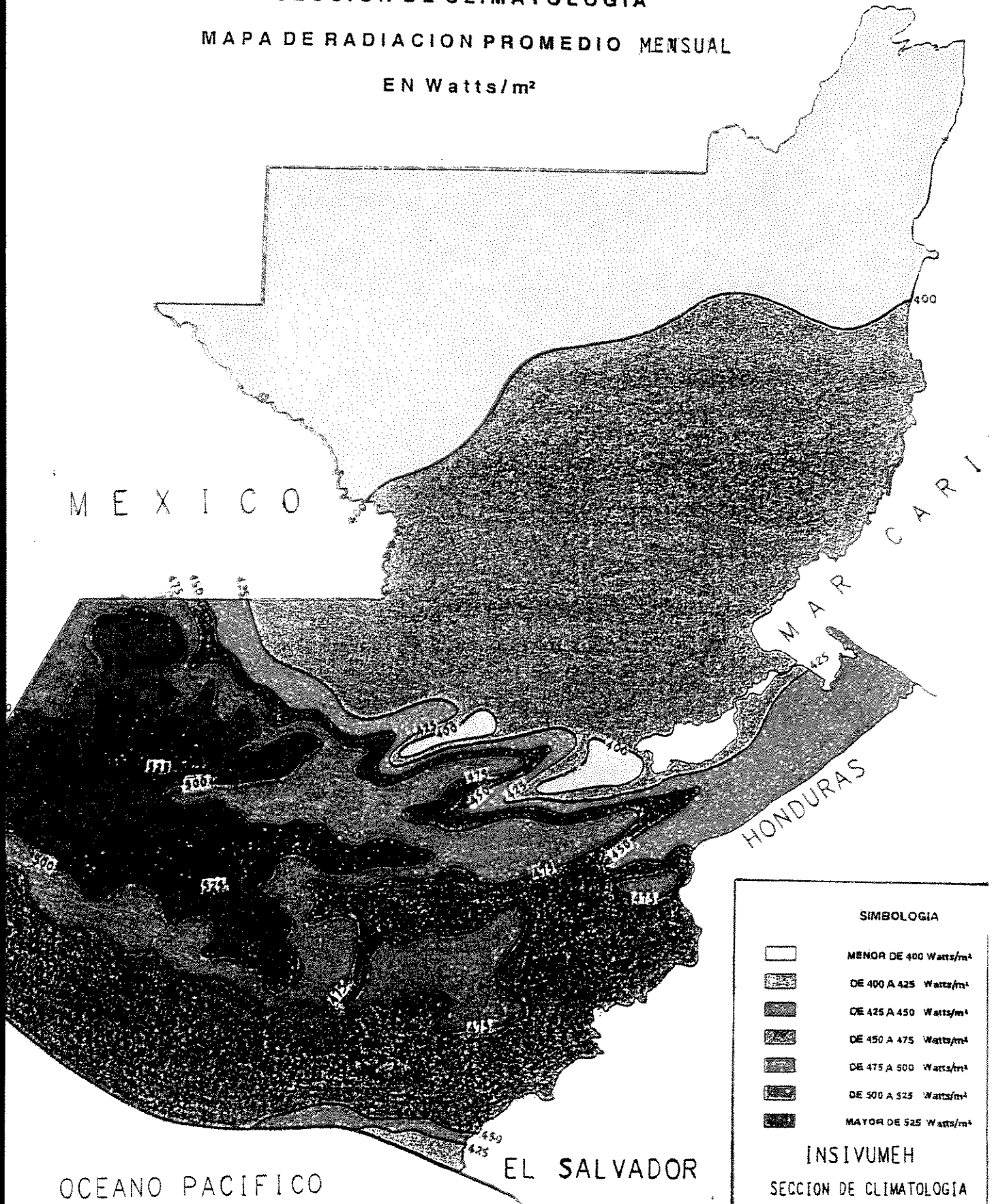
APENDICE A

INSIVUMEH

SECCION DE CLIMATOLOGIA

MAPA DE RADIACION PROMEDIO MENSUAL

EN Watts/m²



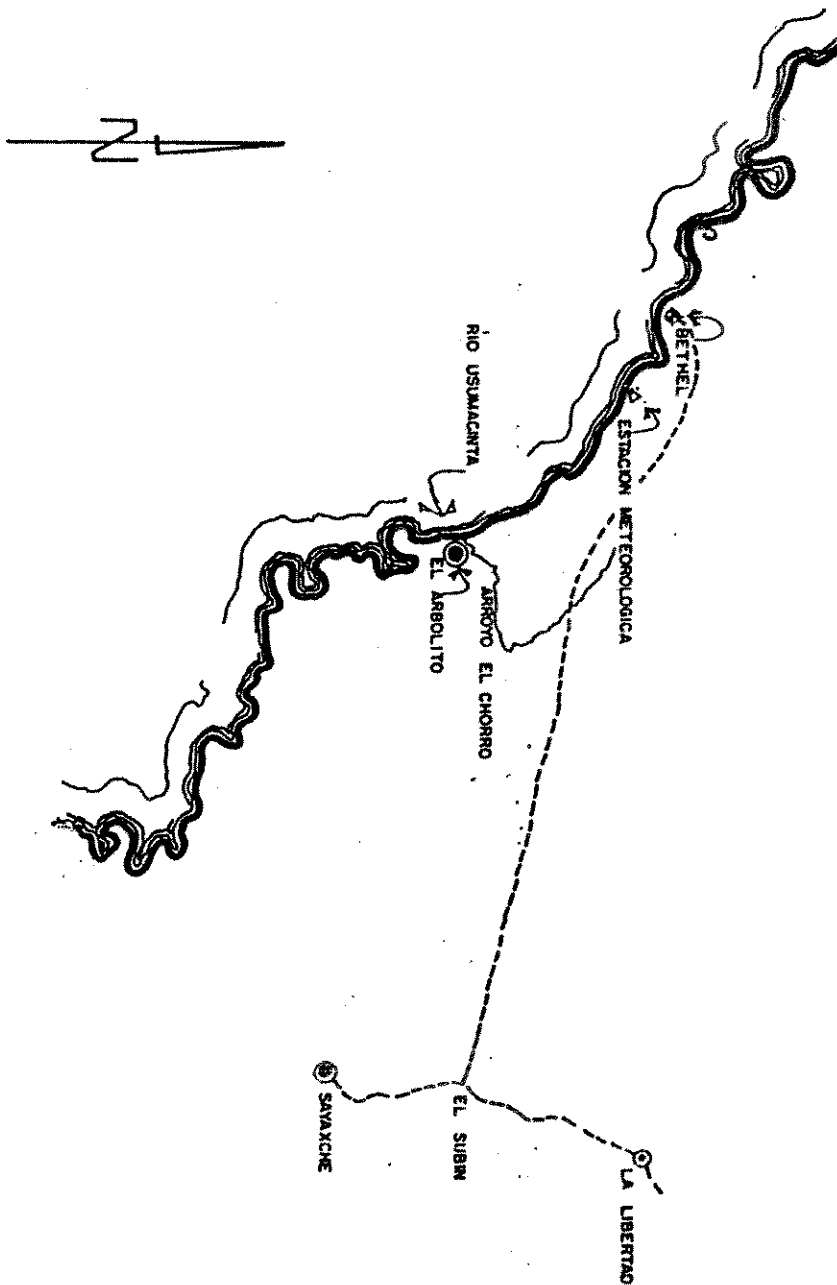
INSIVUMEH
SECCION DE CLIMATOLOGIA

Dibujó: AQUILES YILLEDA

APENDICE B

PLANO DE UBICACION

ESC. 1:500,000



217 — Pérdidas de carga locales en tuberías

DIAMETRO D mm pulg.	Codo 90° Radio largo		Codo 90° Radio medio		Codo 90° Radio corto		Codo 45°		Curva 90° R/D = 1		Curva 45°		Entrada normal		Entrada de Borda		Válvula de compuerta abierta		Válvula tipo globo abierta		Válvula de Angulo abierta		Té paso directo		Té salida lateral		Té salida lateral		Válvula de pie		Salida de Tubería		Válvula de retención tipo liviana		Válvula de retención tipo pesado		
	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.6	1.1	1.6																		
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4																		
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2																		
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0																		
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8																		
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.6																		
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1																		
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7																		
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	8.4	12.9																		
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1																		
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3																		
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0																		
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0																		
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0																		
350	14	7.3	9.5	10.3	5.3	4.4	5.4	2.5	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0																		

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

A.Y. McDonald's "Solar Sub" Performance

in U.S. Gallons Per Day (GPD) and Maximum Gallons Per Minute (MGPM)
Based on Standard Solar Day of 6 KWH/Sq.M.

HOW TO USE THE CHART

When the Depth To Water and Total Lift (Head) is known, select the column closest to the lift required.

Select the Gallons Per Day closest to the amount needed by moving down the selected lift column to find the best pump.

Move horizontally to the left to find the quantity of 53-Watt Modules required.

