



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Electrónica

ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN, UTILIZANDO AMPOLLETAS DE BAJO CONSUMO Y ALIMENTADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Electrónico.

Profesor Patrocinante:
Sr. Fredy Ríos Martínez.
Ingeniero Electrónico,
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería,
Diplomado en Ciencias de la Ingeniería

DANILO OSVALDO PÉREZ GARRIDO
VALDIVIA – CHILE
2009

COMISIÓN REVISORA

Sr. Fredy Ríos M.
Profesor Patrocinante

Sr. Franklin Castro R.
Profesor Informante

Sr. Pedro Rey C.
Profesor Informante

AGRADECIMIENTOS

Al comienzo de esta aventura todo parecía lejano, años interminables y pruebas cada vez más complicadas, hacían ver todo cuesta arriba, pero gracias a Dios y a una enorme cantidad de personas que siempre me apoyaron todo resulto mejor de lo que esperaba.

Quisiera partir agradeciendo a Dios por las enormes bendiciones brindadas, por la gran cantidad de oportunidades y desafíos que puso en mi camino, camino que sin el me hubiese sido difícil de recorrer hasta este punto, y que sé me acompañará en el que sigue.

A mis padres que siempre creyeron que podía lograrlo, que confiaron en mí sin dudar un solo momento y me apoyaron incondicionalmente, al igual que mis hermanos, quienes de una u otra forma me ayudaban desde la distancia.

A don Eladio y su familia, quienes sin siquiera conocerme, me dieron su apoyo desinteresado a lo largo de todos estos años de estudio. Gracias a su inmensa generosidad pude sentirme como en casa.

A Priscilla, mi novia que me acompaña desde antes de empezar esta aventura, quien siempre me ha apoyado y ha creído firmemente en mí, a pesar de las dificultades siempre estuvo y está alentándome a seguir avanzando.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí todos estos años y que sin duda nos sirvieron para conocer grandes personas.

A la empresa Optimiza y a mis compañeros de trabajo, quienes confiaron en mi desempeño y me brindaron la oportunidad de realizar mi tesis dentro de la organización, estando siempre atentos y colaborando para el rápido desarrollo de esta.

Y a toda la gente que en algún momento me tendió la mano, les agradezco inmensamente la voluntad de oro que tuvieron conmigo.

CONTENIDO

1.0	CAPITULO 1: LINEAMIENTOS GENERALES.....	16
1.1	INTRODUCCIÓN.....	16
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.3	OBJETIVOS G ENERALES	17
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5	ALCANCES DEL TEMA.....	18
1.6	EXCLUSIONES DEL TEMA.....	18
1.7	RESULTADOS	19
2.0	CAPITULO 2: EFICIENCIA ENERGÉTICA	20
2.1	Uso CONCIENTE DE LA ENERGÍA.....	21
2.2	ETIQUETAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	23
2.2.1	NORMAS OFICIALES CHILENAS.....	26
2.3	CONCEPTOS DE LA LUZ Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE AMPOLLETAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES Y LED	27
2.3.1	CONCEPTOS GENERALES DE LA LUZ	27
2.3.2	ANÁLISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE AMPOLLETAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES Y LED	32
3.0	CAPITULO 3: ENERGÍA SOLAR.....	59
3.1	IRRADIACIÓN	61
3.2	INSOLACIÓN	62
3.3	CELDA FOTOVOLTAICA.....	63
3.3.1	DOPADO DEL SILICIO Y LA UNIÓN P-N	64
3.3.2	GENERACIONES DE CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	65
3.3.3	TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS	67
3.4	FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO.....	71
3.4.1	FACTORES DE EFICIENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO	74
3.4.2	FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO	77
3.5	APLICACIONES DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	79
3.6	CLASIFICACIONES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	81
3.6.1	INSTALACIONES AISLADAS DE LA RED ELÉCTRICA	81
3.6.2	INSTALACIONES CONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA	82
3.6.3	INSTALACIONES HÍBRIDAS.....	83
3.6.4	EQUIPOS NECESARIOS PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	84
3.7	POSICIONAMIENTO Y ORIENTACIÓN DE LOS PFV Y CONDICIONES ÓPTIMAS PARA UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	86

3.7.1	CONDICIONES DE LA CIUDAD DE VALDIVIA	89
3.8	MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN	91
3.9	BENEFICIOS DE UNA VIVIENDA DOTADA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	91
4.0	CAPITULO 4: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN ALIMENTADO POR PANELES FV, UTILIZANDO AMPOLLETAS LED	93
4.1	CÁLCULO DE ILUMINACIÓN	93
4.1.1	CÁLCULO DE ILUMINACIÓN POR HABITACIÓN	97
4.2	CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	100
4.2.1	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE CONSUMO PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	100
4.2.2	CÁLCULO DEL BANCO DE BATERÍAS.....	103
4.2.3	CÁLCULO DE LOS PANELES SOLARES.....	103
4.2.4	CÁLCULO DEL REGULADOR	112
4.2.5	CÁLCULO DEL INVERSOR	113
4.2.6	CONMUTADOR.....	113
4.2.7	CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL HOGAR EN GENERAL.....	114
4.3	ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS	117
4.4	ASPECTOS ECONÓMICOS	118
4.4.1	RENTABILIDAD Y PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	120
5.0	CAPITULO 5: CONCLUSIONES.....	125
6.0	CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA	127
7.0	CAPITULO 7: ANEXOS	130
7.1	NORMATIVA PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	130
7.2	HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1 Etiqueta de Eficiencia Energética Lámparas tipo A y B, y Refrigerador de acuerdo a normas NCh.....	24
Figura 2.2.2 Interpretación etiqueta lámpara tipo B.....	25
Figura 2.2.3 Etiqueta de Eficiencia Energética Refrigerador.....	25
Figura 2.2.4 Interpretación de las Etiquetas.....	26
Figura 2.3.1 Espectro Electromagnético.....	27
Figura 2.3.2 Curva de Visibilidad Relativa, Eficiencia Lumínica/Longitud de Onda.....	28
Figura 2.3.3 Representación de ángulo Sólido y Estereorradián.....	28
Figura 2.3.4 Nivel de Iluminancia según Distancia.....	30
Figura 2.3.5 Niveles de Temperatura de color.....	31
Figura 2.3.6 Estructura de una Lámpara Incandescente.....	33
Figura 2.3.7 Distintos tipos de Lámparas Incandescentes.....	33
Figura 2.3.8 Estructura de una Lámpara LFC.....	34
Figura 2.3.9 Distintos tipos de Lámparas LFC.....	35
Figura 2.3.10 Símbolo de un Diodo Led.....	38
Figura 2.3.11 Material Dopado con impurezas tipo P y N.....	38
Figura 2.3.12 Formación de la unión P-N.....	39
Figura 2.3.13 Polarización directa del diodo.....	39
Figura 2.3.14 Encapsulado de un Diodo Led para distintas Potencias.....	41
Figura 2.3.15 Superficies Iluminadas usando Led Discretos.....	43
Figura 2.3.16 Curvas de Intensidad Relativa vs Longitud de onda.....	43
Figura 2.3.17 Diagrama de Cromaticidad.....	44

Figura 3.1.1 Espectro de Radiación Solar.....	61
Figura 3.2.1 Curva de Irradiación Diaria y horas solares pico.....	62
Figura 3.2.2 Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año	63
Figura 3.3.1 Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar	63
Figura 3.3.2 Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino	64
Figura 3.3.3 Dopado del Silicio.....	65
Figura 3.3.4 Barra de Silicio Policristalino.....	65
Figura 3.3.5 Evolución de Eficiencia de las Celdas Solares.....	67
Figura 3.3.6 Panel Solar de Silicio Monocristalino.....	68
Figura 3.3.7 Panel Solar de Silicio Policristalino	68
Figura 3.3.8 Celda Fotovoltaica Orgánica.....	70
Figura 3.3.9 Láminas Fotovoltaicas de Película Delgada (thin-film)	71
Figura 3.4.1 Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones	71
Figura 3.4.2 Esquema de Funcionamiento de un Panel solar.....	72
Figura 3.4.3 Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m^2 y $25 \text{ }^\circ\text{C}$	73
Figura 3.4.4 Factor de Forma (FF).....	75
Figura 3.4.5 Niveles de Radiación Solar en el Mundo	76
Figura 3.4.6 Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente	77
Figura 3.4.7 Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar	79
Figura 3.5.1 Conjunto de paneles solares, Expo 2005 Aichi Japan, Japón	80
Figura 3.6.1 Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red Eléctrica.....	82
Figura 3.6.2 Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red Eléctrica.....	83
Figura 3.6.3 Huerta Solar	84

Figura 3.6.4 Instalación Híbrida Solar-Eólica.....	84
Figura 3.7.1 Masa de Aire entre el Sol y la Superficie Captadora.....	88
Figura 3.7.2 Representación del Cenit y Nadir	88
Figura 3.7.3 Ángulos de Inclinación (β) y Acimut (α).....	89
Figura 4.1.1 Planta Casa.....	94
Figura 4.1.2 Disposición de las lámparas	100
Figura 4.2.1 Diagrama Polar de Pérdidas por Orientación e Inclinación para Latitud 39° Sur	106
Figura 4.2.2 Proyección de Sombras sobre las Superficies Fotovoltaicas	107
Figura 4.2.3 Diagrama de Trayectorias del Sol para la Latitud 38° Sur	108
Figura 4.2.4 Diagrama de funcionamiento del sistema fotovoltaico.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.1 Potenciales Ahorros Energéticos	22
Tabla 2.3.1 Resumen Unidades de Fotometría del Sistema Internacional (SI)	32
Tabla 2.3.2 Características generales para los distintos colores de Led.....	42
Tabla 2.3.3 MEPS países de APEC.....	45
Tabla 2.3.4 Resumen de características para lámparas incandescentes.....	50
Tabla 2.3.5 Resumen de Ampolletas LFC	52
Tabla 2.3.6 Resumen de Ampolletas LED.....	57
Tabla 3.4.1 Placa de datos entregada por fabricante de un panel Solarex VLX-53	73
Tabla 3.4.2 Límites aceptables por pérdidas por efecto de la sombra, orientación e inclinación.....	78
Tabla 3.7.1 Radiación Solar en Chile.....	86
Tabla 3.7.2 Irradiación Global Mensual y Anual para la Décima Región (KWh/m ²).....	89
Tabla 4.1.1 Factor de utilización en función de las características del local (cielo/pared/piso).....	95
Tabla 4.1.2 Reflectancia para diversos materiales y terminaciones	96
Tabla 4.2.1 Estimación de Consumos de Iluminación	101
Tabla 4.2.2 Irradiación Solar Mensual para la Ciudad de Valdivia.....	103
Tabla 4.2.3 Distancias entre los Paneles FV y el Edificio y Ángulos de Elevación y Acimut	106
Tabla 4.2.4 Tabla de Pérdidas de Radiación Solar por Sombras para la Latitud 35° Sur	109
Tabla 4.2.5 Valores de Irradiación menos pérdidas por orientación, inclinación y sombras	110
Tabla 4.2.6 Horas Solares Pico (h) Mensuales para la Ciudad de Valdivia	110
Tabla 4.2.7 Factor de Cobertura Solar NP=1, Wp=130W	111
Tabla 4.2.8 Factor de Cobertura Solar NP=1, Wp=20W	111
Tabla 4.2.9 Factor de Cobertura Solar NP=1, Wp=30W	112

