

1	ENERGÍAS ALTERNATIVAS	5
1.1	Definición de energía alternativa	5
1.2	Breve Reseña Histórica de las Energías Alternativas.....	6
1.3	Tipos de Energías Alternativas.....	7
1.3.1	Energía Hidráulica.....	7
1.3.2	Energía Solar.....	7
1.3.3	Energía Eólica	9
1.3.4	Biomasa	9
1.3.5	Energía Mareomotriz.....	10
1.3.6	Biocarburantes	11
2	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS	11
2.1	Requisitos para la Implementación de la Energía Eólica	12
2.2	Requisitos para la Implementación de Biomasa.....	13
2.3	Requisitos para la Implementación de Energía Solar	14
3	ENERGÍA RENOVABLE EN REPÚBLICA DOMINICANA.....	16
3.1	La energía Solar en República Dominicana.....	18
4	HISTORIA DE LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA LUMÍNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA.....	23
5	EL SOL Y LA TIERRA	27
5.1	–El Sol.....	27
5.1.1	Interior del Sol.....	28
5.2	El Sistema Solar.....	29
5.3	Análisis de la Radiación Solar.....	30
5.4	Paso de los Rayos Solares por la Atmósfera	33
5.5	Movimiento Relativo entre el Sol y la Tierra	35
5.5.1	Distancia entre el Sol y la Tierra	35
5.5.2	El Angulo de Inclinación Solar, δ ,	37

5.5.3	Excentricidad de la Órbita de Traslación de la Tierra Alrededor del Sol	39
5.5.4	Altitud del Sol	39
5.6	Horas Solares	42
5.7	Mediciones de la Energía Transmitida por el Sol.....	43
5.7.1	El Método de Medir	43
5.7.2	Instrumentos Solares.....	43
5.7.3	Método de Cálculo	44
6	CELDA FOTOVOLTAICAS	45
6.1	Definición y Fabricación.....	45
6.2	Funcionamiento.....	46
6.3	Estructura de una Celda Solar	47
6.4	Tipos de Células	47
6.5	Energía Entregada por una Célula Fotovoltaica	48
7	MÓDULOS SOLARES	51
7.1	Conceptualización.....	51
7.2	Características Físicas y Tipos de Módulos Fotovoltaicos	53
7.3	Características Eléctricas	57
7.3.1	Potencia Nominal Pico	62
7.3.2	Interconexión de Módulos	63
7.4	Selección del Módulo a Utilizar	65
7.5	Estructura de Soporte y Anclaje	66
8	ACUMULADORES DE ENERGÍA.....	67
8.1	Conceptualización y Composición	67
8.2	Celdas en Serie y en Paralelo.....	69
8.3	Celdas Primarias y Secundarias	71
8.4	Tipos de Baterías (de acuerdo a la composición)	72
8.4.1	Batería de Plomo y Ácido	72

8.4.2	Celda de Carbono y Zinc	75
8.4.3	Celda Alcalina	75
8.4.4	Celda de Níquel-Cadmio.....	75
8.4.5	Celda de Edison	76
8.4.6	Celda de Mercurio	76
8.5	Características de las Baterías	77
8.6	Comparación de los Diferentes Tipos de Baterías.....	79
8.6.1	Baterías a Utilizar en el Proyecto	80
8.6.2	El Regulador o Controlador de Carga	81
9	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	82
9.1	PARTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	83
9.1.1	El Inversor.....	83
9.1.2	Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico	88
9.2	Determinación de la Cantidad de Baterías	90
9.3	Determinación de la Cantidad de Módulos Solares	92
9.4	Determinación de la Cantidad de Inversores	93
10	DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA CARGA DE ILUMINACIÓN EN EL EDIFICIO I DE UNAPEC	95
10.1	Diagrama Unifilar.....	95
10.2	Cálculo de los Conductores y Protecciones	97
10.3	Mando y Control del Sistema Fotovoltaico	102
11	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	104
11.1	Identificación de Ingresos y Egresos en el Proyecto.....	104
11.2	CÁLCULO DE INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO	105
11.2.1	Cálculo de Ingresos	105
11.2.2	Cálculo de Egresos	105
11.3	DIAGRAMAS DE LOS FLUJOS DE EFECTIVO.....	107
11.3.1	Diagrama de Flujo para el Ingreso	107

11.3.2	Diagrama de Flujo para el Egreso	108
11.4	DETERMINACIÓN DE LA TASAS DE INTERÉS	108
11.4.1	Tasa a la cual varia la Tasa Pasiva de los Bancos	109
11.4.2	Tasa a la cual varía el costo del KWh	109
11.5	DETERMINACION DEL VAN Y LA TIR	110
11.5.1	Valor Actual Neto (VAN)	111
11.5.2	Tasa Interna de Retorno (TIR)	112
GLOSARIO.....		113

1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS

La energía es un concepto muy importante para lo que es el análisis y la utilización de ciertos recursos naturales de nuestro planeta para facilitar el modo de vida. La utilización de los derivados del petróleo es actualmente la mayor fuente de energía no renovable que utiliza la humanidad.

Este método para producir trabajo útil ha sido y es de mucha importancia, pero debido a la gran contaminación ambiental que ha producido y el agotamiento inminente de las reservas petroleras, se ha optado por el uso de fuentes alternativas de energía. Las fuentes de energías alternativas más importantes son las renovables, pues sus recursos se consideran como inagotables.

1.1 Definición de Energía Alternativa

Se consideran energías alternativas o renovables aquellas que tienen su origen en la radiación solar. Esto significa que, no solo es renovable la energía solar producida directamente por la radiación de la luz, sino que también son energías renovables, desencadenadas por el calentamiento de la superficie de la Tierra, la hidráulica y la eólica. Asimismo, se suelen considerar energías renovables las que aparentemente son inagotables, al estar causadas por fenómenos físicos de gran envergadura como la geotérmica y las mareas.

1.2 Breve Reseña Histórica de las Energías Alternativas

Durante miles de años, el hombre ha basado su desarrollo en la utilización de fuentes de energía locales, basándose en el fuego y en la fuerza animal (incluida la propia). A partir aproximadamente del año 3.000 a.c. se empieza a utilizar una fuente de energía diferente, que permite el movimiento de pequeñas embarcaciones en el Nilo sin la necesidad de efectuar un arrastre desde las orillas del río: el viento.

Esta situación se mantiene estable hasta hace unos trescientos años, cuando surge la primera revolución industrial, basada esencialmente en el carbón. Así, durante los tres últimos siglos, la industrialización de todos los países del mundo se ha basado esencialmente en la combustión de carbones e hidrocarburos. La mayores exigencias de calidad de vida de los países más avanzados, ha acarreado una fuerte dependencia y consumo de estas fuentes de energía.

El consumo específico (por persona) energético ha ido incrementándose exponencialmente en estos trescientos años, a la vez que lo hacía la población mundial. La consecuencia ya la conocemos: las fuentes tradicionales de energía, que necesitaron millones de años para formarse (provienen en su mayor parte de la descomposición de materia orgánica) se están agotando.

Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan millones de años para su formación),

como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas *energías alternativas*.

1.3 Tipos de Energías Alternativas

1.3.1 Energía Hidráulica

La energía hidráulica es la que se consigue canalizando el agua de ríos o pantanos a través de turbinas hidráulicas, transformando así la energía potencial del agua (debido a la diferencia de altura) en energía eléctrica. Debido a su gran antigüedad es la energía renovable más conocida. El diseño de las paletas permaneció invariable hasta hace unos 150 años, en que se desarrollaron las turbinas que se utilizan en la actualidad.

El diseño de cada turbina varía en función de la altura que presenta el desnivel a utilizar, y del caudal de agua que se prevé aprovechar.

1.3.2 Energía Solar

Es aquella que aprovecha la energía directa del sol para producir electricidad o calor. El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la Historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula

que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir. Esta energía puede aprovecharse directamente, o bien ser convertida en otras formas útiles como, por ejemplo, en electricidad. No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras o, simplemente, contaminantes.

Es preciso, no obstante, señalar que existen algunos problemas que se deben afrontar y superar. Aparte de las dificultades que una política energética solar avanzada conllevaría por sí misma, hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas. Así, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más la necesitamos. Es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la incipiente tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala planetaria.

Actualmente se distinguen diversos tipos de aplicaciones:

a) **Solar térmica:** paneles de captación de energía para calentamiento de agua, generalmente para uso doméstico. Previsiblemente el coste de este tipo de instalaciones va a ir reduciéndose notablemente en un plazo de cinco a diez años y será común verlas en los tejados.

b) **Solar fotovoltaica**: unos dispositivos de estado sólido (chips muy parecidos a los que se utilizan en electrónica), se excitan al recibir la luz solar y producen una pequeñísima electricidad, por lo que se agrupan por cientos en los dispositivos comerciales que se conocen como placas solares. Su precio también esta reduciéndose paulatinamente al producirse actualmente en grandes series, si bien aún el precio por kWh producido es alto en lugares de irradiación media.

1.3.3 Energía Eólica

El aprovechamiento del viento como fuente de energía para el hombre se remonta varios miles de años, ya que existen referencias de que el regadío de determinadas áreas de Babilonia 700 años a.c se obtenía a través de esta fuente de energía.

Asimismo, los barcos de vela no son sino máquinas que utilizan la fuerza del viento para producir un desplazamiento de personas y mercancías en el mar, que se remontan al menos a 5.000 a.c, cuando las embarcaciones recorrían los ríos de Mesopotámica y Egipto o los molinos de viento que se instalaron en Europa en la Edad Media, que han propiciado el uso eficiente del viento para el aprovechamiento humano.

1.3.4 Biomasa

Consideramos energía de la biomasa, la que se extrae de todo tipo de especies vegetales, que normalmente el hombre aprovecha para obtener energía por combustión directa, como la quema de leña.

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, la biomasa y la energía solar han sido las únicas fuentes de energía térmica utilizadas por el hombre.

A lo largo de los siglos, y hasta la llegada del carbón en la revolución industrial, la biomasa ha servido para cubrir las necesidades de calor e iluminación tanto en la vida cotidiana como en las distintas aplicaciones industriales existentes.

El término de biomasa en su aceptación más amplia incluye toda la materia viva existente en un instante de tiempo en la Tierra.

También se define como: el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial.

El concepto de biomasa energética incluye todos aquellos materiales que siendo biomasa, son susceptibles de ser utilizados con fines energéticos. Cualquier tipo de biomasa proviene en última instancia de la fotosíntesis vegetal.

Se espera en los próximos años un importante incremento de este tipo de proyectos basados tanto en el aprovechamiento de residuos agrícolas como en la utilización de determinados cultivos para usos energéticos.

1.3.5 Energía Mareomotriz

Es la energía de las mareas y de las olas. Existen sendos proyectos en Francia y Canadá para el aprovechamiento de una fuerte diferencia de cota entre la marea alta y la baja, y en fase experimental se encuentra la utilización de la fuerza de las olas.

1.3.6 Biocarburantes

Realmente es una aplicación más de la biomasa. Determinados cultivos como Girasol, brassica, colza son susceptibles de ser tratados y obtener etanol u otros combustibles sustitutivos del diesel. Está difundido en Centroeuropa, sobre todo para su uso agrícola. Su coste de producción actualmente es superior al de los combustibles fósiles que sustituyen, pero es una vía que sin duda se va a incentivar en los próximos años si se desea reducir la concentración de CO₂ (dióxido de carbono) en la atmósfera.

2 ANALISIS Y SELECCIÓN DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Las fuentes de energías alternativas a utilizar son varias, pero la aplicación de algunas quedaría sin efecto si la ubicación de la instalación no fuese adecuada. Además es necesario tener en cuenta el costo de la obtención de energía en comparación con el actual suministro eléctrico de energía. Por lo tanto es necesario seleccionar aquellas que puedan utilizarse eficientemente de acuerdo a la ubicación de la instalación y ciertas facilidades del mercado.

En este capítulo se analizarán las principales fuentes de energías alternativas para seleccionar la(s) más adecuada(s) para el proyecto.

2.1 Requisitos para la Implementación de la Energía Eólica

Para una implementación eficiente de la energía eólica es necesario un lugar de instalación en donde el flujo de aire sea significativo y amplio, si es que se quiere obtener una cantidad considerable de energía.

Como la mayoría de las fuentes de energía terrestres, en última instancia viene del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 kilovatios/hora de energía a la tierra. Es decir, en una hora la tierra recibe 1.74×10^{17} vatios de energía.

Aproximadamente entre el 1 y el 2 por ciento la energía que proveniente del sol es convertida en viento. Ésa cantidad es de 50 a 100 veces más que la energía convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Las diferencias de temperatura conducen a la circulación de aire. Las regiones alrededor de ecuador, de latitud 0° , son calentadas por el sol más que el resto del planeta. El aire caliente que es más ligero que el aire frío y se eleva hasta alcanzar aproximadamente 10 kilómetros (6 millas) de altitud y se separará en dos corrientes una se dirige hacia el norte y otra al sur. Si el globo no rotara, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al polo sur, bajaría, y volvería al ecuador.

Los vientos predominantes se combinan con factores locales, tales como la presencia de colinas, montañas, árboles, edificios y masas de agua, para determinar las características particulares del viento en una localización específica. Puesto que el aire posee masa, el aire en movimiento en forma de viento lleva con él energía cinética. Una turbina del viento convierte esta energía cinética en electricidad. El contenido de energía de un volumen determinado de viento es proporcional al cuadrado de su velocidad. Así, al

duplicarse la velocidad con la cual este volumen de aire pasa a través de una turbina de viento dará lugar a un aumento de cuatro veces la potencia que se puede extraer de este aire. Además, al duplicarse la velocidad del viento permitirá que dos veces el volumen de aire pase a través de la turbina en la misma cantidad de tiempo, dando por resultado un aumento de ocho veces la potencia generada. Esto significa que con solo un leve aumento en velocidad del viento puede obtenerse aumentos significativos en la producción de energía.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

La cantidad de energía cinética de una masa de aire (E_k) es igual a la mitad del producto de su (m) total y el cuadrado de su velocidad (v).

$$P \sim v^3$$

La cantidad de la potencia (p) ejercida por el viento es proporcional al cubo de su velocidad (v).

El lugar de implementación de los aerogeneradores prácticos debe ser extenso y que el flujo de aire sea considerable. En la universidad UNAPEC se podrían utilizar aerogeneradores, pero solo como exhibición o cargas pequeñas y no para soportar parcial o totalmente las cargas eléctricas de dicha universidad.

2.2 Requisitos para la Implementación de Biomasa

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles

líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas, pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

La implementación de energía vía biomasa es muy costoso, pues no solo se requiere de la materia orgánica si no del apoyo de las instituciones gubernamentales. La utilización y distribución de este tipo de fuente energética está en una fase de prueba en República Dominicana. Por consiguiente su utilización sería más costoso que el suministro de energía eléctrica estatal.

2.3 Requisitos para la Implementación de Energía Solar

La energía luminosa que proviene del Sol es el recurso principal o materia prima que se requiere para la conversión de energía luminosa a energía Eléctrica. El costo de este proceso de conversión está en los dispositivos que convierten la energía y en los

elementos que la almacenan. Los dispositivos convertidores son llamados celdas fotovoltaicas o celdas solares. Las celdas solares se han estado distribuyendo en los últimos años por toda Latinoamérica y su utilización ha de crecer significativamente según los expertos. La única desventaja de los paneles solares es su costo inicial, sin embargo la vida útil de un modulo solar está entre los 20 y 30 años.

Gracias a la posición geográfica de República Dominicana la utilización de la energía solar hace de esta fuente de energía la mejor alternativa a seleccionar para este proyecto. Además hay mucho espacio disponible en los techos de los edificios de la Universidad para colocar una gran cantidad de módulos. Por lo tanto es la energía solar directa o luz luminosa la que utilizaremos para nuestra propuesta.

3 ENERGÍA RENOVABLE EN REPÚBLICA DOMINICANA

El potencial de la explotación de energías renovables en República Dominicana es muy grande, basta con ver los siguientes datos:

- 10,000 MW de energía Eólica.
- Insolación media de 5 kwh en todo República Dominicana
- Más de 1 millón de tareas disponibles para Biocombustibles
- 1,000 MW de Energía Hidroeléctrica
- Potencial de los Mares y la Geotérmica

Para el poyo a las energías renovables en República Dominicana, se creo la Política Pública para las Energías renovables, en donde destacan los siguientes puntos.

Ley de Incentivos:

- Exención de todos los impuestos
- Acceso gratis a la red eléctrica
- Primas sobre las tarifas

Requisito del 10% del total de la energía en el país para el 2010 y el 25% para el 2025.

Trabajar con instituciones educativas de nivel superior:

- Instituto Tecnológico de Santo Domingo
- Parque Cibernético de Santo Domingo
- Universidad Autónoma de Santo Domingo

Esta ley fue aprobada en mayo del 2007 y promulgada en mayo del 2008. Con ella se han atraído más de 3 mil millones de inversiones para los siguientes 3 años en distintas energías renovables:

- Energía Eólica
- Manufactura solar
- Etanol y Biodiesel
- Energía hidroeléctrica
- Energía de bagazo y desechos sólidos

3.1 La Energía Solar en República Dominicana

Desde la década de los 70 la energía solar ha venido formando parte de las opciones para el abastecimiento de energía eléctrica en nuestro país. En 1971 abrió sus puertas en R.D la empresa española pionera en la construcción de paneles solares ISOFOTON, ofreciendo los servicios de instalaciones de paneles solares.

En noviembre 2007 la empresa Fluitecnik únicos fabricantes de paneles solares en República Dominicana y el caribe inauguró sus instalaciones en el Parque Cibernético Nacional. Inicio con una inversión de 23 millones de euros 80 empleos; Actualmente, Fluitecnik sigue impulsando una cifra de negocios por encima de los sesenta millones de euros y emplea 350 personas, lo que ha supuesto la confianza de más de 2,000 clientes en todo el mundo. La inversión en maquinarias que ha realizado Fluitecnik en República Dominicana asciende a 4 millones de euros y la inversión global cash flor en 2008 y 2009 son superiores a los 50 millones de euros.

En marzo de 2008, la radio dominica inauguró por todo lo alto en el Seybo el proyecto de energía solar que alimenta al primer transmisor digital de amplitud modulada en la República Dominicana. El proyecto fue posible gracias a la cooperación de la Embajada de Japón y el Gobierno de Navarra, España, a través de la organización "Alas de Esperanza"

Actualmente, existen aproximadamente 400.000 hogares rurales en República Dominicana carecen de acceso a la red eléctrica. La demanda creciente de electricidad en todo el país, especialmente en las áreas rurales pobres, ha originado la búsqueda de fuentes alternativas de energía. Gracias a un proyecto nacional, financiado por el gobierno nacional y el Programa de Pequeños Subsidios del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y con entrenamiento otorgado por organizaciones locales, más de 600 hogares rurales en 18 provincias están empleando energía solar para generar electricidad para televisores, radios y bombillos. El proyecto brinda entrenamiento especializado y crea microempresas para vender, instalar y

mantener los sistemas fotovoltaicos. El alejado pueblito de Sabana Mula es una de las comunidades que se están beneficiando del proyecto. Gracias a la energía del sol, esta comunidad puede bombear agua desde un pozo e iluminar la escuela y las casas de los pobladores. Sin embargo, éste no es un proyecto ordinario; los habitantes de Sabana Mula están demostrando que su participación es importante. El dinero para las semillas proviene del Programa de Pequeños Subsidios, cofinanciado por el gobierno nacional, pero las comunidades mismas han creado un fondo que asegura que todos obtengan la tan necesitada tecnología.

La Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE), la principal compañía de electricidad en este país, actualmente suministra la mitad del requisito de electricidad de la nación. Al no tener electricidad, las comunidades rurales pobres no pueden detener la migración urbana, pues muchos se sienten aislados del resto del mundo.

Los más jóvenes son quienes más migran a las ciudades para disfrutar del acceso a los servicios básicos. Además, el uso tradicional de queroseno para iluminar y cocinar es costoso y ocasiona problemas a la salud.

El Programa de Pequeños Subsidios del PNUD financió los primeros 17 sistemas para viviendas, y la comunidad formó un fondo para pagar los demás. Por cada panel solar, se necesita un depósito de unos US\$ 115 y un pago mensual de US\$ 6. Aunque esta inversión tarda tres años en pagarse, la vida útil de cada sistema de energía solar es de 25 años. ADESOL, una organización no gubernamental nacional, entrenó y patrocinó a un empresario local de Sabana Mula para que vendiera paneles solares a la comunidad y para que suministrara asistencia técnica y entrenamiento a los beneficiarios. Junto con otras ONG, ADESOL ha estado entrenando nuevos grupos de empresarios en la tecnología de los paneles fotovoltaicos, creando así negocios sustentables donde antes no existían.