NOTE: G.P.D. are based on a good Solar Day of 6 KWH/Sq. Meter (Sun Intensity). Your pumping output will vary depending on the actual modules used, tilt angle and seasonal weather conditions as found in your geographical area.

CONVERSION FACTORS:

Meters to Feet:
Multiply Meters by 3.28

U.S. G.P.D. to Cubic Meters Per Day:
Divide G.P.D by 264.2

Feet of Lift to PSIG:
Divide Feet by 2.31

QUANTITY 53 WATT PV MODULES	AVER. SYS. WATTS	TOTAL VERTICAL LIFT IN METERS (FEET)						
		10M (33')	15M (49')	20M (65')	25M (82')	30M (98')	40M (131')	50M (164')
		PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM
4 2Series x 2Parallel	170	211008DM 4610 / 9.5	211008DM 1980 / 5.2	211012DK 1580 / 3.5	211012DK 990 / 2.5			
6 3Series x 2Parallel	250	211008DM 6720 / 14	211008DM 4040 / 10	211012DK 2540 / 5.6	211012DK 2075 / 4.6	211012DK 1380 / 3.6	211020DJ 490 / 1.5	
8 4Series x 2Parallel	340	211008DM 8830 / 18	211008DM 6190 / 14.5	211009DP 3655 / 10.4	211012DK 2905 / 6.7	211012DK 2320 / 5.7	211012DK 1175 / 3.6	211020DJ 560 / 1.8
9 3Series x 3Parallel	380	211008DM 9790 / 20	211008DM 7185 / 16.1	211009DP 4690 / 12	211012DK 3340 / 7.4	211012DK 2740 / 6.5	211012DK 1590 / 4.4	211020DJ 760 / 2.0
10 5Series x 2Parallel	420	211008DM 10590 / 21	211008DM 8020 / 17.6	211009DP 5470 / 13.2	211012DK 3685 / 7.9	211012DK 3090 / 7.0	211012DK 1960 / 5.1	211020DJ 960 / 2.5
12 4Series x 3Parallel	505	211008DM 12040 / 24	211008DM 9565 / 20.5	211008DM 6920 / 16	211009DP 5025 / 12.6	211012DK 3740 / 8.2	211012DK 2640 / 6.4	211012DK 1565 / 4.6
15 5Series x 3Parallel	630	211003DS 14570 / 37	211008DM 11750 / 24.6	211008DM 9190 / 21	211008DM 7120 / 17.6	211009DP 5520 / 14.2	211012DK 3615 / 8.4	211012DK 2650 / 6.9
16 4Series x 4Parallel	675	211003DS 16430 / 41	211008DM 12470 / 26	211008DM 9950 / 22.5	211008DM 7895 / 19.3	211009DP 6220 / 15.5	211012DK 3920 / 9.0	211012DK 2990 / 5.9
20 5Series x 4Parallel	840	211003DS 21460 / 48	211008DM 14660 / 29	211008DM 12340 / 26	211008DM 10230 / 23	211009DP 8510 / 19.6	211009DP 5810 / 15	211012DK 4070 / 9.2
25 5Series x 5Parallel	1050	211003DS 26270 / 56	211003DS 18910 / 45	211008DM 14830 / 30	211008DM 12800 / 27.5	211008DM 10890 / 24.5	211009DP 8190 / 19	211009DP 5760 / 15
30 5Series x 6Parallel	1260	211003DS 31300 / 65	211003DS 24150 / 55	211008DM 17260 / 34.5	211008DM 15420 / 32	211008DM 13370 / 29.5	211009DP 10210 / 23	211009DP 7930 / 19

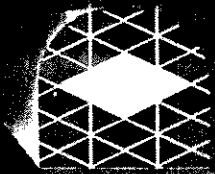
Continued except for 4, 6, 8, 9 and 10 module systems.

QUANTITY 53 WATT PV MODULES	AVER. SYS. WATTS	TOTAL VERTICAL LIFT IN METERS (FEET)						
		60M (197')	70M (230')	80M (262')	90M (295')	100M (328')	120M (394')	130M (426')
		PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM	PUMP MODEL NO. GPD / MGPM
12 4Series x 3Parallel	505	211020DJ 885 / 2.5	211020DJ 540 / 1.7	211020DJ 270 / 1.1				
15 5Series x 3Parallel	630	211012DK 1650 / 5.1	211020DJ 1035 / 3.0	211020DJ 710 / 2.2	211020DJ 480 / 1.7			
16 4Series x 4Parallel	675	211012DK 1975 / 5.7	211020DJ 1210 / 3.2	211020DJ 850 / 2.5	211020DJ 635 / 2.0			
20 5Series x 4Parallel	840	211012DK 3170 / 7.5	211012DK 2240 / 6.2	211012DK 1460 / 4.5	211020DJ 1150 / 3.2	211020DJ 880 / 2.6	211020DJ 380 / 1.4	
25 5Series x 5Parallel	1050	211012DK 4240 / 9.5	211012DK 3390 / 8	211012DK 2490 / 6.5	211012DK 1760 / 5.0	211020DJ 1420 / 3.6	211020DJ 885 / 2.5	211020DJ 670 / 2.0
30 5Series x 6Parallel	1260	211009DP 5720 / 15	211012DK 4250 / 9.5	211012DK 3410 / 8.3	211012DK 2770 / 7.2	211012DK 2110 / 6.0	211020DJ 1310 / 3.3	211020DJ 1100 / 3.0



