



T-IXD.
658.5.
TOTe.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Estudio de Factibilidad para la Instalación de un Sistema Híbrido para Generación de Electricidad en la Isla Santa Cruz”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presentada por:

Giancarlo Toti Amaya

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2005

AGRADECIMIENTO

ING. MEC. IGNACIO

WIESNER F.

Director de tesis, por su
ayuda y colaboración para la
realización de este trabajo.

DEDICATORIA



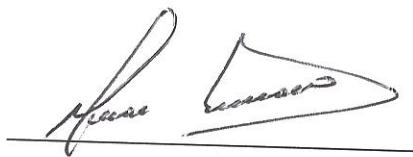
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

A DIOS

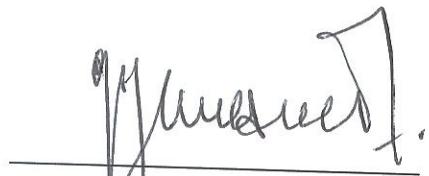
A MI ESPOSA

A MIS PADRES

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Omar Serrano V..
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



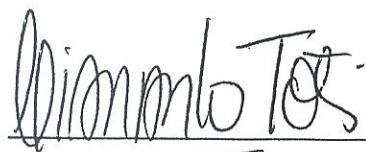
Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).





Giancarlo Toti Amaya

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es determinar la factibilidad técnica y financiera, para la instalación de un sistema Híbrido Fotovoltaico – Diesel capaz de suministrar y cubrir las necesidades eléctricas básicas de un conjunto de viviendas rurales unifamiliares, ubicado en la parroquia El Camote en la isla Santa Cruz en la provincia de Galápagos.

El conjunto habitacional se extiende sobre una superficie de 6000m² dividido en 6 lotes de 1000m² cada uno. Cada lote conformará una unidad habitacional con 1 casa de aproximadamente 90m², las cuales serán habitadas por familias de 4 a 5 integrantes.

Para establecer la factibilidad técnica se evaluaron las condiciones de irradiación en la zona donde se encuentra el conjunto habitacional, específicamente el mes menos favorable de irradiación que es el mes de agosto con 12.7 MJ/m². Además se determinó el consumo energético diario por unidad habitacional 1200 W-h y consumo de todo el conjunto habitacional 7200 W-h. Por medio de estas dos consideraciones y tomando en cuenta las características técnicas de los diferentes equipos necesarios que conforman el sistema híbrido de generación eléctrica se procedió a realizar los respectivos cálculos para establecer el dimensionamiento adecuado capaz

de cubrir con las necesidades energéticas del conjunto habitacional. Se estimó un presupuesto para la instalación del sistema híbrido de generación el cual incluye una estructura de soporte a mas del cableado, materiales y mano de obra, el presupuesto asciende a \$4590. En lo concerniente al mantenimiento, se establecieron las operaciones necesarias a realizar y la periodicidad de las mismas. Luego se identificaron las inversiones del proyecto tomando en consideración los resultados arrojados por el estudio técnico las cuales fueron de un total de \$46738 para el caso del sistema netamente fotovoltaico y de \$40227 para el sistema híbrido. Para efectos de la amortización del proyecto se consideró una vida útil de proyecto de 20 años.

ÍNDICE GENERAL

	Pág:
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII

CAPITULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de Condiciones Actuales Referentes a la Generación Eléctrica en el Archipiélago.....	3
1.2 Descripción del Conjunto Habitacional y Ubicación.....	5
1.3 Evaluación de las Condiciones Históricas Medio Ambientales.....	7
1.4 Evaluación de Componentes del Sistema.....	7



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA 'GONZALO ZEBALLO'
F.I.M. C.P.

CAPITULO 2

2. ESTUDIO TECNICO

2.1 Cálculos de Demanda Energética por Unidad Habitacional.....	33
2.2 Selección del Sistema a Instalar.....	37

2.3 Estimación de Presupuesto de Instalación.....	45
2.4 Plan de Mantenimiento del Sistema.....	47

CAPITULO 3

3. ESTUDIO FINANCIERO

3.1 Inversiones del Proyecto.....	53
3.2 Amortización del Proyecto.....	56
3.3 Financiamiento.....	57

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....58

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

A	amperio
Ah	amperio-hora
e	constante = 2.7182818
g	gramo
Gal	galón
h	hora
i	intensidad eléctrica
I	intensidad radiante o irradiancia
J	julio
lt	litro
m	masa
m	metro
m^2	metro cuadrado
m^3	metro cúbico
MJ/m^2	mega julio por metro cuadrado
s	segundo
t	temperatura ($^{\circ}C$)
t	tiempo
V	tensión eléctrica
V	voltio
W	vatio
W/m^2	vatio por metro cuadrado
Wh	vatio-hora





SIMBOLOGIA

A.C.	corriente alterna
B	grados Desviación respecto al meridiano
C	capacidad de un acumulador
C _u	capacidad utilizable de un acumulador
DOD	profundidad de descarga
D.C.	corriente continua
E	energía
E _p	Energía que deben producir los paneles
E _t	Energía diaria teórica total requerida
FF	Factor de forma
FV	fotovoltaico
Fs	Factor de seguridad
G	irradiancia global
H	irradiación
H	irradiación total sobre horizontal
H.S.P	horas de sol pico
I _{cs}	Intensidad de consumo simultáneo
I _{fs}	Intensidad del fusible de seguridad
i	grados Inclinación de los paneles
i _{sc}	Corriente de cortocircuito
k	conductividad
k	factor conversión para superficies inclinadas
K _a	Coeficiente de auto descarga
K _c	Pérdidas en el convertidor
K _b	Pérdidas por rendimiento en acumulador
K _v	Otras pérdidas (pérdidas varias)
L	latitud
L	longitud del tramo
n	índice de refracción
N	día Número de días de autonomía
P	potencia
Q	energía radiante
R	resistencia eléctrica

r	reflexión de una superficie
P_d	Profundidad máxima de descarga
P_M	Potencia máxima
P_{rcs}	potencia real de consumo simultáneo
S	Sección del conductor
V_{oc}	Voltaje a circuito abierto



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Consumo de Combustible y Nivel de Emisiones de Gases	
	Efecto Invernadero en la Isla Santa Cruz.....	4
Tabla 2	Consumos Medio Diarios Estimados por	
	Unidad Habitacional.....	34
Tabla 3	Consumos Medio Diarios Estimados por Unidad	
	Habitacional.....	35
Tabla 4	Intensidades por Unidad Habitacional.....	36
Tabla 5	Intensidad Total para el Conjunto.....	37
Tabla 6	Costos de Instalación.....	46
Tabla 7	Relación entre Distancia Máxima y Consumo Anual	
	Máximo.....	54
Tabla 8	Costos del Sistema Fotovoltaico.....	55
Tabla 9	Costos del Sistema Híbrido.....	55
Tabla 10	Cuadro Comparativo entre SFV y Sistema Híbrido.....	56
Tabla 11	Costos de W Instalado por cada Sistema.....	56



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Plano de Casa Modelo.....	6
Figura 1.2 Celdas Fotovoltaicas.....	10
Figura 1.3 Curva Intensidad Voltaje (I-V).....	13
Figura 1.4 Paneles de Celdas Cuadradas.....	16
Figura 1.5 Sistema Híbrido de Generación Eléctrica.....	32
Figura 2.6 Instalación de Paneles.....	47

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1

Conjunto Habitacional. Sistema Híbrido de Generación
Eléctrica



INTRODUCCIÓN

Es una iniciativa privada que nace como un aporte independiente y que está acorde con los programas impulsados por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que pretenden sustituir el 70% de la generación termoeléctrica actual por otra proveniente de fuentes renovables de energía y de esta forma conseguir disminuir los riesgos asociados al transporte de combustibles fósiles y mejorar la autonomía energética de las Islas y disminuir la contaminación ambiental por gases de combustión.

Para el diseño del sistema de generación se utilizó la información producida en el análisis de datos meteorológicos, el estudio y caracterización de la demanda, y diversa información de orden técnico propio de equipos similares a los que se pretenden instalar en las Islas Galápagos.

El diseño parte del principio de que cuando existe irradiación solar, la demanda eléctrica existente en el momento se debería tratar de satisfacer con energía renovable. Cuando esta no sea suficiente se debería respaldar con energía de baterías o con generación térmica fósil (diesel), dependiendo del nivel de demanda de electricidad. Pero en el caso de que haya suficiente recurso renovable se cargan las baterías y/o se atienden cargas eléctricas secundarias. Si todavía así existe excedente, se debe disipar electricidad en forma de calor.

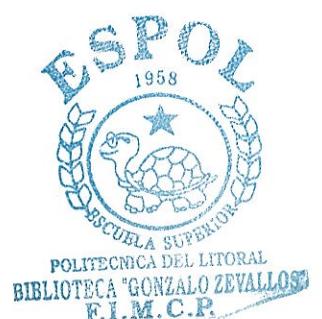
Se consideró el abastecimiento de energía eléctrica mediante sistemas híbridos debido a la disponibilidad del recurso en una región de alto riesgo ambiental, y cuyas características de consumo de electricidad se encuentran a una escala interesante para este tipo de aplicación.

Se define como sistema híbrido a aquel que se vale de varias fuentes de generación de energía eléctrica. En este caso se utilizará una fuente renovable que es el caso de la energía fotovoltaica y una fuente de generación térmica fósil, que será un generador a diesel.



CAPITULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA



1.1 Descripción de Condiciones Actuales Referentes a la Generación

Eléctrica en el Archipiélago

La energía eléctrica en la isla Santa Cruz actualmente se obtiene mediante generación termoeléctrica de materias fósiles. La producción y abastecimiento del servicio eléctrico viene dado por la compañía ELECGALAPAGOS. Esta compañía posee una capacidad de generación instalada de 4350 Kwh. nominal/3480 Kwh. efectiva. La cual viene dada por 6 grupos electrógenos alimentados por diesel; 5 de una capacidad de 650 Kwh. nominal/520 Kwh. efectiva y 1 de una capacidad de 1100 Kwh. nominal/880 Kwh. efectiva. Estos grupos funcionan en forma alternada de tal manera de poder cubrir una demanda que alcanza los 2800 Kwh. en las horas pico.