Tabla 4.2.10 Estimación de Consumos Energéticos.....	115
Tabla 4.2.11 Factor de Cobertura Solar NP=30	116
Tabla 4.2.12 Factor de Cobertura Solar NP=8.....	116
Tabla 4.2.13 Factor de Cobertura Solar NP=5.....	116
Tabla 4.3.1 Resumen y Elección de los Equipos para el Sistema de Iluminación.....	118
Tabla 4.3.2 Resumen y Elección de los Equipos para el Sistema en General	118
Tabla 4.4.1 Costo de los Equipos Sistema de Iluminación	119
Tabla 4.4.2 Costo de los Equipos Sistema General	120
Tabla 4.4.3 Estimación de recuperación de la inversión para el Sistema de Iluminación	121
Tabla 4.4.4 Estimación de recuperación de la inversión para el Sistema General.....	122
Tabla 4.4.5 Ejemplo de un Sistema con Rentabilidad Positiva	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.3.1 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 25 W.....	46
Gráfico 2.3.2 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 40 W.....	47
Gráfico 2.3.3 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 60 W.....	48
Gráfico 2.3.4 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 75 W.....	49
Gráfico 2.3.5 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 100 W.....	49
Gráfico 2.3.6 Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 15 W	51
Gráfico 2.3.7 Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 20 W	51
Gráfico 2.3.8 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W	53
Gráfico 2.3.9 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 3 W	54
Gráfico 2.3.10 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 5 W	55
Gráfico 2.3.11 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W	55
Gráfico 2.3.12 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 18,6 W.....	56
Gráfico 3.7.1 Promedio de Irradiación Mensual, para la Décima Región (KWh/m ²).....	90
Gráfico 3.7.2 Promedio de Irradiación Mensual y Anual para la Décima Región	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.3.1 Energía Lumínica.....	27
Ecuación 2.3.2 Ángulo Sólido.....	29
Ecuación 2.3.3 Ángulo Sólido máximo.....	29
Ecuación 2.3.4 Intensidad Lumínica.....	29
Ecuación 2.3.5 Luminancia (Lv).....	30
Ecuación 2.3.6 Eficiencia Lumínica (?).....	31
Ecuación 3.4.1 Punto de Máxima Potencia.....	74
Ecuación 3.4.2 Eficiencia de Conversión de Energía para un PFV.....	74
Ecuación 3.4.3 Factor de Forma para un PFV.....	75
Ecuación 3.7.1 Masa de Aire.....	87
Ecuación 4.1.1 Factor de Utilización.....	94
Ecuación 4.1.2 Índice de Local (K) para Iluminación Directa.....	94
Ecuación 4.1.3 Índice de Local (K) para Iluminación Indirecta.....	94
Ecuación 4.1.4 Flujo total para una habitación.....	96
Ecuación 4.1.5 Cálculo del número de lámparas.....	97
Ecuación 4.2.1 Consumo Energético Real.....	101
Ecuación 4.2.2 Factor de Rendimiento Global de la Instalación Fotovoltaica.....	101
Ecuación 4.2.3 Capacidad del Banco de Baterías.....	103
Ecuaciones 4.2.4 Corrección de los Límites Aceptables de Orientación e Inclinación.....	105
Ecuaciones 4.2.5 Estimación del Porcentaje de Pérdidas.....	105
Ecuación 4.2.6 Número de Paneles Solares.....	110
Ecuación 4.2.7 Factor de Cobertura.....	111

Ecuación 4.2.8 Cálculo del Regulador de Carga	112
---	-----

RESUMEN

En la actualidad se ha tratado en forma recurrente el tema generado por la crisis energética, la cual se debe principalmente al aumento desproporcionado de la demanda de energía eléctrica, especialmente por parte de las industrias que cada vez consumen mayor cantidad de energía en sus procesos productivos. El aumento de la población también contribuye en este tema.

Poco a poco se han ido tomando las medidas que apuntan a una mejor utilización de los recursos energéticos existentes, mediante la aplicación de políticas de eficiencia energética para equipos eléctricos, las cuales se irán masificando gradualmente hacia equipos que demanden más energía.

En el mismo contexto anterior, la tecnología Led se esta insertando lentamente en sistemas de iluminación, dadas sus ventajas de eficiencia en la conversión y su bajo consumo de energía, en el corto plazo y gracias al desarrollo tecnológico se transformarán en una alternativa muy conveniente, tanto en el aspecto técnico como económico.

La utilización de sistemas alternativos de generación eléctrica, como lo son los sistemas fotovoltaicos, han permitido disminuir la demanda de energía eléctrica de la red de distribución, o bien alimentar de energía a aquellos sectores en los que no existen servicios eléctricos. Actualmente es una alternativa relativamente cara para sectores de baja radiación solar, ya que es necesario contar con una gran superficie captadora para poder generar la energía requerida. En el norte de Chile el caso es distinto, ya que cuenta con condiciones excepcionales de radiación solar y horas de sol diarias.

Al final de este trabajo se realiza el diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda, la cual será iluminada con ampolletas Led, el objetivo de esto es, analizar la conveniencia de la utilización de los sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Valdivia.

ABSTRACT

It is now treated in a recurring item generated by the energy crisis, which is mainly due to the disproportionate increase in demand for electricity, especially from the growing industries that consume more energy in their production processes. The population growth also contributes to this issue.

Have gradually been taking measures aimed at better use of existing energy resources, by implementing energy efficiency policies for electrical equipment, which Iran is moving equipment to mass demand more energy.

In the same context, the LED technology is slowly inserted into the lighting systems, given its advantages of conversion efficiency and low energy consumption in the short term, through technological development will become a very desirable alternative, both the technical and economic.

Finally the use of alternative power generation, such as photovoltaic systems, have allowed to reduce the demand for electrical power distribution network or power supply to areas in which there was no electricity. He is currently a relatively expensive alternative for areas of low solar radiation, since it is necessary to have a great sensor able to generate the energy required. In the case of northern Chile case is different because it has exceptional conditions of solar radiation and sunshine hours per day.

At the end of this work is to design a photovoltaic system to power a house, which will be illuminated with LED light bulbs, the purpose is to consider the advisability of using these systems in the city of Valdivia.

1.0 CAPITULO 1: LINEAMIENTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde hace ya un tiempo a ésta parte, el mundo se está viendo enfrentado a problemas energéticos, debido a el agotamiento de las reservas mundiales de petróleo, el cual es utilizado como fuente directa de energía (motores de vehículos u otros), o bien para que a través de él se generen otras energías (eléctrica por ejemplo), este fenómeno irreversible ha sido denominado como “Crisis Energética”. Las razones pueden ser muchas: aumento del consumo de energía eléctrica debido al constante crecimiento, tanto del sector residencial, como del sector industrial, quienes son los que demandan la mayor cantidad de energía, aumento del parque automotriz, agotamiento de recursos naturales como el agua dulce, junto con el ya mencionado petróleo.

Frente a esta crisis ha surgido la necesidad de aprovechar de mejor forma los recursos energéticos disponibles, para esto se están diseñando dispositivos eléctricos y electrónicos de uso eficiente la energía, se han realizado campañas que permitan crear conciencia en los usuarios, etc. Por otro lado se han ideado formas de aprovechar distintos tipos de energías naturales con el propósito de convertirlas en energía eléctrica, las que además cuentan con la ventaja de ser renovables, dentro de estas se encuentran por ejemplo: la energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc. Existen sistemas que permiten aprovechar desperdicios animales y/o vegetales o también llamada Biomasa, que en su estado de descomposición generan gases utilizables domésticamente, estos sistemas son conocidos como biodigestores.

En el presente estudio se abordarán temas como Eficiencia Energética y dispositivos Eléctricos y Electrónicos Eficientes, Energía Solar y Sistemas que permitan convertirla en Energía Eléctrica, terminando con un Diseño de un Sistema de Iluminación Alimentado por Paneles FV, utilizando Ampolletas Led, para el cual se analizará el diseño en términos técnicos y económicos la factibilidad de la instalación del sistema en un hogar de la ciudad de Valdivia y que además esté conectado a la red Eléctrica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La crisis energética es un problema que a todos nos afecta, un ejemplo de esto es el aumento de los costos de la energía eléctrica. Es por esto que desde un tiempo a esta parte ha surgido un gran interés por buscar alternativas que permitan reducir estos costos, y para



esto pueden existir dos caminos: el primero es usar de forma eficiente y conciente la energía, esto a través de dispositivos eléctricos y electrónicos eficientes, aplicando medidas de ahorro como por ejemplo apagando las luces que no se están utilizando, etc. El segundo camino es utilizar algún tipo de energía alternativa disponible de forma natural (solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc.) y que pueda ser aprovechada para convertirla en energía eléctrica.

Pues bien, el problema que aquí se plantea esta dado por el elevado consumo de energía eléctrica a causa del mal aprovechamiento de esta, junto con la dependencia de centrales hidroeléctricas o de aquellas que utilizan combustibles para la generación de electricidad, para lo cual es necesario buscar una forma alternativa de abastecimiento técnicamente factible y económicamente viable que permita reducir el consumo y los costos por este concepto. Se propone el caso puntual de una casa habitación conectada a la red eléctrica de la ciudad de Valdivia, cuyo elevado consumo energético provoca un alto costo económico.

1.3 OBJETIVOS GENERALES

- Desarrollar un trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Electrónico.
- Ser capaz de analizar y proponer una solución al problema de la creciente demanda energética.
- Desarrollar un proyecto que permita determinar la conveniencia de la utilización de energías no convencionales para sistemas de iluminación de bajo consumo, utilizando paneles fotovoltaicos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación como estudiante y que estos permitan hacer uso de las tecnologías existentes, para dar solución a un problema observado.
- Desarrollar un proyecto teórico que consista en el análisis de un sistema de iluminación, basado en ampollitas de bajo consumo y que a la vez este alimentado por paneles fotovoltaicos.
- Diseñar un sistema que permita conmutar en forma automática entre energía eléctrica proporcionada por paneles solares y red eléctrica convencional.
- Analizar los factores influyentes en la eficiencia de los sistemas solares ubicados en la comuna de Valdivia.

- Analizar la eficiencia y calidad de luz de las ampolletas de bajo consumo.
- Al término del trabajo ser capaz de mostrar las ventajas que tiene el uso de dispositivos de bajo consumo, combinados con sistemas de alimentación fotovoltaicos.

1.5 ALCANCES DEL TEMA

El alcance del tema consiste en realizar un Análisis de un Sistema de Iluminación, Utilizando Ampolletas de Bajo Consumo y Alimentado por Paneles Fotovoltaicos, para lo cual se estudiarán los distintos factores involucrados en el diseño de este sistema.

A continuación se listan los estudios necesarios para el análisis antes mencionado:

- Eficiencia Energética, aplicado a la energía eléctrica.
- Energía Solar, irradiación, insolación y condiciones necesarias para un mejor aprovechamiento de esta.
- Condiciones ambientales para la instalación sistemas solares en la ciudad de Valdivia.
- Paneles Solares Fotovoltaicos, tecnologías de fabricación, posición y orientación al Sol.
- Características de Técnicas de Ampolletas Led.
- Descripción de los siguientes equipos: Inversor, Baterías, regulador.
- Determinación de la energía consumida.
- Diseño de un Sistema de Iluminación Alimentado por Paneles FV, utilizando Ampolletas Led.
- Estudio económico del sistema.

Adicionalmente se entregará información sobre las formas de captación de la energía solar, colectores solares y sus características de funcionamiento, tabla comparativa de eficiencia de Ampolletas Incandescentes, Fluorescentes y Led.

1.6 EXCLUSIONES DEL TEMA

Se excluirá de este estudio lo siguiente:

- Mediciones de radiación e insolación.
- Mediciones de luminancia e iluminancia para ampolletas.
- Levantamiento de las instalaciones.