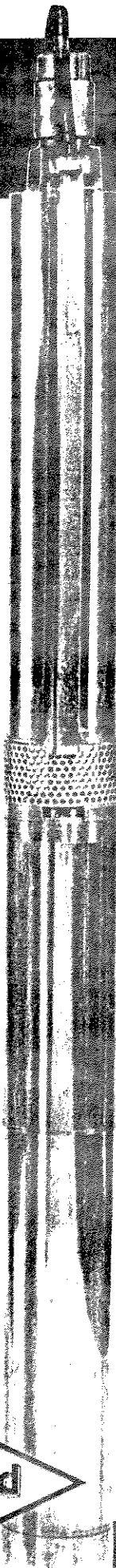
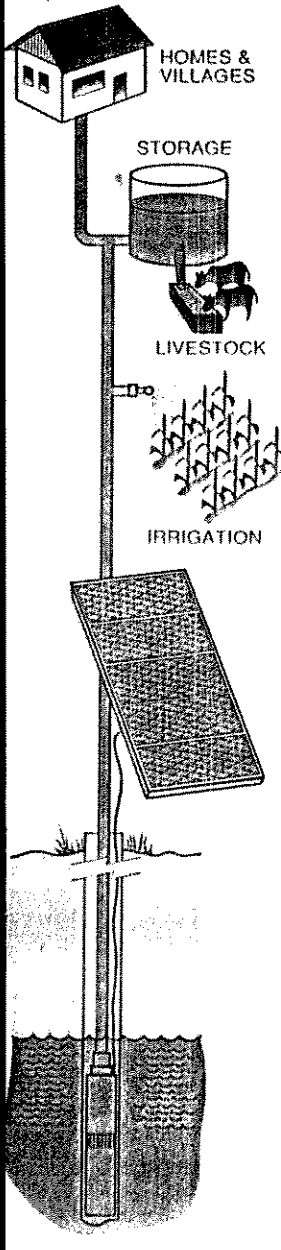
A.Y. McDonald Mfg. Co.

4800 CHAVENELLE RD. • P.O. BOX 508 • DUBUQUE, IA 52004-0508 • 319-583-7311
FAX 319-588-0720 • TOLL FREE 800-292-2737



A Variety of Applications...

Gravity systems for homes, villages, etc. Also available in pressurized systems.



A.Y. McDonald Mfg. Co. now offers an expanded line of "Solar Subs" to meet the needs for water in very remote, far-reaching areas. These brushless D-C Submersible pump/motor sets are most appropriate for village water supplies, livestock watering and homes where conventional electricity is inadequate or not available. Developed in the early 1980's, this equipment is proven versatile and dependable, with no annual maintenance required.

Solar Submersible Pumps Features:

- Corrosion resistant construction provides for long life and trouble free operation. Quality bearings inside the motor are lubricated with food-grade mineral oil and sealed to prevent water entry to assure years of service.
- Permanent magnet Brushless D-C motors provide maximum efficiency and require no maintenance.
- Operates from 24 to 100 volts D-C maximum with as little as 100 watts of power to as much as 1600 watts.
- State of the art electronics installed in every motor so there are no inverters or speed controls to add on later. Utilize simple 2-wire color coded connections. Red wire is positive (+) and black wire is negative (-). Grounding with a third wire is permissible.
- Power matching electronics sends power to the motor and makes use of every available watt from the photovoltaic modules. PV panel direct wiring allows the motor to run and pump even on less than ideal sunny days. No other power conditioners should be used.
- Torque and current limiting electronics protect the unit from damage due to a "locked-rotor" condition (from sand in the pump, etc.). Oscillating feature rapidly switches shaft rotation, if required, to dislodge foreign material from the impellers.
- Low water cut-off device protects the pump if running dry with high powered/high voltage PV arrays. This device automatically resets each night or can be manually reset by disconnecting power for at least 15 seconds. Lower powered systems are self-protecting in normal low-producing wells.
- The "stand alone" and isolated nature of PV water pumping systems reduces the potential of a burned out motor caused by a lightning strike that could travel down miles of conventional electric power lines.
- Most efficient use of photovoltaics - i.e.: produce D-C electricity from sunshine and match with D-C powered pump motor sets.
- Optional non-power matching models available for use with batteries, wind generators and "Gen-Sets." Specify "L" model (e.g. 211012DKL) if not connected "PV Panel-Direct."
- Built-in check valve prevents backspin on motor.
- No priming required as unit is submersible for best efficiency.
- Easy to install with minimal equipment and tools required.
- Flow rates to 6,000 U.S. G.P.H. (23,000 L.P.H.) or more with multiple pumps.
- Total dynamic head (lift) to 450 feet (140 meters) or more with multiple pumps.