Fig.3.1 Vivienda Dominicana común con energía solar



Fig.3.2 La Escuela en Sabana Mula usando energía solar

En República Dominicana, el proyecto de energía solar ha resultado en muchos beneficios para las comunidades involucradas, pues ha traído servicios sociales como escuelas y clínicas, lo cual, indirectamente, mejora la salud y educación de la comunidad, al mismo tiempo que otorga electricidad a los hogares. La energía solar puede ser costeadada por cada vez más poblaciones rurales que no disfrutaban de red eléctrica en los países en desarrollo. El costo de iluminar un hogar con esta tecnología se equipara al gasto mensual de una familia en velas, queroseno y baterías recargables. Una familia con este sistema ya no necesita comprar más baterías para hacer

funcionar el radio, el cual forma parte de casi todos los hogares. A medida que esta industria madure y se expanda la infraestructura.

En los años venideros el país dará un salto grande en el desarrollo de la energía Solar, que la industria Isofotón, quinta en el mundo y líder en España en la fabricación de productos para el aprovechamiento de la energía solar, instalará dos plantas en República Dominicana, con una inversión inicial de más 100 millones de euros, que alcanzaría los mil millones de euros en los próximos diez años. El anuncio lo hizo el año pasado el licenciado Arístides Fernández Zucco, en ese entonces secretario de Estado, presidente de la Comisión Nacional de Energía (CNE), a su regreso de una gira de trabajo y gestiones oficiales para atraer inversiones extranjeras en el sector energético.

En la actualidad es tan notable el auge que ha tenido el tema de las energía renovables es sentido general, que importante destacar que existen decenas de compañías dedicadas implementación de proyectos de energía solar y a la comercialización de equipos para la generación de energía eléctrica a través de la energía solar, a continuación un listado de ellas:

1. Fluitecnik Dominicana
2. ALEX PROTACE
3. EMPRESAS CONVERSANO
4. ISOTEC SOL
5. M & A INGENIERIA, C POR A
6. SOLELEC DOMINICANA
7. SOMOS SERVICES C X A O
8. STEFANY & ASOCIADOS O

9. TRACE INTERNATIONAL

11. TRADEMASTER, INC

12. UNITRADE, S A

13. Grec Energy Systems Dominican Republic

14. MJ Comunicaciones, CxA

15. Freddy Multiservice S.A

16. Sol del Choco S.A.

17. Soluciones Energéticas del Caribe

18. Soluz Dominicana, S.A.

4 HISTORIA DE LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA LUMÍNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA

El origen de la conversión de energía lumínica a energía eléctrica ha sido el estudio de un fenómeno denominado efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta en general). Las primeras observaciones del efecto fotoeléctrico proceden del siglo 19 y vienen a concluir en el siglo 20. Para entender lo que fue este proceso, a continuación se detallan los acontecimientos que dieron lugar a tan importante descubrimiento.

Las primeras observaciones del efecto fotoeléctrico fueron llevadas a cabo por Heinrich Hertz en sus experimentos sobre la producción y recepción de ondas electromagnéticas. Su receptor consistía en una bobina en la que se podía producir una chispa como producto de la recepción de ondas electromagnéticas. Para observar mejor la Chispa Hertz encerró su receptor en una caja negra. Sin embargo la longitud máxima de la chispa se reducía en este caso con las observaciones de chispas anteriores. En efecto la absorción de luz ultravioleta facilitaba el salto de los electrones y la intensidad de la chispa eléctrica producida en el receptor. Hertz publicó un artículo con sus resultados sin intentar explicar el fenómeno observado.

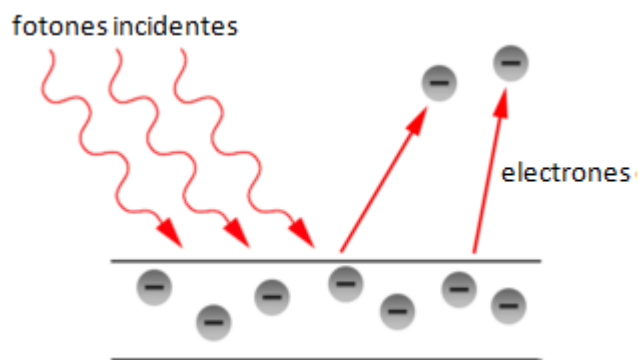


Figura 4.1-Diagrama del efecto fotoeléctrico. Los fotones incidentes son absorbidos por los electrones del medio dotándoles de energía suficiente para escapar de éste.

En 1889, el físico británico Joseph John Thomson investigaba los rayos catódicos. Influenciado por los trabajos de James Clerk Maxwell, Thomson dedujo que los rayos catódicos consistían de un flujo de partículas cargadas negativamente a los que llamo corpúsculos y ahora conocemos como electrones. Thomson utilizaba una placa metálica encerrada en un tubo de vacío como cátodo exponiendo este a luz de diferente longitud de onda. Thomson pensaba que el campo electromagnético de frecuencia variable producía resonancias con el campo eléctrico atómico y que si estas alcanzaban una amplitud suficiente podía producirse la emisión de un “corpúsculo” subatómico de carga eléctrica y por lo tanto el paso de la corriente eléctrica. La intensidad de esta corriente eléctrica variaba con la intensidad de la luz. Incrementos mayores de la intensidad de la luz producían incrementos mayores de la corriente. La radiación de mayor frecuencia producía la emisión de particular con mayor energía cinética.

En 1902 Philipp Von Lenard realizó observaciones del efecto fotoeléctrico en las que se ponía de manifiesto la variación de energía de los electrones con la frecuencia de la luz incidente. La energía cinética de los electrones podía medirse a partir de la diferencia de potencial necesaria para frenarlos en un tubo de rayos catódicos. La radiación ultravioleta

requería por ejemplo potenciales de frenado mayores que la radiación de mayor longitud de onda. Los experimentos de Lenard arrojaban datos únicamente cualitativos dadas las dificultades del equipo instrumental con el cual trabajaba.

En 1905 Albert Einstein propuso una descripción matemática de este fenómeno que parecía funcionar correctamente y en la emisión de electrones era producida por la absorción de cuantos de luz que más tarde serían llamados fotones. En un artículo titulado “Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz” mostró como la idea de partículas discretas de luz podía explicar el efecto fotoeléctrico y la presencia de una frecuencia característica para cada material por debajo de la cual no se producía ningún efecto. Por esta explicación del efecto fotoeléctrico Einstein recibiría el premio Nóbel de física en 1921.

El trabajo de Einstein predecía que la energía con la que los electrones escapaban del material aumentaba linealmente con la frecuencia de la luz incidente. Sorprendentemente este aspecto no había sido observado en experiencias anteriores sobre el efecto fotoeléctrico. La demostración experimental de este aspecto fue llevada a cabo en 1915 por el físico estadounidense Robert Andrews Millikan.

El efecto fotoeléctrico a parte de explicar la liberación externa de electrones también puede aplicarse a otros tres procesos: la fotoionización, la fotoconducción y el efecto fotovoltaico que es el de interés para este trabajo. La fotoionización es la ionización de un gas por la luz u otra radiación electromagnética. Para ello, los fotones tienen que poseer la suficiente energía para separar uno o más electrones externos de los átomos de gas. En la fotoconducción, los electrones de materiales cristalinos absorben energía de los fotones y llegan así a la gama de niveles de energía en la que pueden desplazarse libremente y

conducir electricidad. En el efecto fotovoltaico, los fotones crean pares electrón-hueco en materiales semiconductores.

5 EL SOL Y LA TIERRA

5.1 -El Sol

El Sol es el elemento más importante en el sistema solar. Es el objeto más grande y contiene aproximadamente el 98% de la masa total del sistema solar. Se requerirían ciento nueve Tierras para completar el disco solar, y su interior podría contener más de 1.3 millones de Tierras. La capa exterior visible del Sol se llama la fotosfera y tiene una temperatura de 6,000°C (11,000°F). Esta capa tiene una apariencia manchada debido a las turbulentas erupciones de energía en la superficie.

La energía solar se crea en el interior del Sol (ver figura 5.1). Es aquí donde la temperatura (15,000,000° C; 27,000,000° F) y la presión (340 millardos de veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar) son tan intensas que se llevan a cabo las reacciones nucleares. Estas reacciones causan núcleos de cuatro protones ó hidrógeno para fundirse juntos y formar una partícula alfa ó núcleo de helio. La partícula alfa tiene cerca de 0.7% menos masa que los cuatro protones. La diferencia en la masa es expulsada como energía y es llevada a la superficie del Sol, a través de un proceso conocido como convección, donde se liberan luz y calor. Cada segundo se convierten 700 millones de toneladas de hidrógeno en cenizas de helio. En el proceso se liberan 5 millones de toneladas de energía pura; por lo cual, el Sol cada vez se vuelve más ligero.

A causa de su proximidad a la Tierra y como es una estrella típica, el Sol es un recurso extraordinario para el estudio de los fenómenos estelares. No se ha estudiado ninguna otra estrella con tanto detalle. La estrella más cercana al Sol está a 4,3 años luz (4×10^{13} km); para observar los rasgos de su superficie comparables a los que se pueden ver de forma habitual en el Sol, se necesitaría un telescopio de casi 30 km de diámetro. Además, un telescopio así tendría que ser colocado en el espacio para evitar distorsiones causadas por la atmósfera de la Tierra.

5.1.1 Interior del Sol

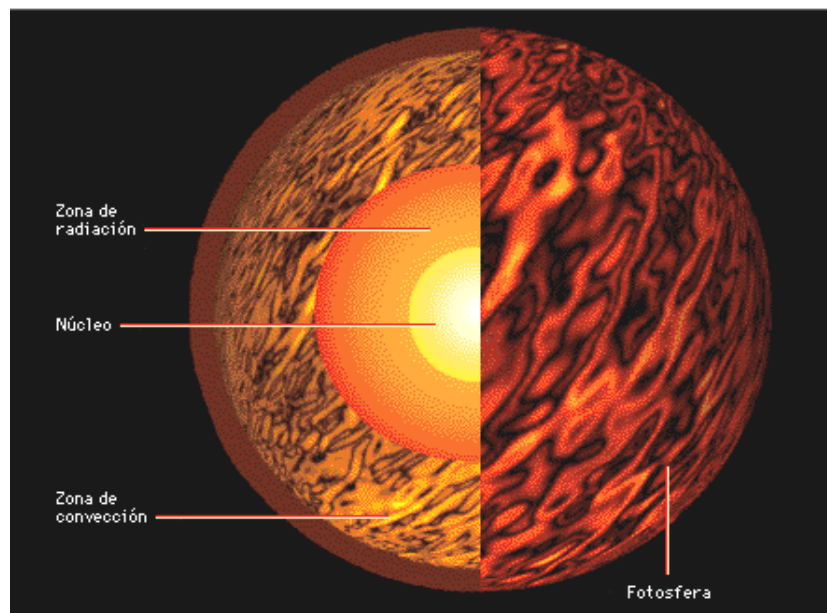


Figura 5.1 Interior del sol

Entre las regiones del Sol están el núcleo, la zona de radiación, la zona de convección y la fotosfera tal y como se muestra en la figura 5.1. Los gases del núcleo son unas 150 veces más densos que el agua y alcanzan temperaturas de 16 millones de grados centígrados. La energía del Sol se produce en el núcleo mediante la fusión de los núcleos de hidrógeno en núcleos de helio. En la zona de radiación, la radiación electromagnética fluye hacia el exterior en forma de calor, y los gases son tan densos como el agua. Esta zona es más fría que el núcleo, con unos 2,5 millones de grados centígrados. En la zona de convección, movimientos de gases sacan fuera la energía del Sol. La zona de convección es ligeramente más fría (unos 2 millones de grados centígrados) y 10 veces menos densa que el agua. La fotosfera es más fría en unos 5.500 °C y mucho menos densa (una millonésima de la densidad del agua). La turbulencia de esta región es visible desde la Tierra en forma de manchas solares, erupciones y pequeñas bolsas de gas llamadas gránulos.

5.2 El Sistema Solar

El Sistema Solar se formó hace más de 4.000 millones de años y está constituido en esencia por el Sol, los ocho planetas que describen órbitas a su alrededor y sus lunas. Estos planetas son, contando desde el Sol: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno (ver figura 5.2). Posiblemente el Sistema Solar se formó a partir de una nube de gas y polvo que se desprendió de otra mayor (Hipótesis de La place). La acción de las fuerzas gravitacionales provocaron la formación de un núcleo denso y extremadamente caliente, el Sol, en torno al cual, varios cuerpos chocaron y se enfriaron dando lugar a la formación de los planetas.

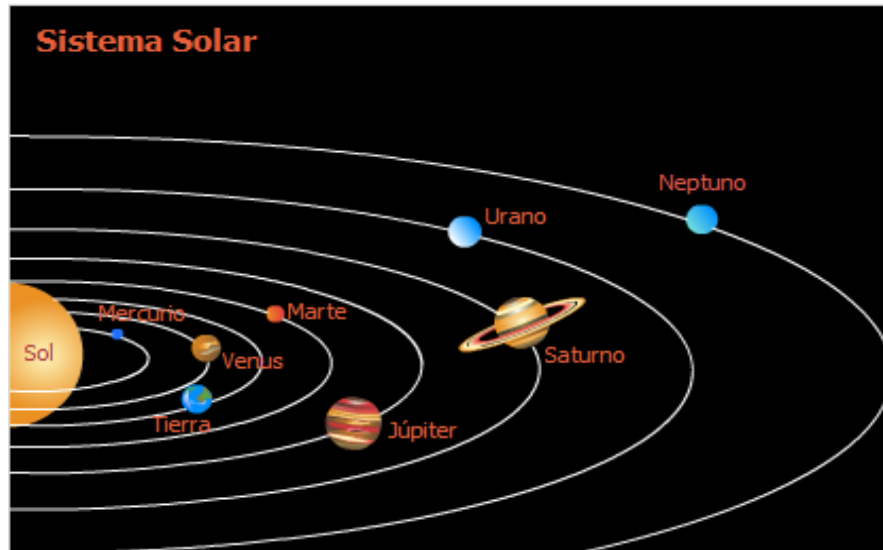


Figura 5.2 Esquema del sistema solar

5.3 Análisis de la Radiación Solar

La radiación es uno de los medios a través del cual se puede transmitir energía térmica. todos los objetos continuamente radian energía en la forma de ondas electromagnéticas producidas por vibraciones térmicas en la composición interna de dichos objetos.

La rapidez a la que un objeto radia energía es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Este comportamiento, conocido como la ley de Stefan, se expresa en forma de ecuación como:

Ley de Stefan
$$\mathcal{P} = \sigma A e T^4$$
 5.1

Donde $\mathcal{P}$ es la potencia en watts de las ondas electromagnéticas radiadas de la superficie de del objeto, σ es una constante igual a $5.6696 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2) \cdot \text{K}^4$, A es el área

superficial del objeto en metros cuadrados, e es la emisividad y T es la temperatura superficial en kelvins. El valor de e puede variar entre cero y la unidad, depende de las propiedades del objeto. La emisividad es igual a la absorción, que es la fracción de la radiación entrante que absorbe desde la superficie. Un espejo tiene muy baja absorción por que refleja casi toda la luz incidente. Por lo tanto, la superficie de un espejo también tiene una emisividad muy baja. En el otro extremo, una superficie negra tiene alta absorción y alta emisividad. Un absolvedor ideal se define como un objeto que absorbe toda la energía incidente sobre él y, para el objeto, $e = 1$. Un objeto para el que $e = 1$ con frecuencia se conoce como cuerpo negro.

Por medio de la ley de Estefan y ciertos datos experimentales, los científicos han determinado que el sol desarrolla una potencia de $15,000\text{KW}/\text{m}^2$ en su superficie.

En el límite exterior de la atmósfera terrestre (la exosfera) llegan $1.35\text{KW}/\text{m}^2$, a esta radiación promedio se le denomina como constante solar. La constante solar es el valor máximo de la intensidad Luminosa que incide sobre la atmósfera, la cual se ve reducida en los días nublados y con ángulos diferentes de 90 grados entre los rayos solares y la superficie de incidencia.

La energía que llega a la tierra desde el Sol, es en forma de ondas electromagnéticas de longitudes onda diferentes: Una parte de estas ondas las percibe el ojo humano en forma de diversos colores, como en la observación de un arco iris. A través de mediciones y cálculos se han determinado una radiación promedio sobre la superficie de la tierra de $1077\text{W}/\text{m}^2$ en días claros y $660\text{W}/\text{m}^2$ en días nublados.

En la figura 5.3 se muestra el espectro de la radiación energética solar. El espectro es el conjunto de ondas electromagnéticas que abarcan desde la luz invisible (ondas de baja frecuencia) para el ojo humano, hasta aquellas que si son observables (ondas cuya frecuencia no es mayor que la ultravioleta). En esta figura se puede notar que la luz visible abarca solo una pequeña parte del espectro. La luz ultravioleta es la de onda más corta que la visible, y la de onda más larga es la luz infrarroja.

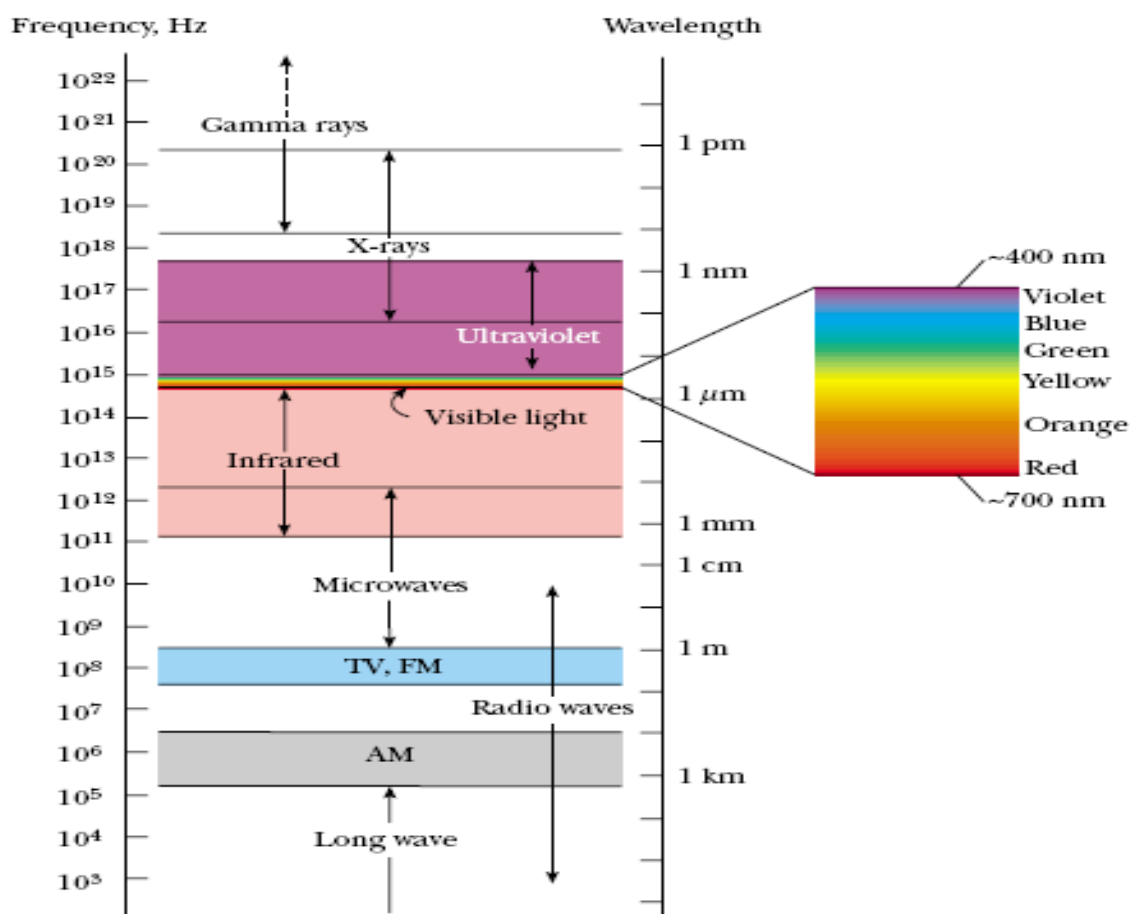


Figura 5.3 Espectro de las ondas electromagnéticas radiadas por el Sol.

5.4 Paso de los Rayos Solares por la Atmósfera

Los componentes químicos de la atmósfera terrestre son: oxígeno, nitrógeno, vapor de agua, dióxido de carbono y polvo. Al pasar los rayos solares por la atmósfera, parte de la luz es absorbida, otra parte es distribuida en distintas direcciones y otra parte llega a la tierra directamente. De esta parte que llega a la superficie terrestre, se refleja parte a la atmósfera donde nuevamente se esparce. Por lo que la energía que llega a la tierra depende significativamente del clima, densidad atmosférica y contenido de polvo en el aire.

La figura 5.4 muestra el paso de la energía solar en días claros y nublados. La energía solar llegada a la tierra puede ser clasificada en dos partes: a) luz directa (D), que pasa la atmósfera sin ser afectada b) Luz esparcida (E), que llega a la atmósfera terrestre. En un día claro promedio, el 70% de la energía solar extra-terrestre puede llegar directo; un 10% en forma esparcida y 20% no llega a la tierra por ser reflejada y o absorbida por la atmósfera. En un día nublado solo el 50% de energía disponible llega fuera de la atmósfera, 25% en forma directa y 25% en forma esparcida. Con esto nos damos cuenta que el contenido de luz esparcida ha aumentado pero el total de la radiación recibida para el día nublado es más pequeño.