El consumo actual de combustible para poder cubrir la demanda eléctrica esta en el orden de los 90.000 Gal. mensuales.

El sistema actual presenta riesgos que afectan al medio ambiente y exige de medidas de contingencia y control de impactos ambientales muy eficientes tecnológicamente. Los principales daños causados se deben al mal manejo de los combustibles y de las emisiones a la atmósfera.

TABLA 1

**CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVEL DE EMISIONES DE GASES
EFECTO INVERNADERO EN LA ISLA SANTA CRUZ.**

Consumo Específico (Gal./Kwh.): 0.086

Consumo Específico (lt./Kwh.): 0.325

Generación anual	12.855
Consumo de Combustible Anual (lt.)	4.087.800
Emisiones Anuales de CO ₂ (Kg.)	11.102.464
Emisiones Anuales de NO _x (Kg.)	118.546

La tarifa actual establecida para uso residencial es de 9 centavos por Kwh. Con esta tarifa se cubren todos los costos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.



1.2 Descripción del Conjunto Habitacional y Ubicación

El conjunto habitacional se extiende sobre una superficie de 6000m² dividido en 6 lotes de 1000m² cada uno. Cada lote conformará una unidad habitacional con 1 casa de aproximadamente 90m², las cuales serán habitadas por familias de 4 a 5 integrantes. Este se encuentra ubicado a 12 Km. al noreste de Puerto Ayora, en la parroquia rural el Camote en la parte alta de la isla Santa Cruz. (Ver plano 001).

Las casas son de diseño bioclimático, tienen paredes y techos con aislamiento de poliuretano, de manera que el acondicionamiento mecánico de aire reduce la alta humedad y las paredes aisladas reducen la transmisión del calor permitiendo menor uso de electricidad. Los paneles prefabricados que se emplean en techos y paredes de la vivienda son de acero galvanizado prepintados con pintura poliéster blanco. El núcleo de las paredes es de espuma rígida de poliuretano de alta densidad (38Kg/m³), que es un excelente aislante térmico y

acústico. Las caras internas de las paredes están forradas con materia Yeso.

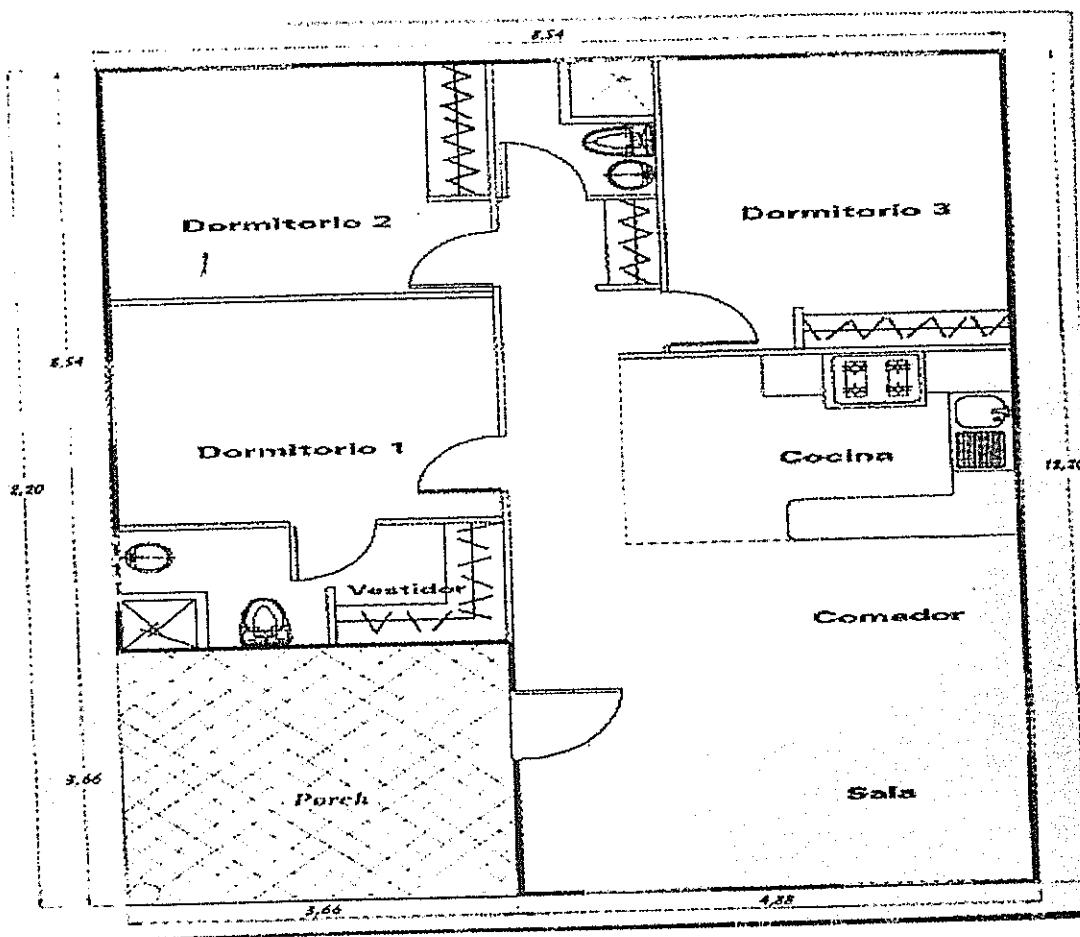


FIGURA 1.1 PLANO DE CASA MODELO

1.3 Evaluación de las Condiciones de Medio Ambientales Históricas

La evaluación de las condiciones medioambientales parte con el análisis de una base de datos fiable para poder definir el potencial en energías renovables del proyecto. La base de datos recopila la información sobre la radiación solar directa en dos estaciones en la isla Santa Cruz medidas en W/m². (Ver apéndice A y B)

1.4 Evaluación de Componentes del Sistema

Panel solar.- Se denomina panel o modulo fotovoltaico al conjunto de células usualmente de silicio que generan alrededor de medio voltio cada una y una potencia máxima de 2 vatios, que conectadas entre si pueden producir tensiones de 6, 12 ó 24 voltios. Para producir un panel de 12 voltios nominales, se suelen necesitar entre 30 y 40 células, según las características de las mismas.

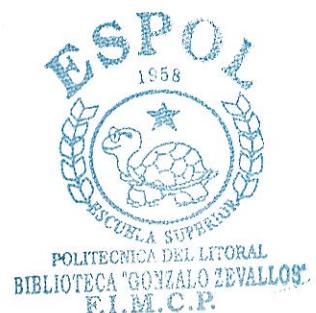
Una vez interconectadas, las células son encapsuladas en una estructura tipo sándwich, consistente en una lamina de vidrio templado, otra de un material orgánico adecuado, por ejemplo, acetato de etilen-vinilo (EVA), las propias células, otra capa de sustrato orgánico y por ultimo, una cubierta posterior formada por varias laminas de polímetros u otro vidrio.



La estructura de cada modelo de panel difiere de un fabricante a otro. Se procede posteriormente a un sellado al vacío, introduciéndolo en un horno especial para su laminación, haciéndose estanco el conjunto. Por ultimo, se rodea el perímetro del panel con neopreno o algún otro material que lo proteja de las partes metálicas que forman el marco-soporte, en caso de que lo lleve.

Los paneles adoptan, siempre la forma cuadrada o rectangular, con áreas que van desde aproximadamente 0.1 m² hasta 1 m². El grueso total, sin incluir el marco protector, no suele superar los 3 cm. Son relativamente ligeros (un panel de unos 0.5 m² puede pesar 6 o 7 Kg.) y aunque son rígidos en apariencia, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos mecánicos a que pudieran verse sometidos.

Los paneles que se encuentran en el mercado constan de ciertas características físicas o de construcción como las de respuesta eléctrica, las mismas que varían dependiendo de cada fabricante. Entre los características físicas de un panel solar encontramos:



- Una cubierta de vidrio templado (en algunos modelos se utilizan materiales orgánicos especiales).
- Varias capas de material encapsulante a base de siliconas u otros productos orgánicos que tengan una alta transmisión de la radiación y una baja degradabilidad a la acción de la misma durante largo tiempo, su precio moderado y su eficaz protección contra la corrosión. Las superficies recubiertas con estos geles adquieren un carácter hidrófobo, lo que evita que la humedad se condense y se creen vías de agua, permitiendo que el material respire, manteniendo así el nivel de humedad por debajo de los valores críticos.
- Una o varias cubiertas protectoras posteriores, también de vidrio o, más frecuentemente, TEDLAR o algún otro material análogo. Las cubiertas posteriores opacas y de color claro presentan la ventaja adicional de reflejar la luz que ha logrado pasar por los intersticios de las células, haciendo que esta vuelva hacia la parte frontal del panel, donde puede ser de nuevo reflejada por la cara interior de la cubierta frontal e incidir otra vez sobre las células.
- Un marco de acero inoxidable o de aluminio anodizado que sujet a al conjunto, rodeándolo en todo su perímetro. Dicho marco debe ya estar preparado de fábrica con los taladros o accesorios necesarios para el



montaje del panel en el bastidor, sin necesidad de manipulación alguna por parte del operario montador que pudiera debilitar el panel.

- Los contactos eléctricos exteriores deberán asegurar una perfecta estanquidad cuando se efectúe la unión con el conductor exterior o con otro paneles. Algunos paneles llevan también preparada una toma de tierra, que será preciso usar cuando, por acoplarse un cierto numero de paneles, la potencia total vaya a ser considerable.

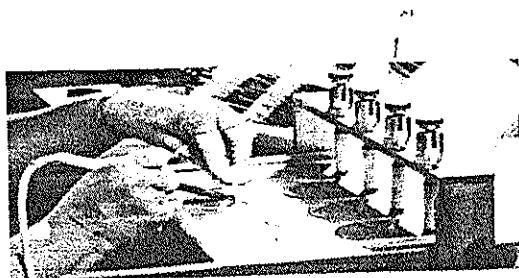


Fig. 1. Proceso manual de soldado, previo a la encapsulación de las células.