Specification Data

For well diameters 4" ID (100MM) and larger

MODEL NO.	NOM. VOLTAGE	NOM. WATTS	DISCHARGE SIZE	LENGTH	WEIGHT
211008DM	90 VDC	1100	1 1/4" NPT	44"	50 lbs.
211009DP	90 VDC	1100	1 1/4" NPT	44"	50 lbs.
211012DK	90 VDC	1100	1 1/4" NPT	44"	51 lbs.
211020DJ	90 VDC	1100	1" NPT	53"	54 lbs.
211003DS	90 VDC	1100	2" NPT	44"	54 lbs.
211002DT	90 VDC	1100	2" NPT	44"	54 lbs.

(For higher capacity models, consult factory)
90+ GPM models require 4.5" (114MM) dia. wells.

A.Y. McDonald Mfg. Co.

4800 Chavanelle Road • P.O. Box 508 • Dubuque, IA 52004-0508
319-583-7311 • Toll Free 800-282-2737 • FAX 319-588-0720



Módulos de Potencia Solar



□ Cubierta de Vidrio

Alta Potencia	Voltios Nom.	Amps. a Potencia Máxima	Voltaje a Potencia Pico	Wattios (Nom.)	Dimensiones (cm)			Peso (Libras)
					Largo	Ancho	Espejor	
MSX-120	*12 ♦▲	7,00A	17,1V	120,0W	112,8	99,1	5,0	18,0
MSX-83	12 ♦▲	4,85A	17,1V	83,0W	111,3	66,0	5,0	9,5
MSX-77	12 ♦▲	4,56A	16,9V	77,0W	111,3	66,0	5,0	9,5
MSX-64	*12 ♦▲	3,66A	17,5V	64,0W	111,3	50,2	5,0	7,2
MSX-60	*12 ♦▲	3,50A	17,1V	60,0W	111,3	50,2	5,0	7,2
MSX-50CP	8 ♦▲	4,46A	11,2V	50,0W	111,3	50,2	5,0	7,2
Potencia Media								
MSX-50	*12 ♦▲	2,92A	17,1V	50,0W	94,2	50,2	5,0	6,3
MSX-40	*12 ♦▲	2,34A	17,1V	40,0W	77,0	50,2	5,0	5,4
MSX-30	*12 ♦	1,75A	17,1V	30,0W	59,7	50,2	5,0	3,9
MSX-18	*12 ♦	1,10A	16,8V	18,5W	42,7	50,2	5,0	3,0
Potencia Baja								
MSX-10	*12 ■	0,58A	17,1V	10,0W	42,0	26,9	2,3	1,5
MSX-5	*12 ■	0,27A	16,8V	4,5W	26,9	24,9	2,3	0,8
OEM								
MSX-01	6	150mA	8,4V	1,2W	12,7	12,7	0,3	0,11
MSX-005	3	150mA	3,7V	0,5W	11,4	6,6	0,3	0,05
□ Serie Liviana								
MSX-30L	12 ■	1,75A	17,1V	30,0W	61,6	49,5	0,9	2,2
MSX-18L	12 ■	1,10A	16,8V	18,5W	44,4	49,5	0,9	1,5
MSX-10L	12 ■	0,58A	17,1V	10,0W	44,4	26,7	0,9	0,8
MSX-5L	12 ■	0,27A	16,8V	4,5W	27,3	26,7	0,9	0,5
□ Marina								
MSX-38MM	12	2,33A	16,8V	39,0W	71,1	71,1	4,8	10,1
MSX-20MM	12	1,17A	17,2V	20,0W	55,9	55,9	4,8	6,5
□ Militar								
MSX-28MQL	24	0,80A	34,0V	28,0W	102,4	31,6	2,0	5,0
MSX-14MDL	12	0,80A	17,0V	14,0W	51,0	31,6	2,0	2,5
MSX-10ML	12	0,26A	33,0V	8,5W	44,4	26,7	0,9	2,0