POTENCIA:

The diagram illustrates the flow of solar energy from the Sun to Earth, showing the significant losses at each stage.

EL SOL (The Sun): The initial energy output is $15\,000\,000\text{ W/M}^2$.

LA TIERRA (DÍA CLARO) (Earth, Clear Day): The energy reaching the Earth's surface is 1070 W/M^2 . The losses are:

- 20% PERDIDA (Loss)
- 70% (D) (Direct radiation)
- 10% (E) (Earth's albedo)
- 5% (Loss)

LA TIERRA (DÍA NUBLADO) (Earth, Cloudy Day): The energy reaching the Earth's surface is 660 W/M^2 . The losses are:

- 50% PERDIDA (Loss)
- 25% (D) (Direct radiation)
- 25% (E) (Earth's albedo)

Figura 5.4 -Distribución de la radiación solar en la tierra, tanto en días soleados como en días nublados

5.5 Movimiento Relativo entre el Sol y la Tierra

5.5.1 Distancia entre el Sol y la Tierra

La luz del día es el resultado de la radiación solar que ha viajado una distancia promedio de 1 Unidad Astronómica ($1 \text{ UA} = 1.496 \times 10^8 \text{ km}$) del sol a la tierra. Debido a que la tierra gira alrededor del sol en una órbita elíptica, con el sol en uno de sus focos, entonces la distancia al sol varía continuamente, por lo que el flujo de radiación solar que incide sobre la tierra también varía a lo largo de la órbita de traslación de la tierra (Fig. 5.5).

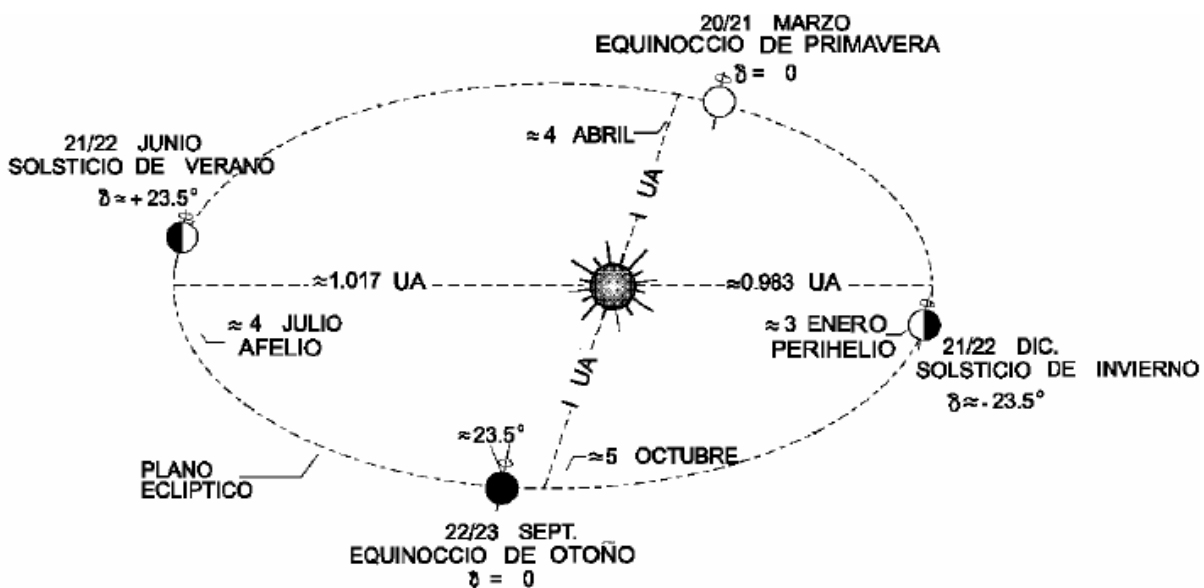


Figura 5.5- Movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol. EL sol se encuentra en uno de los focos de la órbita elíptica de la tierra

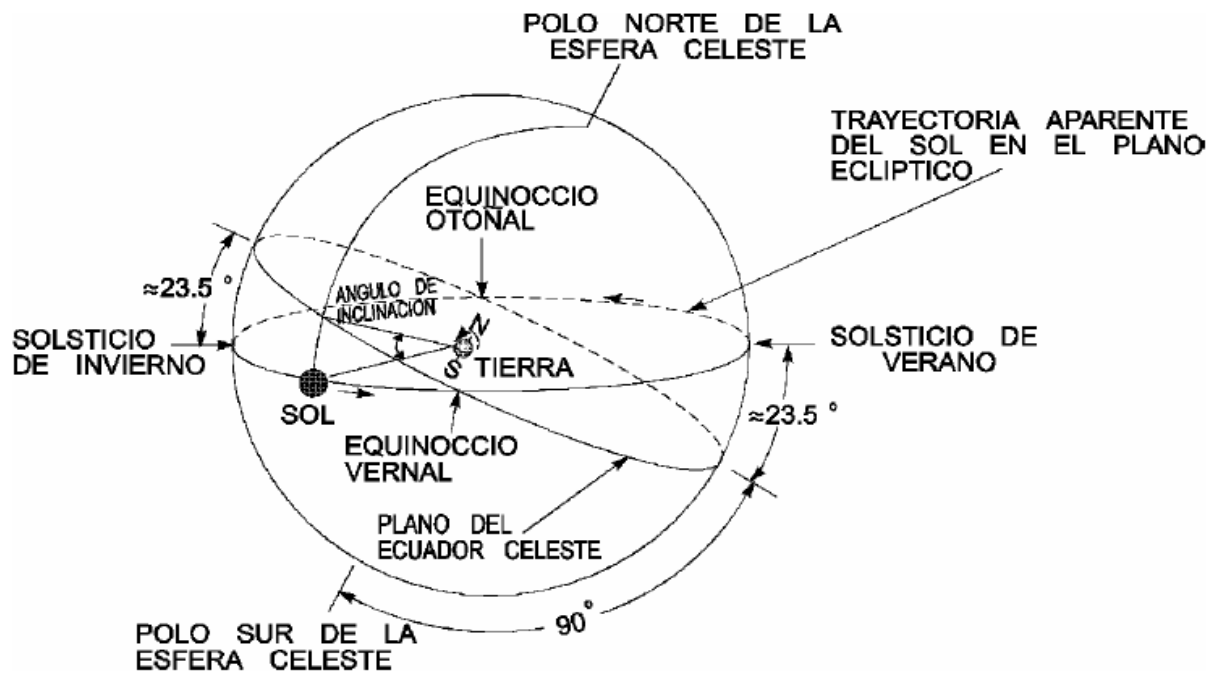


Figura 5.6- En esta figura se analiza el movimiento de manera que es el sol quien se está moviendo alrededor de la tierra.

Las tres cantidades físicas que determinan la magnitud de la radiación solar a lo largo del movimiento de traslación de la tierra son: el ángulo de inclinación solar, la excentricidad de la órbita terrestre y la altitud.

5.5.2 El Ángulo de Inclinación Solar, δ ,

El ángulo de inclinación solar (δ) también es conocido como ángulo de declinación solar y definido como el ángulo entre el plano ecuatorial de la tierra y la línea que une el centro del sol con el de la tierra, es muy importante, pues sus variaciones estacionales permiten que haya regiones, como los polos, que pueden recibir una gran cantidad de radiación solar en ciertas épocas (verano) o prácticamente nada en otras (invierno). Como se sabe, la tierra gira sobre su propio eje polar, el cual forma el ángulo de inclinación terrestre δ_T , con la normal al plano eclíptico, cuyo valor constante es de $23^\circ 26' 59''$. Otra forma de definir el ángulo de inclinación solar es fijando la tierra, suponiendo que es el sol el que da vueltas alrededor de la tierra; de tal manera que el sol describirá una esfera celeste, como se observa en la Figura 5.6.

Los polos de esta esfera celeste coinciden con la extensión del eje polar terrestre, similarmente, el ecuador celeste también coincide con la extensión del plano ecuatorial terrestre. La intersección del plano ecuatorial con el plano de revolución del sol alrededor de la tierra (es decir, el plano eclíptico) hace un ángulo de $23^\circ 26' 59''$. Por una parte, el movimiento de rotación terrestre da lugar a los cambios diurnos en la recepción de radiación solar; por otra parte, el movimiento de traslación terrestre, da lugar a los cambios estacionales en la recepción de radiación. Durante el movimiento diurno, se puede considerar constante el ángulo de inclinación solar; sin embargo, conforme la tierra se traslada alrededor del sol, el ángulo de inclinación solar irá variando como se observa en la figura 5.7

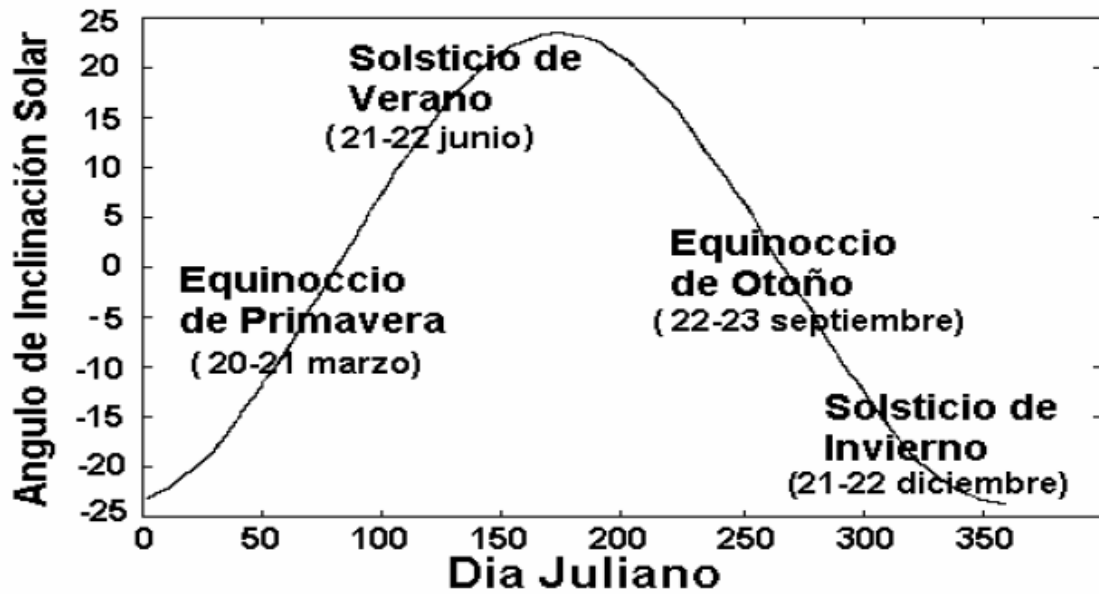


Figura 5.7. Variación del ángulo de inclinación solar, δ , a lo largo del año, mostrando los equinoccios de primavera y otoño ($\delta = 0$) y los solsticios de verano ($\delta = +23.5^\circ$) e invierno ($\delta = -23.5^\circ$).

Nótese que si el ángulo de inclinación terrestre fuese igual a cero ($\delta_T = 0^\circ$), entonces también δ sería cero y prácticamente no se observaría un cambio estacional en la tierra, pues ambos hemisferios estarían siempre expuestos al mismo campo de radiación solar y el efecto debido a la distancia al sol solo dependería de la excentricidad de la órbita terrestre.

5.5.3 Excentricidad de la Órbita de Traslación de la Tierra Alrededor del Sol

La **excentricidad** (e) es definida como la desviación de la órbita de un círculo. Entonces, un círculo tendrá excentricidad igual a cero, en este caso, un planeta con $e = 0$ recibirá siempre la misma cantidad de radiación solar, a lo largo de un año; mientras que un planeta, como la tierra, que gira alrededor del sol en una órbita elíptica, con una excentricidad de $e = 0.0164$, recibirá una cantidad variable de radiación a lo largo de un año. Por ejemplo, durante el verano del hemisferio norte, la tierra se encuentra en su posición más alejada del sol (afelio), a una distancia aproximada de 1.017 UA, por lo que recibe menos energía; por el contrario durante el invierno del hemisferio norte, la tierra estará en su posición más cercana al sol (perihelio), a una distancia aproximada de 0.983 UA, por lo que la tierra recibirá una mayor cantidad de radiación solar.

Como resultado de la excentricidad de la órbita, la tierra recibe aproximadamente un 6 % más de energía solar cuando se encuentra en el perihelio (noviembre, diciembre y enero) que cuando se localiza en el afelio (mayo, junio y julio).

5.5.4 Altitud del Sol

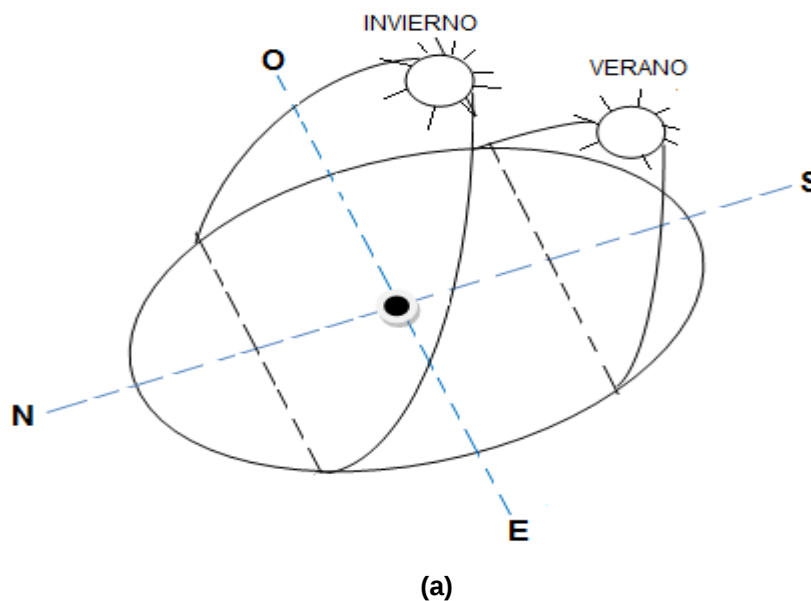
Otra variable importante a parte de la excentricidad y el ángulo de declinación, es la altitud o elevación de los rayos del Sol con respecto de un punto específico de la tierra. La altitud varia a medida que la tierra rota entorno de su propio eje(es decir durante el día).Puesto que la posición geográfica en la que se hará el proyecto es en la República

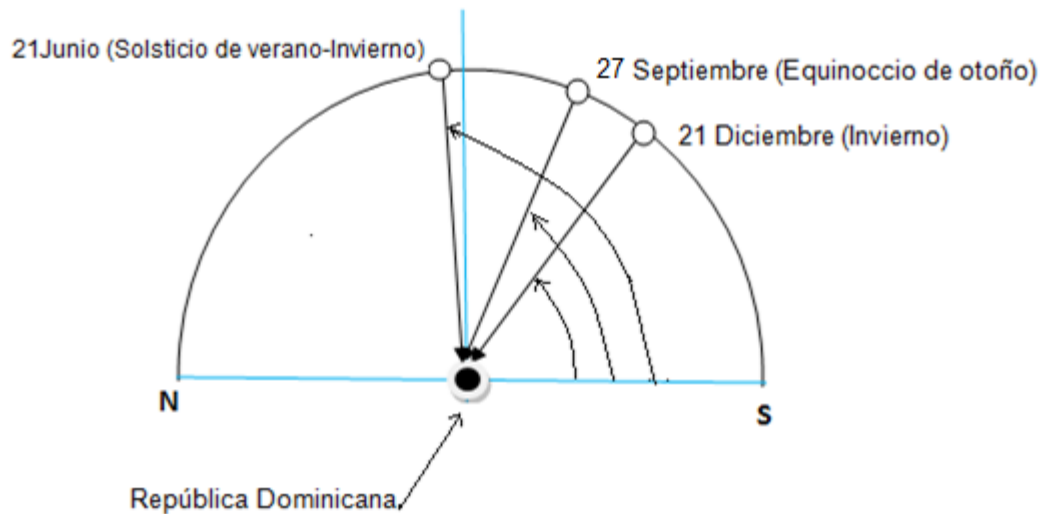
Dominicana, en la tabla 5.1 se presenta la altitud del sol en diferentes fechas estacionales a medio día. La capital de La República Dominicana está situada aproximadamente a 18.5 grados desde el ecuador- latitud norte.

ALTITUD SOLAR EN DIFERENTES ESTACIONES DEL AÑO ;(R.DN)		
Fecha local	Elevación al medio día	Medio día solar a tiempo local
21 Marzo	71	12h - 13 min
21 Junio	93.5	12h - 18 min
27 Septiembre	71	12h - 27 min
21 Diciembre	46	12h - 20 min

Tabla 5.1 altitud solar en diferentes estaciones del año

En la figura 5. 8 (a y b) se muestra el movimiento solar en varano e invierno con respecto al punto dado y la posición por hora en República Dominicana.





(b)

Figura 5. 8 (a y b)- Altitud del sol con respecto de República Dominicana en diferentes estaciones del año.

La altitud del sol es un dato muy importante, pues permitirá estimar la parte útil de la constante solar que es perpendicular a la superficie donde estará ubicado el proyecto. En el subcapítulo 1 se introdujo un valor de 1077 W/m^2 para la constante solar en días claros y 660 W/m^2 para días nublados. Un valor promedio de la constante que tome en cuenta los días nublados sería 869 W/m^2 .

Si se multiplica esta constante solar promedio (869 W/m^2) por el seno de la altitud del sol con respecto de un punto geográfico, se obtiene el valor útil o perpendicular a dicho punto geográfico. Por ejemplo si se desea saber el valor útil de la constante solar durante el solsticio de invierno (inicia el 21 de diciembre) se procede como sigue:

$$G_{u1} = (G_p) \times [\text{Sen } (46 \text{ grados})] = (869 \text{ W/m}^2) \times [0.72] = 625 \text{ W/m}^2$$

En donde:

Gp - Constante Solar promedio

Gu1 -intensidad útil en el solsticio de invierno

Los valores de Gu para las estaciones que inician en septiembre 21, Junio 21 y marzo 21 son 822W/m^2 , 867 W/m^2 y 822W/m^2 respectivamente. Para obtener un valor promedio anual de la constante solar (Gua) se busca la media aritmética de estos 4 valores obtenidos.

$$Gua = (625\text{ W/m}^2 + 822\text{W/m}^2 + 867\text{ W/m}^2 + 822\text{W/m}^2)/4 = 784\text{ W/m}^2$$

Dado que los días significativamente nublados son menores que los claros en República Dominicana, se podría considerar un valor de Gua igual a 800W/m^2 para trabajar en este proyecto.

5.6 Horas Solares

Como sabemos, la cantidad de vapor de agua y de polvo en el aire influye mucho sobre la energía solar que llega a tierra. Por ser tan contaminada la zona urbana se recibe menos el sol directo y mas el sol esparcido. Lo que nos dice que la energía total recibida es menor. Según investigaciones el promedio de horas solar por año es 4000 para desiertos, 2800 para República Dominicana (RD) y 2300 para Nueva York. Si dividimos 2800 horas entre 365 días obtenemos el número de horas útiles por día, que en este caso serian 8 horas aproximadamente para RD.

5.7 Mediciones de la Energía Transmitida por el Sol

Como sabemos la radiación solar no es uniforme sino compuesta por diferentes longitudes de ondas que varían al pasar por la atmósfera. Usando dos métodos podemos saber la cantidad de energía por unidad de área que llega a la superficie terrestre.

5.7.1 El Método de Medir

Se miden la radiación solar directamente por medio de algún instrumento especializado.

5.7.2 Instrumentos Solares

Estos instrumentos de medir energía solar que llega a la tierra se dividen de acuerdo al tipo de radiación que miden.

- 1) **Pirheliómetro**, mide radiación solar directa más una pequeña cantidad de luz esparcida, que corresponde al área de vista del instrumento.
- 2) **Piranómetro**: mide totalmente la radiación solar que llega a la superficie de la tierra
- 3) **Piranómetro con anillo de sombra**, parecido al anterior, pero hay que agregarle un anillo de sombra que excluye la luz solar directa.

5.7.3 Método de Cálculo

El método de cálculo cuantifica la disminución de la radiación solar al pasar por la atmósfera, tomando en cuenta la altura del lugar , distancia Sol-tierra, agua contenida por la atmósfera ,ángulo de reflexión del suelo, etc. Este es el método que se ha utilizado para realizar este proyecto. El método de cálculo es el más adecuado para este caso, pues los instrumentos solares son muy escasos y costosos. Además la gran cantidad de datos hace factible y en cierta forma preciso la utilización este método.

6 CELDAS FOTOVOLTAICAS

6.1 Definición y Fabricación

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

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

Las celdas solares son fabricadas a base de materiales que convierten directamente la luz solar en electricidad. Hoy en día, la mayor parte de celdas solares utilizadas a nivel comercial son de silicio (símbolo químico: Si). Este elemento químico se encuentra en todo el mundo bajo la forma de arena, que es dióxido de silicio (SiO_2), también llamado cuarcita. Otra aplicación del silicio semiconductor se encuentra en la industria de la microelectrónica, donde es empleado como material base para los chips.