1.7 RESULTADOS

Al término del estudio será posible conocer:

- La importancia de la aplicación de medidas de eficiencia energética en nuestro país.
- Ventajas existentes al utilizar ampolletas de bajo consumo frente a las tradicionales incandescentes.
- Diseño de un sistema solar fotovoltaico.
- Costos asociados a la implementación de un sistema solar fotovoltaico.

2.0 CAPITULO 2: EFICIENCIA ENERGÉTICA¹

La Eficiencia Energética (EE) se puede definir como el conjunto de acciones o medidas que permiten optimizar la energía destinada a producir un bien y/o servicio². Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel de:

- Tecnología: diseñando o modificando dispositivos para que utilicen de forma eficiente la energía
- Gestión: optimizando los recursos siempre escasos, para producir el mismo producto, de igual o mejor calidad, pero a un costo energético menor.
- Hábitos culturales en la comunidad: asumiendo como propio el desafío de usar eficientemente la energía, adoptando medidas tan simples como apagar las luces que no se estén ocupando.

La adopción de medidas de optimización de la energía (EE) trae beneficios directos al país y a su desarrollo sustentable en cuatro áreas básicas:

- Estratégicos: Reduce la dependencia de fuentes energéticas externas.
- Económicos: el ahorro de energía permite aumentar el ahorro económico, esto debido a la reducción de la demanda energética por parte de consumidores e industria, en todos los servicios energéticos tales como luz, calefacción, transporte; y generación de actividad económica, empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico, en los nuevos mercados de bienes y servicios que se crearán para los diferentes sectores usuarios.
- Ambientales: disminución de la demanda de recursos naturales. Esto incluye alivio de presiones locales así como presiones globales tales como las emisiones de CO₂, conducentes al calentamiento global.
- Sociales y de género: las familias de escasos recursos serán las más beneficiadas, ya que estas destinan gran parte de su presupuesto a energía, especialmente para aquellos hogares cuyos jefes son mujeres.

¹ http://www.cne.cl/destacados/f_politica_energetica.html

² <http://www.ppee.cl/#>

2.1 USO CONCIENTE DE LA ENERGÍA

Reducir el consumo energético domiciliario contribuye a un ahorro para la economía del hogar y a su vez permite disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, principal causa del cambio climático. Sin embargo, lo anterior no representa una medida de eficiencia energética, ya que solo apunta a consumir menos energía haciendo uso de los mismos dispositivos, sino que más bien permite vislumbrar iniciativas sobre la importancia del uso conciente de la energía.

A continuación se listan algunos procedimientos que pueden ser útiles para un mejor aprovechamiento de la energía y que conducen hacia una eficiencia energética:

- Evaluación Energética

Para implementar un plan de eficiencia energética en el hogar es necesario hacer una evaluación de los equipos existentes, para determinar cuales son los que consumen mayor cantidad de energía. Esto mostrará los sectores menos eficientes y permitirá adoptar medidas al respecto.

- Elaboración de un Plan de Ahorro

En este plan de ahorro se debe detallar en orden aquellos lugares donde se desperdicia la mayor cantidad de energía, lo cual tiene por objetivo determinar la inversión en tiempo y dinero necesaria para mantenimiento, reparaciones y compras potenciales.

- Adoptar Acciones

La primera de las acciones a considerar es la de utilizar los equipos eléctricos y electrónicos solo en la medida justa y necesaria, sin encender aquellos que se van a utilizar, sobre todo aquellos que demanden un mayor consumo, optar por dispositivos eficientes, en invierno mantener la casa lo mas hermética posible para evitar el ingreso de corrientes de aire frío, no abusar de las temperaturas, tanto del aire acondicionado en verano, como de la calefacción en invierno, entre otras.



En la Tabla 2.1.1 se muestran distintas acciones que permiten generar ahorros de energía en el hogar.

Tabla 2.1.1 Potenciales Ahorros Energéticos

Potenciales Ahorros Energéticos en el Hogar	
Acción de Ahorro	Ahorro de Energía (aprox.)
Cambiar luminaria con ampolletas tipo LED	90%
Lavar ropa con agua fría	80-92%
Utilizar lavadora a carga completa y con bajo índices de consumo energético	40-70%
Utilizar refrigerador de bajo consumo energético	45-80%
Permitir la ventilación en la parte trasera del refrigerador	15%
Bajar en un grado la temperatura del termostato del refrigerador	5%-8%
Usar horno de gas en vez de eléctrico	60-70%
Cocina de gas en vez de eléctrica	50-90%
Tapar las ollas al cocinar y ajustar el tamaño de la llama	20%
Calentador de agua con gas en vez de hervidor eléctrico	60-70%
Usar tostador de pan en vez de horno eléctrico	65-75%
Necesidades de calor/frío tras aislar techo	20-25%
Ambiente temperado tras eliminar fugas de aire	20-25%
Calefacción en casa bien aislada	73%
Usar ventiladores en vez de aire acondicionado	98%
Aire acondicionado por evaporación en vez de por compresión	90-98%

2.2 ETIQUETAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), en conjunto con el Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC) y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), con apoyo del Fondo Innova Chile y organismos asociados se encuentran trabajando desde el año 2005 en la promoción de la eficiencia energética (EE) en Chile, para lo cual lanzaron el año 2008 el programa de etiquetado obligatorio para algunos electrodomésticos residenciales normados por el Instituto Nacional de Normalización (INN) y que consiste en una etiqueta que mostrará el consumo de energía y la eficiencia de conversión del equipo.

Hoy Chile cuenta con tres normas oficiales sobre etiquetado de eficiencia energética para electrodomésticos de iluminación y refrigeración, las cuales son las primeras de un conjunto de 52 normas que regirán artefactos domésticos, equipos industriales y construcción sustentable. Esto obliga a los fabricantes de lámparas incandescentes (comunes), fluorescentes compactas, refrigeradores y congeladores a indicar en una etiqueta cuánta es la energía que consumen sus artículos, de modo que el consumidor pueda elegir según su eficiencia y conveniencia.

Se ha demostrado en países desarrollados que la aplicación de medidas de eficiencia a nivel industrial y residencial, permite conseguir un alto ahorro energético, lo que también se traduce en un ahorro económico para el país. Para lograrlo se debe identificar las fuentes de mayor consumo, por ejemplo en el sector minero la fuerza motriz consume un 78% de energía, mientras que el sector industrial lo hace con un 86%, por otro lado la pequeña y mediana empresa consume un 67% de energía en fuerza motriz. Ahora bien en el caso residencial, la iluminación consume un 38% de energía, mientras que la refrigeración lo hace con un 32%, representando ambos los mayores consumos³.

La normativa para las ampolletas incandescentes está operativa en el mercado desde mayo de 2007, las fluorescentes desde el 31 de octubre de 2007 y los refrigeradores de una puerta desde el 10 de enero de 2008.

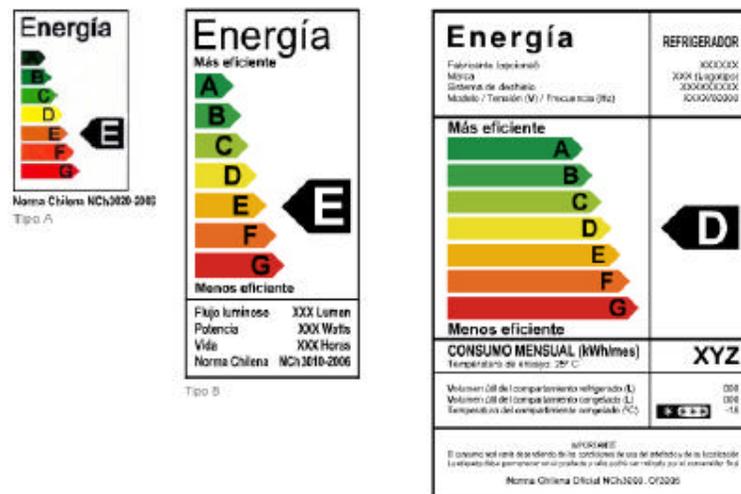
La etiqueta de eficiencia energética es una herramienta pensada para facilitar a los consumidores el buen uso de la energía, la cual debe contener aparte de la eficiencia energética información como vida útil en el caso de lámparas y el consumo mensual en el de refrigeradores.

³ http://www.ecoamerica.cl/pdf_notas/70/70_15-16.pdf

En esta etiqueta de eficiencia energética se encuentran dos partes, en la parte izquierda se encuentra la matriz que contiene las categorías energéticas, unidades y conceptos sobre los que se va a dar información. En la parte derecha se ubica la ficha que contiene los datos específicos que corresponden al electrodoméstico que lleva la etiqueta. En la Figura 2.2.1 se pueden apreciar dos tipos de etiquetas para lámparas (lado izquierdo) y una para refrigerador.

La escala de clases utiliza el código de colores y letras para entregar información sobre el grado de eficiencia energética del electrodoméstico, en comparación con otros similares. La gama va desde el color verde y la letra A para los equipos más eficientes, hasta el color rojo y la letra G para los equipos menos eficientes. El consumo de energía para equipos similares llega a triplicarse en los electrodomésticos clase G en comparación a los de clase A.

Figura 2.2.1 Etiqueta de Eficiencia Energética Lámparas tipo A y B, y Refrigerador de acuerdo a normas NCh.



En la Figura 2.2.2 se puede apreciar la interpretación de una etiqueta tipo B para una lámpara, mientras que la Figura 2.2.3 muestra la interpretación de una etiqueta para un refrigerador, por último la Figura 2.2.4 representa la interpretación de las clases de eficiencia según consumos de energía en general.

Ahora bien, supongamos por ejemplo que se reemplazan sólo dos ampollas incandescentes de 100 W por dos LFC de 20 W se ahorran \$2.268 mensuales (se considera un costo de \$135 por KWh (tarifas SAESA al 01/04/09) y 3,5 horas diarias de uso), ahorro suficiente como para recuperar la inversión inicial realizada. Ahora bien, si se reemplazan dos millones de ampollas de 100 W por otras de 20, al año es posible ahorrar 202 GWh, considerando un uso diario de 3,5 horas.

Al momento de comprar electrodomésticos, es esencial considerar la información indicada en la etiqueta, pues existen diferencias de eficiencias de alrededor de 110 y 125% entre los más eficientes (A, B y C) y los menos eficientes (F y G), siendo los etiquetados con la letra D y E los que presentan un gasto de energía medio.

En el año 2007 el rango de eficiencia en refrigeradores en Chile estaba concentrado en la clase D.