♦ Puede ser conectado para 6 6 12 voltios. ▼ Puede ser conectado para 4 6 8 voltios. ■ Puede comprarse en 6 6 12 voltios.
▲ AHORA CON 20 AÑOS DE GARANTIA. *UL Listed

Descripción

Módulos grandes para aplicaciones de alta potencia; marco de aluminio anodizado reforzado y caja de conexiones versátil para conexiones rápidas y herméticas. Vidrio templado bajo en hierro, con laminación EVA/Tecllar, diseñado para una duración de más de 20 años.

Módulos de tamaño medio para aplicaciones de potencia mediana; con las mismas características que la de los módulos de alta potencia.

Marco de bajo perfil para montaje múltiple, cable de 15 pies.

Laminado resistente a la intemperie, carga de baterías pequeñas.

Ligero, irrompible, construcción sin vidrio con sustrato de aluminio, arandelas aislantes para montar; cable revestimiento de polietileno.

Marco con empaquetadura comprimida y reverso cubierto; montaje con cable sellado.

Construcción irrompible sin vidrio; amperímetro integrado y caja de metal protectora en los MSX-28MQL y MSX-14MDL.

□ Cubierta de Vidrio

Baja Potencia	Voltios Nom.	Amps. a Potencia Máxima	Voltaje a Potencia Pico	Wattios (Nom.)	Dimensiones (pulgadas)			Peso (Libras)
					Largo	Ancho	Espejor	
SA-5	*12	290mA	17,5V	5,1W	34,6	34,6	2,3	1,5
SA-2	*6	290mA	7,5V	2,2W	34,6	17,2	1,3	0,6
SA-2/12	*12	145mA	14,5V	2,2W	34,6	17,2	1,3	0,6
SA-1	*12	80mA	17,5V	1,4W	33,0	12,4	1,3	0,4
MSA-5	12	290mA	17,5V	5,1W	34,6	31,2	2,3	1,1
MSA-10	12	580mA	17,5V	10,2W	67,4	31,2	2,3	2,1
OEM								
SA-06145	6	145mA	7,5V	1,1W	31,6	15,8	0,7	0,05
SA-0640	6	40mA	7,5V	0,3W	15,8	5,9	0,7	0,05
SA-0590	5	98mA	4,6V	0,5W	11,0	10,1	0,7	0,05