6.2 Funcionamiento

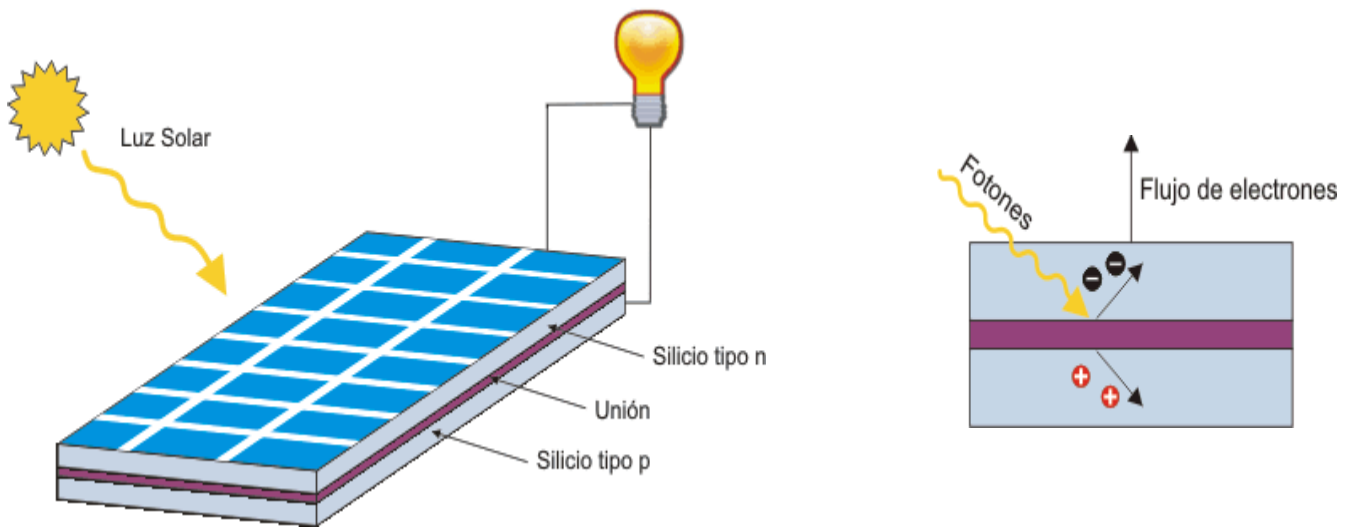


Figura 6.1 Funcionamiento de una celda fotovoltaica

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, necesitamos considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas ("agujeros") de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos.

6.3 Estructura de una Celda Solar

En términos prácticos o externos, Una celda solar típica está compuesta de capas (ver figura 5.2). Primero hay una capa de contacto posterior y, luego, dos capas de silicio (una capa tipo p y otra tipo N). En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de anti-reflexión, que da a la celda solar su típico color azul.

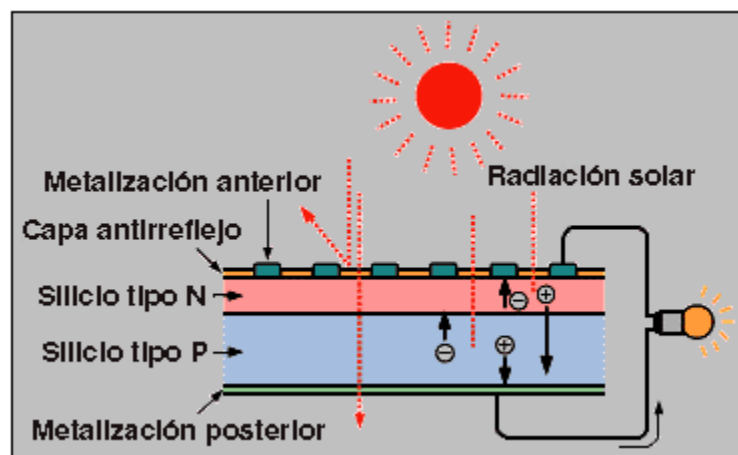


Figura 6.2 Componentes de una célula Solar

6.4 Tipos de Células

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

A) Cristalinas

1-Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal).

2-Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.

B) Amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

6.5 Energía Entregada por una Célula Fotovoltaica

La energía entregada por una célula fotovoltaica se evalúa por medio de la eficiencia o rendimiento, es la relación entre la potencia de entrada (luz incidente) y la potencia de salida (energía entregada por la celda a una carga exterior. Como la potencia de salida siempre será menor o igual que la de entrada, el valor de la eficiencia esta siempre entre cero y la unidad, siendo el porcentaje una forma de expresión muy utilizada por los ingenieros.

La cantidad de energía que entrega una celda fotovoltaica está determinado por:

- 1) El tipo y el área del material
- 2) La intensidad de la luz del sol
- 3) La longitud de onda de la luz del sol

Por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino actualmente no pueden convertir más el de 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región

Infrarrojo del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.

Las celdas solares de silicio policristalino en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio monocristalino (Ver tabla 6.1).

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

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

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar con bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin

embargo, hay límites a este proceso, debido a la complejidad de los mecanismos, y de la necesidad de refrescar las celdas. La corriente es relativamente estable a altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula.

Otros tipos de materiales fotovoltaicos que tienen potencial comercial incluyen el diseleniuro de cobre e indio (CuInSe_2), el telurio de cadmio (CdTe) y silicio amorfo como materia prima.

Eficiencias de celdas:	
Monocristalina:	12-25 %
Policristalina:	11-20 %
Amorfa:	6-10%
telurio de cadmio:	7-8 %

Tabla 6.1

7 MÓDULOS SOLARES

7.1 Conceptualización

Una celda suelta, solamente es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio (típicamente alrededor de medio voltio para las células de silicio y una potencia de uno o dos vatios). Es preciso conectar entre si en serie un determinado número de células para producir las tensiones de 6, 12 o 24 V aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones (ver la figura 6.1). Al conjunto así formado, convenientemente ensamblado y protegido contra los agentes externos (las células son muy delicadas) se le denomina módulo fotovoltaico. Además para designar un conjunto de dos o más módulos ensamblados y conectados entre sí se le denomina como panel o conjunto.

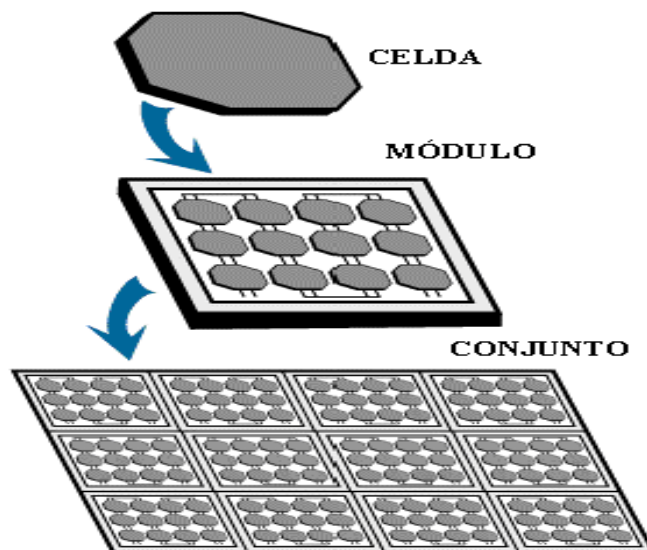


Figura 7.1 Ensamblaje de celdas solares para formar módulos e interconexión de módulos a su vez para formar un panel o conjunto de módulos.

El proceso de conexión de las células es automático, efectuándose mediante soldaduras especiales que unen el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente (ver la figura 6.2). Para producir un panel de 12 voltios nominales usualmente se necesita un número de células entre 30 y 40, según las características de las mismas.

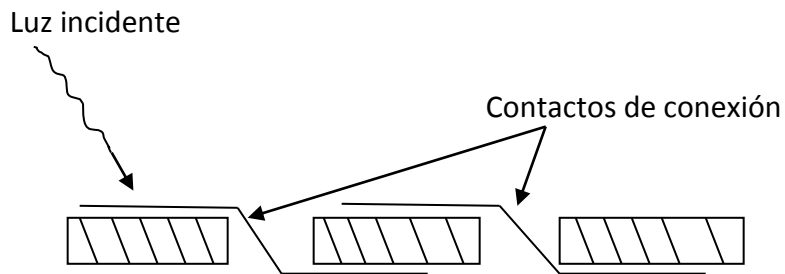


Figura 7.2-Esquema de la unión de las células en un modulo

Una vez terminadas las interconexiones eléctricas, 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 etileno-vinilo (EVA), las propias células, otra capa de sustrato orgánico y, finalmente una cubierta posterior formada por varias láminas de polímeros u otro vidrio. La estructura concreta de cada modelo de panel varia 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 último 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 el caso de que lo lleve.

Una vez montadas las conexiones positiva y negativa se efectúan los controles de calidad necesarios.

Las pruebas que cada panel debe pasar satisfactoriamente antes de ser definitivamente destinado al comercio son muy rigurosas, pues este elemento estará expuesto durante muchos años a las más duras condiciones de intemperie, que pueden variar desde un calor extremado hasta temperaturas de frío glacial, pasando por vientos huracanados, atmósferas húmedas, etc. Es pues necesario garantizar un perfecto comportamiento frente a todos estos agentes, asegurando que el módulo generara electricidad con un rendimiento óptimo durante al menos 20 años consecutivos sin necesidad de reparación y con un mínimo de mantenimiento.

7.2 Características Físicas y Tipos de Módulos Fotovoltaicos

Los módulos adoptan siempre la forma cuadrada o rectangular, actualmente con áreas que van desde aproximadamente 0.1m^2 hasta 1.7m^2 . El grueso total sin incluir el marco protector, no suele superar los 3 cm. Son relativamente ligeros (un panel de unos 0.5m puede pesar 6 o 7kg) y, aunque rígidos en apariencia, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos mecánicos a que pudieran verse sometidos.

Un corte transversal de un panel típico se presenta en la figura 6.2. en el se aprecian los distintos componentes del panel, a saber:

A	Goma butílica
B	Aluminio anodizado
C	Toma de triera
D	Cristal templado
E	Contactos eléctricos
F	Célula
G	Polivinilo butiral
H	Lámina Tedlar
K	K Lámina de acero

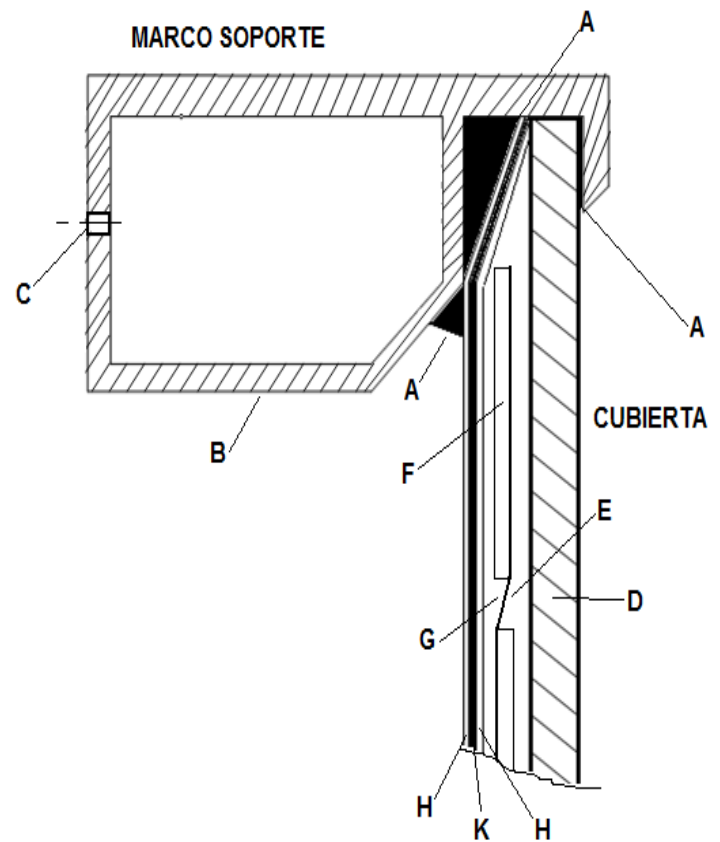


Figura 7.3-Sección de un módulo fotovoltaico

-Una cubierta de vidrio templado (en algún modelo 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. El encapsulante sirve de protección a las células, que son los elementos más delicados del panel.

-Los geles de siliconas son muy adecuados como encapsulantes ya que, a su excepcional transparencia, se añade la poca pérdida de sus propiedades plásticas con el paso del tiempo, su precio moderado y su eficaz protección contra la corrosión, Las superficies

recubiertas con estos geles adquieren un carácter hidrófobo, que evita que la humedad se condense y se creen vías de agua y manteniendo el nivel de humedad por debajo de los niveles 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 modulo, 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 aluminio anodizado, que sujeta al conjunto rodeándolo en todo su perímetro. Dicho marco debe estar ya preparado de fabrica 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 pueda debilitar el modulo.

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

Los módulos se clasifican de acuerdo al tipo de célula que contienen, entre los más comunes se encuentran: Los monocristalinos, Policristalinos y amorfos. Como se pudo apreciar los módulos solares llevan los mismos nombres que las células que contienen. Por consiguiente la definición y diferencia entre cada modulo son las mismas que entre celdas, tal y como se estudio en el subcapítulo 6.2.

Además la eficiencia para los módulos también es la misma que para el tipo de célula, es decir que la misma eficiencia que se les aplico a la células en el capítulo anterior se le puede aplicar a los módulos.



Figura 7.4 Módulo monocristalino de 54 células de Silicio (Si).



Figura 7.5 Porción de un Módulo Policristalino.

7.3 Características Eléctricas

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, que definiremos a continuación:

1-Corriente de Cortocircuito (I_{esc}). Es la intensidad máxima de corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones (generalmente normalizadas) Correspondería a medir, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula) 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 tiende a cero.

2-Voltaje de Circuito Abierto (V_{oc}). Es el voltaje máximo que podría medir con un voltímetro, sin permitir que pase corriente alguna por los bornes de un modulo, es decir en condiciones de circuito abierto (la resistencia entre bornes es prácticamente infinito).

3-Corriente (i) a un determinado Voltaje (V). Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos .En la práctica, lo usual es que un modulo produzca una determinada corriente eléctrica que fluya a través del circuito externo que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R . Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , decimos que la corriente de intensidad i se produce a un voltaje V .

4-Potencia Máxima (PM). En unas condiciones determinadas la intensidad i tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e i_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomara un valor entre 0 y V_{cc} . Dado que la potencia es el producto del voltaje y la corriente, esta será máxima únicamente para un cierto par de valores i, V en principio desconocidos. Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior está fijada por la característica propia del circuito.

5-Eficiencia Total del Panel. Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por este y la potencia de la 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 .

$$FF = PM / (i_{sc} * V_{oc})$$

Los conceptos anteriormente definidos resultan más claros si se observa la figura 6.5, 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) que, uniéndolos, forman lo que se denomina curva característica del panel o curva de intensidad-voltaje (abreviada curva $i-V$), la cual presenta un aspecto bastante parecido de unos módulos a otros.

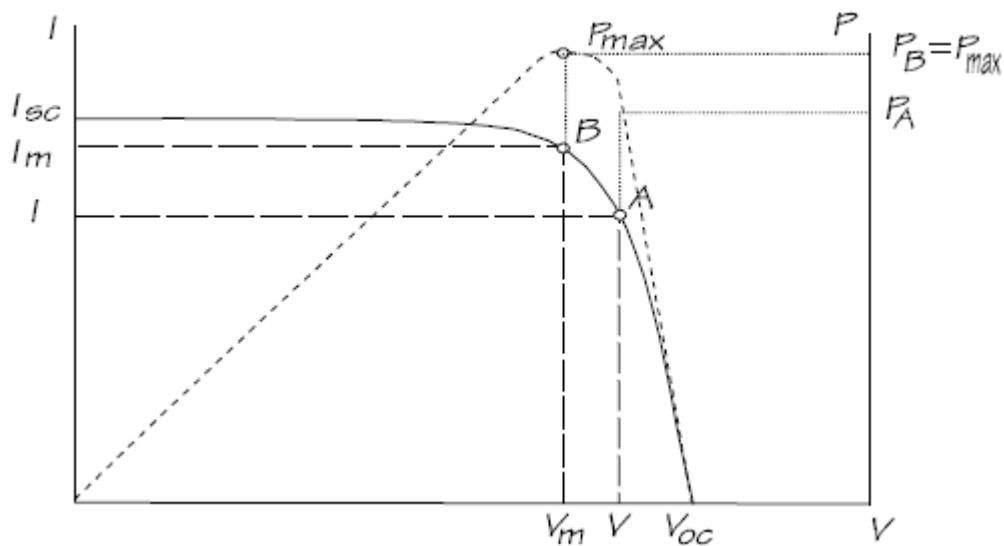


Figura 7.6.- Curva característica I-V y curva de potencia generada.

El punto A es un punto cualquiera que representa el funcionamiento del panel en unas determinadas condiciones de intensidad i y voltaje V . El panel desarrolla una cierta potencia 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 .Lo mismo sucedería si dicho punto se trasladase hacia la izquierda, aproximadamente al eje de ordenadas, ya que en este caso lo que haría muy pequeño sería el valor de V .

Existirá un cierto punto intermedio B que haga que el área del rectángulo sea la mayor sea la mayor posible. Dicho punto B es el punto de máxima potencia.

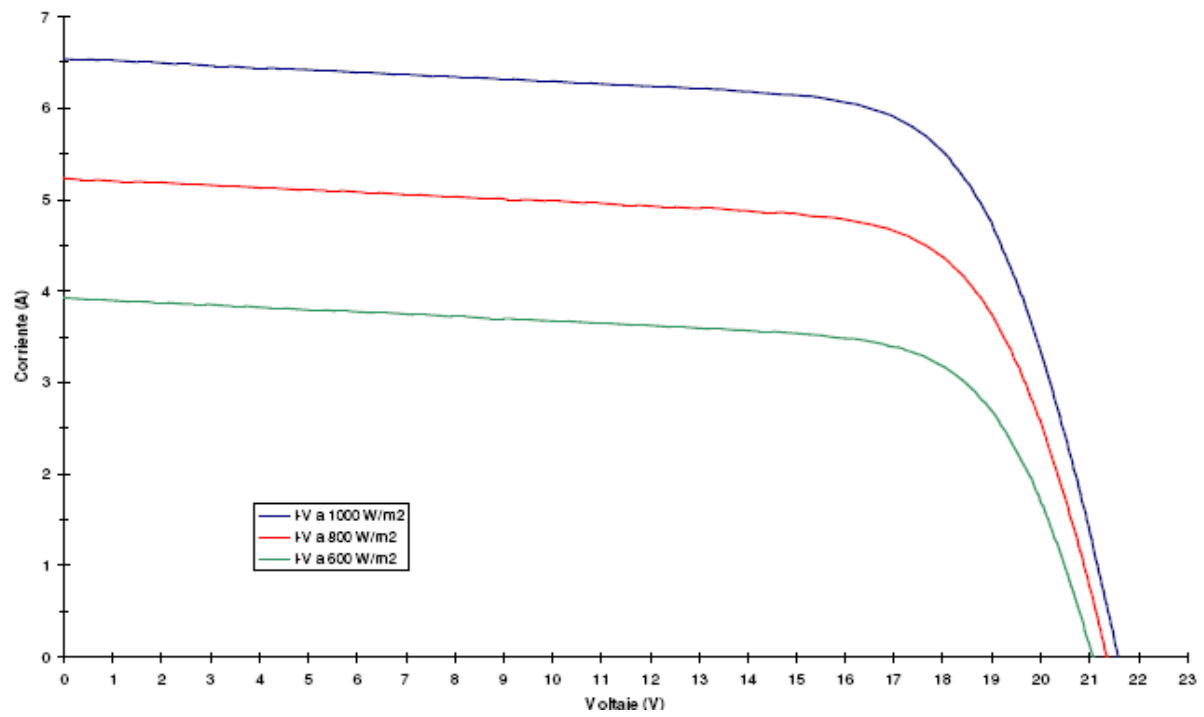
Para un determinado modelo de panel y en condiciones de intensidad luminosa y temperatura constante, la curva i-V queda determinada y el punto concreto sobre dicha curva que representa las condiciones de trabajo del panel quedara fijado para el circuito que alimenta este.

Según el número de células en serie de que conste el modulo (cada una de ellas es capaz de producir un voltaje alrededor de medio voltio), puede generar voltajes adecuados para trabajar a 6, 12, 24 y hasta 48 V.