Figura 2.2.2 Interpretación etiqueta lámpara tipo B

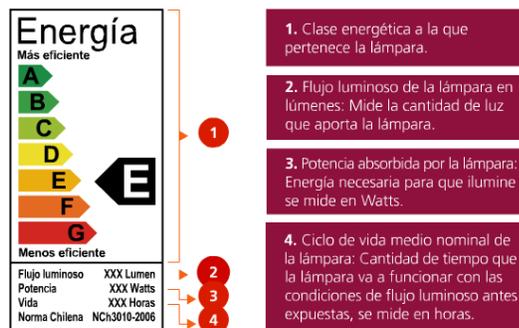


Figura 2.2.3 Etiqueta de Eficiencia Energética Refrigerador

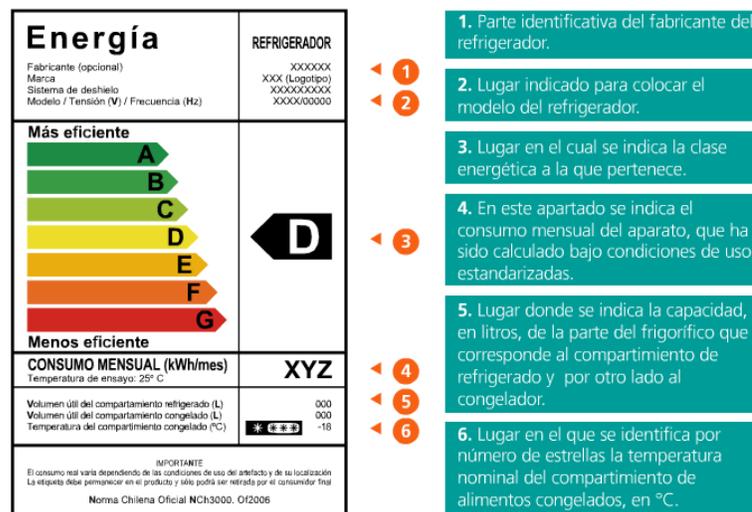
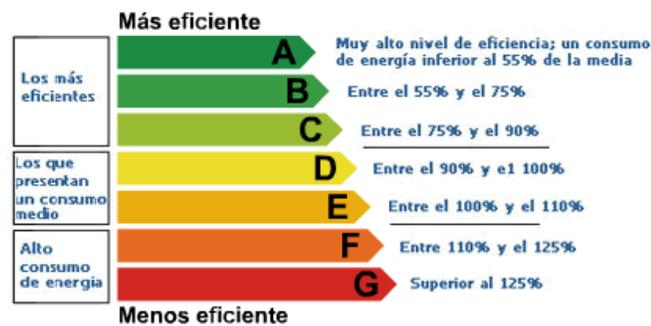


Figura 2.2.4 Interpretación de las Etiquetas



2.2.1 Normas Oficiales Chilenas⁴

- **NCh3000.Of2006 de Eficiencia Energética - Refrigeradores, congeladores y refrigeradores-congeladores de uso doméstico - Clasificación y Etiquetado**

Establece la metodología para la clasificación de refrigeradores, congeladores y refrigeradores-congeladores de uso doméstico alimentados por la red eléctrica de acuerdo con su desempeño energético.

Además, indica el método de ensayo y las características de la etiqueta de eficiencia energética. Esta norma también establece los requisitos que debe cumplir la etiqueta de eficiencia energética de los aparatos.

- **NCh3010.Of2006 de Eficiencia energética – Lámparas incandescentes de uso doméstico – Clasificación y etiquetado**

Establece una metodología para la clasificación de eficiencia energética de las lámparas incandescentes de uso doméstico y similares alimentadas por la red eléctrica. La clasificación se hace de acuerdo con su potencia y flujo luminoso. También establece los requisitos que debe cumplir la etiqueta de eficiencia energética de las lámparas incandescentes y es aplicable a las lámparas incandescentes de filamento de tungsteno para uso doméstico y usos similares para iluminación general.

⁴ http://www.ecoamerica.cl/pdf_notas/70/70_15-16.pdf

- **NCh3020.Of2006 de Eficiencia energética – Lámparas fluorescentes compactas, circulares y tubulares de uso doméstico - Clasificación y etiquetado**

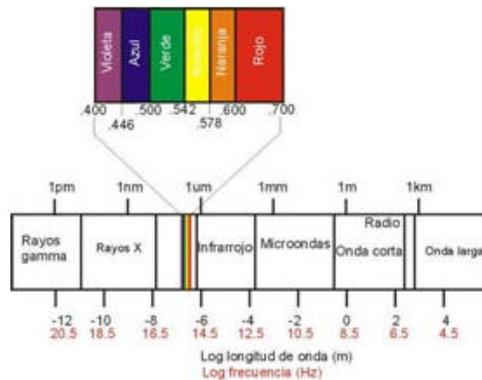
Establece una metodología para la clasificación de eficiencia energética de las lámparas fluorescentes compactas, circulares y tubulares de uso doméstico y similar alimentadas por la red eléctrica. Esta clasificación se hace de acuerdo con su potencia y flujo luminoso. También establece los requisitos que debe cumplir la etiqueta de eficiencia energética de las lámparas fluorescentes y es aplicable a las lámparas fluorescentes compactas integradas o no con balasto electromagnético o electrónico, circulares y tubulares.

2.3 CONCEPTOS DE LA LUZ Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE AMPOLLETAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES Y LED

2.3.1 Conceptos Generales de la Luz⁵

- **La Luz:** se produce por una radiación electromagnética que es percibida por el ojo humano como claridad, esta radiación posee una longitud de onda (?) que va desde los 380 a los 780 (nm), a este rango visible se le llama Flujo Lumínico, esto es mostrado en Figura 2.3.1.

Figura 2.3.1 Espectro Electromagnético



- **Energía Lumínica (Qv):** corresponde al flujo lumínico emitido (lm) en una unidad de tiempo (s), su unidad de medida según el SI es el lumen segundo y la expresión que la representa se encuentra en la Ecuación 2.3.1.

$$Q_v = \phi * \text{seg}(\text{lm} * \text{segundo})$$

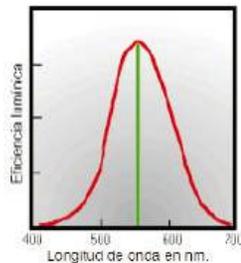
Ecuación 2.3.1 Energía Lumínica

⁵ <http://www.dcmsistemas.com/documentacion.html>



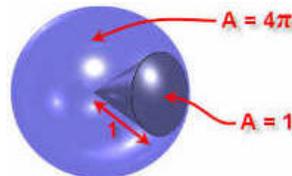
- **Lumen (lm):** Es el flujo lumínico que atraviesa en un segundo un ángulo sólido de un estereorradián, emitido por una fuente puntual cuya intensidad es de una candela.
- **Candela⁶ (cd):** es la unidad básica del SI de intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz equivalente a 555 nm en el vacío ($f=c/\lambda$) y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es 1/683 Watt por estereorradián. El factor 683 fue definido en 1948 como una sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión (2046° K). La Figura 2.3.2 muestra la curva de visibilidad relativa del ojo humano, donde se aprecia un haz de luz verde para una longitud de onda (λ) de 555 nm.

Figura 2.3.2 Curva de Visibilidad Relativa, Eficiencia Lumínica/Longitud de Onda



- **Estereorradián (sr):** corresponde a la superficie iluminada de una esfera por un cono de luz propagado desde el centro de la esfera de radio r , por una fuente de luz. Por lo tanto un estereorradián equivale a un metro cuadrado de superficie iluminada de una esfera de un metro de radio. Esto se puede apreciar en la Figura 2.3.3, donde A representa un sr.

Figura 2.3.3 Representación de ángulo Sólido y Estereorradián



- **Ángulo Sólido (W):** corresponde al cono de luz emitido por un fuente concéntrica a una esfera de radio r (ver Figura 2.3.3), su unidad de medida es estereorradián (sr) y su expresión es mostrada en la Ecuación 2.3.2.

⁶ http://www.cne.cl/destacados/f_politica_energetica.html

$$W = \frac{S}{R^2}(sr)$$

Ecuación 2.3.2 Ángulo Sólido

Donde S corresponde a la superficie de la esfera ($4\pi r^2$ y r es el radio de la esfera) y R es el radio de la superficie proyectada por el cono de luz.

El ángulo sólido máximo estará dado por la Ecuación 2.3.3:

$$W(\max) = \frac{4\pi r^2}{R^2}(sr)$$

Ecuación 2.3.3 Ángulo Sólido máximo

Cuando $S=R^2$ el ángulo sólido corresponderá a un estereorradián.

- **Flujo Lumínico (F):** corresponde a la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz, su unidad de medida es el lumen (lm). La máxima sensibilidad del ojo humano se encuentra en 683 lúmenes por Watt emitidos por una fuente de luz de longitud de onda de 555 nm, lo que corresponde a la luz verde.
- **Manantial patrón:** también llamado fuente patrón, corresponde a la radiación de energía emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido calentado a una temperatura equivalente a su punto de fusión (2046° K), aunque no toda la energía que radia corresponde a energía luminosa, sino que parte de esta se transforma en calor y radiaciones no visibles.
- **Intensidad Lumínica (Iv):** La intensidad luminosa es la característica fundamental de una fuente de radiación, viene dada por el flujo lumínico (F) emitido por unidad de ángulo sólido W en una dirección especificada, o dicho de otra forma, la potencia luminosa propia de la fuente, expresada en Watts, esta se encuentra expresado en la Ecuación 2.3.4.

$$I = \frac{\Phi}{W}(cd)$$

Ecuación 2.3.4 Intensidad Lumínica

Como el flujo lumínico se mide en lumen, la unidad de medida de la intensidad lumínica será el lumen por estereorradián, lo cual corresponde a una unidad llamada candela (cd).

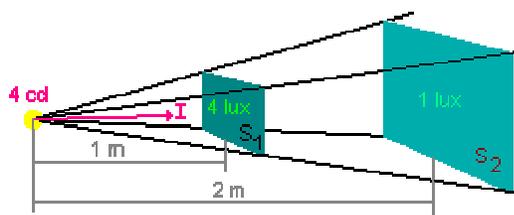
- **Luminancia (Lv):** Es la densidad superficial de la intensidad luminosa y se expresa como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie desde la cual se emite, dicho de otra forma, es la magnitud que determina la impresión de mayor o menor claridad producida por una superficie, expresado en candela por metro cuadrado. También es definida como la sensación luminosa, que por efecto de la luz, se produce en la retina del ojo, esto es representado en la Ecuación 2.3.5:

$$L = \frac{I}{S} \left(\frac{cd}{m^2} \right)$$

Ecuación 2.3.5 Luminancia (Lv)

- **Iluminancia (Ev):** es la cantidad de flujo lumínica (lm) que incide sobre una superficie (m²). Esta depende de la distancia del foco al objeto iluminado, esto se puede ver en la Figura 2.3.4. Su unidad de medida en el SI es el lux (1 lux = 1 Lumen/m²).

Figura 2.3.4 Nivel de Iluminancia según Distancia



- **Lux (lx):** equivale a un flujo lumínico de un lumen (1lm) que incide y se distribuye uniformemente sobre una superficie de un metro cuadrado.
- **Emisión Lumínica (Mv):** es la cantidad de flujo lumínico (lm) emitida por una superficie (m²), su unidad de medida según el SI es el lux.
- **Índice de Reproducción Cromática (CRI):** Dependiendo del lugar de aplicación y de la tarea visual a realizar, la luz artificial debe procurar una percepción de color adecuada. La capacidad de una fuente de luz de reproducir los colores se mide con el concepto de índice de reproducción cromática (Ra o CRI), su rango va de 0 a 100, el valor máximo lo constituye la luz solar a las 12:00 hrs. del día y sin nubes.
- **Vida Útil:** Horas de encendido de la lámpara cuando ya el 50% de una muestra se ha apagado.

- **Temperatura de Color (K°):** Parámetro físico que indica la temperatura del haz luminoso. Usualmente se toma de referencia al blanco, el cual en términos físicos corresponde a la suma de todas las frecuencias disponibles, indicando su valor en grados kelvin (°K) (temperatura absoluta 0° = -273,15°K). La temperatura de color de la luz solar es de 5.000°K aproximadamente, en el cenit (al mediodía) y de 2.000°K aproximadamente cuando está en el horizonte. Esto puede ser observado en la Figura 2.3.5, la cual muestra la temperatura de color para distintas radiaciones de luz.

Figura 2.3.5 Niveles de Temperatura de color⁷



- **Potencia:** corresponde a la cantidad de energía eléctrica consumida por una ampolla para ejercer su función durante un período de tiempo establecido, su unidad es el Watt (W).
- **Eficiencia Luminosa:** Vincula la magnitud de luz emitida por la lámpara, con el consumo de energía realizado para ello. Corresponde al cociente entre el flujo luminoso medido y la potencia activa consumida (lm/W). Este parámetro sirve para conocer el desempeño energético de distintas lámparas, las que en nuestro caso corresponde a lámparas incandescentes, LFC (lámpara fluorescente compacta) y LED (diodos emisores de luz). En la Ecuación 2.3.6 se muestra la expresión matemática que la representa.

$$\eta = \frac{\varphi}{W} \left(\frac{lm}{W} \right)$$

Ecuación 2.3.6 Eficiencia Lumínica (?)