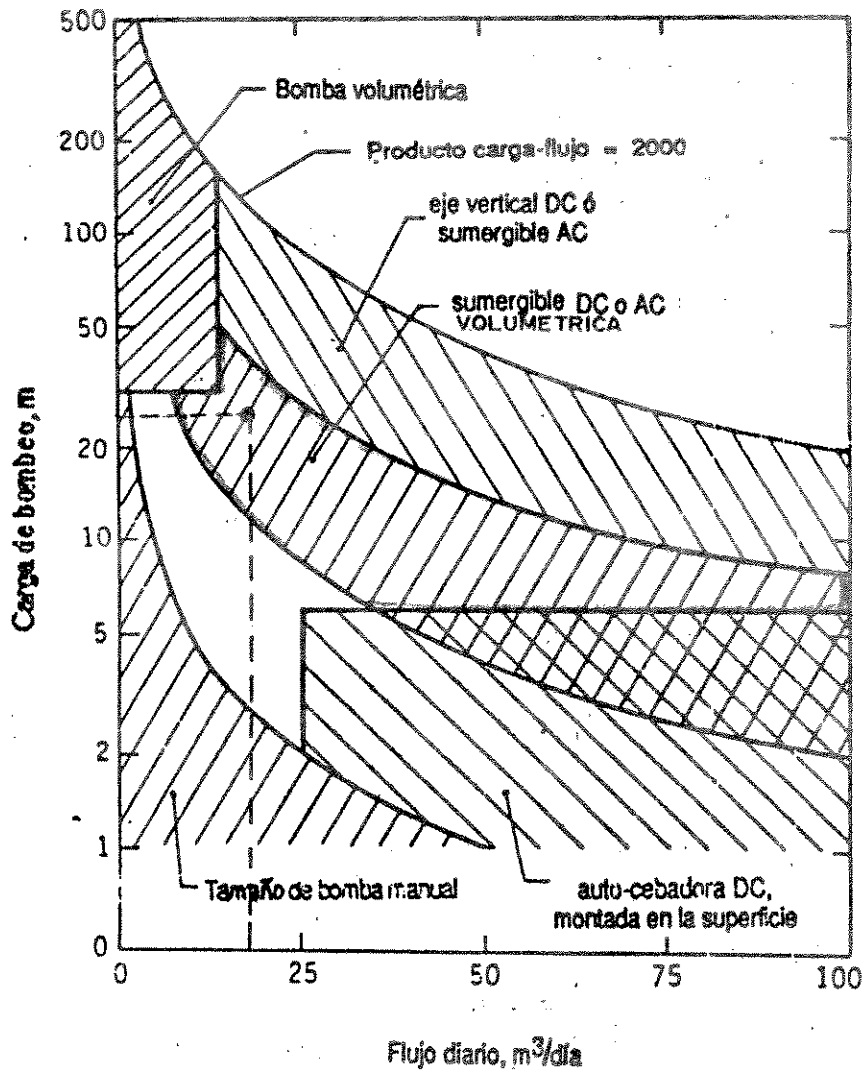
Descripción

Módulos económicos para cargar baterías de baja potencia; marco moldeado con parte posterior cubierta y cable de conexión incluido.

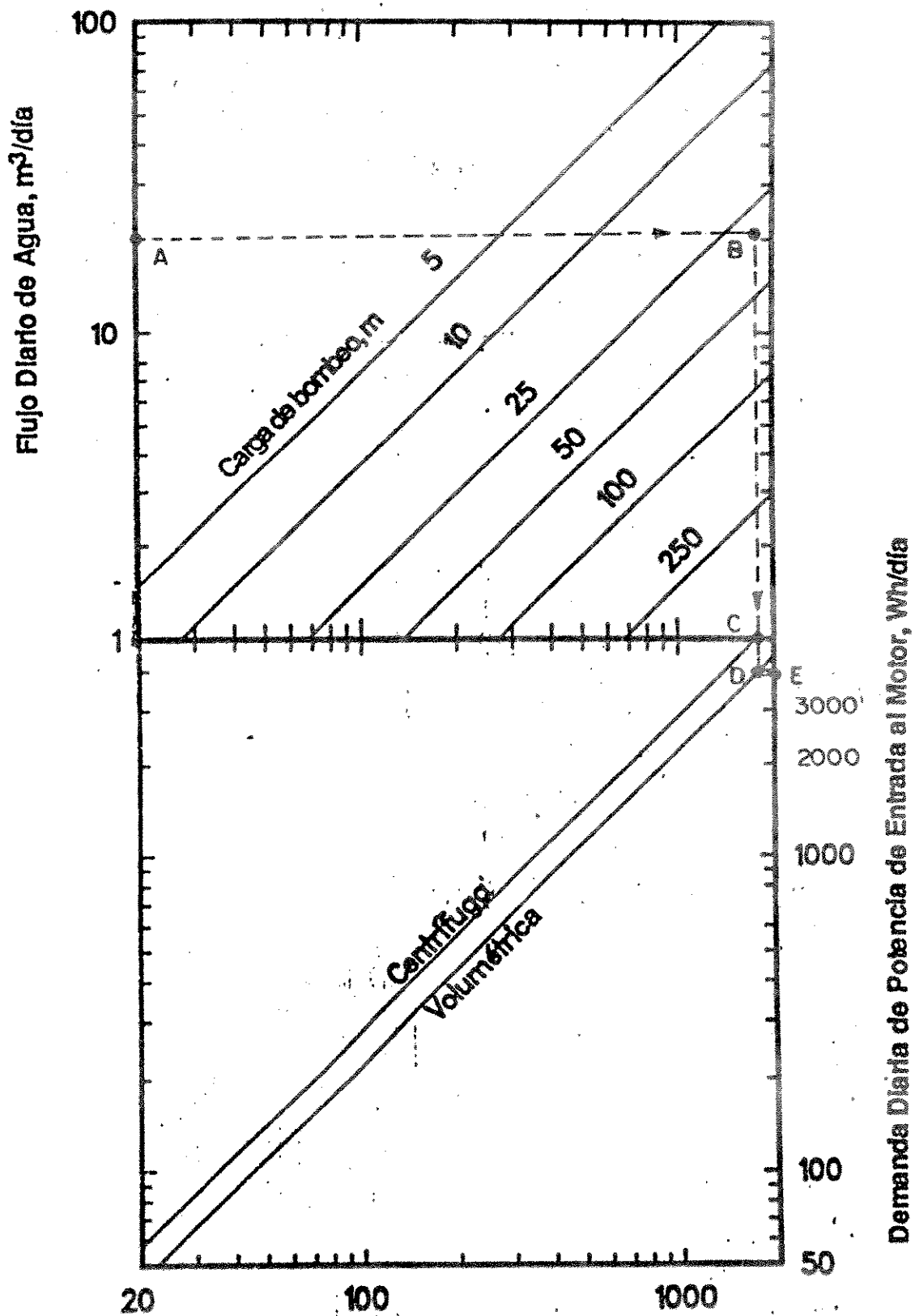
Marco de bajo perfil para montaje múltiple, cable de 10 pies.