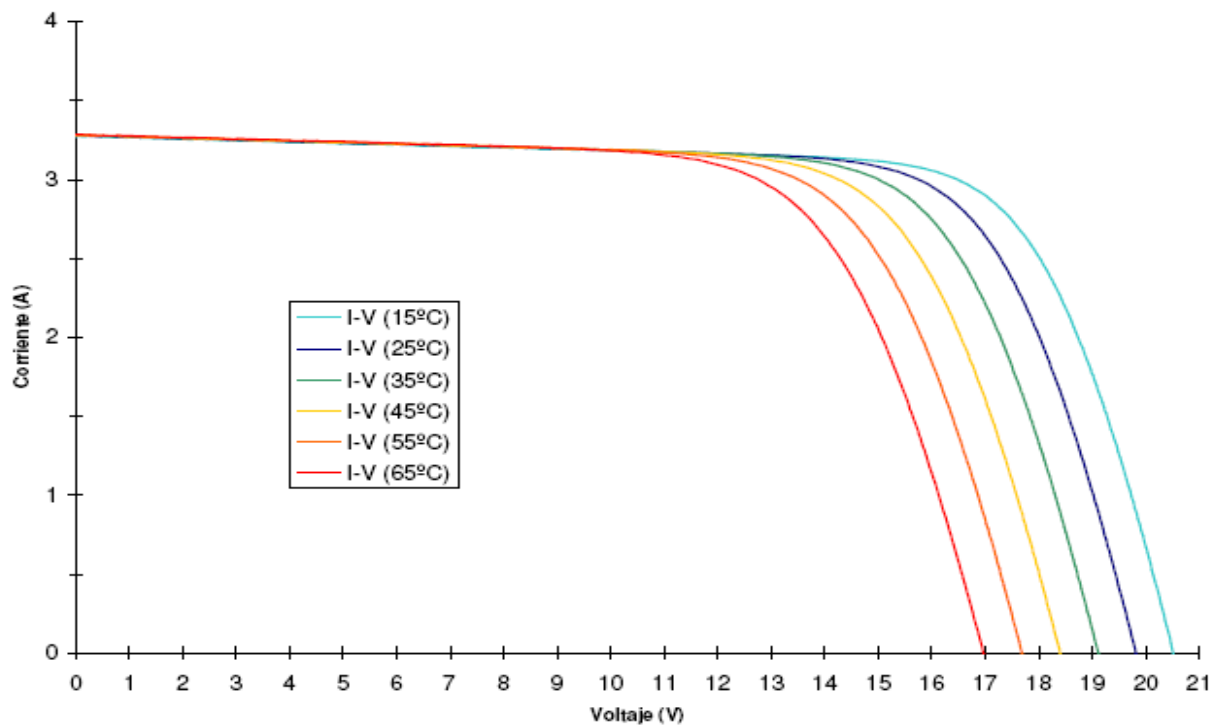
La curva i-V varía con la temperatura de la célula y dichos cambios se presentan en la figura

Los valores eléctricos de las curvas se modelan con las condiciones estándares de medida que se corresponden con una irradiancia de 1000 W/m^2 , espectro de 1,5 M.A. y una temperatura de la célula de 25°C . Ahora bien, las condiciones de trabajo reales de los módulos una vez instalados pueden ser muy diferentes a las del laboratorio, por lo que conviene conocer las variaciones que pueden producirse, a fin de efectuar las pertinentes correcciones en los cálculos.

Por otra parte, mientras la corriente generada por un módulo fotovoltaico es proporcional a la intensidad de la radiación solar, la tensión varía con la temperatura de las células. En la figura 7.7 se representan ambos efectos.



(a)



(b)

Figura 7.7.- **a)** Variación de curva I-V en función de la irradiancia solar incidente a temperatura de célula constante. **b)** Variación de curva I-V en función de la temperatura de las células a radiación incidente constante.

Si no se conocen las curvas de variación con la temperatura de las magnitudes características del módulo (que deben ser suministradas por el fabricante o proveedor de los mismos), resulta útil conocer unas variaciones medias a la hora de diseñar:

1-Para módulos de células de silicio el voltaje disminuye a razón de 2.3×10^{-3} Voltios por cada célula que contenga el modulo y por cada $^{\circ}\text{C}$ de aumento de temperatura de la célula por encima de los 25°C .

2-La corriente aumenta a razón de 15×10^{-6} amperios por cada centímetro cuadrado de área de células y grado centígrado de aumento de temperatura por encima de 25° .

.

3-Hay que tener en cuenta que la temperatura de la célula a que nos hemos estado refiriendo no coincide con la temperatura ambiente debido a que la célula, se calienta al incidir la luz del sol. El incremento de temperatura de la célula respecto a la temperatura del aire depende de las características de la misma y de las de construcción del propio módulo.

7.3.1 Potencia Nominal Pico

La potencia nominal pico es la proporcionada al recibir el panel el modulo una irradiación de $1000\text{W}/\text{m}^2$ cuando la temperaturas de las células es 25°C . El nombre “Pico” hace referencia a que en realidad una intensidad radiante de $1000\text{W}/\text{m}^2$ constituye un pico máximo en las medidas reales de intensidad radiante (Corresponde más o menos a la

obtenida en un día claro con el sol cercano al cenit). Por consiguiente en la mayor parte del tiempo el módulo solar proporcionará una potencia menor que la potencia nominal pico.

7.3.2 Interconexión de Módulos

Los módulos están diseñados para formar una estructura modular, siendo posible combinarlos entre sí en serie, en paralelo o de forma mixta, afín de obtener la tensión e intensidad deseadas.

Sabemos que, al igual que cualquier fuente de energía electromotriz, el acoplamiento de dos o más módulos en serie produce un voltaje igual a la suma de los voltajes individuales de cada módulo manteniéndose invariable la intensidad. En paralelo, es la corriente lo que aumenta, permaneciendo igual el voltaje.

Lo más frecuente es adquirir paneles al voltaje deseado (los de 12 voltios son los que más abundan en el mercado) y combinarlos en paralelo de forma que la energía total sea la necesaria para satisfacer el consumo eléctrico calculado.

Normalmente, el fabricante proporciona los accesorios e instrucciones necesarias para lograr una interconexión fácil y segura. En cualquier caso, las conexiones se efectuarán utilizando cables en los terminales. Es importante advertir que los paneles que se interconectan deberán tener la misma curva i - V , a fin de evitar descompensaciones. En las figuras 7.8 Y figura 7.9 se muestran conexiones de módulos en paralelo y serie respectivamente.

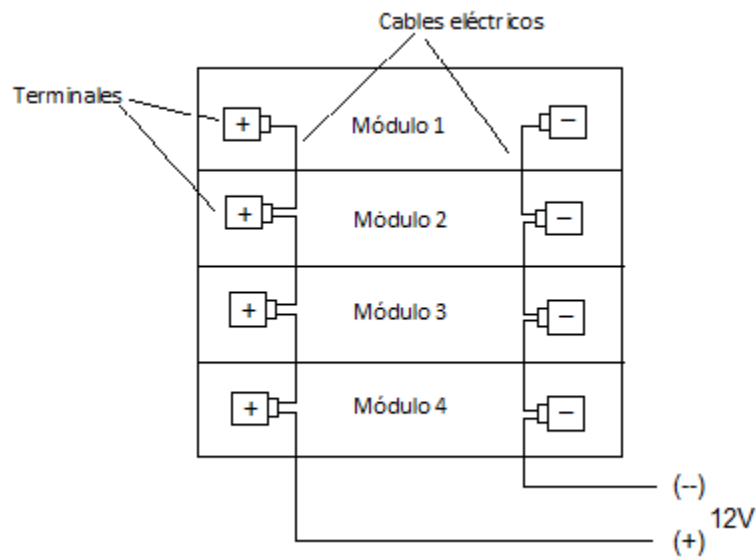


Figura 7.8. Conexión de 4 paneles en paralelo para proporcionar una salida de 12V (cada módulo debe generar 12V).

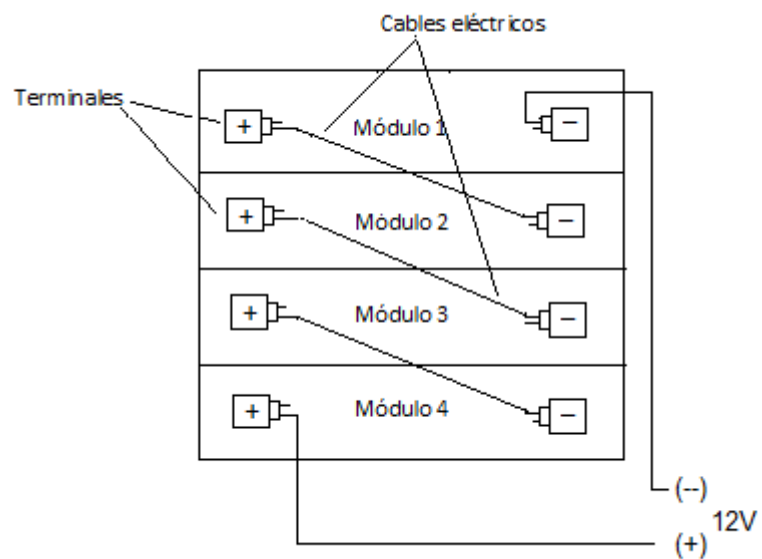


Figura 7.9. Conexión de 4 paneles en serie para proporcionar una salida de 48 Voltios (cada módulo debe generar 12V)

7.4 Selección del Módulo a Utilizar

En este proyecto se utilizarán paneles de 24 voltios con una potencia pico de 205W vatios (W). En el mercado actual de República Dominicana existen paneles desde 75W hasta 230W. Se ha elegido el módulo de 205W por que la carga a alimentar es considerable (18000W durante cuatro horas al día), y al ser relativamente potentes estos módulos, menos cables de conexión y espacio superficial en el techo del edificio se requerirán.

En la figura 7.10 se muestran las dimensiones del módulo seleccionado. El número de módulos a utilizar se discutirá en el capítulo 9, así como la dimensión del sistema fotovoltaico a diseñar.

DIMENSIONES

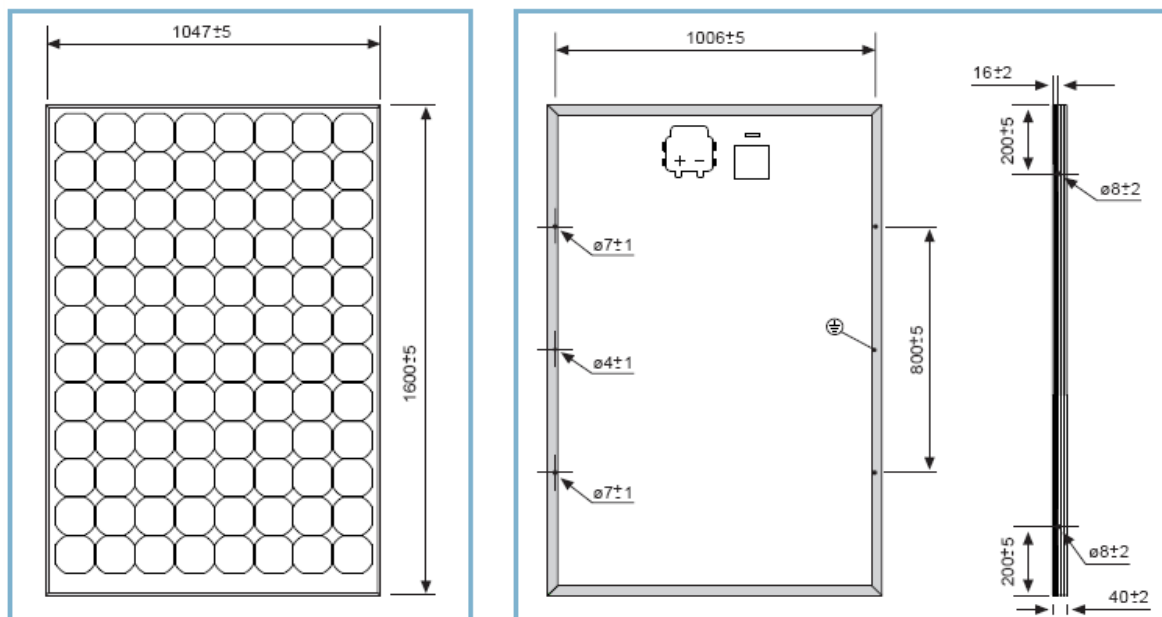


Figura 7.10. Dimensiones en milímetros de un módulo solar de 24V y una potencia pico de 205W.

7.5 Estructura de Soporte y Anclaje

El bastidor que sujeta al módulo, la estructura soporte del mismo, y el sistema de sujeción son tan importantes como el propio módulo, pues un fallo en estos elementos conlleva la inmediata paralización de la instalación.

Muchas veces los fabricantes del módulo suministran los elementos necesarios, sueltos o en paquetes, para proceder a un complejo montaje. Otro método, es el propio proyectista o el instalador quien, haciendo uso de los perfiles normalizados que se encuentran en el mercado construye una estructura adecuada para el módulo o el panel (grupo de módulos).

Hay que considerar no obstante que debido a su relativo poco peso, los paneles fotovoltaicos admiten algunas variantes en cuanto a las características del soporte y al lugar de anclaje, la cual puede ser cualquier parámetro vertical, además de las superficies del suelo, tejados o terrazas.

Sin embargo, no hay que olvidar que el principal enemigo no es el peso de los paneles, sino la fuerza del viento que, como sabemos puede llegar a ser muy considerable.

Si debido a un viento huracanado (que se produce con bastante probabilidad alguna vez cada cierto número de años, dependiendo de la zona), se desprenden algunos módulos, es casi seguro que al caer al suelo resultaran rotos o muy dañados, habiendo de ser sustituidos. Dado el elevado coste de estos elementos, se comprende la necesidad de cuidar que la estructura de soporte sujeción sea lo suficientemente segura y sólida, aun a riesgo de parecer exageradamente fuerte. En cualquier caso, la estructura deberá resistir vientos de, como mínimo, 150Km/h.

8 ACUMULADORES DE ENERGÍA

8.1 Conceptualización y Composición

Batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, se le denomina al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

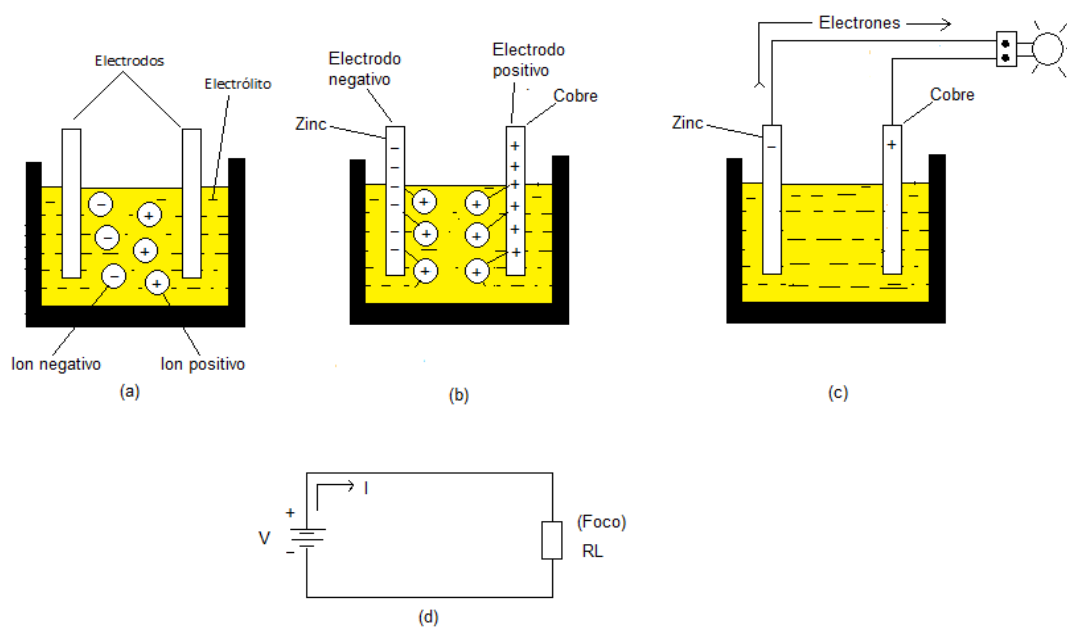


Figura 8.1 Principal actividad química de una celda voltaica o galvánica.

El componente elemental de un acumulador se denomina celda voltaica (en honor a Alejandro Volta), de manera que entendiendo como funciona este componente elemental del acumulador se tendría una buena comprensión del funcionamiento de un acumulador. La celda voltaica consiste de dos electrodos de distinta especie de metal o de compuesto metálico y un electrolito, que es una solución capaz de conducir una corriente eléctrica (ver figura 8.1). Se forma una batería cuando se conectan dos o más celdas.

Un excelente ejemplo de un par de materiales para electrodos es el zinc y el cobre. El zinc contiene átomos en abundancia cargados negativamente, mientras que el cobre tiene abundancia de átomos cargados positivamente. La acción química se inicia cuando se sumergen en un electrolito las placas de estos materiales. El electrodo de zinc acumula la carga negativa mucho mayor porque gradualmente se disuelve en el electrolito. Los átomos que salen del electrodo de zinc están cargados positivamente y son atraídos por los iones cargados negativamente (-) del electrolito, mientras repelen a los iones cargados positivamente (+) del electrolito hacia el electrodo de cobre (Fig. 8.1-b). Esto hace que el cobre ceda electrones quedándose con exceso de carga positiva. Si se conecta alguna carga, como un foco, a las terminales en los electrodos, Las fuerzas de atracción y repulsión harán que los electrones libres en el electrodo negativo de Zinc, los alambres de conexión y el filamento del foco se muevan hacia el electrodo de cobre cargado positivamente (Fig. 8.1-c). La diferencia de potencial que se produce permite que la celda funcione como una fuente de voltaje aplicado (Fig. 8.1 6-d).

El electrolito de una batería puede ser un líquido, un sólido o una pasta. Si el electrolito es un líquido, con frecuencia se denomina a la celda húmeda. Si el electrolito esta en forma de pasta, se hace referencia a la pila o celda seca.

8.2 Celdas en Serie y en Paralelo

Cuando las celdas se conectan en serie, el voltaje total de la batería de celdas es igual a la suma de los voltajes de cada celda individual. En la figura 8.2, las cuatro celdas de 1.5 voltios en serie proporcionan un voltaje total de la batería de 6V.

Cuando las celdas se colocan en serie, la terminal positiva de una celda se conecta a la terminal negativa de otra. La corriente que pasa por esta batería de celdas en serie es la misma que para una celda, porque la misma corriente circula por todas las celdas en serie.

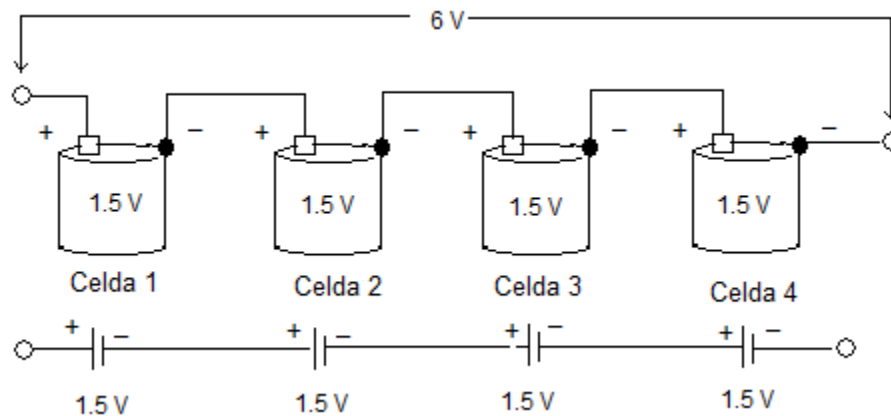


Figura 8.2.Celdas en serie

Para obtener una corriente mayor, la batería tiene las celdas en paralelo figura V).cuando las celdas se colocan en paralelo, todas las terminales positivas se conectan entre si y todas las terminales negativas tienen un punto común. Cualquier punto del lado positivo puede servir como terminal positivo de la batería y cualquier punto del lado negativo puede usarse como terminal negativa.

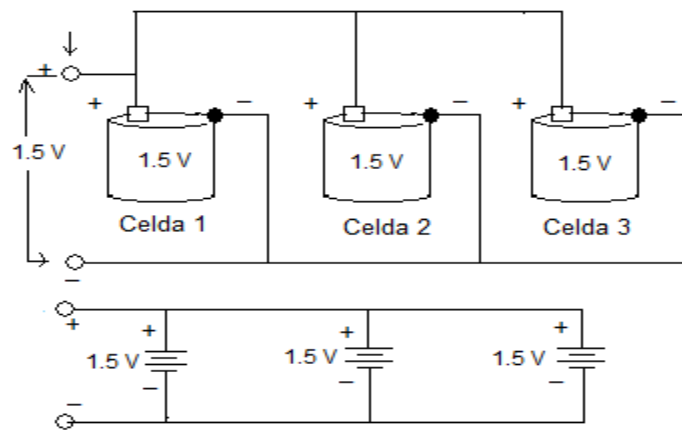


Figura 8.3 Celdas en Paralelo

La salida total de una batería de tres celdas en paralelo es la misma que para una celda (Fig.7.3), pero la corriente disponible (energía almacenada) es tres veces mayor que para una celda. La conexión en paralelo tiene el mismo efecto que aumentar el tamaño de los electrodos y la cantidad de electrolito en una sola celda, lo cual aumenta la capacidad de corriente.

Las celdas idénticas conectadas en paralelo proporcionan partes iguales de corriente a la carga. Por ejemplo, tres celdas idénticas en paralelo suministran una corriente en la carga de 270mA, de los cuales cada una contribuye con 90mA.