- **Factor de Potencia:** Corresponde a la relación entre la potencia de trabajo y la potencia total consumida.
- **Tiempo de estabilización de flujo lumínico y potencia:** Es el tiempo que demora una ampolla en alcanzar la estabilidad total en iluminación y potencia.

⁷ <http://www.gechile.cl/cl/nuestra.html>



Tabla 2.3.1 Resumen Unidades de Fotometría del Sistema Internacional (SI)

Magnitud	Símbolo	Unidad del SI	Abrev.	Magnitud radiométrica asociada	Notas
Energía lumínica	Q _v	lumen segundo	lm·s	Energía radiante	A veces se usa la denominación Talbot, ajena al SI
Flujo luminoso	F	lumen (cd·sr)	lm	Flujo radiante o potencia radiante	Medida de la potencia luminosa percibida
Intensidad lumínica	I _v	candela (lm/sr)	cd	Intensidad radiante	Una Unidad básica del SI
Luminancia	L _v	candela por metro cuadrado	cd/m ²	Radiancia	A veces se usa la denominación Nit, ajena al SI
Iluminancia	E _v	lux (lm/m ²)	lx	Irradiancia	Usado para medir la incidencia de la luz sobre una superficie
Emisión lumínica	M _v	lux (lm/m ²)	lx	Emitancia	Usado para medir la luz emitida por una superficie
Eficiencia lumínica	?	lumen por Watt	lm/W	Eficiencia	razón entre flujo luminoso y la energía consumida

2.3.2 Análisis Comparativo de Eficiencia de Ampolletas Incandescentes, Fluorescentes y Led

Es común a la hora de comprar una lámpara, usar como primer criterio de selección el precio de esta, lo cual es perfectamente entendible, el segundo parámetro corresponde a la potencia de la lámpara, lo cual se asocia a una mayor o menor luminosidad. Gracias al etiquetado de eficiencia energética y a la información que poco a poco se ha ido difundiendo en bien de utilizar eficientemente la energía, es posible darse cuenta de que ninguno de los criterios nombrados anteriormente permite elegir correctamente la ampolleta. Si bien es cierto el precio del equipo es un factor fundamental, no es conveniente realizar la elección solo por el ahorro que se podría conseguir al momento de la compra, sino que es necesario evaluar otros factores tanto o más importantes como la eficiencia del equipo. Por otro lado, un error común es atribuir a la potencia la total responsabilidad de iluminar más o menos, aunque si depende en parte de esta, la gran responsable de iluminar más o menos es la eficiencia de la lámpara, ya que mientras más eficiente sea, mayor será la cantidad de luz (lm) generada por cada Watt de potencia consumido.

Las lámparas residenciales pueden consideradas eficientes cuando poseen un rendimiento mayor a 40 lm/W, esto quiere decir que por cada Watt consumido la lámpara genera una luminosidad de 40 lumens. Por ejemplo, si se considera una lámpara de 15 Watt con una eficiencia de conversión de 40 lm/W, esta generará un flujo luminoso de 600 lumens. Por otro lado si consideramos una lámpara menos eficiente como una incandescente de 50 Watt, cuyo rendimiento se encuentra alrededor de 12 lm/W, se obtendrá un flujo lumínico de 600 lumens, idéntico al anterior pero con la salvedad de que la lámpara eficiente consume 35 Watt menos para realizar el mismo trabajo, lo que equivale a ahorrar un 70% de energía con



respecto a la incandescente, además las eficientes poseen otras ventajas como la vida útil, calidad de luz, etc.

- **Lámparas Incandescentes⁸**: Están formadas por una ampolla o bulbo de vidrio, que contiene un gas inerte⁹ (normalmente kriptón) y un filamento muy fino (0,043 mm de diámetro) y frágil de wolframio (también llamado tungsteno) de alta resistencia, el cual al ser excitado por una corriente eléctrica se calienta para generar luz. En dicho proceso, el 85% a 90% de la energía eléctrica consumida se transforma en calor, y el 10% a 15 % restante en luz. Son las de mayor consumo eléctrico, las más baratas y las de menor duración (aprox.1.000 horas), en la Figura 2.3.6 se muestra la estructura de una lámpara incandescente.

La cantidad de luz que emite una lámpara incandescente depende fundamentalmente de la potencia de esta. Mientras que la longitud del filamento, el tamaño y forma de la ampolla o bulbo de cristal dependen directamente de la potencia de la lámpara, ya que la temperatura del filamento es proporcional a la potencia, el desprendimiento de calor aumenta, por lo tanto es necesario aumentar la superficie de enfriamiento. En la Figura 2.3.7 se muestran distintos tipos de lámparas incandescentes.

Figura 2.3.6 Estructura de una Lámpara Incandescente

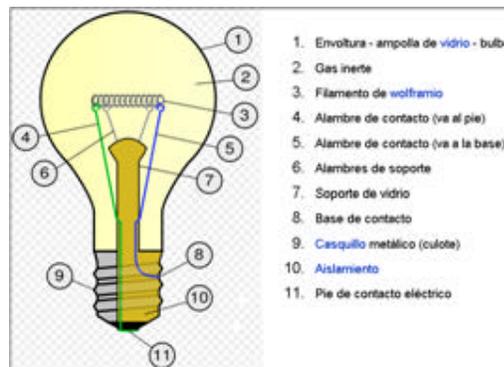


Figura 2.3.7 Distintos tipos de Lámparas Incandescentes



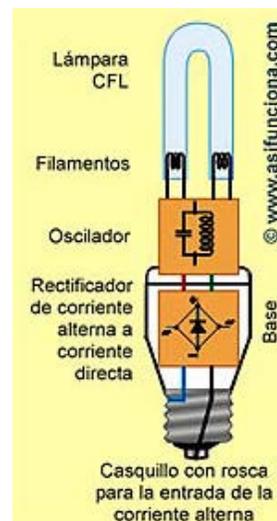
8 www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=1437 - 20k

9 <http://es.wikipedia.org/wiki/Ampolleta>

- **Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)**¹⁰: corresponden a una versión mejorada de las lámparas de tubos rectos fluorescentes, los cuales utilizan balastos electromagnéticos o electrónicos para su encendido, diferenciándose de ellas en su forma y dimensiones. La ventaja de las LFC frente a las lámparas incandescentes es la eficiencia de conversión de la energía. La estructura posee entre uno y tres tubos, de 10 a 16 mm de diámetro, conectados eléctricamente en serie por medio de filamentos y doblados en forma de U invertida, su estructura es mostrada en la Figura 2.3.8, los tubos pueden estar a la vista, o incluirse dentro de una ampolla o bulbo de vidrio, similar al de las lámparas incandescentes, también existen en forma de espiral, según muestra la Figura 2.3.9. Es posible elegir entre lámparas de temperatura de color frío con tono azulado, o cálidas semejante a las lámparas incandescentes.

Su funcionamiento¹¹ se basa en una corriente eléctrica alterna que fluye a través del balasto electrónico, donde un puente rectificador de onda completa se encarga de rectificarla y convertirla en corriente continua y mejorar, a su vez, el factor de potencia de la lámpara. Luego se convierte en corriente alterna mediante un circuito oscilador, compuesto fundamentalmente por transistores que cumplen la función de amplificar la corriente, un transformador y un condensador se encargan de subir la frecuencia a valores entre 20 mil y 60 mil Hertz.

Figura 2.3.8 Estructura de una Lámpara LFC



¹⁰ www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=1437 - 20k

¹¹ www.asifunciona.com



Figura 2.3.9 Distintos tipos de Lámparas LFC



El objetivo de elevar la frecuencia es evitar o disminuir el parpadeo que provoca el arco eléctrico que se crea dentro de las lámparas fluorescentes cuando se encuentran encendidas. De esa forma se anula el efecto estroboscópico que normalmente se crea en las antiguas lámparas fluorescentes de tubo recto que funcionan con balastos electromagnéticos. En las lámparas fluorescentes antiguas el arco que se origina posee una frecuencia de sólo 50 Hertz, la cual corresponde a la frecuencia de la red.

Una vez que los filamentos de una lámpara LFC se encienden, el calor que producen ioniza el gas inerte que contiene el tubo en su interior, creando un puente de plasma entre los dos filamentos. A través de ese puente se origina un flujo de electrones, que proporcionan las condiciones necesarias para que el balasto electrónico genere una chispa y se encienda un arco eléctrico entre los dos filamentos. En este punto del proceso los filamentos se apagan y se convierten en dos electrodos que deben mantener el arco eléctrico durante todo el tiempo que permanezca encendida la lámpara. Si bien el arco eléctrico no produce directamente la luz en estas lámparas, su misión correspondiente es mantener ionizado el gas inerte. De esa forma los iones desprendidos de este gas chocan contra los átomos del vapor de mercurio contenido también dentro de tubo, provocando que los electrones de mercurio se exciten y comiencen a emitir fotones de luz ultravioleta no visible para el ojo humano. Estos fotones de luz UV al salir despedidos chocan contra las paredes de cristal del tubo recubierto con la capa fluorescente, lo cual provoca que los átomos de fluor se exciten y emitan fotones de luz blanca visibles para el ojo humano, haciendo que la lámpara se encienda.

Por otro lado, a pesar de los beneficios entregados por las lámparas LFC, estas presentan una serie de inconvenientes¹² descritos a continuación:

¹² http://es.wikipedia.org/wiki/Bombilla_de_bajo_consumo



- **Contaminación:** las lámparas LFC contienen mercurio, compuesto muy contaminante que obliga a extremar las precauciones de reciclado, ya que la rotura de estas puede generar complicaciones a la salud y contaminación del medio ambiente expuesto. Los fabricantes redujeron la cantidad de mercurio en las lámparas, el cual es menor al de un tubo fluorescente normal y mil veces menor al que contiene un termómetro.
- **Vida útil:** Los ciclos de encendido y apagado de algunas lámparas LFC afectan la duración de su vida útil, de manera que las lámparas sometidas a frecuentes encendidos y apagados pueden disminuir su vida útil, es por esto que no se recomienda utilizarlas en sectores donde se expongan a constantes ciclos de encendido y apagado. No obstante, hoy en día, son mucho menos vulnerables a estos cambios de estado, habiendo incluso lámparas que prácticamente cubren toda su vida teórica en estas condiciones.
- **Lentitud de respuesta:** existen algunas lámparas que demoran alrededor de un segundo en arrancar y que tardan hasta 2 minutos en alcanzar su máxima luminosidad. Hoy en día, suelen iluminar intensamente desde el primer instante, aumentando su luminosidad en forma proporcional a su temperatura interna. En el caso de un arranque a muy baja temperatura, por ejemplo en invierno y en recinto frío, puede ocurrir que emita menos luz los primeros dos minutos mientras se calienta el gas en su interior.
- **Zumbido:** es frecuente que con el tiempo algunas lámparas comiencen a emitir un zumbido, aunque casi imperceptible. Hoy en día es muy poco frecuente, dado que los balastos electrónicos reducen ese problema. Si una lámpara con balasto electromagnético zumba, se recomienda su reemplazo lo antes posible, por un modelo electrónico, que es mucho más eficiente y mucho más confiable.
- **Parpadeo:** Algunas lámparas de bajo consumo pueden presentar parpadeos, especialmente las que usan transformador o balasto electromagnéticos, este parpadeo se debe a que trabajan a una frecuencia de 50 Hertz, la cual es baja para este tipo de dispositivos. En cambio las lámparas con balasto electrónico, las que corresponden al 99% de las actuales, trabajan a altas frecuencias, por lo cual no sufren este problema.