Componentes de cubierta de vidrio, de bajo costo para aplicaciones de baja potencia.

APENDICE C



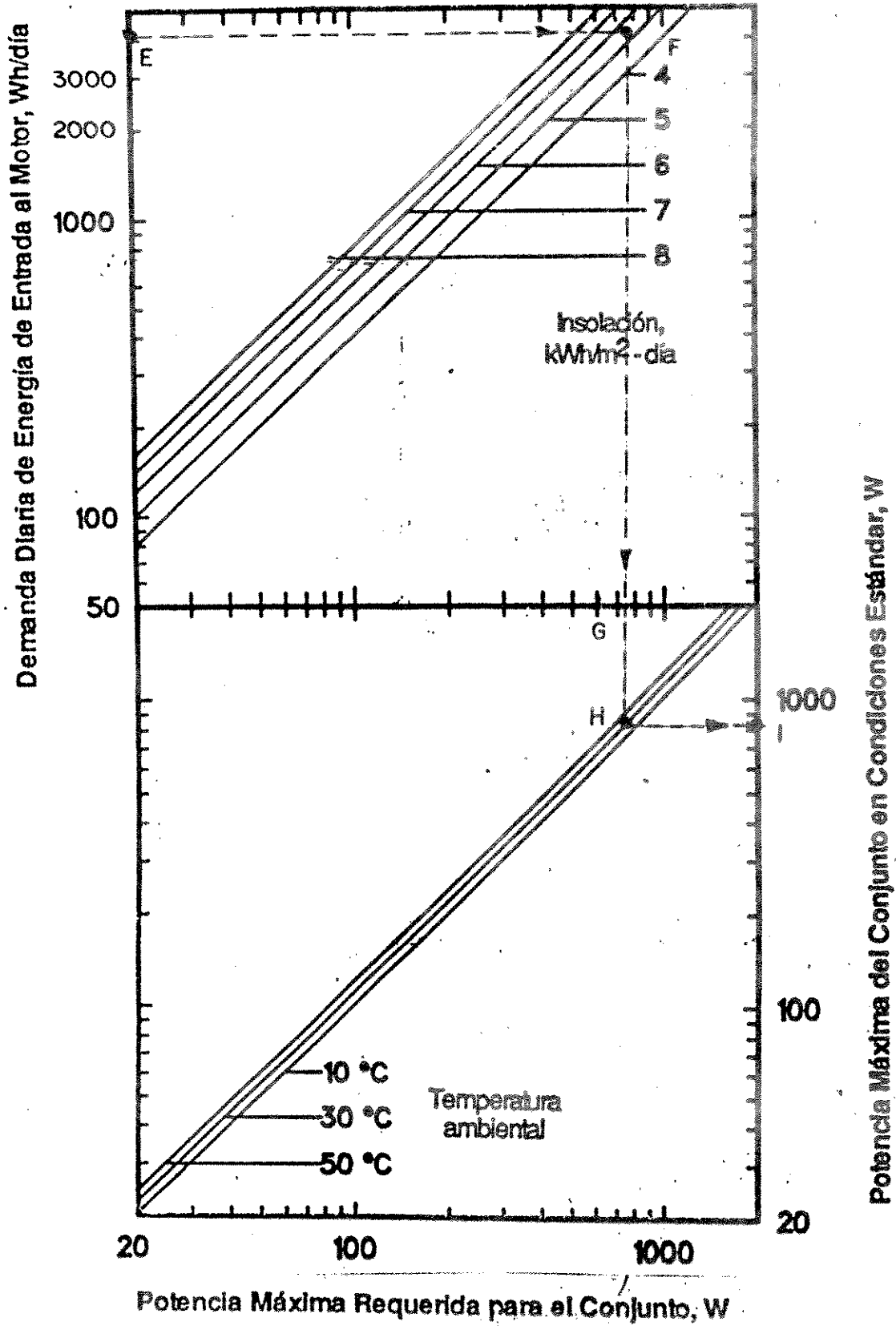
Tipos de Bomba Vrs. Régimen de Bombeo



Energía Hidráulica Diaria, Wh/día

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

Nomograma de Energía Hidráulica



Nomograma de Potencia del Conjunto