8.3 Celdas Primarias y Secundarias

Las celdas primarias son las que no pueden recargarse o alcanzar buenas condiciones después que el voltaje de salida baja demasiado. Las celdas secas que se utilizan en las lámparas ciegas o de mano y en los radios transistores son ejemplos de celdas primarias.

Las celdas secundarias son las recargables. Durante el proceso de recarga, los compuestos o elementos químicos que proporcionan la energía eléctrica regresen a su condición original. La carga se efectúa al hacer circular corriente directa por la celda en dirección opuesta a la de la corriente que proporciona la celda a un circuito.

Una batería se recarga conectándola a un cargador de baterías de igual polaridad (Fig. 8.4). Algunos cargadores de baterías tienen un voltímetro y un amperímetro que indican el voltaje y la corriente de carga.

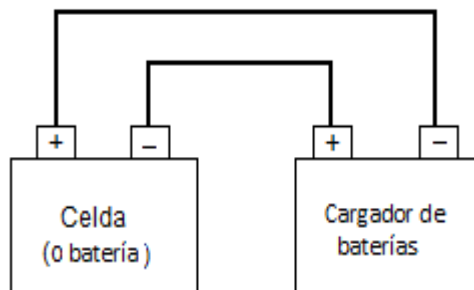


Figura 8.4. Recarga de una celda secundaria con un cargador de baterías

El ejemplo más común de celda secundaria es una batería de automóvil (también puede ser para inversores) o acumulador. Las celdas y baterías secundarias son especialmente útiles para alimentar aparatos portátiles o móviles cuando se dispone de un generador para mantenerlas cargadas. Se usan celdas más pequeñas y selladas para alimentar aparatos portátiles como rasuradoras, calculadoras electrónicas, radios y receptores de televisión. Éstas se recargan fácilmente de la línea domestica mediante sencillos cargadores de bajo costo que a menudo están incorporados en el mismo aparato.

8.4 Tipos de Baterías (de acuerdo a la composición)

8.4.1 Batería de Plomo y Ácido

La batería de plomo y acido consiste en cierto número de plomo y acido. Cada celda tiene dos grupos de placas de plomo; un grupo es la terminal positiva y el otro la negativa. Todas las placas positivas están conectadas por medio de una tira conectora. (Fig. D). Las placas negativas están conectadas de manera similar. Las placas positivas y negativas están alternadas o entrelazadas, de manera que haya una placa positiva seguida de una negativa. Entre las placas hay láminas de material aislante llamadas separadores, que se hacen de madera porosa, madera perforada o fibra de vidrio. Los separadores evitan que las placas positivas y negativas se toquen y produzcan un cortocircuito, lo que destruiría la celda. La placa positiva se trata químicamente para que se forme peróxido de plomo (una combinación de plomo y oxígeno) y el electrodo negativo consiste de plomo poroso esponjoso. Los dos grupos de placas con los separadores se colocan en un recipiente con

una solución diluida de ácido sulfúrico y agua. El nombre batería de plomo y ácido hace referencia a las placas y al ácido sulfúrico que son los principales componentes de la batería.

El voltaje de este tipo de celda es ligeramente superior a los 2V. Las baterías que se emplean en los automóviles modernos tienen seis celdas conectadas en serie de manera que el voltaje de salida de la batería es ligeramente mayor de 12V.

El acumulador puede entregar corriente por un tiempo mucho mayor que la batería o pila seca ordinaria. Cuando el acumulador se descarga y resulta incapaz de proporcionar la corriente que requiere el circuito la batería puede ser separada del circuito y recargarse haciendo pasar por ella corriente en la dirección opuesta. Una vez que la batería se ha recargado, se le puede volver a conectar en el circuito para que proporcione corriente.

En los inversores, la batería se conecta a un aparato llamado cargador (transformador reductor). Mientras haya energía suministrada al cargador, el cargador carga la batería. Sin embargo, cuando falla o se corta el suministro de energía (suministro normal) es la energía almacenada en la batería que debe suplir a la carga.

Cuando la batería se descarga, parte del ácido del electrolito se combina con el material activo de las placas (Fig.7.5). La reacción química cambia el material de ambas placas a sulfato de plomo. Cuando la batería es cargada por el cargador, ocurre la reacción inversa y el ácido que fue absorbido por las placas regresa al electrolito (Fig.6-6b). En consecuencia, el material activo de las placas regresa a su condición original (cargada) de peróxido de plomo y plomo esponjoso y el electrolito se restaura a su concentración original.

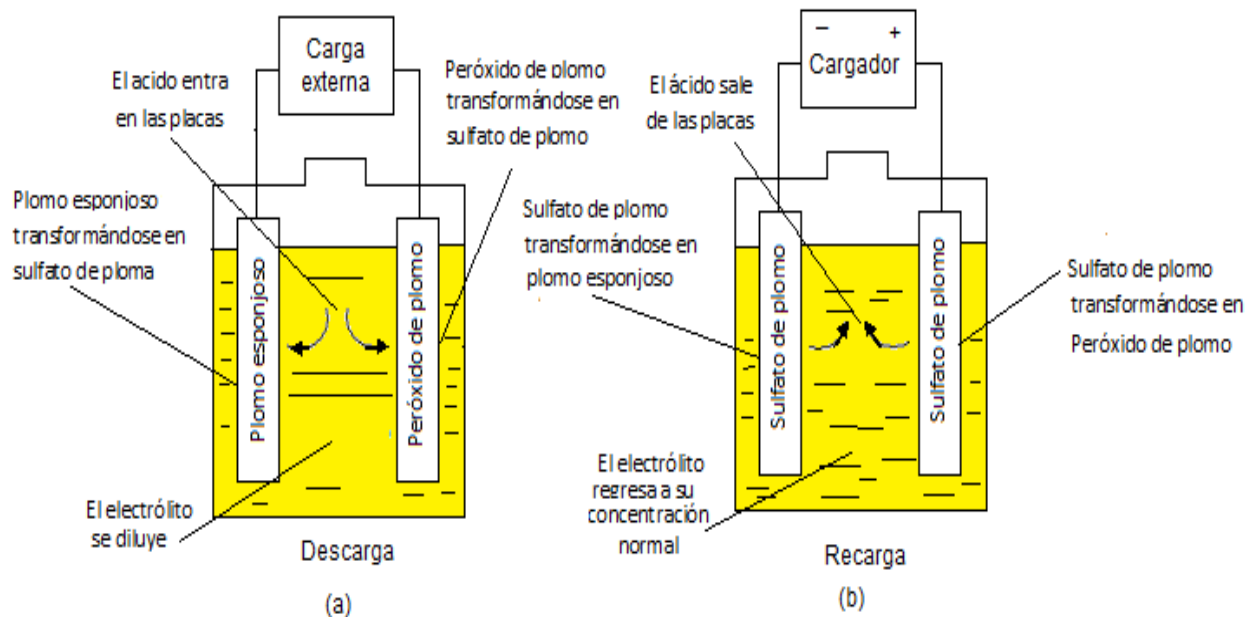


Figura 8.5 Actividad química en una celda de Plomo y Ácido

Siempre que se carga una batería, la reacción química produce hidrogeno gaseoso en las superficies de una placa y oxigeno en la otra. Estos gases suben como burbujitas a la superficie y escapan por el agujero de ventilación del tapón de la celda. De esta manera pierde agua (H_2O) la celda al salir de ella los gases. El agua que escapa debe ser sustituida para conservar el nivel adecuado del electrolito. Siempre debe agregarse a la celda agua destilada, de lo contrario, cualquier impureza en el agua se combinara químicamente con el acido sulfúrico en las placas y formará un compuesto estable que no tomará parte en la acción de carga o descarga de la batería.

8.4.2 Celda de Carbono y Zinc

Es el tipo de celda comercial más antiguo y de más uso. El carbono en forma de barra se coloca en el centro de la terminal positiva. La cubierta de la celda se hace de zinc, que es el electrodo negativo.

8.4.3 Celda Alcalina

La celda secundaria alcalina se llama así porque tiene un electrolito alcalino de hidróxido de potasio. Un tipo de batería que tiene el nombre de batería alcalina tiene el electrodo negativo de zinc y el positivo de dióxido de manganeso. genera 1.5 V.

La primaria alcalina es similar en construcción a la del tipo recargable y tiene el mismo voltaje de operación. Esta celda tiene una vida mayor que la de una de zinc y carbono del mismo tamaño.

8.4.4 Celda de Níquel-Cadmio

En la celda seca secundaria de níquel-cadmio, el electrolito es hidróxido de potasio, el electrodo negativo es de hidróxido de níquel y el electrodo positivo es de óxido de cadmio. Su voltaje de operación es de 1.25 V. Estas pilas se fabrican en distintos tamaños, incluyendo la forma de un botón plano. La batería de níquel-cadmio es la única batería seca que es un verdadero acumulador con una reacción química reversible, lo cual

permite recargarla muchas veces .Es de gran resistencia y ofrece un servicio confiable bajo condiciones externas de choque, vibración y temperatura .Por consiguiente, es ideal para ser usada en equipos de radio-comunicación portátiles.

8.4.5 Celda de Edison

Una celda secundaria más ligera y más resistente que la celda de plomo y ácido es la celda de Edison o celda alcalina de níquel y hierro. Funciona a un voltaje sin carga de 1.4V.Cuando el voltaje disminuye a 1.0V, la celda debe recargarse. Totalmente cargada, tiene una placa positiva de níquel e hidrato de níquel y una placa negativa de hierro. Al igual que la celda de plomo y ácido, la celda de Edison también produce hidrógeno y oxígeno gaseosos. En consecuencia, el electrolito requiere ser recargado con agua destilada.

8.4.6 Celda de Mercurio

Hay dos tipos diferentes de celdas de mercurio. Uno es una celda plana con forma de botón, mientras que el otro es una cilíndrica que se parece a una batería normal de linterna. La ventaja de la celda del tipo de botón es que varias de ellas pueden apilarse para formar una batería. Una batería común consta de tres celdas planas .Una celda produce 1.35 V.

Las celdas y baterías de mercurio tienen una buena vida en almacenaje y son muy resistentes. Cuando producen un voltaje de salida constante bajo diferentes condiciones de carga aplicada se usan en muchos productos distintos, incluyendo los relojes electrónicos, auxiliares auditivos, instrumentos de medición y prueba y en sistemas de alarma.

8.5 Características de las Baterías

a) Capacidad

La capacidad de una batería se especifica en ampere-horas (Ah). La capacidad de un acumulador determina cuanto tiempo operara a una velocidad de descarga dada. Por ejemplo, una batería de 90Ah debe recargarse después de 9h de una descarga promedio de 10A.

b) Vida en Almacenaje

La vida en almacenaje de una batería es el periodo durante el cual se puede almacenar la batería sin que pierda más de aproximadamente un 10% de su capacidad original. La capacidad de una batería es la habilidad que tiene de proporcionar cierta cantidad de corriente al circuito en el que se use. La disminución en la capacidad de una batería que se ha almacenado se debe principalmente a que se seque el electrolito (baterías húmedas) y a reacciones químicas que cambian los materiales en el interior de la celda. Como el calor estimula ambas reacciones, la vida en almacenaje de una batería puede alargarse conservándola en un lugar frío y seco.

c) Resistencia Interna

La resistencia interna de los acumuladores es muy inferior a la de las pilas, lo que les permite suministrar cargas mucho más intensas que las de éstas, sobre todo de forma transitoria. Por ejemplo, la resistencia interna de un acumulador de plomo-ácido es de 0,006 ohm, y la de otro de Ni-Cd, de 0,009 ohm.

d) Densidad Relativa

La densidad relativa de cualquier líquido es el cociente que compara su peso con el peso de un volumen igual de agua. El ácido sulfúrico tiene una gravedad específica de 1,835 veces lo que el agua por unidad de volumen.

La densidad relativa de la solución electrolítica de una celda de plomo y ácido varía de 1.210 a 1.300 para las baterías nuevas y totalmente cargadas. Mientras mayor sea la densidad relativa, menor es la resistencia interna de la celda y mayor será la posible corriente de carga.

e) Rendimiento

El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. El acumulador de plomo-ácido tiene un rendimiento de más del 90%. Las baterías de níquel-cadmio (Ni-CD) tienen 83%.

8.6 Comparación de los Diferentes Tipos de Baterías

La tabla 8-1 compara los distintos tipos de baterías o celdas que se han descrito

Nombre	Voltaje	Húmeda o seca	Tipo(primaria o secundaria)	Ejemplos y Características
Celda de Plomo y Ácido	2.2	Húmeda	Secundaria	Ri muy pequeña y una alta corriente nominal; baterías de 6 y 12V
Celda de Carbono y Zinc	1.5	Seca	Primaria	Celdas en tamaños a AA, A, B, C y D; baterías para linterna; precio mínimo; corta vida en almacenaje ; Pequeña capacidad de corriente.
Celda alcalina de Manganeseo	1.5	Seca	De ambos tipos	Dióxido de manganeso y zinc en Hidróxido; corrientes superiores. a los 300mA.
Celda de níquel cadmio	1.25	Seca	Secundaria	El electrolito de hidróxido; voltaje constante; reacción; reacción química reversible, se usan en linternas y herramientas portátiles recargables.
Celda de Edison	1.4	Humeda	Secundaria	Níquel y hierro en hidróxido; aplicaciones industriales
Celda de Mercurio	1.35	Seca	De ambos tipos	Oxido de mercurio y zinc en hidróxido; voltaje constante y larga vida en almacenaje; baterías B; pilas miniatura en botón para auxiliares auditivos, cámaras, relojes, calculadoras.

8.6.1 Baterías a Utilizar en el Proyecto

El tipo de batería a utilizar en el proyecto será de plomo y ácido. La carga a alimentar requiere de una gran capacidad de almacenamiento, lo cual solo es obtenido con este tipo de baterías. En la actualidad existen diferentes tipos de baterías de gran capacidad que se podrían seleccionar, de manera que será necesario hacer una nueva selección. A continuación se presentan diferentes tipos de baterías que podrían cumplir con la función requerida.

Tabla 8.2 Comparación de las características técnicas de diferentes marcas de baterías

Marca	Vida Útil	Ampere/Horas	Voltaje	Mantenimiento	Costo
ACDELCO	3 años	100	12V	No	RD\$ 4,000
TROJAN	2.5 años	250	6V	Si	RD\$ 4,500
DIE-HARD	2 años	220	6V	Si	RD\$ 4,300
Roll(solar)	12 años	400	6V	Si	RD\$ 18,500

La batería ideal para el proyecto sería aquella que tuviera mayor vida útil y capacidad (Amperes/horas), sin embargo el costo es un factor no menos importante. Las baterías que están específicamente diseñadas para aplicaciones solares son de muy alto costo en la inversión inicial, aunque su vida útil sea más elevada que las demás como se muestra en la tabla 7.2. Para el proyecto se seleccionara la batería marca Roll, la cual a pesar de su alto costo inicial, posee una vida útil y carga eléctrica (amperes/horas) superior a las demás baterías.

8.6.2 El Regulador o Controlador de Carga

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.



Figura 8.6 Típico regulador de carga fotovoltaico con sus respectivos bornes de conexión para el módulo, para la batería y para las cargas.

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos. Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente.

9 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Hasta ahora solo se ha establecido la carga que se va a alimentar (18000W), sin embargo no se había establecido si la alimentación sería durante el día o la noche. Para responder esta interrogante se tienen dos alternativas:

A) Si la alimentación es en el día, es porque la energía pasaría directamente desde los paneles solares hasta el inversor y de ahí hasta la carga. Esta posibilidad implicaría una gran cantidad de módulos solares Y por tanto una gran inversión inicial. Por otro lado no se requerirían baterías, lo cual constituye su principal ventaja.

B) Si la alimentación es en la noche, es porque se hará un proceso de carga durante el día y otro de descarga en la noche. Para realizar este tipo de alimentación, se requerirán de baterías para almacenar la energía de los módulos solares producida durante el día (8 horas aproximadamente) para que en la noche (6pm-10pm) se alimente la carga. Por consiguiente se necesitaría almacenar la energía necesaria para alimentar una carga de 18000W durante 4 horas cada día.

En esta disertación se seleccionara la alternativa B, pues es la más ventajosa de las dos.

A continuación se determinara la cantidad de cada de elemento tratado particularmente en capítulos anteriores, tales como baterías, módulos solares, inversores etc. Además se analizará el funcionamiento en conjunto de estos elementos, lo cual constituye el sistema fotovoltaico.

9.1 PARTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Las partes que componen a un sistema fotovoltaico son:

- a) Módulos solares
- b) Regulador de carga
- c) Acumuladores o baterías
- c) Inversor
- d) Carga eléctrica (Luminarias)

En capítulos anteriores se han tratado con detalles los elementos anteriormente mencionados, excluyendo el inversor. De manera que sería oportuno dar más detalles sobre este aparato, el cual es de vital importancia en este trabajo.

9.1.1 El Inversor

El inversor es un aparato eléctrico que convierte corriente eléctrica continua a corriente eléctrica alterna. El voltaje que proviene del banco de baterías es transformado para poder alimentar una carga que funciona con corriente alterna.

Modos de operación

Un inversor para uso general funciona de tres modos: Modo inversor, modo de transferencia y modo cargador.

Modo Inversor: Es cuando el inversor esta supliendo la energía que por lo común se almacena en baterías a una carga externa en ausencia del suministro de energía normal.

Modo de transferencia: Es cuando existe energía por parte del suministro normal y el inversor ya no tiene que seguir alimentando a la carga.

Modo cargador: Es cuando existiendo energía del suministro normal, el inversor utiliza sus componentes internos en sentido contrario al modo inversor para proporcionar carga a las baterías.

Las partes que componen a un inversor se pueden clasificar en las siguientes secciones:

1. Sección Osciladora.
2. Sección amplificadora.
3. Sección elevadora de voltaje.
4. Sección proveedora de corriente directa.
5. Sección proveedora de corriente alterna.

Sección osciladora:

Esta se encarga de generar los pulsos o ciclos necesarios para que la corriente alterna que provea el inversor sea igual a la corriente alterna que provee la empresa del servicio eléctrico, para unos países es de 50 ciclos y en otros 60 ciclos. La sección osciladora es una tarjeta electrónica diseñada para generar señales de control, para controlar mediante pulsos momentáneos a la etapa de potencia.

Sección amplificadora:

La función de esta sección es la de amplificar los pulsos para excitar a la sección elevadora de voltaje. Esta sección consiste de dos grupos de transistores que trabajan en forma alternativa y producen una corriente en sentido contrario, uno respecto de otro.

Sección elevadora de voltaje:

Esta se encarga de elevar el voltaje a 120V o 220V, según sea el caso, función que está a cargo de un transformador, que cuando hay energía externa, se encarga de cargar la batería, apoyado por un circuito electrónico que al estar completamente cargada la batería, se desconecta automáticamente. Al faltar el suministro de energía público o normal, el cargador invierte su función y se encarga de elevar el voltaje.

Sección proveedora de corriente directa:

Esta no es otra cosa que la batería o grupo de acumuladores propiamente dicha.

Sección proveedora de corriente alterna:

Es la que recibimos de la empresa encargada de prestar el servicio eléctrico.

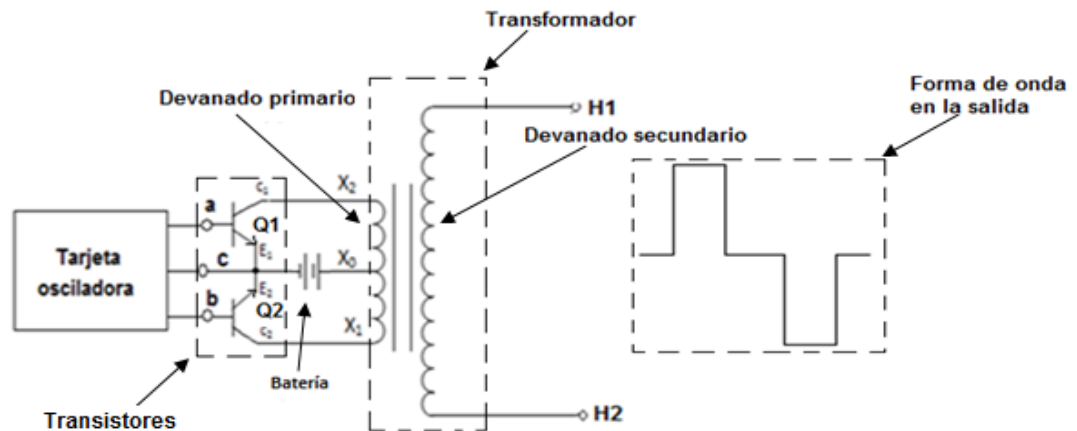
Funcionamiento

En la figura 8.1 se muestra el funcionamiento de las etapas de oscilación, potencia y elevación en conjunto. Primeramente se producen un par de pulsos de tensión desfasados

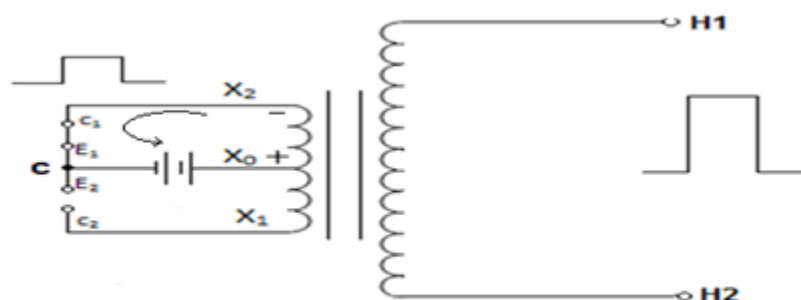
180 grados en la tarjeta osciladora, estos pulsos activan a un par de transistores (normalmente de efecto de campo). Los transistores funcionan como interruptores que conectan y desconectan la batería en el devanado primario del transformador.