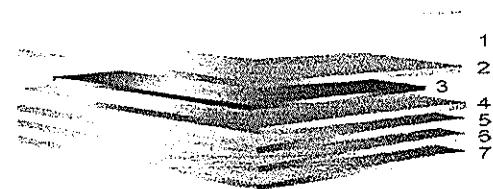


Fig. 2. Sistema de encapsulado mult capa utilizado en módulos de la marca SIEMENS:
 1) Vidrio. 2) EVA (Ethylene Vinyl Acetate).
 3) Célula solar. 4) EVA. 5) Tedlar.
 6) Poliéster. 7) Tedlar.

FIGURA 1.2 CELDAS FOTOVOLTAICAS

La respuesta de un panel frente a la radiación solar vendrá determinada por la de las células que lo forman, pudiendo ser descrita mediante varios parámetros, los cuales se definen a continuación como **características eléctricas**:

- Corriente de cortocircuito (i_{sc}). Es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones (generalmente normalizadas). Correspondría a la medida, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula), de la corriente entre bornes del panel, sin ninguna otra resistencia adicional, esto es, provocando un cortocircuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.
- Voltaje a circuito abierto (V_{oc}). Es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinita).
- Corriente (i). A un determinado voltaje (V). Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R , que define la característica eléctrica del circuito (curva intensidad-voltaje), cuya intersección con la propia curva del panel fija el voltaje de operación del mismo y, en consecuencia, la intensidad que este entrega al circuito. Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , decimos que la corriente de intensidad i se produce a un voltaje V .



- Potencia máxima (P_M). En unas condiciones determinadas, la intensidad i tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e i_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre 0 y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto del voltaje y la intensidad, esta será máxima únicamente para un cierto par de valores (i, V), en principio desconocidos. Decimos que un panel trabaja en condiciones de potencia máxima cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de i_M y V_M tales que su producto sea máximo. Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior está fijada por las características propias del circuito, y aunque existe la posibilidad de utilizar dispositivos electrónicos conocidos como "seguidores del punto de máxima potencia", esto supone un coste adicional, y no suelen emplearse en pequeñas instalaciones.
- Eficiencia total del panel. Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por este y la potencia de radiación incidente sobre el mismo.
- Factor de forma (FF). Es un concepto teórico, útil para medir la forma de la curva definida por las variables i y V .

$$FF = P_M / (i_{sc} V_{oc}) = I_M V_M / (i_{sc} V_{oc})$$

Los conceptos anteriormente definidos resultan mas claros si se observa la figura, que representa la curva, medida experimentalmente, de un típico panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones constantes de radiación y temperatura. Variando la resistencia externa desde un valor nulo hasta infinito, se pueden medir diversos valores de pares (i , V) denominados puntos de trabajo que, uniéndolos, forman la denominada curva característica del panel o curva de intensidad-voltaje (abreviadamente, curva i - V), la cual presenta un aspecto bastante similar de unos paneles a otros.

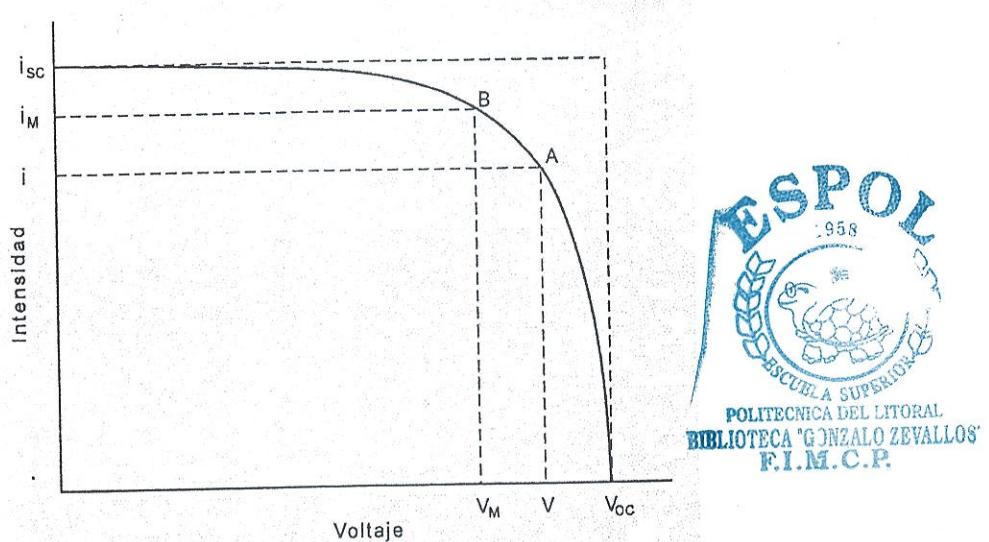


FIGURA 1.3 CURVA INTENSIDAD VOLTAJE (I - V).

El punto A es un punto cualquiera que representa el funcionamiento del panel en unas condiciones (determinadas por la resistencia o "carga" exterior) de intensidad i y voltaje V . El panel desarrolla una cierta iV que geométricamente coincide con el área del rectángulo cuyo vértice superior derecho es el punto A.

Si el punto A se moviera hacia la derecha, bajando por la curva, se ve que el área de dicho rectángulo, al decrecer i muy rápidamente, se haría mas y mas pequeña.¹ Lo mismo sucedería si dicho punto se trasladase hacia la izquierda, aproximándose al eje de ordenadas, ya que en este caso lo que se haría muy pequeño sería el valor de V .

El punto intermedio B, hará que el área del rectángulo sea la mayor posible. Dicho punto B es el de máxima potencia. El voltaje V_M que corresponde al punto de máxima potencia es, aproximadamente, un 80% del voltaje a circuito abierto V_{oc} , para la mayoría de los módulos comerciales de silicio cristalino.

El factor de forma FF es el cociente del área del rectángulo definido por el punto B y el rectángulo exterior a la curva, cuyos lados son i_{sc} y V_{oc} .

Para un determinado modelo de panel, y en unas condiciones de intensidad luminosa y temperatura constante, la curva i - V queda determinada, y el punto concreto sobre dicha curva que representa las condiciones de trabajo del panel quedara fijado para el circuito que alimenta este. Si, por ejemplo, deseamos usar el panel para cargar una batería de 12 V, el voltaje mínimo que habrá de suministrar será de 13 V (siempre es preciso que sea algo mayor para que la batería se cargue correctamente), así que no serviría de nada si el panel, debido a una insuficiente iluminación o a otras causas, no fuera capaz de alcanzar ese voltaje.

La ecuación matemática que relaciona la intensidad i con el voltaje V producidos por un modulo o panel fotovoltaico puede expresarse, de manera aproximada, así:

$$I = I_{sc} [1 - e^{B(V - V_{oc} + Ai)}]$$

$$V = V_{oc} - A_i + (1/B) \ln(1 - i/I_{sc})$$



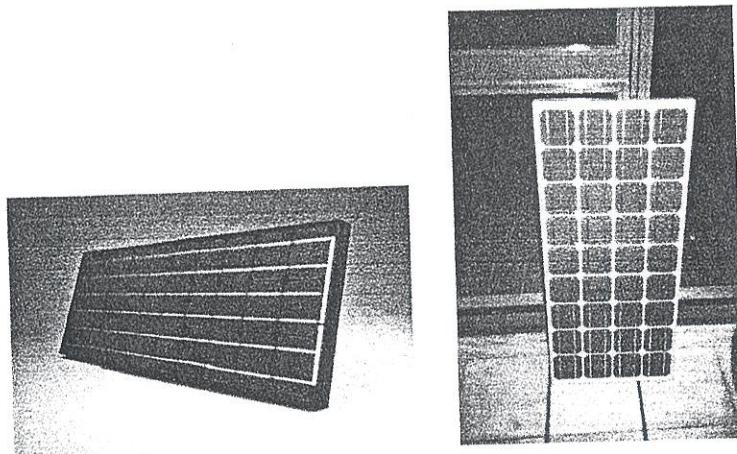


FIGURA 1.4 PANELES DE CELDAS CUADRADAS

Acumuladores o Baterías.- A la hora de elegir las baterías, estas dependerán a las necesidades de la instalación. Las mismas deberán cumplir con las siguientes

Funciones:

Suministrar una potencia instantánea, o durante un tiempo limitado, superior a la que el campo de paneles podría generar aun en los momentos mas favorables posibles. Tal es el caso de los arranques de los motores, por ejemplo, los de los frigoríficos, que requieren durante unos segundos una potencia varias veces superior a la de su normal funcionamiento.

Mantener un nivel de tensión estable. Como hemos visto, la tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona un voltaje estable y constante (dentro de cierto rango), independiente de las condiciones de incidencia luminosa.

En una instalación fotovoltaica que suministra electricidad para la iluminación y otras necesidades básicas de una vivienda. Durante el día, los paneles generan energía que se empleara, por una parte, en satisfacer los consumos que se efectúen en los momentos coincidentes con los de la producción. La energía sobrante será la que absorberá la batería, a menos que esta se encuentre ya plenamente cargada, en cuyo caso se disipa en forma de calor o se impedirá el paso de corriente mediante algún dispositivo automático.

Al atardecer y durante la noche, que suelen ser precisamente los momentos en los que, debido a necesitarse iluminación artificial, los consumos son mayores, la energía es extraída de la batería, disminuyendo el nivel de carga de esta. Así, el ciclo de carga-descarga

se repite diariamente, siempre que la intensidad incidente sea suficiente (días claros o parcialmente nubosos).

Cuando se producen dos o mas días consecutivos cubiertos de nubes, con una escasa luminosidad, prácticamente todo el consumo se hace a expensas de la energía almacenada en la batería. Terminado el periodo de condiciones desfavorables, y volviendo la intensidad a alcanzar valores suficientes, los paneles irán cargando la batería hasta su máxima capacidad, operación que tardara varios días en completarse, ya que el consumo diario continua, haciendo que solo una parte de la energía captada pueda destinarse a ser almacenada. Se completa de esta forma un ciclo autónomo, llamado así porque la batería depende únicamente de su propia capacidad útil para satisfacer la demanda energética durante dicho periodo.