Hoy, muchos fabricantes en el mercado ofrecen una amplia variedad de lámparas, lo cual permite conseguir dispositivos cada vez de mejor calidad y precio, derribando así parte de los inconvenientes. Como en todo orden de cosas, siempre existirán dispositivos de mejor calidad que otros, es por esto que una mayor calidad de la lámpara permitirá utilizarla en distintas aplicaciones, como por ejemplo en sectores de constantes encendidos y apagados. En el peor de los casos, una LFC deja de encender (una incandescente en cambio puede explotar y generar una serie de daños y peligros), en este caso la duración de una LFC supera el costo de adquisición por ahorro energético, por lo cual es absolutamente conveniente su uso en estos lugares.

- **Ampolletas LED¹³**: los LED (diodo emisor de luz) en un comienzo solo eran utilizados como señales visuales, para representar un estado u otro tipo de señal en dispositivos electrónicos. Esto se debió a la baja intensidad luminosa con la que contaban. Hoy los LED han avanzado de forma impresionante, logrando alcanzar una categoría de iluminación totalmente nueva, aportando sentido y simplicidad a nuestra iluminación diaria.

La iluminación LED ha revolucionado el mundo de la iluminación, esto por su eficacia, durabilidad, respeto con el medio ambiente y controlable, permitiendo aplicaciones novedosas y tradicionales.

Comparándolos con ampolletas incandescentes y LFC, los LED poseen muchas ventajas. Alcanzan elevados niveles de eficiencia, no generan calor, han mejorado enormemente su nivel lumínico, no generan residuos tóxicos, poseen mayor durabilidad (hasta 100000 horas), bajo consumo energético, entre otras.

Diodo Led (Light Emitting Diode - diodo emisor de luz) ¹⁴: es un dispositivo semiconductor que emite luz monocromática cuando por él circula una corriente eléctrica al ser polarizado en forma directa. El color depende del material semiconductor del que está construido el Led, ya que de acuerdo al material que se utilice será la longitud de onda de la luz emitida. Esta puede variar desde el ultravioleta, pasando por todo el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo, éstos últimos reciben la denominación de diodos IRED (Infra-Red Emitting Diode). La Figura 2.3.10 muestra el símbolo que representa a un diodo Led.

¹³ http://www.lighting.philips.com/es_es/led/information/leds_explain_tool.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_led&lang=es

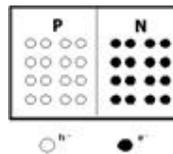
¹⁴ http://enciclopedia.us.es/index.php/Diodo_LED

Figura 2.3.10 Símbolo de un Diodo Led



- **Unión P-N¹⁵**: el Led, al igual que otros tipos de diodos (rectificador, zener, etc.), basa su funcionamiento en la unión de materiales semiconductores del dopados con impurezas, generalmente Silicio, existiendo también otros materiales como: Germanio (Ge), Fosfuro Arseniuro de Galio (GaAsP), fosfuro de Galio (GaP), etc. El dopado consiste en inyectar impurezas al material semiconductor del tipo P (rico en huecos) y N (rico en electrones) provenientes de otro material, de esta forma el material dopado con impurezas tipo P tendrá un exceso de huecos (iones positivos), lo cual se puede conseguir inyectando átomos del grupo III en la red cristalina, por ejemplo: boro, mientras que el material tipo N dispondrá de un exceso de electrones, provenientes de átomos del grupo V, como el fósforo por ejemplo. En ambos casos se tienen también portadores de signo contrario, aunque en una concentración varios órdenes de magnitud inferior (portadores minoritarios). Los cristales P y N, por separado representan cristales eléctricamente neutros (carga eléctrica igual a 0), ya que por cada electrón existe un Ion positivo y por cada hueco existe un Ion negativo, por lo que no existen distribuciones de carga neta, ni campos eléctricos internos. La Figura 2.3.11 muestra la unión de dos cristales dopados, uno con rico en huecos y otro rico en electrones.

Figura 2.3.11 Material Dopado con impurezas tipo P y N



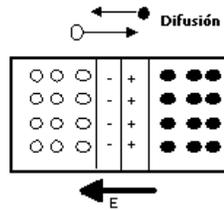
Al crear dos zonas de diferente concentración de portadores, comienza el proceso de difusión, el cual consiste en la combinación de huecos y electrones cercanos a la unión de uno a otro lado de la barrera. Esto quiere decir que los electrones de la zona N pasan a la zona P y los huecos de la zona P pasan a la zona N. En este proceso el electrón que pasa la unión se recombina con un hueco, apareciendo de esta forma una carga negativa, ya que antes de que llegara el electrón la carga total era nula.

¹⁵ <http://www.wikiciencia.org/electronica/semi/diodos/index.php>

Por otro lado al pasar un hueco de la zona P a la zona N, provoca un defecto de carga positiva en la zona P, con lo que también aparece una carga negativa.

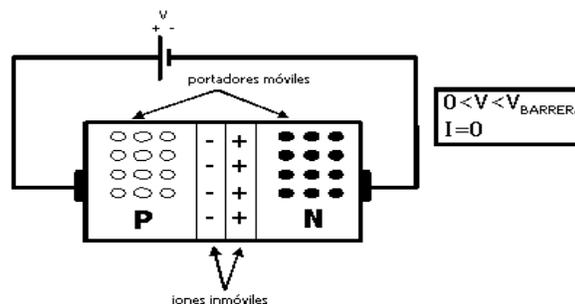
El mismo efecto sucede en la zona N, aunque con signos distintos. En consecuencia, a ambos lados de la unión se crea una zona de carga, que es positiva en la zona N y negativa en la zona P, esto es mostrado en la Figura 2.3.12.

Figura 2.3.12 Formación de la unión P-N



- **Principio de Funcionamiento del Led¹⁶**: el diodo entra en funcionamiento al polarizar directamente la unión P-N (Figura 2.3.13), es decir, que el polo positivo de la fuente se conecte al ánodo del diodo y el polo negativo se debe conectar cátodo del diodo, esto genera una corriente eléctrica, provocando una recombinación de huecos y electrones (al paso de la corriente). Esta recombinación requiere que la energía que posee un electrón libre no ligado se transfiera a otro estado. En todas las uniones P-N una parte de esta energía se convierte en calor y otro tanto en fotones. En el Si y el Ge el mayor porcentaje de la energía se transforma en calor, mientras que la luz emitida es insignificante. Por esta razón se utiliza otro tipo de materiales para fabricarlos, como por ejemplo: Fosfuro Arseniuro de Galio (GaAsP) o fosfuro de Galio (GaP).

Figura 2.3.13 Polarización directa del diodo



¹⁶ <http://www.dbup.com.ar/info.html>



La corriente de polarización normalmente va desde los 10 mA a 20 mA en diodos de color rojo, mientras que para otros colores la intensidad de corriente va desde los 20 mA a 40 mA. Por otro lado el voltaje de alimentación va de 1,8 V a 2,5 V. Siempre es recomendable proteger los Led contra corrientes inversas, una pequeña cantidad de corriente inversa no afectará mayormente el funcionamiento del diodo, pero si hay Peak inesperados este puede ser dañado seriamente. Una forma de protegerlo es colocando en paralelo al LED pero en sentido opuesto un diodo de silicio común, este permitirá que la corriente inversa existente circule a través de él.

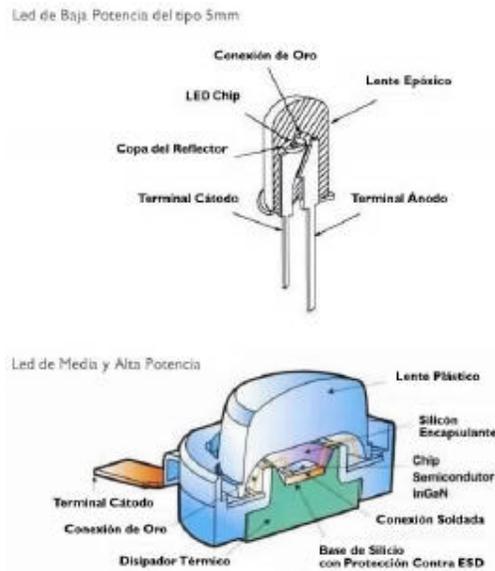
Existen numerosos encapsulados disponibles para los LED¹⁷, lo que dependerá principalmente de su consumo de energía. Es por esto que pueden ser de baja (con un consumo alrededor de 0.1W), media (entre 0.2W y 0.5W) y de alta potencia (superior a 0.5W). Generalmente se utilizan los LED de baja y media potencia para señalización y efectos decorativos, mientras que los de alta potencia pueden aplicarse en sistemas de iluminación general. En la Figura 2.3.14 se muestra el encapsulado para los diodos antes mencionados.

En esta se aprecia que el Led viene provisto de dos terminales de conexión, correspondientes al ánodo y cátodo de aproximadamente 2 a 2,5 cm de largo y sección generalmente de forma cuadrada. El terminal del cátodo es mas grande que el del ánodo en el interior del Led, esto se debe a que el cátodo esta encargado de sujetar al sustrato de silicio, por lo que deberá disipar el calor generado hacia el exterior ya que el terminal del ánodo se conecta al chip por un delgado hilo de oro, el cual prácticamente no conduce calor. Además este terminal cumple la función de reflejar la luz, por lo cual tiene forma parabólica o su aproximación semicircular. Lo anterior representa un punto muy crítico en la fabricación del Led ya que un mal enfoque puede ocasionar una perdida considerable de energía o una proyección dispereja.

¹⁷ http://www.luz.philips.com/portalNewsDetail.do?par=9311:5_2:9330:9311



Figura 2.3.14 Encapsulado de un Diodo Led para distintas Potencias



Además de las características de luminosidad del Led, es importante tener en cuenta el ángulo de visión, el cual es definido como el desplazamiento angular desde la perpendicular, hasta donde el flujo luminoso disminuye a la mitad. La elección del Led y de su ángulo de visión dependerá de la aplicación. Dentro de los ángulos de visión típicos se encuentran: 4, 6, 8, 16, 24, 30, 45, 60 y hasta 90 grados de visión. Por lo general el ángulo de visión esta determinado por el radio de curvatura del reflector y en especial por el radio de curvatura del encapsulado. Mientras más pequeño sea el ángulo yel sustrato semiconductor sea el mismo, se tendrá un flujo luminoso más focalizado, mientras que para un ángulo mayor se tendrá de un haz de luz menos concentrado. En la Figura 2.3.15 se puede apreciar el haz luminoso para distintos tipos de Led y su nivel de luminosidad sobre superficies a distintas distancias del foco. La Tabla 2.3.2 muestra las características generales de los Led, esto es: color, longitud de onda, ángulo de visión, etc.