La tarjeta produce dos pulsos de tensión a través de las salidas a y b. Primeramente se produce un pulso en la salida **a**, la cual activa el transistor Q1 (figura 8.1 b). El transistor Q1 cierra entre sus terminales C1 y E2 para aplicar una tensión (por ejemplo de 12 V) entre los terminales X₀ y X₂. Esta tensión de 12 V es elevada en el devanado secundario del transformador.

Luego que la salida **a** es cero voltios, la salida **b** es quien posee un valor alto para activar el transistor Q2 para conectar la batería a los terminales X₀ y X₁ (ver figura 8.1a), generando un voltaje de polaridad opuesta a la de la salida **a** (cuando está activada).



(a)



(b)

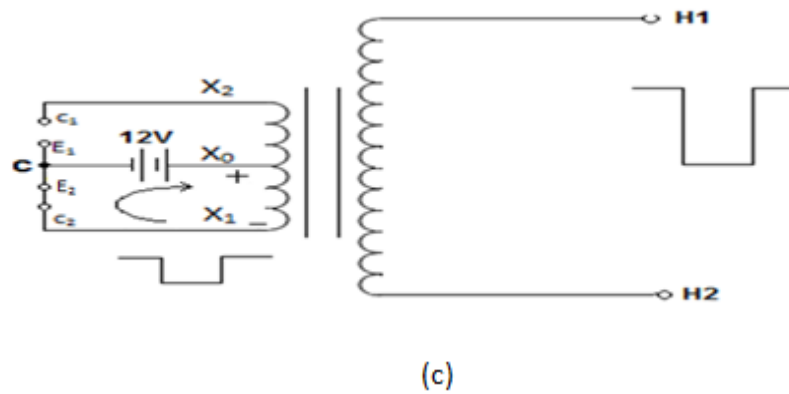


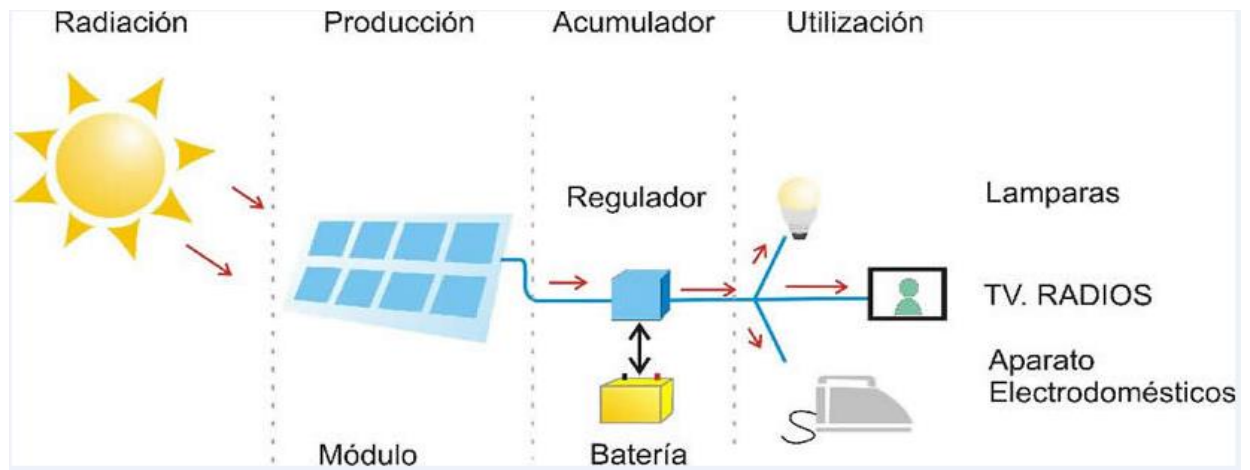
Figura 9.1 Producción básica de la forma de onda en la salida de un inversor

Luego que han sido activados los dos transistores se habrá formado una onda cuadrada alterna, la cual podría ser transformada a una onda cuasi- sinusoidal con dispositivos eléctricos y electrónicos.

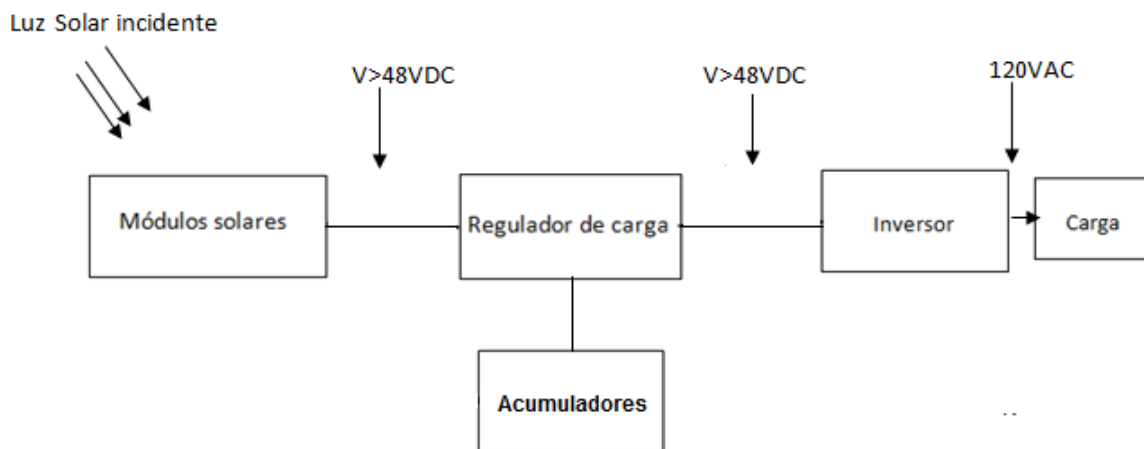
Como en este proyecto las baterías serán cargadas por los módulos solares, el inversor para la aplicación del proyecto no requiere de etapa proveedora de corriente alterna. Además el inversor para el proyecto tan solo trabajara en el modo inversor, con lo cual el transformador solo trabajara como elevador.

9.1.2 Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico

En la figura 8.1(a) se muestra un diagrama en bloque para ilustrar la conexión de los diferentes elementos que constituyen a un sistema fotovoltaico. Primeramente la luz solar incide en los módulos solares, los cuales la transforman en energía eléctrica (48V para este proyecto). A través del regulador de carga se cargan las baterías (acumuladores) sin que estas sufran daño alguno. El Inversor se encarga de transformar el voltaje directo (48 VDC) en voltaje alterno (120AC) en la salida, pues la carga es a 120 VAC.



(a)



(b)

Figura 9.2-a) Diagrama pictórico de un típico sistema fotovoltaico, b) Diagrama en bloques del sistema fotovoltaico

En la figura 8.2 (b) se muestra un voltaje de 48 V en el circuito de corriente continua, este voltaje debe ser mayor de 48V al salir de los módulos solares y del regulador de carga para que puedan cargar la batería. Una vez estén cargadas las baterías, el regulador de carga las aislara del suministro proveniente de los módulos solares, hasta que las baterías se descarguen y sea de día.

La corriente del sistema fotovoltaico desde los módulos solares hasta la carga es unidireccional y sigue el mismo sentido que indican las flechas entre bloques. Los módulos solares deben estar provistos de diodos a sus salidas, de tal manera que se comporten solo como fuentes de energía y que de ninguna manera consuman energía de las baterías.

La corriente fluye entre el regulador de carga y los acumuladores es direccional, es decir fluye desde el regulador hasta la baterías durante la carga y de las baterías hacia el regulador durante la descarga.

9.2 Determinación de la Cantidad de Baterías

El objetivo del proyecto es alimentar una carga de 18000W a 120V durante cuatro horas.

El análisis a realizar es del tipo energético, es decir la cantidad de vatios (W) por Horas que se requieren de las baterías para alimentar la carga durante 4 horas. Las baterías a utilizar en este proyecto son las de la marca Roll que aparece en la tabla 7.2 y cuyos datos son: 400Ah a 6V (V_b). Para determinar la cantidad de baterías se procederá como sigue:

1) Energía total del sistema

$$W_T = P_T \times t_d \quad 9.1$$

$$= (18000W) \times (4h) = 72000Wh$$

Donde:

W_T Energía total del sistema

P_T Potencia total del sistema

t_d Tiempo de descarga

2) Energía por grupos de baterías

Como las baterías son de 6V, será necesario conectar 8 de estas baterías en serie para obtener 48V que es el voltaje de funcionamiento para el inversor. Las ocho baterías en

serie conforman lo que se denomina un grupo de baterías, en el cual la carga eléctrica es la misma en cada batería.

$$W_G = Q \times V_G \quad 9.2$$

$$= (400\text{Ah}) (48\text{V}) = 19200\text{Wh}$$

Donde:

W_G Energía por grupo

Q carga eléctrica en el grupo de baterías

V_G Voltaje del grupo

3) Conservación de la energía: en este caso la energía que se almacena en las baterías es igual a la energía que se descarga. De manera que:

$$N \times W_G = W_T \quad 9.3$$

, Donde N es la cantidad de grupos de baterías

Despejando a N:

$N = W_T / W_G = (72000\text{Wh}) / (19200\text{Wh}) = 3.75$, que en términos prácticos es 4 grupos de baterías, con ocho baterías cada grupo.

Finalmente:

$$\text{Cantidad de baterías} = (N) \times (\text{Baterías por grupo}) \quad 9.4$$

$$= (4) \times (8) = 32 \text{ baterías}$$

El procedimiento anterior para determinar la cantidad de baterías fue paso por paso, sin embargo se podría establecer una formula general para determinar la cantidad de baterías de cualquier sistema:

$$\text{Cantidad de baterías} = (W_T/W_G) \times (V_G/V_b) \quad 9.5$$

$$= (72000\text{Wh}/19200\text{Wh}) \times (48\text{V}/6\text{V}) = (4) \times (8) = 32 \text{ baterías.}$$

9.3 Determinación de la Cantidad de Módulos Solares

En este proyecto se utilizaran los módulos solares para cargar durante el día (7AM-6PM) el banco de baterías .El modulo a utilizar es de 205 Wp a 24V, sin embargo la potencia que utilizaremos es la nominal (145W).Como los módulos son de 24V, cada grupo de módulos contara con dos módulos conectados en serie.

Para determinar la cantidad de módulos es necesario saber los siguientes parámetros:

1-Horas solares: En República Dominicana se pueden considerar como 8 horas solares, tal y como se estableció en el subcapítulo 4.6.

2-Potencia nominal del modulo: Según los datos del modulo, su potencia nominal es de 145W.

3-Energía por grupo de módulos: Se determina multiplicando la potencia total del grupo por el tiempo de carga en horas.

$$W_{GM} = (P_{GM}) \times (t_c) = (2 \times 145W) \times (8 \text{ h}) = 2320Wh$$

Donde:

P_{GM} potencia por grupo de módulos

t_c Tiempo de carga

Para determinar el número de módulos solares se puede utilizar la ecuación 8.5, tan solo que se le agregan algunos subíndices para diferenciar los datos de los módulos con los de las baterías.

$$\text{Cantidad de los módulos solares} = (W_T / W_{GM}) \times (V_{GM} / V_M) \quad 9.6$$

$$= (72000Wh / 2320Wh) \times (48V / 24V) = 62 \text{ módulos}$$

Donde:

V_{GM} Voltaje por grupo de módulos

V_M Voltaje por módulo

9.4 Determinación de la Cantidad de Inversores

La cantidad de inversores puede variar dependiendo de la disponibilidad del mercado en cuanto a potencia se refiere. Un inversor de 18000W sería demasiado grande en cuanto a

sus dimensiones y a la instalación eléctrica que esto implica. Por consiguiente se utilizaran 3 inversores de 6000W cada uno para alimentar la carga total de forma repartida.

10 DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECER LA CARGA DE ILUMINACIÓN EN EL EDIFICIO I DE UNAPEC

10.1 Diagrama Unifilar

Para una fácil interpretación de un sistema o instalación eléctrica existen diagramas eléctricos que de modo gráfico representan todas las partes que componen dicho sistema, tomando en cuenta las conexiones existentes entre los dispositivos que componen el sistema. Este tipo de diagrama se denomina Diagrama Unifilar. Un ejemplo palpable es el sistema eléctrico dominicano representado mediante un diagrama unifilar.

La figura No. (Diagrama unifilar) detalla la distribución eléctrica existente, a partir de la subestación que suministra energía al edificio I y a otras cargas.

La subestación consta de un banco de transformadores de 500 kva, la potencia de dicho banco es el resultado de la suma de tres (3) transformadores de 167 kva, conectados bajo la configuración Estrella -Estrella (Y-Y). Este banco reduce el voltaje de 12470V a 120/208V. Los alimentadores salientes del secundario del transformador **(2)** van al disyuntor (BRK-1) el cual es el principal dispositivo de protección de la instalación. Después de conectarse al BRK-1 estos van al **ITA -1** (Interruptor de Tránsito Automático) el cual hace la transferencia del suministro de energía provisto por CDE (Normal) al suministro de energía provisto por la planta de emergencia (Emergencia) y

viceversa. Los conductores **(4)** se conectan a las barras de carga del **ITA -1**, para así alimentar el **Main Panel Board**.

El **Main Panel Board** cuya traducción al español es “Panel de Distribución Principal” es una caja de distribución que se utiliza para sujetar los breakers, distribuir y balancear las cargas. En este se encuentra incluido el **BRK-2**, el cual actualmente protege el circuito de luces del **Edificio I**.

El **Main Panel Board** posee una característica al igual que otros elementos de la instalación, se trata del nivel de protección contra el medio ambiente que los rodea, **NEMA TIPO -1**. En el capítulo 9.2 se detalla de manera más explícita el origen del término **(NEMA TIPO -1)**.

A partir del **BRK-2** se instalarían los equipos concernientes a la instalación de los paneles solares a utilizar. Es recomendable cambiar la capacidad de dicho Breaker ya que su margen de protección está muy por encima de la capacidad de los conductores a utilizar lo cual indica que este prácticamente no protegería el circuito (ver cap. 10.2).

El **ITA-2** es el dispositivo que se encarga de realizar la transferencia desde el suministro CDE O Emergencia al Suministro Solar Fotovoltaico y viceversa. Es necesario saber que la transferencia es temporizada (ver cap. Mando y control del suministro solar fotovoltaico).

El término **Suministro Solar Fotovoltaico (SSF)** se refiere a la instalación de los paneles solares la cual consta de sesenta y dos (62) módulos solares fotovoltaicos de 205 Wp c/u, treinta y dos baterías Rolls S6-460AGM 6v/400AH c/u, un regulador de carga Xantrex 60 AMP y tres inversores Trace 6000 W (6.0Kw) c/u. El SSF será protegido por el **BRK-10** y la

distribución de cargas de iluminación será configurada en el panel de iluminación P-1. Algunos dispositivos pertenecientes al SSF tales como las baterías y el regulador de carga no figuran en el diagrama unifilar ya que solo es necesario indicar sus características. Note que los dispositivos usados son conectados a tierra para fines de protección.

10.2 Cálculo de los Conductores y Protecciones

Es necesario asegurarnos de que una instalación eléctrica esté correctamente protegida, también se considera neurálgica la selección apropiada de los conductores que se utilizarían en la instalación. Para ello se necesita conocer algunos parámetros muy conocidos que son la potencia aparente, el voltaje, el factor de potencia, la corriente etc. A continuación se detallan los cálculos concernientes con la selección ya mencionada.

El primer parámetro que debemos conocer es la corriente demandada por la carga (I)

$$I = P / \sqrt{3} \times V_L \times \cos \Phi$$

Donde:

P = 18000 KW : Potencia real consumida por el equipo

V_L = 208v : Voltaje de línea.

V_{PH} = 120v : Voltaje de fase.

Cos Φ = 0.8 : Factor de potencia

I = ? : Corriente demandada por la carga

Por consiguiente:

$$I = 18\text{kw} / \sqrt{3} \times 208 \times 0.8$$

$$I = 62.4537 \text{ amperes}$$

Selección de Conductores

Para ejecutar una correcta selección de conductores debemos ser precisos. El parámetro que determina la selección del conductor es la ampacidad (**AM**). La ampacidad es la capacidad de conducción que poseen los conductores. Otros factores importantes son el medio ambiente donde se instalarían los conductores y la longitud del conductor. El medio ambiente es lo que determina el recubrimiento del cable a utilizar. La longitud del conductor provoca una caída de tensión a través de este, la cual no debe ser mayor de un 3% para los alimentadores principales ni mayor de un 2% para los alimentadores derivados. En el procedimiento es necesario escudriñar estos factores de manera precisa.

La selección de los conductores se calcula de la forma siguiente.

$$AM = I_{cn} \times K$$

$$AM = 62.4537 \text{ A} \times 1.25$$

$$AM = 78.0672 \text{ amperes}$$

Donde:

AM: es la ampacidad que debe tener el conductor a utilizar.

K: es el margen de tolerancia que utilizado según la NEMA, por lo general este tiene un valor de 1.25.

Selección:

Los conductores a utilizar estarían instalados en tuberías por tanto el recubrimiento de estos debe ser **THHN** (Thermoplastic Insulation Hihgt Heat Dry Location Nylon). Debido a que el calor es inversamente proporcional, es decir contrarresta el flujo de corriente este tipo de recubrimiento le brinda al conductor protección contra altas temperaturas y además un alto grado de conducción.

Según la tabla B-301-1 pág. 694 de la NFPA 70 NEMA 2008 (anexo -), los conductores apropiados para la ampacidad requerida (**Amp** = 78.0672 amperes) son:

3 Cables THHN # 4 - Potenciales
--

Este conductor puede conducir ochenta y nueve (89) amperes. Necesitamos calcular la caída de tensión a través de este para rectificar si el calibre seleccionado es el apropiado.

$$CT = (Ks \times L \times I) / C.M$$

$$CT = (19\text{volt/pies.amp} \times 40 \text{ pies} \times 78.0672) / 41740$$

$$CT = 1.42 < 3\% \text{ de } 208 \text{ v}$$

Donde:

CT: es la caída de tensión a que a través del conductor.

Ks: es la constante de resistividad dada por el conductor para un sistema trifásico y en el sistema inglés cuya unidad de longitud es el pie.

L: longitud del conductor en pies

I: Corriente demandada por la carga

C.M: circular mills

Lo que quiere decir que la caída de tensión es menor que el 3% del voltaje utilizado. Dado esto la selección del calibre del conductor es correcta.

Para la selección del neutro utilizamos el 75% de la ampacidad calculada para los potenciales.

$$M_{ne} = AM \times 0.75 \text{ amp}$$

$$AM_{ne} = 78.0672 \times 0.75 \text{ amp}$$

$$AM_{ne} = 58.55 \text{ amp}$$

Según la tabla B-301-1 de la NEMA 2008, el conductor apropiado para la ampacidad del neutro ($AM_{ne} = 58.55 \text{ amp}$) es:

1 Cable THHN # 6 – Neutro

Para la selección del neutro utilizamos el 30% de la ampacidad calculada para los potenciales.

$$AM_{gnd} = AM \times 0.30 \text{ amp}$$

$$AM_{gnd} = 78.0672 \times 0.30 \text{ amp}$$

$$AM_{gnd} = 24 \text{ amp}$$

Según la tabla B-301-1 de la NEMA, el conductor apropiado para la ampacidad del neutro ($AM_{gnd} = 24 \text{ amp}$) es:

1 Cable THHN # 8 - GND (tierra)
--

Selección de Protección:

Los Breakers o Disyuntores protegen los conductores de sobre-corrientes que pueden ser causadas por sobrecargas o cortocircuitos. El **Encl. BK-10**(Enclosed Breaker -10) es la unidad que se encargaría de proteger el SSF. El término “enclosed” significa encapsulado, por tanto el Breaker posee cierto nivel de protección.

Existen entidades reconocidas mundialmente como redactoras de certificaciones y estándares del nivel de protección de este tipo de equipo. Estas organizaciones son la **NEMA, UL** y la **CESA**. El grado de protección del Encl. BK-10 es **NEMA TIPO -3**. Los gabinetes de este tipo son diseñados para uso de exteriores para proveer un grado de protección contra lluvia humedad, polvo en tolvaneras, y formación de hielo en el exterior. El Main Panel Board a diferencia del Encl. BK-10 , posee un gabinete **NEMA TIPO -1** cuyo diseño está destinado para uso de interiores y protección contra contactos y cantidades limitadas de polvo y suciedad.

Para la selección de los dispositivos protección es necesario tomar en cuenta que estos deben poseer su capacidad muy cercana o igual a la ampacidad.