La profundidad de descarga en el ciclo es pequeña; usualmente alcanza a un nivel entre un 5% y 10% de la capacidad total para instalaciones de electrificación de viviendas. Aun así. Conviene observar que esta profundidad es mucho mayor que la que afecta a una batería de automóvil, la cual se encuentra siempre totalmente cargada y que, en



uso normal, nunca descarga mas del 1% de su capacidad (durante el arranque del motor).

La profundidad de descarga en el periodo de autonomía debe ser rigurosamente determinada según el tipo de batería, siguiendo las recomendaciones del fabricante. En ningún caso debe superar el 80% (límite recomendado para la batería de Ni-Cd y la estacionaria de Pb-Sb), reduciéndose al 40% si se trata de baterías no estacionarias pero especialmente diseñadas para uso fotovoltaico (como la de Pb-Ca), y al 20% si se utiliza una batería normal de automóvil, lo que no es recomendable.

Las intensidades de carga y descarga de una batería en una instalación fotovoltaica son en general muy bajas, por lo que los rendimientos, al haber poca perdida en calor son bastante aceptables en el orden del 90%. Esto quiere decir que de cada 100 W que los paneles introducen en la batería, podemos esperar razonablemente que esta nos devuelva al menos 90 W utilizables para el consumo.

En cuanto al voltaje en los bornes de la batería, este depende de varios factores, como veremos a continuación:

Nivel o estado de carga.- El voltaje disminuye a medida que la batería se descarga y aumenta, hasta llegar a un máximo (en torno a los 14 V para las baterías de 12 V de tensión nominal), cuando la batería se carga. Para obtener una medida fiable del voltaje y, por tanto, deducir el estado de carga de la batería, según las curvas tensión-profundidad de descarga suministradas por el fabricante, sería preciso desconectar la batería para evitar que durante la medida estuviese sometida a carga o descarga que alterara el resultado de la misma. Esto no siempre es factible hacerlo, por lo que la indicación solamente aproximada de su estado de carga. Una medida más exacta del nivel de carga se obtiene midiendo la densidad relativa (también llamada gravedad específica) del electrolito por medio de un densímetro, y llevando el valor al gráfico correspondiente.

La densidad relativa se aproxima a 1.3 para el caso de baterías plenamente cargadas, y a 1.05 cuando están totalmente descargadas. Antes de llegar al estado de carga cero, se alcanza el voltaje inferior



límite, a partir del cual la batería puede no recuperarse si se continúa descargando. Para una típica batería de plomo de 12 V dicho voltaje inferior límite es aproximadamente 11 voltios.

Velocidad de carga o descarga.- Si una batería esta recibiendo una cierta intensidad de carga, la diferencia de potencial entre bornes es siempre algo superior a la que tendría si desconectamos la corriente de carga, debido a la resistencia de la batería, que siempre supone un obstáculo adicional. Inversamente, si la batería esta descargándose, la pequeña caída de potencial debida a su resistencia interna hace que la tensión que se mida en los bornes sea un poco inferior. En ambos casos, debido a que, como sabemos, la caída de tensión interna es el producto de la intensidad y la resistencia interna de la batería, esta es tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad, esto es, el régimen de carga o descarga al que se somete a la batería.

En cualquier caso, si como es usual en instalaciones fotovoltaicas, las intensidades son moderadas, estas diferencias de tensión no son demasiado grandes. En los casos en que se necesita que la batería proporcione una intensidad muy elevada en cortos periodos de tiempo,

hay que tener en cuenta que, a falta de indicación del fabricante, el límite máximo de la intensidad es de 5 veces el valor de la capacidad en Ah.

Temperatura de la batería.- Al ser de naturaleza química las reacciones internas que tienen lugar en una batería, la temperatura influirá decisivamente sobre las mismas. En efecto, el voltaje final recomendado para conseguir que la batería alcance el estado de plena carga debe ser mayor cuanto más baja sea la temperatura, pues la reacción química se efectuara con mayor dificultad, necesitándose mayor energía para que el proceso se complete. Este hecho tiene importancia, pues según el lugar donde se ubique la instalación podrá ser necesario corregir el voltaje aplicado, en función de la temperatura media que se espera vaya a soportar.

Reguladores.- Como su nombre indica, tiene la misión de regular la corriente que absorbe la batería, con el fin de que en ningún momento pueda esta sobrecargarse peligrosamente pero al mismo tiempo evitando en lo posible que deje de aprovechar energía captada por los paneles (lo



que inevitablemente ocurriría si el control fuese mediante un simple interruptor manual).

Para ello el regulador mediante dispositivos electrónicos debe detectar y medir constantemente el voltaje que será una indicación del estado de carga de la batería y si este llega al valor de consigna previamente establecido, correspondiente a la tensión máxima admisible, debe actuar de forma que impida que la corriente siga fluyendo hacia la batería o bien fluya únicamente la justa para mantenerla en estado de plena carga pero sin sobrepasarse. Dicha corriente mínima se denomina de flotación y se dice que la batería se encuentra en dicho estado cuando solo recibe la cantidad de energía justamente suficiente para mantenerse a plena carga (que en periodos de ausencia de consumo será únicamente necesaria para compensar la auto descarga).

Los cuatro parámetros de regulación que un buen regulador debe ser capaz de aceptar, pudiendo ser fijados (dentro de ciertos límites) según las peculiaridades de cada instalación, son los siguientes:



- El voltaje máximo admisible o voltaje máximo de regulación. Es el máximo voltaje que el regulador permite que sea aplicado a la batería.
- El intervalo de histéresis superior. Se denomina así a la diferencia entre el voltaje máximo de regulación y el voltaje al cual el regulador permite el paso de toda la intensidad de la corriente producida por los paneles. Para un voltaje intermedio, el regulador únicamente permite el paso hacia la batería de una fracción de la corriente producida por los paneles, menor cuanto mas se acerque el voltaje entre bornes de la batería al voltaje máximo de regulación.
- Voltaje de desconexión. Es el valor al cual se desconectan automáticamente las cargas de consumo a fin de prevenir una sobre descarga de la batería.
- El intervalo de histéresis inferior. Es la diferencia entre el voltaje de desconexión y el voltaje al cual se permite que las descargas de consumo se reconecten de nuevo a la batería.

Fundamentalmente existen dos tipos de reguladores según el sistema que empleen para lograr su objetivo: los de tipo paralelo y los de tipo

seria. El primero de ellos ha sido el tradicionalmente utilizado en pequeñas instalaciones aunque últimamente se están imponiendo los reguladores serie, reservados en un principio a instalaciones mayores.

El regulador paralelo al detectar un valor de la tensión demasiado elevado deriva la corriente a través de un dispositivo de baja resistencia convirtiendo su energía en calor disipando dicho calor mediante unas aletas metálicas.

Los reguladores en serie en vez de disipar la energía simplemente interrumpen el circuito cuando el voltaje alcanza un valor determinado. Estos aparatos se intercalan en serie (de ahí su denominación), y su resistencia es despreciable cuando permiten paso de corriente. Un releí de alta fiabilidad comandado por un dispositivo electrónico de control se encarga de abrir o cerrar el circuito según la tensión detectada. Al no existir disipación de calor este tipo de reguladores pueden ser de tamaño pequeño y son aptos para ser encerrados en compartimientos herméticos si fuera necesario.

Una de las características diferenciadoras de los reguladores y que mas evolución ha sufrido durante los últimos años es precisamente el control de carga de la batería. En el mercado actual se pueden encontrar reguladores cuyo proceso de control consta de una, dos, tres y hasta cuatro etapas, reflejadas en su curva tensión-tiempo.

El propósito de esta progresiva complejidad en el control de carga no es otro que el de aumentar el estado promedio de carga en la batería y consecuentemente el tiempo de vida de la misma (numero de ciclos de carga-descarga). Un elemento especialmente importante que suele incorporarse también al regulador es un diodo de bloqueo que permite el paso de la corriente en un solo sentido (del panel hacia la batería) y no en sentido contrario. Dicho diodo es necesario para evitar que cuando las condiciones de iluminación sean débiles o nulas al ser la tensión de la batería superior a la que es capaz de generarse en el panel, esta se descargue haciendo circular la corriente a través del circuito de paneles.

Convertidores.- Son dispositivos capaces de alterar la tensión y características de la corriente eléctrica que reciben transformándola de



manera que resulte mas apta para los usos específicos a que vaya destinada en cada caso.

Los convertidores CC-CA (a veces denominados simplemente "inversores") permiten transformar la corriente continua de 12 V o 24 V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 125 V o 220 V como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la red eléctrica, convencional. Esto permite usar los aparatos eléctricos habituales diseñados para funcionar con este tipo de corriente. La contrapartida que esta transformación lleva acarreada es la inevitable perdida de energía en el propio convertidor el cual como veremos tiene un rendimiento que en determinadas circunstancias de trabajo es bastante pequeño.

Un convertidor CC-CA mediante un circuito electrónico con transistores o tiristores es capaz de cortar muchas veces cada segundo la corriente continua que recibe produciendo una serie de impulsos alternativos de corriente que simulan las características de la corriente alterna convencional. Según la forma de la onda característica de la corriente que el convertidor produce se hable de convertidores de onda cuadrada,

de onda cuadrada modificada, de onda senoidal (o sinusoidal) modificada o quasi-senoidal y de onda senoidal verdadera.

Dado que la corriente alterna se presenta bajo forma de onda senoidal pura, el convertidor mas perfecto será el del tipo senoidal, aunque también es el mas caro y para muchas aplicaciones (iluminación, pequeños motores, etc) innecesario, bastando utilizar uno de onda cuadrada que resulta mucho mas económico.