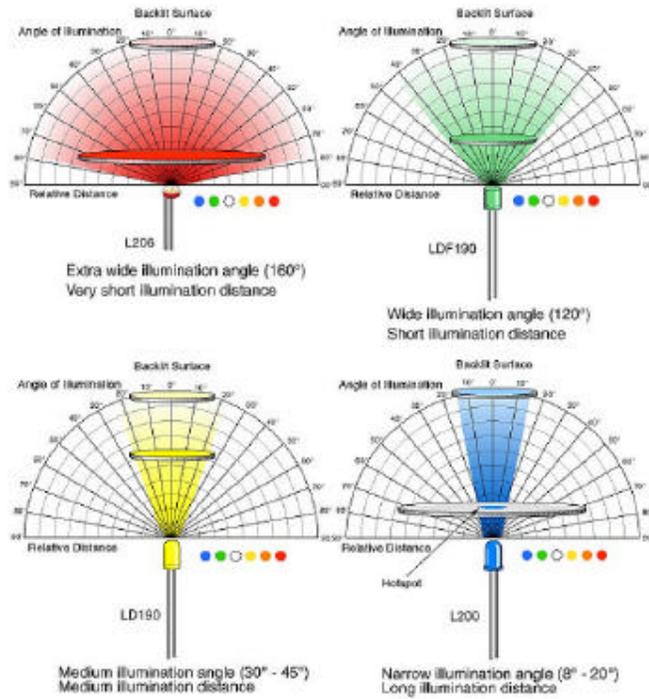
Tabla 2.3.2 Características generales para los distintos colores de Led¹⁸

	Peak Wave length (nm)	Dominant Wave length (nm)	X Coordinate (typ)	Y Coordinate (typ)	Color Name	Nominal Fwd Voltage (V _f @20ma)	Intensity (mcd) 5mm LEDs (For Reference)	Radiant Power mW/sr	Viewing Angle	LED Die Material
IR	940	N/A			Infrared	1.3	N/A	16mW@20mA	22°-30°	GaAlAs/GaAs
IR	885	N/A			Infrared	1.6	N/A	31mW@50mA	12°-20°	GaAlAs/GaAs
IR	843	N/A			Infrared	1.7	N/A	86mW@50mA	12°-20°	GaAlAs/GaAs
	654	641	0.72	0.28	Ultra Red	1.9	1000mcd@20mA	13mW@20mA	22°-30°	GaAlAs/GaAlAs
	640	625	0.70	0.30	HE Red	2.0	220mcd@20mA	1.8mW@20mA	12°-20°	GaAsP/GaP
	634	624	0.70	0.29	Super E.Red	2.2	8000mcd@20mA	45mW@20mA	12°-20°	InGaAlP
	616	610	0.66	0.33	Super Orange	2.0	2000mcd@20mA	7mW@20mA	22°-30°	InGaAlP
	609	604	0.64	0.35	Orange	2.0	220mcd@20mA	0.7mW@20mA	12°-20°	GaAsP/GaP
	598	593	0.60	0.40	Super Yellow	2.0	5000mcd@20mA	10mW@20mA	12°-20°	InGaAlP
	592	589	0.57	0.42	Super P.Yellow	2.3	4000mcd@20mA	8mW@20mA	22°-30°	InGaAlP
	582	584	0.54	0.45	Yellow	2.1	170mcd@20mA	0.3mW@20mA	12°-20°	GaAsP/GaP
	3000K	N/A	0.44	0.41	Warm White	3.3	5500mcd@20mA	17mW@20mA	12°-20°	InGaN
	6000K	N/A	0.31	0.34	Pure White	3.3	5500mcd@20mA	17mW@20mA	40°-50°	InGaN
	8000K	N/A	0.26	0.25	Cool White	3.3	5800mcd@20mA	23mW@20mA	12°-20°	InGaN
	8000K	N/A	0.28	0.27	Cool White	3.4	8400mcd@20mA	33mW@20mA	12°-20°	InGaN
	8000K	N/A	0.28	0.28	Cool White	3.3	16000mcd@20mA	60mW@20mA	12°-20°	InGaN
	575	573	0.47	0.53	Super L.Green	2.0	1800mcd@20mA	3mW@20mA	12°-20°	InGaAlP
	563	569	0.44	0.55	HE Green	2.3	210mcd@20mA	0.03mW@20mA	12°-20°	GaP/GaP
	563	564	0.41	0.59	Super P.Green	2.1	400mcd@20mA	0.6mW@20mA	40°-50°	InGaAlP
	557	560	0.37	0.61	Pure Green	2.2	140mcd@20mA	0.2mW@20mA	12°-20°	GaP/GaP
	522	528	0.18	0.71	Aqua Green	3.4	15,000mcd@20mA	30mW@20mA	12°-20°	InGaN
	501	502	0.08	0.52	Blue Green	3.4	4300mcd@20mA	16mW@20mA	40°-50°	InGaN
	455	460	0.14	0.04	Super Blue	3.2	3000mcd@20mA	61mW@20mA	12°-20°	InGaN
	425	447	0.15	0.05	Ultra Blue	4.0	250mcd@20mA	5mW@20mA	12°-20°	SiC/GaN
UV	402	420	0.17	0.006	Ultra Violet	3.8	39mcd@20mA	53mW@20mA	12°-20°	SiC/GaN
UV	397	419	0.17	0.006	Ultra Violet	3.7	35mcd@20mA	39mW@20mA	12°-20°	SiC/GaN
UV	378	N/A	0.35	0.32	Ultra Violet	3.3	150mcd@20mA	18mW@20mA	10°	GaN

¹⁸ <http://www.ledtronics.com/html/ColorChart.htm>

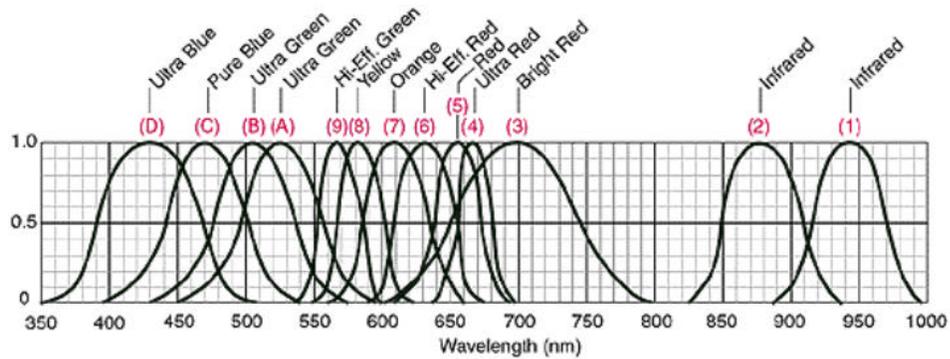


Figura 2.3.15 Superficies Iluminadas usando Led Discretos¹⁹



La Figura 2.3.16 muestra un plano cartesiano que compara la intensidad relativa (eje y), con las longitudes de onda para distintos colores (eje x). Por otro lado la Figura 2.3.17 muestra un diagrama de cromaticidad con las coordenadas correspondientes a cada color y sus respectivas longitudes de onda.

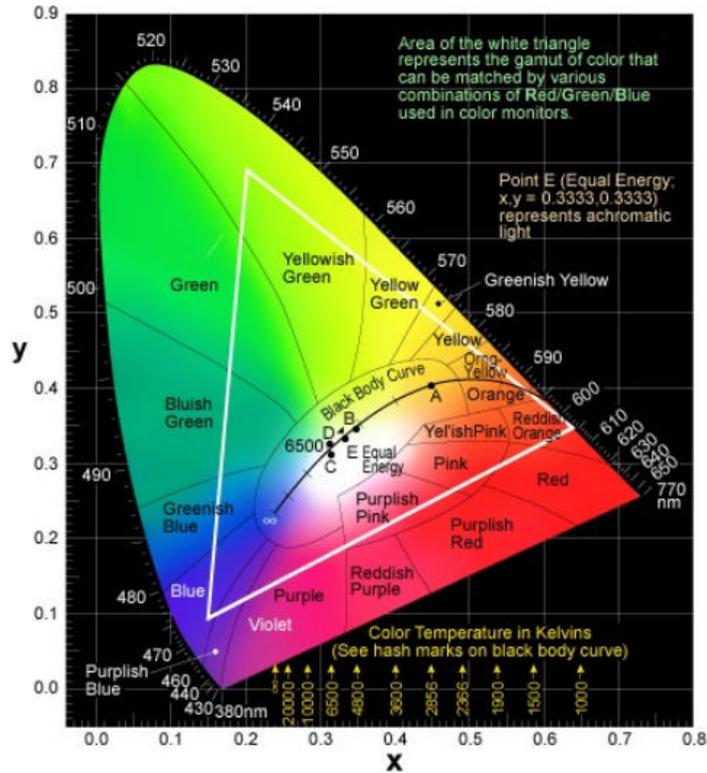
Figura 2.3.16 Curvas de Intensidad Relativa vs Longitud de onda



19 <http://www.ledtronics.com/html/Backlighting.htm>



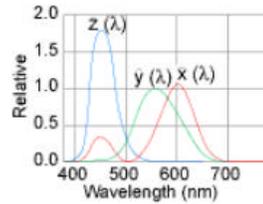
Figura 2.3.17 Diagrama de Cromaticidad²⁰



Standard Illuminants

Source A	x = 0.4476
	y = 0.4075
Source B	x = 0.3485
	y = 0.3517
Source C	x = 0.3101
	y = 0.3163
Source D ₆₅	x = 0.3127
	y = 0.3291
Source E	x = 0.3333
	y = 0.3333

CIE Color Matching Functions



Primary source: Photo Research

Ahora bien, una ampollita Led esta formada por un conjunto de diodos Led interconectados entre sí, de tal forma de conseguir la mayor luminosidad posible, con el menor consumo de energía.

20 <http://www.ledtronics.com/html/1931ChromaticityDiagram.htm>



- **Comparación de Ampolletas Incandescentes, LFC y Led:** Actualmente Chile se encuentra en proceso de evaluación de un proyecto de Ley que permita regularizar la eficiencia energética de artefactos eléctricos, el cual es denominado “Estándares Mínimos de Desempeño Energético” EMDE21. Por el momento el proyecto despachado por el Senado dispone de un reglamento dictado por el Ministerio de Economía en base a un informe desarrollado por la Comisión Nacional de Energía, el cual busca establecer el procedimiento con que se fijarán los estándares que deberán cumplir las luminarias y la periodicidad de su revisión en nuestro país. Por el momento solo esta en evaluación la regulación para luminarias, pero se espera que este sea el primer paso para regular otro tipo de equipos eléctricos y electrónicos.

Muchos países ya han implantado sistemas que regularizan la eficiencia de equipos eléctricos y electrónicos, estos son denominados estándares mínimos de desempeño MEPS (Minimum Energy Performance Standards), logrando alcanzar elevados niveles de eficiencia que permiten disminuir el consumo de energía. Su aplicación suele ser gradual, para minimizar los costos de su implementación en las empresas.

Por lo tanto, debido a que aun no existe una normativa que permita regularizar el uso de este tipo de equipos en nuestro país, se tomará como referencia los estándares fijados por los países pertenecientes a la APEC, parte de los cuales son mostrados en la Tabla 2.3.3.

Tabla 2.3.3 MEPS²² países de APEC

Lámparas Incandescentes			
País	Descripción	MEPS (lm/W)	lm
Canadá	60 W Normal	11	660
Corea	60 W Normal	10,8 - 13	648 - 780
USA	60 W Normal	11	660
Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)			
Corea	Menos de 10 W	42	420
	10 - 15 W	48	480
	Sobre 15 W	58	870
Japón	Lámparas de escritorio que utilizan lámparas fluorescentes de casquillo simple	62,5	

Específicamente se tomarán como referencia los estándares de Corea, para lámparas incandescentes de 60 W y LFC superiores a 10 W.

²¹ http://sil.senado.cl/cgi-bin/sil_tramitacion.pl?6349,S,,,

²² <http://www.apec-esis.org>

Como se indicó dentro de las exclusiones de esta tesis, no se realizarán mediciones de ningún tipo, por lo cual el estudio se realizará en base a información entregada por el fabricante, o bien, obtenido del propio producto disponible en el mercado.