Tenemos que:

$$AM = 78.0672 \text{ amperes}$$

$$I_p \approx AM$$

$$I_p \approx 78.0672 \text{ amperes}$$

Donde:

I_p : es la corriente de protección que debe poseer el BRK

AM: es la ampacidad que debe tener del conductor a utilizar.

Por tanto la corriente de protección de Breaker debe aproximarse a este valor ya que las capacidades de estos vienen dadas por estándares.

Selección:

1 ENCL. BRK 80 A/3 ,N-3

10.3 Mando y Control del Sistema Fotovoltaico

El suministro solar fotovoltaico será controlado por el ITA-2. Este interruptor de transferencia automático cuenta un selector de funcionamiento que pueden ser automático o manual. También cuenta con un Temporizador Programable (lechuza), el cual se encarga de controlar el horario del abastecimiento de energía que proveerá el SSF. La tabla 9.1 muestra el horario a ser controlado. Se trata de cuatro horas diarias de lunes a viernes, en horario de seis a diez ya que estas son las horas pico del consumo de energía de la carga de iluminación en el edificio I.

En las horas restantes el abastecimiento de energía será suministrado por la empresa distribuidora (CDE) o por la planta de emergencia dependiendo de la presencia de energía suplida por CDE. Las características del ITA-2 son especificadas en el Anexo 5.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
12:00am/5:59pm CDE/EMERG.	12:00am/5:59pm CDE/EMERG.	12:00am/5:59pm CDE/EMERG.	12:00am/5:59pm CDE/EMERG.	12:00am/5:59pm CDE/EMERG.	12:00am/11:59pm CDE/EMERG.	12:00am/11:59pm CDE/EMERG.
6:00pm/10:00pm SSF	6:00pm/10:00pm SSF	6:00pm/10:00pm SSF	6:00pm/10:00pm SSF	6:00pm/10:00pm SSF		
10:01pm/11:59pm CDE/EMERG.	10:01pm/11:59pm CDE/EMERG.	10:01pm/11:59pm CDE/EMERG.	10:01pm/11:59pm CDE/EMERG.	10:01pm/11:59pm CDE/EMERG.		

Tabla 10.1 Horario de abastecimiento del SSF

11 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

En este capítulo se deducirán y calcularán los egresos e ingresos del proyecto. Luego se utilizarán ciertos métodos de ingeniería económica para evaluar el proyecto. Entre los métodos principales están el VAN y la TIR, los cuales ofrecerán datos determinantes para la toma de decisiones.

11.1 Identificación de Ingresos y Egresos en el Proyecto

En todo proyecto existen Ingresos (entrada) y egresos (salida) de dinero. En este podemos identificar los siguientes:

Ingresos

- a) Ahorro de energía eléctrica

Egresos

- a) Inversión inicial debido al proyecto
- b) Mantenimiento de la instalación fotovoltaica

11.2 CÁLCULO DE INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO

11.2.1 Cálculo de Ingresos

Con la instalación del proyecto, la universidad APEC dejaría de pagar anualmente una cantidad de RD\$ 133,056. Este valor se obtiene de los siguientes datos:

Datos

P = 18KW	Potencia consumida
T = 4h	Tiempo de abastecimiento
N = 264	Cantidad de días al año
C = 7 pesos/kWh	Costo de la energía eléctrica
A1=?	Anualidad en ahorro

$$A1 = (7 \text{ pesos/kWh}) (18\text{KW}) (4\text{h}) (264 \text{ días}) = \text{RD\$ } 133,056$$

11.2.2 Cálculo de Egresos

a) *Inversión Inicial del Proyecto*: la inversión inicial del proyecto es de RD\$ 4, 036,072 .Este valor comprende la suma de todos los costos de los elementos y que son necesarios para poner en marcha el proyecto. En la tabla 10.1 se muestra la distribución de esta inversión.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio+Itbis	Sub-Total	ITBIS	Importe
INVERSOR TRACE-XANTREX 6000 W (6.0K)	3	RD\$	148700	384568.97	61531.03	446100.00
PANEL SOLAR 205 WATTS, A 24VDC KYOCERA	62	RD\$	44600	2383793.10	381406.90	2765200.00
CONTROLADOR DE CARGA SOLAR DE 60 AMP	4	RD\$	6293	21700.00	3472.00	25172.00
SERVICIOS INSTALACIONES DE INVERSORES Y	3	RD\$	19200	49655.17	7944.83	57600.00
SERVICIO DE INSTALACION PANELES	1	RD\$	150000	129310.34	20689.66	150000.00
BATERIA ROLL 6V, CON MANT.400 A/H	32	RD\$	18500	510344.83	81655.17	592000.00
Costo total						RD\$4,036,072

Tabla 10.1 Costo de los elementos del sistema fotovoltaico

b) Mantenimiento de la Instalación Fotovoltaica

El gasto en mantenimiento se debe únicamente a las baterías, las cuales requieren de agua destilada o algún electrolito cada cuatro meses aproximadamente. Anualmente se estima un gasto de **RD\$ 13,000** en gastos de mantenimiento durante un tiempo de diez años.

Tabla 10.2 Características técnicas de los elementos el sistema fotovoltaico

Equipo	Vida Útil(años)	Mantenimiento	Costo anual de Mantenimiento
INVERSOR TRACE-XANTREX 6000 W (6.0K)	15	No	-
PANEL SOLAR 205 WATTS, A 24VDC KYOCERA	25	No	-
CONTROLADOR DE CARGA SOLAR DE 60 AMP	10	No	-
BATERIA ROLL 6V, CON MANT.400 A/H	15	Si	13,000
Costo Total Anual en Mantenimiento			13,000

11.3 DIAGRAMAS DE LOS FLUJOS DE EFECTIVO

Puesto que la evaluación del proyecto tendrá un horizonte de 10 años, sería conveniente representar los flujos de efectivo (entradas y salidas) en un diagrama de flujo. En un diagrama de flujo los egresos se consideran negativos y los ingresos positivos.

11.3.1 Diagrama de Flujo para el Ingreso

Se dijo que la universidad se ahorraría RD\$ 133,056 anualmente en caso de llevarse a cabo la implementación del proyecto. Esta cuota anual es positiva y se representa con flechas hacia arriba desde el año cero hasta el año diez. En la figura 10.4 se muestra un diagrama de flujo de esta situación proyectado hacia el año diez.

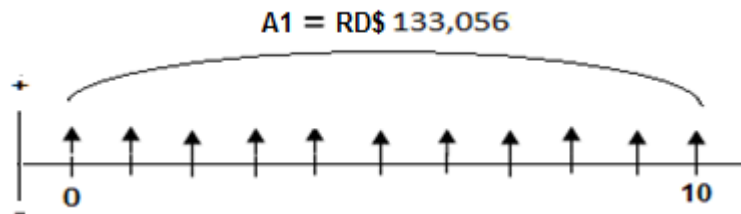


Figura 10.1 Diagrama de flujo para el ingreso

11.3.2 Diagrama de Flujo para el Egreso

Para el diagrama de flujo de los egresos tenemos dos clasificaciones: la inversión inicial y el gasto en mantenimiento que es una anualidad negativa. En la figura 10.5 se muestran ambas situaciones, la inversión inicial corre en año cero en tanto que el gasto en mantenimiento (A2) está presente desde el año cero hasta el año diez.

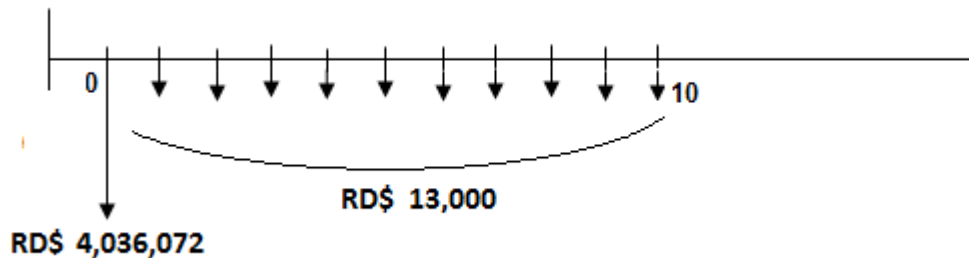


Figura 10.2 Diagrama de flujo para los egresos

11.4 DETERMINACIÓN DE LA TASAS DE INTERÉS

Como el costo del dinero no se mantiene fijo si no que varía a través del tiempo, es necesario determinar las tasas de interés a utilizar en este análisis. Para nuestro trabajo tenemos que determinar las siguientes tasas:

- a) Tasa a la cual varía la tasa pasiva de los bancos
- b) Tasa a la cual varía el costo del KWh

11.4.1 Tasa a la cual varía la Tasa Pasiva de los Bancos

Para determinar esta tasa, Se tomara un promedio de las distintas tasas pasivas actuales de los bancos y asociaciones de la república Dominicana y se hará de esta forma por que representa el dinero que se ganaría la universidad poniendo a plazo fijo el dinero de la inversión en vez de llevar a cabo el proyecto. En la tabla 10.3 se presenta la tasa pasiva promedio actual d de tres fuentes dominicanas.

Instituciones	Tasas (%)
Bancos multiples	6.1
Asociaciones de A y P	6
Bancos de ahorro y prestamos	8.67
Corporaciones de Crédito	9.3
Promedio	7.5175
$i_1 = 7.52\%$	

Tabla 10.3 Determinación de la tasa de interés pasiva

11.4.2 Tasa a la cual varía el costo del KWh

Al igual que el dinero, el KWh también varía a través del tiempo. Para saber la tasa a la cual ha variado la energía eléctrica hemos tomado en cuenta el histórico de tarifas que ofrece la súper Intendencia de Electricidad Dominica. Mediante investigaciones se encontró que el que la tasa a la cual ha cambiado el KWh en los últimos 4 años ha sido cero.

Sin embargo, desde el año 2002 hasta el presente la variación de 3.07 a 8.57 KWh, esto implica un periodo tiempo de 8 años aproximadamente. Por otro lado, el gobierno actual

ha anunciado alzas en la tarifa de energía, lo cual nos lleva a deducir un aumento en los próximos años. Tomando en cuenta los datos anteriores la variación media de la tasa de interés ha sido de 22% aproximadamente, para determinar esta cantidad se procede como sigue:

Datos:

Para determinar la tasa de cambio utilizaremos la fórmula del interés simple:

$$F=P (1+i_2/n),$$

Donde:

F= 8.57 valor futuro o final

P= 3.07 valor presente o inicial

n= 8 periodo de evaluación

$i_2=?$ Tasa de cambio del KWh

Sustituyendo valores y despejando a i_2

$$i_2 = ((8.57/3.07)-1)/8=0.22$$

$i_2 = 22\%$

11.5 DETERMINACION DEL VAN Y LA TIR

En la tabla 10.4 se presentan los diferentes flujos proyectados a 10 años. Como ya se había establecido, los gastos se consideran negativos y el ahorro como positivo. El análisis se hará viendo todos los flujos (entradas y salidas) de manera conjunta, al tener los paneles solares una vida útil más allá del año diez no se puede hacer un análisis de selección de alternativas.

Años	Gasto en mantenimiento	Ahorro de energía , $i_2 = 22\%$	Inversión inicial, $i_1 = 12\%$
0	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	RD\$ 4,036,072.00
1	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
2	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
3	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
4	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
5	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
6	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
7	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
8	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
9	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	
10	RD\$ 13,000.00	RD\$ 133,056.00	

Tabla 10.4 Tabla de flujos proyectada hacia el año diez

11.5.1 Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) representa todos los flujos de efectivo que están ubicados en años futuros llevados a un equivalente en el año cero o actual. Si el VAN es negativo es un indicio de la no factibilidad del un proyecto, siempre y cuando no se evalúen diversas alternativas.

En la tabla 10.5 se muestran los datos necesarios para calcular el VAN así como su resultado. El valor obtenido es negativo y además muy elevado, lo cual grandes pérdidas en a través del tiempo.

Variables	Valores numéricos
Inversión Inicial (I ₀)	RD\$ 4,109,524.90
Cuota de gasto en mantenimiento(A ₁)	RD\$ 13,000.00
Cuota de ahorro en energía eléctrica (A ₂)	RD\$ 133,056.00
Tasa de cambio del KWh(i ₂)	22%
Tasa de cambio del dinero(i ₁)	7.50%
Período de evaluación (n)	10 años
VAN =-Inversión Inicial -A₁* {[(1+i₁)ⁿ-1]/i₁ *(1+i₁)ⁿ} +	
A₂ {[(1+i₂)ⁿ-1]/i₂* (1+i₂)ⁿ} =	-RD\$ 3,603,220.41
VAN= -Inversión Inicial -Costo mantenimiento +Ahorro en energía eléctrica	

Tabla 10.5 Determinación del Valor actual neto

11.5.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa a la cual se recupera una inversión. En términos matemáticos es aquella tasa que hace cero el VAN, es decir que es el punto de equilibrio en donde no se gana ni se pierde. Además la TIR representa la tasa mínima a tomar en cuenta para realizar un proyecto. Para determinar la TIR se debe considerar una sola tasa de interés para la ecuación de la tabla 10.5, la cual se hará variar hasta que el VAN se acerque lo más posible a cero.

$VAN= -RD\$ 4,036,072 -(13000) \left\{ \frac{[(1+i)^{10}-1]}{i (1+i)^{10}} \right\} + (133,056) \left\{ \frac{[(1+i)^{10}-1]}{i (1+i)^{10}} \right\}$
TIR = - 0.17574000 =- 17.574% , VAN= RD\$ 10.88, en términos prácticos es cero.

La TIR muestra que en vez de ganar dinero, se está perdiendo dinero a una tasa de 17.574%. Tanto el VAN como la TIR muestran la inviabilidad en el uso del sistema fotovoltaico.

GLOSARIO

A

Altitud solar: es el ángulo formado por el rayo solar dirigido al centro de la bóveda celeste y el plano horizonte; se mide a partir del plano del horizonte hacia al cenit de 0° a 90°.

Amperio: Unidad de medición de la corriente. Equivale a un flujo de un coulomb de carga, en un segundo.

B

Batería o celda galvánica: Dispositivo que consiste de dos conductores distintos y un electrolito y que produce una diferencia de potencial.

Breaker: Dispositivo utilizado para proteger equipos eléctricos contra sobrecargas o cortocircuitos

C

Celda solar: Es un dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

Corriente: Es el flujo eléctrico de electrones a través de un conductor.

Corriente continúa: Tipo de corriente que se mantiene constante a través del tiempo

Corriente alterna: Tipo de corriente que varía periódicamente en magnitud y sentido.

Circuito eléctrico: Trayectoria cerrada por la cual viaja la corriente eléctrica.

Conexión en paralelo: Es una conexión donde, los bornes o terminales de entrada de todos los dispositivos (generadores, resistencias, condensadores, etc.) conectados coincidan entre sí, lo mismo que sus terminales de salida.

Conexión en serie: Es una configuración de conexión en la que los bornes o terminales de los dispositivos (generadores, resistencias, condensadores, interruptores, entre otros.) se conectan secuencialmente. El terminal de salida de un dispositivo se conecta al terminal de entrada del dispositivo siguiente.

Conductor: Es aquel cuerpo que puesto en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie.

Capacidad de una batería: Es la carga eléctrica que es capaz de entregar y o almacenar en un tiempo determinado.

D

Densidad relativa: es la relación entre la densidad de una sustancia y la de otra, tomada como patrón. Generalmente para sólidos y líquidos se emplea el agua destilada, y para gases, el aire o el hidrógeno.

Dopaje: proceso intencional de agregar impurezas en un semiconductor extremadamente puro (también referido como *intrínseco*) con el fin de cambiar sus propiedades eléctricas

Diferencia de potencial: Diferencia en energía potencial eléctrica entre dos puntos

Diagrama unifilar: Diagramas Eléctricos que representan todas las partes que componen a un sistema de potencia de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr así la forma una visualización completa del sistema de la forma más sencilla.

E

Energía: capacidad para realizar trabajo

Eficiencia: Es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. El valor de la eficiencia está entre cero y la unidad.

Equinoccio: Se denomina equinoccio al momento del año en que los días tienen una duración igual a la de las noches en todos los lugares de la Tierra, excepto en los polos.

Excentricidad: Es un parámetro que determina el grado de desviación de una sección cónica con respecto a una circunferencia.

Electrón: Partícula subatómica que orbita alrededor del núcleo de un átomo y cuya carga eléctrica es negativa.

Efecto fotovoltaico: transformación parcial de la energía luminosa en energía eléctrica

Efecto fotoeléctrico: consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general).

Electrolito: Es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente consisten de iones en solución, los electrolitos también son conocidos como soluciones iónicas, pero también son posibles electrolitos fundidos y electrolitos sólidos.

Espectro: Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa.

F

Fuerza magneto motriz (FEM): Diferencia de potencial creada por campos electromagnéticos

Fotón: *es la partícula elemental responsable* de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.

Flujo de efectivo: entrada o salida de dinero en una empresa, negocio o proyecto.

H

Hertz: Unidad de frecuencia igual a un ciclo por segundo

Horas solares: Tiempo promedio en que se considera que la radiación solar es plena durante el día en la superficie de una determinada posición geográfica.

Hueco: es la ausencia de un electrón en la banda de valencia .

I

Iluminación: Razón a la cual la energía luminosa incide sobre una superficie

Inversor: Aparato electrónico cuyo objetivo es convertir la corriente directa en corriente alterna.

Interés: E es el valor del dinero a través del tiempo

Ion: es una partícula cargada constituida por un átomo o conjunto de átomos neutros que ganaron o perdieron electrones, fenómeno que se conoce como ionización.

Ion positivo: Es aquel ion que tiene un exceso de carga positiva

Ion negativo: Tipo de ion que tiene una carga predominantemente negativa

Interruptor eléctrico: Es un dispositivo utilizado para desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica

J

Julio: Unidad de trabajo o de energía, igual a un newton metro.

K

Kilovatio-hora: Cantidad de energía igual a 3.6×10^9 Julios

L

Luz: Radiación electromagnética con longitud de onda entre 4×10^{-7} y 7×10^{-7} metros.

Longitud de onda: Distancia entre puntos correspondientes en dos ondas sucesivas.

M

Módulo solar: conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre si para obtener una mayor potencia y una estructura física más compacta.

Modulo Monocristalino: Modulo solar que se compone de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal).

Modulo Policristalino: Modulo solar que está formado por pequeñas y diversas partículas cristalizadas.

O

Ondas electromagnéticas: Una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio, y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell.

P

Potencia: Es la rapidez a la cual se realiza trabajo en mecánica y en electricidad su equivalente es el producto de la corriente y el voltaje.

Panel solar: Conjunto de módulos solares interconectados entre si.

Panel Amorfo: Módulo solar en el cual, el silicio no se ha cristalizado.

Potencia pico: Es la potencia máxima que puede entregar un modulo solar para unos determinados valores de tensión y de corriente.

Potencia nominal: Potencia promedio que es capaz de suplir un modulo solar

R

Reflexión: cambio de dirección de un rayo o una onda que ocurre en la superficie de separación entre dos medios, de tal forma que regresa al medio inicial.

Refracción: Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos.

Resistencia interna: Resistencia en el interior de una batería que depende de la densidad del electrolito de que consta la batería.

Regulador de carga: Dispositivo diseñado para cargar adecuadamente al conjunto de acumuladores o baterías.

S

Sistema fotovoltaico: Es el conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada.

Sistema solar: sistema planetario de la galaxia Vía Láctea que se encuentra en uno de los brazos de ésta, conocido como el Brazo de Orión.

Solsticios: Los solsticios son aquellos momentos del año en los que el Sol alcanza su máxima posición meridional o boreal, es decir, una máxima declinación norte ($+23^{\circ} 27'$) y máxima declinación sur ($-23^{\circ} 27'$) con respecto al ecuador celeste.

Semiconductor: es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

T

Tasa pasiva: Tasa a la cual presta un banco

Transistor: Dispositivo electrónico de tres terminales. Los transistores son utilizados en electrónica como amplificadores u osciladores en sistemas de comunicaciones, control y computación.

Transfer: Circuito eléctrico, cuyo objetivo es controlar el suministro de energía eléctrica que procede de distintas fuentes para alimentar una carga determinada.

TIR: Tasa interna de retorno, la cual indica la rapidez a la cual se recupera una inversión.

Temperatura: Medidas de la energía cinética promedio de las moléculas.

THHN: Thermoplastic Insulation, High Heat Resistant (90°C), Dry Locations only, Nylon Jacket. Insulación termoplástica resistente contra altas temperaturas con cubierta de Nylon.

U

Unión PN: Estructura fundamental de los componentes electrónicos comúnmente denominados semiconductores, principalmente diodos y transistores BJT. Está formada por la unión metalúrgica de dos cristales, generalmente de Silicio (Si), aunque también se fabrican de Germanio (Ge), de naturalezas P y N según su composición a nivel atómico.

V

Vatio: Unidad de potencia igual a 1 J/s

Voltaje: Es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

Voltio: Unidad de diferencia en potencial

Vida útil: Tiempo de duración en funcionamiento, de un determinado equipo eléctrico, mecánico etc.