Los convertidores pueden obtenerse en una amplia gama de potencias desde 100 vatios hasta varios kilovatios. Es importante observar las siguientes cualidades que determinar lo apto que son para sus instalaciones solares:

1. Capacidad de resistir potencias punta como la producida en los arranques de los motores, durante breves instantes sin que se colapse el dispositivo inversor. Los convertidores de onda cuadrada tienen muy poca capacidad de resistir estas subidas de potencia instantáneas.

2. **Una eficiencia razonable.-** Este aspecto hay que considerar que si un convertidor diseñado para trabajar con un potencia determinada se hace funcionar solamente a una fracción de dicha potencia, con en el caso de periodos en los que el consumo solo sea una pequeña parte del máximo previsto, el rendimiento del convertidor baja de una manera considerable. Se debe exigir como mínimo que el rendimiento de un convertidor senoidal sea del 70% trabajando a una potencia igual al 20% de la nominal y de 85% cuando trabaje a una potencia superior al 40% de la nominal.

3. **Estabilidad del voltaje.-** Debe mantener un voltaje de salida para el circuito de consumo aproximadamente constante con independencia de la potencia demandada en cada momento. Son admisibles variaciones de hasta un 5% en el caso de convertidores de onda senoidal y de hasta 10% para los de onda cuadrada. Por otra parte en instalaciones con acumuladores (que son la mayoría) la tensión de entrada real no deberá ser mayor del 125%, ni menor del 85% de la tensión nominal de entrada del convertidor.



4. **Baja distorsión armónica.**- Este es un parámetro que se refiere a la calidad de la onda producida. Los componentes parásitos de dicha onda son parcialmente eliminados mediante filtros electrónicos aunque en este proceso también se pierde algo de potencia útil. La variación de la frecuencia de salida será inferior al 3% de la nominal.
5. **Posibilidad de poder ser combinado en paralelo.** Esto permite un posible futuro crecimiento de la instalación y de la potencia de consumo.
6. **Arranque automático.**- Los convertidores deben ser capaces de conectarse automáticamente cuando detecte una demanda energética por encima de un nivel umbral previamente fijado. Esto evita el que estén permanentemente activos aunque no se necesite energía.
7. **Seguridad.**- Los convertidores utilizados en instalaciones fotovoltaicas deberán estar dotados de protección contra

cortocircuitos, sobrecarga e inversión de polaridad, así como de un mecanismo de desconexión por falta de carga.

8. Buen comportamiento frente a la variación de temperatura. El rango de operación estará como mínimo entre -5°C y 40°C .

9. Señalización adecuada.- Debe incluir una señal luminosa que nos indique un posible cortocircuito.

10. Documentación técnica suficiente:

- Tensiones de trabajo de entrada y salida.
- Potencial nominal.
- Frecuencia nominal y factor de distorsión.
- Forma de la onda.
- Rango de temperaturas admisible.
- Rendimiento en función de la potencia demandada.
- Sobrecarga que resiste.
- Resistencia a cortocircuito.
- Factor de potencia.



Generador.- Planta o grupo electrógeno capaz de generar una potencia (W) suficiente para cargar el banco de acumuladores. Estos se encuentran en varias configuraciones con motores a gasolina o diesel.

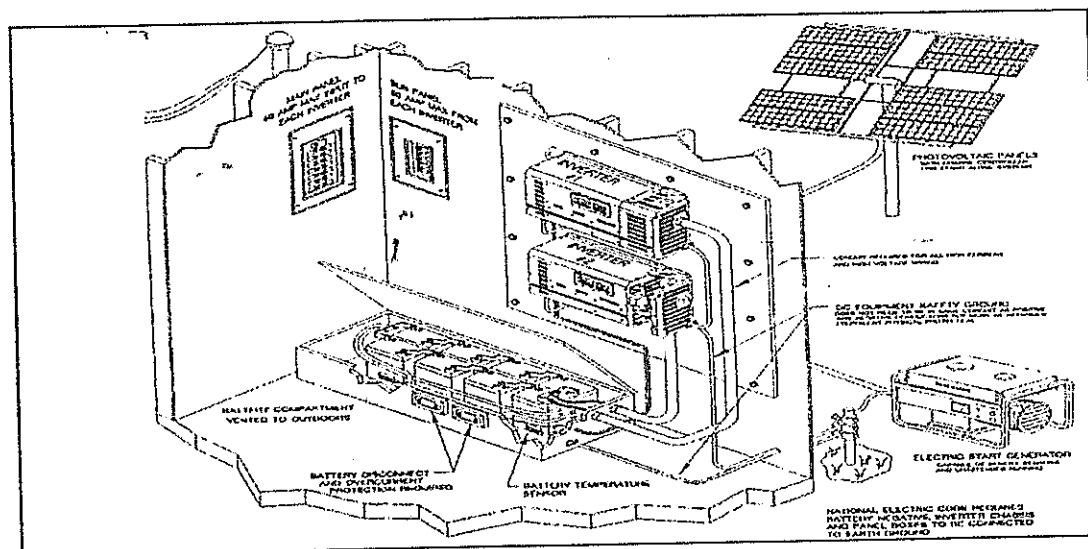


FIGURA 1.5 SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

CAPITULO 2

2. ESTUDIO TECNICO

2.1 Cálculos de Demanda Energética por Unidad Habitacional

Para efectos del calculo de demanda energética de cada unidad habitacional unifamiliar se ponen a consideración los siguientes datos:

Consumos medio diarios estimados por unidad habitacional:

TABLA 2

CONSUMOS MEDIO DIARIOS ESTIMADOS POR UNIDAD HABITACIONAL

	Potencia (W)	Tiempo (h)	Consumo (W-h)
Salón comedor(2 puntos de luz de 18 W)	36	6	216
3 dormitorios (3 puntos de luz de 8 W)	24	2	48
2 baño (1 punto de luz de 18 W)	36	1.5	54
Cocina (1 punto de luz de 18 W)	18	3	54
1 refrigeradora	75	8	600
Pasillo (1 punto de luz de 18 W)	18	1	18
TV	40	3	120
Bomba de agua	25	2	50
Varios	20	2	40
Total potencia=	292	Total consumo=	1200

La potencia total obtenida sumando todas las potencias individuales de los aparatos resulta ser 292 W, nunca van a estar todos simultáneamente activos de modo que la potencia punta será siempre menor.

Tomando en cuenta que el complejo habitacional consta de 6 casas el consumo y la potencia del mismo quedarían de la siguiente forma:

TABLA 3

CONSUMOS MEDIO DIARIOS ESTIMADOS POR UNIDAD HABITACIONAL:

	Potencia (W)	Consumo (W-h)
Conjunto habitacional	1752	7200

Cálculo del amperaje del fusible de seguridad (I_{fs})

TABLA 4
INTENSIDADES POR UNIDAD HABITACIONAL

	Potencia (W)	Intensidad (A)
Salón comedor(2 puntos de luz de 18 W)	36	0.31
3 dormitorios (3 puntos de luz de 8 W)	24	0.21
2 baño (1 punto de luz de 18 W)	36	0.31
Cocina (1 punto de luz de 18 W)	18	0.16
1 refrigeradora	75	0.65
Pasillo (1 punto de luz de 18 W)	18	0.16
TV	40	0.35
Bomba de agua	25	0.22
Varios	20	2
Totales=	292	2.53

TABLA 5
INTENSIDAD TOTAL PARA EL CONJUNTO

	Potencia (W)	Intensidad (A)
Conjunto habitacional	1752	15.2

TOTALES $I_{cs} = 15.2$ A

$$I_{fs} = I_{cs} \times F_s$$

$$I_{fs} = 15.2 \times 1.25$$

$$I_{fs} = 19 \text{ A}$$

I_{fs} : intensidad del fusible de seguridad (A)

I_{cs} : intensidad de consumo simultáneo (A)

F_s : factor de seguridad

Se recomienda el uso de un fusible de seguridad de 20 amperios.

2.2 Selección Del Sistema a Instalar

Cálculos

Cálculo del número de paneles necesarios y capacidad nominal de la batería (Ah)

Parámetros Característicos



Símbolo Unidades Significado Valor

Et Wh	Energía diaria teórica total requerida	7200
Mes más desfavorable		Agosto
N día	Número de días de autonomía	10
Kb	Pérdidas por rendimiento en acumulador	.05
Ka	1/día Coeficiente de auto descarga	.0015
Pd	Profundidad máxima de descarga	.8
Kc	Pérdidas en el convertidor	.1
Kv	Otras pérdidas (pérdidas varias)	.15
H MJ	Energía diaria en 1 m ² horizontal	12.7
K	Coeficiente de corrección por inclinación de los paneles	1.09
	Corrección de H (causas atmosféricas)	1
i	grados Inclinación de los paneles	15
B	grados Desviación respecto al meridiano	0
P W	Potencia nominal de cada panel	110
V voltios	Voltaje nominal de la batería	24



1. Como el consumo es igual en todos los meses del año, el mes mas desfavorable será simplemente aquel en que reciba menos radiación y que según los datos históricos es 12.7 MJ/m^2 de radiación media diaria. (Ver apéndice C y D)

2. Conocemos las intensidades de corriente que requieren los equipos y los tiempos de funcionamiento por lo que resulta sencillo calcular el consumo diario en W-h.

$$\text{Consumo medio diario } E_t = 7200 \text{ W-h}$$

3. El numero de días de autonomía fijado es $N=10$ la profundidad de descarga admisible de las baterías de Ni-Cd es del 80% (0.8). Como la auto descarga mensual es del 4.5%, el valor diario expresado por el parámetro k_a será:

$$K_a=0.0015$$

4. El factor de rendimiento global:

$$R=1-[(1-k_b-k_c-k_v)k_aN/p_d]-k_b-k_c-k_v$$

Nos da como resultado $R=0.7$

Por lo tanto $E = E_T/R = 7200 \text{ W-h}/0.7 = 10286 \text{ W-h}$

5. Capacidad utilizable de la batería:

$$C_u = EN = 10286 \times 10 = 102860 \text{ W-h}$$

$$C_u = 102860 \text{ W-h}/24V = 4286 \text{ A-h}$$

6. Capacidad nominal:

$$C = C_u/p_d = 4286/0.8 = 5356 \text{ A-h}$$

Podemos montar una batería de acumuladores de 5300 o 5400 A-h

7. La latitud de Santa Cruz es 0.7° para esta ubicación tenemos un valor de H.S.P = 3.78 (horas de sol pico).

8. Puesto que existe regulador $E_p = E/0.9 = 10286/0.9 = 11429 \text{ W-h}$

9. La potencia nominal de los paneles es de 110W. Vamos a suponer que esta es la potencia neta que suministran a la tensión de carga de la batería por lo que la formula a emplear será:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = E_p/[P(H.S.P)] = 11429/(110 \times 3.78) = 27.4$$



Necesitamos 28 paneles de 110 w cada uno lo que supone una potencia total instalada de 3080 W.

Resultados

R (Factor global de rendimiento de la instalación) = .7

Ep (Energía que deben producir los paneles) = 11.429Wh

HSP (Horas sol pico) = 3.78

Número de paneles necesarios = 28

Capacidad nominal de la batería (Ah) = 5358

Cálculo del Número de Reguladores a Usar en la Instalación

Previa selección del modelo de regulador se procede al cálculo del número a utilizar del mismo, tratando siempre que dicho número sea el mínimo posible.

$$Nr = Npp \times I_p / ir$$

Nr: número de reguladores

Npp: número de paneles en paralelo = 28

I p: intensidad pico del panel seleccionado = 6.3 A

I_r : intensidad máxima capaz de disipar el regulador sugerido = 30 A

$$Nr = (28 \times 6.3/30) = 5.8$$

El resultado determina que ha de usarse un (6) regulador del modelo

seleccionado para

satisfacer los requerimientos de la instalación.

Dimensionado del convertidor (CC-CA)

La selección del convertidor a ser usado en la instalación va a estar determinada por la potencia real de consumo simultáneo (Pr_{cs}), la que a su vez es definida por el proyectista de la instalación y calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Pr_{cs} = V_{sc} \times i_{cs}$$

Pr_{cs}: potencia real de consumo simultáneo (W)

V_{sc}: voltaje de salida del convertidor = 115 V

i_{cs}: suma de las intensidades de los elementos en consumo simultáneo

$$= 15.2 \text{ A}$$

$$Pr_{cs} = 115 \times 15.2$$

$$Pr_{cs} = 1748 \text{ W}$$



Se sugiere instalar el convertidor de 5000 watts

Cálculo de la sección del conductor en los diferentes tramos del sistema

- Tramo paneles-banco de acumuladores

$$S = 0.036 \times l \times i / V_{ab}$$

i

S: sección del conductor (mm²)

l: longitud del tramo = 5 m

i: intensidad máxima en el tramo = A)

Npp: número de paneles en paralelo = 28

Pp: potencia de un (1) panel = 110 w

Vp: voltaje pico del panel = 17.5 V

Vab: caída máxima de tensión en el tramo = $(0.01 \times 17.5) V = 0.175 V$



$$i: Npp \times Pp / Vp$$

$$i = (28 \times 110 / 17.5) A = 176 A$$

$$S = (0.036 \times 5 \times 176 / 0.175) mm^2$$

$$S = 181.02 mm^2$$

- Tramo banco de acumuladores-convertidor

$$S = 0.036 \times l \times i / V_{ab}$$

\hat{l}

S: sección del conductor (mm²)

l: longitud del tramo = 3m

i: intensidad máxima en el tramo (A)

P_{rcs}: potencia real de consumo simultáneo = 1752 W

N: eficiencia del convertidor = 0.9

V: tensión en el tramo = 24 V

V_{ab}: caída máxima de tensión en el tramo = (0.01 x 12) V = 0.24 V

$$i = P_{rcs} / N \times$$

$$i = (1748 / 0.9 \times 24) A$$

$$i = 80.9 A$$

$$S = (0.036 \times 3 \times 80.9 / 0.24) mm^2$$

$$S = 36.4 \text{ mm}^2$$

- Tramo convertidor-carga

$$S = 0.036 \times l \times i / V_{ab}$$

S: sección del conductor (mm²)

l: longitud del tramo = 17 m

i: intensidad máxima en el tramo = 15.2 A

V_{ab}: caída máxima de tensión en el tramo = (0.03 x 115) V = 3.45 V

$$S = (0.036 \times 17 \times 15.2 / 3.45) \text{ mm}^2$$

$$S = 2.69 \text{ mm}^2$$



2.3 Estimación de Presupuesto de Instalación

Para estimar el costo del proceso del montaje, es preciso determinar las

siguientes fases del proceso:

- Montaje de la estructura de la instalación y colocación de paneles.
- Conexionado de los paneles.
- Montaje de la batería de acumuladores.
- Montaje del cuadro eléctrico, regulador y accesorios.
- Cableado de la instalación.

- Montaje de los aparatos y red de consumo.
- Pruebas y verificación.
- Puesta en marcha.

Los costos de instalación van en proporción a la dimensión del sistema propuesto. Para el caso del sistema en mención de un capacidad instalada de 3050W el costo de instalación viene dado de la siguiente forma:

TABLA 6
COSTOS DE INSTALACIÓN

Descripción:	Costo:
Estructura de soporte	1440
Cableado y materiales	2150
Mano de obra	1000
Total:	4590

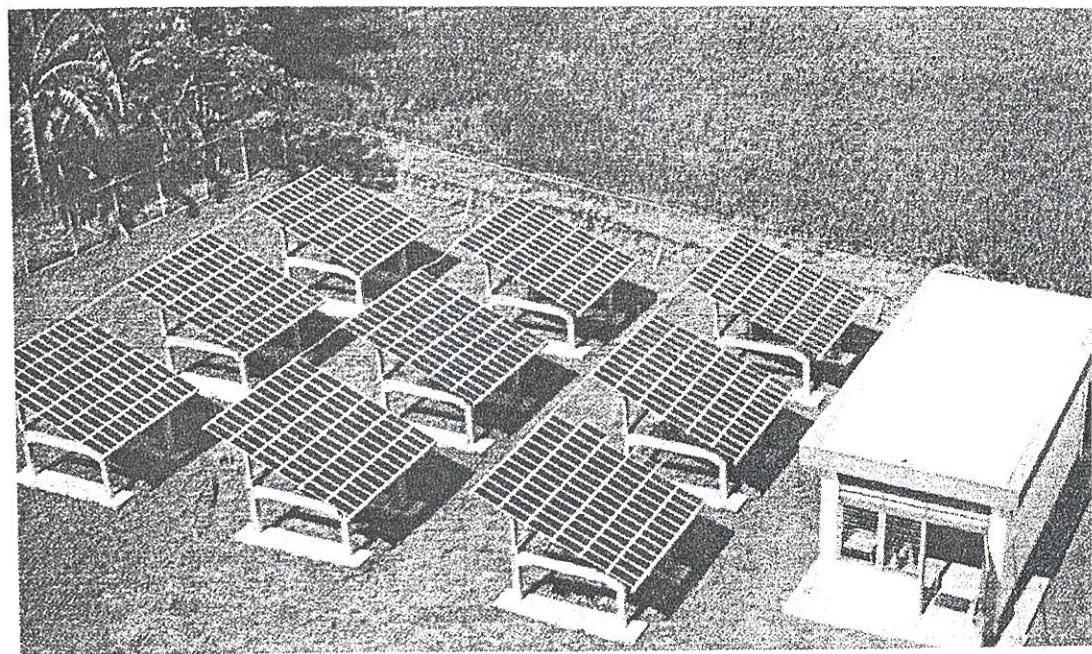


FIGURA 2.6 INSTALACIÓN DE PANELES

2.4 Plan de Mantenimiento del Sistema

Para elaborar un plan de mantenimiento del sistema se debe considerar y definir los siguientes puntos:

- Las operaciones necesarias de mantenimiento.
- Las operaciones a realizar por el usuario y las que debe realizar instalador.
- La periodicidad de las operaciones de mantenimiento.

- La garantía de los equipos.

Definamos el mantenimiento por cada parte del sistema.

Mantenimiento de los paneles.- Los paneles fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión muy protegidas del ambiente exterior por capas de material protector. Pero se consideran los siguientes pasos:

- Limpieza periódica del panel.
- Inspección visual de posibles degradaciones internas y de estanquidad del panel.
- Control del estado de las conexiones eléctricas y el cableado.
- Control de las características eléctricas del panel.

Limpieza periódica del panel.- Esta operación debe ser realizada por el usuario y consiste en el lavado de los paneles con agua y algún detergente no abrasivo, procurando evitar que el agua se acumule sobre el panel. No es recomendable el uso de mangueras a presión. Se aconseja la limpieza periódica al menos una vez por mes dependiendo

de los contaminantes, en caso de depósitos procedentes de aves se recomienda eliminarlos a la brevedad posible.

Inspección visual del panel.- Esta tiene por objeto detectar posibles rupturas del cristal. Normalmente se produce por acciones externas y rara vez por fatiga térmica inducida por errores de montaje. Además hay que detectar oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas. Por lo general son debidas a entrada de humedad en el panel por fallo o rotura de las capas del encapsulado.

Control de las conexiones eléctricas y cableado de los paneles.- En cada visita de mantenimiento se deberá:

- Comprobar el ajuste y estado de los terminales de los cables de conexiónado de los paneles.
- Comprobación de la estanquidad de la caja de terminales o del estado de los capuchones de protección de los mismos según el tipo de panel.

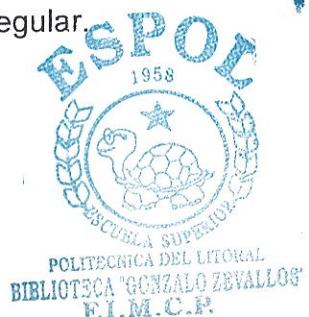


Mantenimiento del sistema de regulación y control y equipos auxiliares.-

Las averías en estos equipos son poco frecuentes y la simplicidad de los equipos reduce el mantenimiento a las siguientes operaciones:

- Observación visual general del estado y funcionamiento del regulador.
- Comprobación del conexionado y cableado de los componentes.
- Comprobación del tratado de la tensión de ajuste del regulador a la temperatura ambiente.
- Registro de los amperios-hora generados y consumidos en la instalación entre revisiones cuando existan estos contadores.
- Observación de las medidas instantáneas del voltímetro y amperímetro en aquellas instalaciones que dispongan de estos medidores.

Como conclusión cabe señalar que el regulador en la práctica no tiene un mantenimiento especial y que cuando funciona mal su comportamiento suele ser claramente anormal por las causas indicadas en el cuadro de averías por lo que en todo caso es preferible su sustitución cuando en una visita de mantenimiento se detecte un funcionamiento irregular.



Mantenimiento de los acumuladores.- Las baterías son los elementos que requieren mayor atención en un sistema híbrido. Los acumuladores perecen principalmente por dos causas:

Uso de la instalación superior al previsto en el diseño. Esta situación frecuente en instalaciones pequeñas conduce a descargas profundas y continuadas de la batería que causan su destrucción anticipada.

Falta de reposición periódica del electrolito en los acumuladores de plomo-antimonio. Si el nivel es bajo y las placas quedan al descubierto se sulfatan y se destruyen en corto plazo. El fin de la batería llega cuando no hay suficiente pasta de plomo en las placas para reaccionar con el electrolito o no hay suficiente electrolito para reaccionar con el plomo.

Las operaciones de mantenimiento que se recomiendan para las baterías son:

- Comprobación del electrolito y en su caso relleno del mismo con agua desmineralizada o destilada. Se recomienda una revisión mínimo cada dos meses.



- Comprobación del estado y limpieza de los bornes del acumulador. Se aconseja cubrirlos con vaselina una vez limpios.
- Comprobación de la tensión sin carga de los elementos del acumulador.
- Medida de la densidad del electrolito.
- Comprobación de la utilización del acumulador y en particular de la frecuencia de corte por baja.

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO FINANCIERO

3.1 Inversiones del Proyecto

Una instalación solar autónoma de generación de electricidad, resulta necesaria si al lugar en que se precisa no llega la red general de distribución. En el caso que nos ocupa esta característica se encuentra presente, por lo tanto hay que valorar si la acometida de un nuevo tendido de conexión con la red general prevalece sobre la solución solar. Teniendo en cuenta los costos actuales del tendido de nuevas líneas, puede establecerse de forma aproximada una correspondencia entre la distancia máxima a la red general y el consumo anual máximo previsto para que la propuesta solar resulte rentable. En la tabla 7 permite ver que si el usuario de nuestro caso prevé gastar 640 Kw h al año y la vivienda se encuentra a doce kilómetros de la red, la opción solar propuesta resulta económicamente viable.

TABLA 7
RELACIÓN ENTRE DISTANCIA MÁXIMA Y CONSUMO ANUAL MÁXIMO.

Distancia a la red (Km.)	Consumo anual máximo (Kw.-h)
0.1	400
0.3	750
1	1600
2	2500
5	5200
10	10000

Cabe mencionar que el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica resulta adecuado para cubrir las necesidades energéticas anteriormente expuestas. Aunque no siempre resulta conveniente determinar la pertinencia de implementar una solución solar basándose exclusivamente en un razonamiento económico, el hecho mismo de satisfacer las necesidades básicas de electricidad a innumerables familias habitantes del medio rural, constituye un objetivo prioritario que trasciende cualquier consideración meramente económica.

A continuación presentamos el cuadro de inversiones del sistema, se brindan 2 opciones. La primera un sistema fotovoltaico con una capacidad de reserva de 10 días no favorables (N=10) y la segunda para un sistema híbrido con generador de reserva.

TABLA 8
COSTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Descripción:	Costo:
28 paneles de 110W	18200
Estructura soporte	1440
Reguladores	1635
Convertidor	6405
Acumuladores N=10	15908
Cableado y Materiales	2150
Mano de Obra	1000
Total:	46738

TABLA 9
COSTOS DEL SISTEMA HÍBRIDO

Descripción:	Costo:
28 paneles de 110W	18200
Estructura soporte	1440
Reguladores	1635
Convertidor	6405
Cargador de baterías	1575
Acumuladores N=2	3182
Cableado y Materiales	2150
Mano de Obra	1000
Generador	4550
Total:	40227



TABLA 10

CUADRO COMPARATIVO ENTRE SFV Y SISTEMA HÍBRIDO.

Sistema:	Inversión:
Sistema fotovoltaico	46738
Sistema Híbrido	40227

TABLA 11

COSTO DE W INSTALADO POR CADA SISTEMA.

Sistema:	Costo \$W:
Sistema fotovoltaico	\$15.17
Sistema Híbrido	\$13.06

3.2 Amortización del Proyecto

Para efectos del cálculo de amortización se ha considerado como vida útil del sistema 20 años. Los valores están dados en US\$ y el costo del combustible diesel es de 1 US\$ en el archipiélago.

El generador de 7 Kw. debe operar a un factor de carga promedio de 0.25 para generar 8 KWh/d. Para efectos de calculo se consideran a todos los meses como desfavorables esto quiere decir que el generador debe operar 1669 h/año. En estas condiciones se lo deberá reemplazar cada 3.9 años.

El banco de baterías se lo ha calculado para dos casos. En el caso del sistema fotovoltaico el numero de días de autonomía es de $N=10$. Esto significa que debido a la baja tasa de descarga, la vida útil del banco será de 17.5 años. En el caso del sistema híbrido de generación el numero de días de autonomía es de $N=2$, esto nos representa una vida útil de 8.5 años.

En el próximo capítulo podemos observar los análisis de costos para cada sistema.

3.3 Financiamiento

Ver apéndice E.



CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

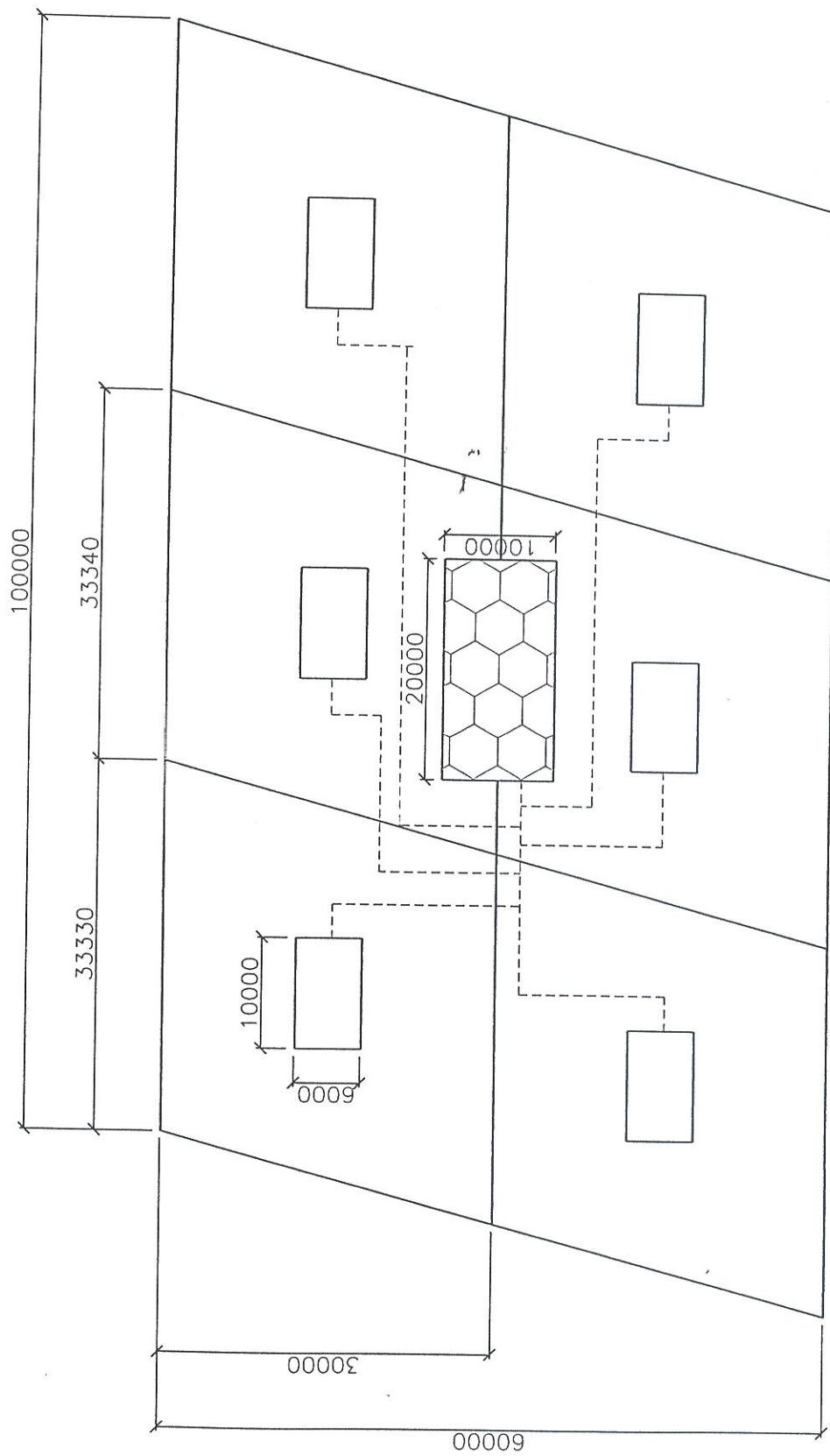
4.1 Conclusiones

1. Si bien el costo del sistema es alto, tomando en consideración la distancia entre el conjunto habitacional y la red general de distribución eléctrica, se justifica la opción propuesta de la instalación del sistema híbrido de generación. Además de contribuir a la disminución de consumo de combustibles fósiles y de contaminación en este sitio de alto riesgo ambiental.
2. Técnicamente es factible cubrir las necesidades eléctricas del conjunto habitacional por medio del sistema híbrido de generación ya que las condiciones de irradiación en la ubicación del conjunto habitacional son adecuadas.

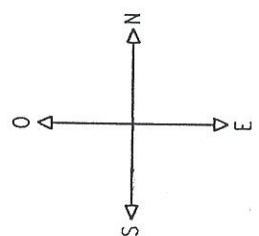
4.2 Recomendaciones

1. Se recomienda analizar la posibilidad de reemplazar el generador a diesel por otra fuente de energía renovable (energía eólica, biomasa)
2. Se recomienda buscar la posibilidad de subvención oficial por parte del Ministerio de Energía y Minas para este tipo de proyectos.
3. Se recomienda capacitar a los habitantes del conjunto habitacional en hábitos para el ahorro de energía y el uso de electrodomésticos de bajo consumo.





FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION			
PROYECTO:		ESCALA:	
DB:	20-01-2005	C. T01	CONJUNTO HABITACIONAL
REV.:			SIST. HIBRIDO DE GEN. ELECTRICA
APRO.:			
ESPOL		PLANO No:	001



APÉNDICES

APÉNDICE B

VALORES PROMEDIOS CORREGIDOS EN EL LARGO PLAZO DE LA RADIACIÓN GLOBAL MENSUAL PARA CADA UNA
DE LAS ESTACIONES EN LAS ISLA SANTA CRUZ.

Est.	Sitio	8/99	9/99	10/99	11/99	12/99	01/00	02/00	03/00	04/00	05/00	06/00	07/00	Prom.
Gal.-3	Sta. Cruz Cerro	175	188	152	147	144	182	179	225	184	212	184	146	176
Gal.-8	Sta. Cruz Costa	173	187	198	186	188	211	266	289	260	249	217	156	215



APÉNDICE C

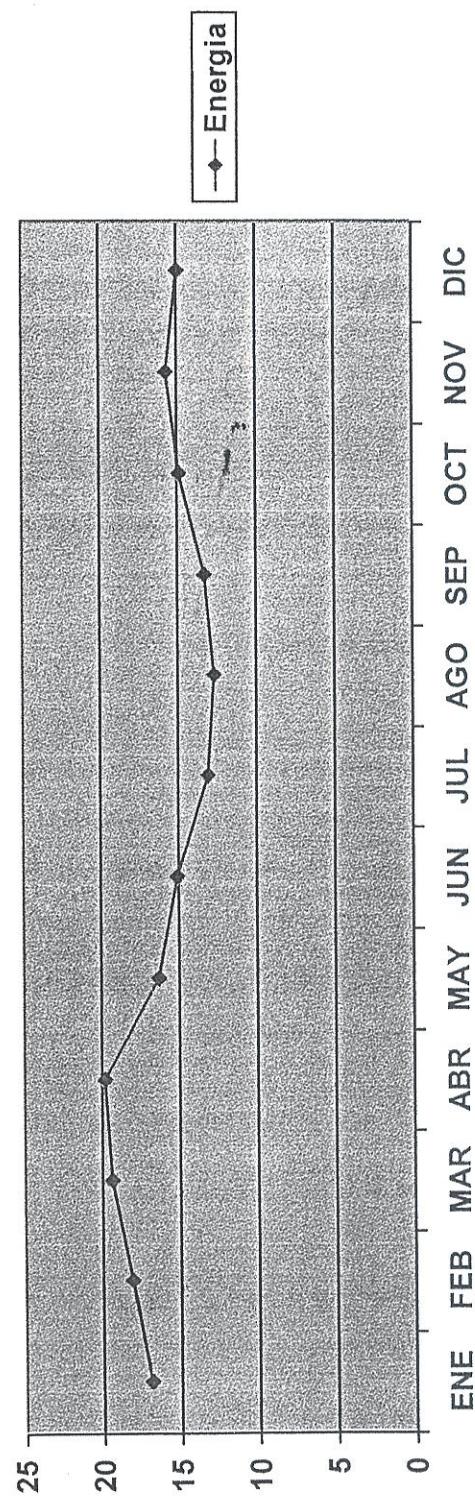
ENERGIA DIARIA POR 1 m² HORIZONTAL EN MEGA JULIOS/m².

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H(MJ/m ²)	16.9	18.1	19.4	19.8	16.3	15.1	13.1	12.7	13.3	14.9	15.7	15.0



APENDICE D

GRAFICO ENERGIA DIARIA POR 1 m² HORIZONTAL EN MEGA JULIOS/m².



APENDICE E

ANÁLISIS DE COSTOS



ANÁLISIS DE COSTOS PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO		ANÁLISIS DE COSTOS PARA SISTEMA HÍBRIDO	
Condiciones económicas		Condiciones económicas	
Vida útil del proyecto	20 años	Vida útil del proyecto	20 años
Inflación	0.06	Inflación	0.06
		Escalación de costos de combustible	0.07
Tasa descuento	0.8	Tasa descuento	0.8
Tasa real de descuento	0.12	Tasa real de descuento	0.12
		Costo del combustible	1 US\$/gal
VALOR PRESENTE DEL SFV Y BOS		VALOR PRESENTE DEL GENERADOR	
Potencia pico del SFV	3080 W _p	Potencia pico del SFV	7000 W
Costo por W _p	7.93 \$/W _p	Costo por W _p	0.65 US\$/W
Costo inicial	24425 US\$	Costo inicial	4550 US\$
Vida útil esperada en horas	~	Vida útil esperada en horas	6500 h
Horas operación al año		Horas operación al año	1669 h
Vida útil esperada en años	20 años	Vida útil esperada en años	3.896 años
AÑO DE REEMPLAZO DEL SFV Y BOS		AÑO DE REEMPLAZO DEL GENERADOR	
Instalación inicial	0 US\$	Instalación inicial	0 US\$
Reemplazo 1		Reemplazo 1	3.896 US\$
Reemplazo 2		Reemplazo 2	7.779 US\$
Reemplazo 3		Reemplazo 3	11.69 US\$

			Reemplazo 4	15.58	764	US\$
			Reemplazo 5	19.48	489	US\$
VP del SFV y BOS		24425	US\$	VP del generador	7222	US\$
O&M			O&M			
O&M anual esperado	0		US\$/a	O&M anual esperado	250	US\$/a
VP de la O&M sobre vida sistema	0		VP de la O&M sobre vida sistema	4088		US\$
COMBUSTIBLE			COMBUSTIBLE			
			Factor de carga promedio	0.25		
			Consumo de combustible a carga media	0.78	Gal/h	
			Consumo anual de combustible	1301	Gal/a	
			VP del combustible	23641	US\$	
			VP generador+O&M+combust	34951		
Generación diaria	7.2	kWh	Generación diaria	7.2	kWh	
Generación energía	52400	kWh	Generación energía	52400	kWh	
VP del SFV y BOS	0.47	US\$/k Wh	0.66	US\$/kWh		
VALOR PRESENTE DEL BANCO DE BATERIAS			VALOR PRESENTE DEL BANCO DE BATERIAS			
Capacidad total del banco	129	kWh	Capacidad total del banco	26	kWh	
Costo unitario de baterías	123	US\$/k Wh	Costo unitario de baterías	123	US\$/kWh	
Costo inicial	15908	US\$	Costo inicial	3182	US\$	
Vida útil esperadas en ciclos	5100	ciclos	Vida útil esperadas en ciclos	3100	ciclos	
Vida útil esperadas en años	17.5	años	Vida útil esperadas en años	8.49	años	
AÑO DE REEMPLAZO	año		AÑO DE REEMPLAZO	año		US\$

Reemplazo 1	0	15908	US\$	Reemplazo 1	0	3182	US\$
Reemplazo 2	17.5	2189	US\$	Reemplazo 2	8.49	1216	US\$
Reemplazo 3			US\$	Reemplazo 3	16.99	465	US\$
VP del banco de baterías		18097	US\$	VP banco de baterías		4863	US\$
VP del SFV y BOS+banco de baterías		42522	US\$	VP generador+O&M+combustible+banco de baterías		39814	US\$
		0.81	US\$/kWh			0.76	US\$/kWh
VALOR PRESENTE DEL CARGADOR DE BATERIAS							
Capacidad del cargador							W
Costo unitario de inversor							US\$/W
Costo inicial							US\$
Vida útil esperada en años							años
AÑO DE REEMPLAZO DEL CARGADOR							
Instalación inicial				Año			
Reemplazo 1		0		1575			US\$
Reemplazo 2				10	507		US\$
VP del cargador					2082		
VP del generador+banco bat+cargador				41896			US\$
						0.80	US\$/kWh
VALOR PRESENTE DEL CONVERTIDOR							
Capacidad del inversor	5000	W		Capacidad del inversor	5000	W	
Costo unitario del inversor	0.75	US\$/W		Costo unitario del inversor	0.75	US\$/W	

Costo inicial	6405	US\$	Costo inicial	6405	US\$		
Vida útil esperada en años	10	años	Vida útil esperada en años	10	años		
AÑO DE REEMPLAZO DEL CONVERTIDOR							
Instalación inicial			Instalación inicial				
Reemplazo 1	0	6405	US\$	Reemplazo 1	0	6405	US\$
Reemplazo 2	10	2062	US\$	Reemplazo 2	10	2062	US\$
VP del convertidor			VP del convertidor				
VP del SFV+BOS+banco bat+convertidor			VP genera+banco bat+cargador+inversor				
	0.97	US\$/kWh		0.96	US\$/kWh		
Costo inicial total	46738	US\$	Costo inicial total	40227	US\$		
Costo W instalado	15.17	US\$/W	Costo W instalado	13.06	US\$/W		



BIBLIOGRAFIA

1. LAHMEYER INTERNATIONAL, 2001: ECU/97/G41 Electrificación Renovable de las Galápagos Eliminación de las Barreras que Impiden el Desarrollo de la Energía Renovable en el Ecuador.
Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Ecuador.
2. VARIOS, 2001: Curso de Instalaciones de Energía Solar. Editorial Progensa, España.
3. JEFFREY R. YAGO, 1999: Achieving Energy Independence One Step at a Time.
Dunimis Technology Inc, USA.
4. WWF, Fundación Natura: Guía para Docentes del Bachillerato "Aprendamos Sobre Energías Renovables".