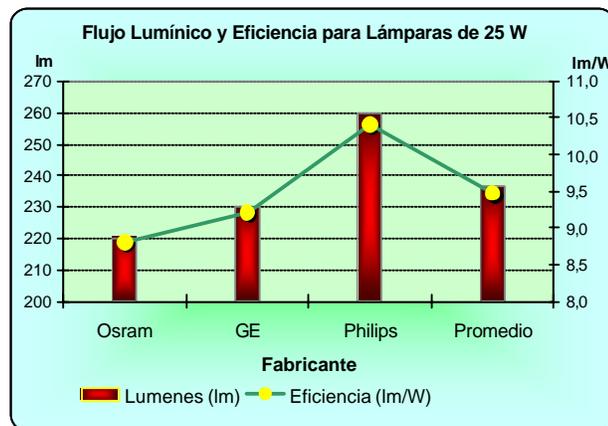
En primer lugar se realizará una comparación entre lámparas incandescentes de 25, 40, 60, 75 y 100 Watt, clásica tipo globo, 220 Volt y base E-27. Luego se mostrarán algunas características para ampollas LFC de 15 y 20 Watt, doble tubo tipo U, 220 Volt y base E-27. Para terminar dando a conocer las características principales de las ampollas LED disponibles en el mercado actualmente, 220 Volt, base E-27.

Esta comparación no busca realzar a un fabricante por sobre otro, sino más bien busca conocer las características de eficiencia de cada grupo en general, esto es: Incandescente, LFC ó LED.

- **Lámpara incandescente de 25 Watt.**

Para comenzar con las ampollas incandescentes, el Gráfico 2.3.1 muestra el flujo lumínico y la eficiencia de conversión de la energía para tres fabricantes de lámparas de 25 Watt, en esta se puede apreciar que la máxima eficiencia entre las muestras apenas alcanza los 10,4 lm/W, con un flujo lumínico de 260 lm en el caso de la lámpara Philips, mientras que la de menor flujo y eficiencia corresponde a la marca Osram, con 8,8 lm/W y 220 lm, confirmando con esto el bajo nivel de eficiencia que poseen las lámparas de este tipo. En promedio alcanzan una eficiencia de 9,5 lm/W y un flujo de 237 lm. Además su valor comercial alcanza un promedio de \$354 aproximadamente.

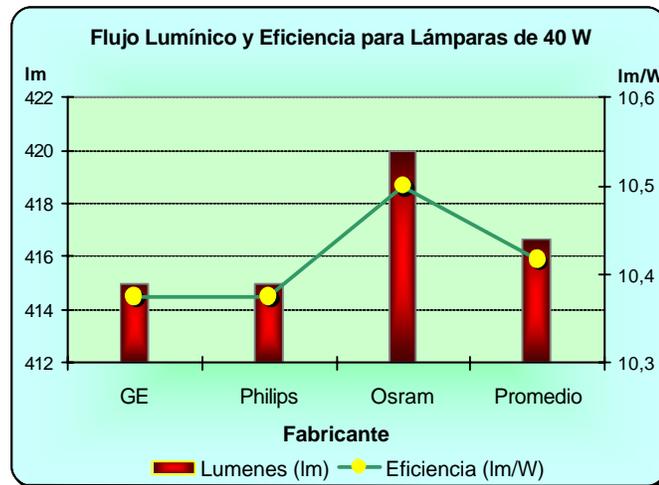
Gráfico 2.3.1 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 25 W



- **Lámpara incandescente de 40 Watt.**

En el caso de la lámpara de 40 Watt, las diferencias se acortan, existiendo un mínimo de 415 lm para las dos primeras lámparas y un máximo de 420 lm, situándose el promedio en 427 lm. Mientras tanto la eficiencia, a pesar de no percibirse claramente en el Gráfico 2.3.2, es muy similar entre las muestras, siendo 10,4 lm/W la eficiencia para las marcas GE y Philips y de 10,5 lm/W para la Osram. El promedio se encuentra en 417 lm para el flujo y en 10,42 lm/W para la eficiencia, mientras que su valor comercial promedio es de \$364.

Gráfico 2.3.2 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 40 W

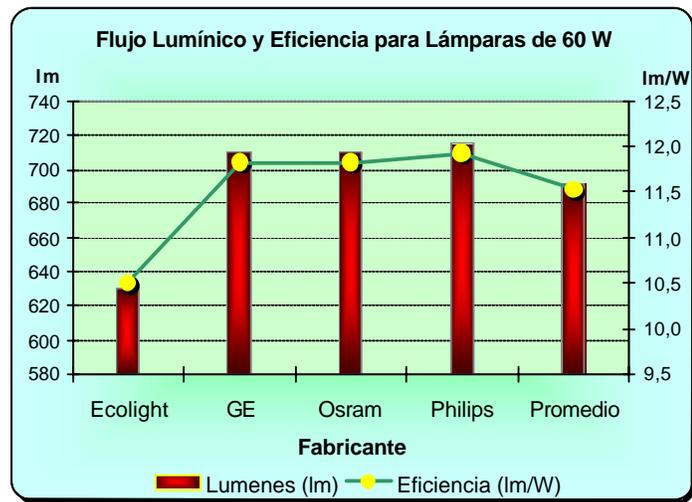


- **Lámpara incandescente de 60 Watt.**

En este caso fueron evaluadas cuatro muestras, según se muestra en el Gráfico 2.3.3, adicionalmente a las marcas anteriores se adiciona la marca Ecolight, los resultados son los siguientes: el mínimo de eficiencia (10,5 lm/W) y flujo (630 lm) lo posee la marca Ecolight, la GE y Osram alcanzan 11,8 lm/W de eficiencia y 710 lm de flujo, mientras que la lámpara Philips es la de mayor eficiencia (11,9 lm/W) y flujo (715 lm). El promedio se encuentra en 11,9 lm/W de eficiencia y 691 lm de flujo. Por último el valor comercial promedio esta en \$316, siendo la más barata pero menos eficiente la marca Ecolight.

Si bien es cierto esta lámpara se encuentra dentro de los estándares de eficiencia exigidos por el MEPS, no se puede considerar eficiente, ya que aproximadamente del 85 a 90% de la energía consumida se convierte en calor o luz no visible, mientras que el 10 a 15% restante se utiliza para generar luz.

Gráfico 2.3.3 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 60 W



- **Lámpara incandescente de 75 Watt.**

Para la lámpara de 75 W se mantiene el orden de eficiencia y flujo de la anterior, esto porque la lámpara Ecolight es la menos eficiente (11,9 lm/W) y 890 lm de flujo, la GE y la Osram poseen 940 lm de flujo y 12,5 lm/W de eficiencia, mientras que la Philips alcanza los 990 lm de flujo y 13,2 lm/W de eficiencia. El promedio se encuentra en los 940 lm de flujo y 12,53 lm/W de eficiencia (ver Gráfico 2.3.4), según se observa en la Tabla 2.3.4 el costo promedio es de \$316.

- **Lámpara incandescente de 100 Watt.**

Por último se encuentra la lámpara de 100 W, la cual se muestra en el Gráfico 2.3.5, nuevamente la lámpara de menor desempeño corresponde a la Ecolight con un flujo de 1250 lm y 12,5 lm/W de eficiencia, la GE posee un flujo de 1340 lm y eficiencia de 13,4 lm/W, la Philips por su parte tiene un flujo de 1350 lm y 13,5 lm/W de eficiencia, por último la Osram alcanza 1360 lm de flujo lumínico y 13,6 lm/W de eficiencia. El promedio de las muestras se encuentra en 1.325 lm y 13,25 lm/W de eficiencia. El costo promedio es de \$316.

Como se observa en los gráficos anteriores, los niveles de eficiencia para este tipo de lámparas son muy bajos, lo cual las hace una alternativa poco conveniente, a pesar de su bajo costo inicial, incluso en aquellas aplicaciones corta duración de encendido.



Gráfico 2.3.4 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 75 W

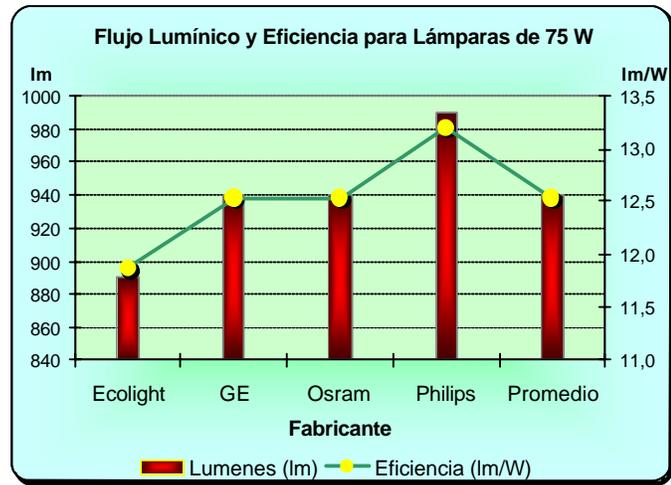
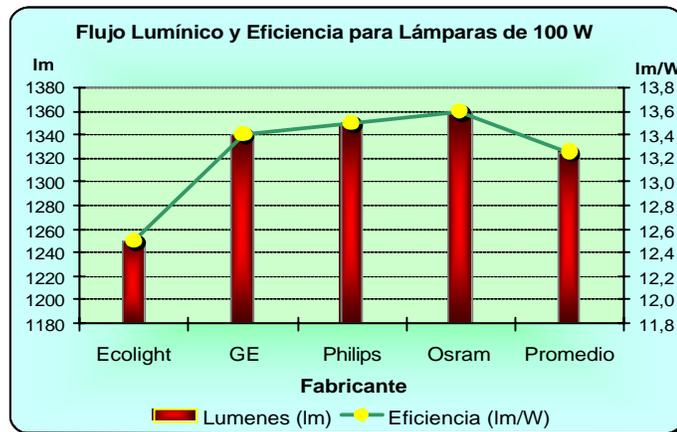


Gráfico 2.3.5 Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 100 W



A continuación la Tabla 2.3.4 muestra un resumen para los distintos tipos de lámparas antes mencionadas.

Tabla 2.3.4 Resumen de características para lámparas incandescentes

Fabricante	Potencia (W)	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Eficiencia (lm/W)	Etiqueta	T. de Color (°K)	Base	Vida Útil (Horas)	Costo (\$)
Osram	25	220	220	8,8	E	2.700	E-27	1.000	309
GE	25	220	230	9,2	E	2.700	E-27	1.000	285
Philips	25	220	260	10,4	E	2.700	E-27	1.000	399
Promedio	25	220	237	9,47		2700		1000	331
GE	40	220	415	10,4	E	2.700	E-27	1.000	285
Philips	40	220	415	10,4	E	2.700	E-27	1.000	399
Osram	40	220	420	10,5	E	2.700	E-27	1.000	329
Promedio	40	220	417	10,42		2700		1000	338
Ecolight	60	220	630	10,5	E	2.700	E-27	1.000	250
GE	60	220	710	11,8	E	2.700	E-27	1.000	285
Osram	60	220	710	11,8	E	2.700	E-27	1.000	329
Philips	60	220	715	11,9	E	2.700	E-27	1.000	399
Promedio	60	220	691	11,52		2700		1000	316
Ecolight	75	220	890	11,9	E	2.700	E-27	1.000	250
GE	75	220	940	12,5	E	2.700	E-27	1.000	285
Osram	75	220	940	12,5	E	2.700	E-27	1.000	329
Philips	75	220	990	13,2	E	2.700	E-27	1.000	399
Promedio	75	220	940	12,53		2700		1000	316
Ecolight	100	220	1250	12,5	E	2.700	E-27	1.000	250
GE	100	220	1340	13,4	E	2.700	E-27	1.000	285
Philips	100	220	1350	13,5	E	2.700	E-27	1.000	399
Osram	100	220	1360	13,6	E	2.700	E-27	1.000	329
Promedio	100	220	1325	13,25		2700		1000	316

Fuente: Datos indicados por fabricante

- Lámpara Fluorescente Compacta (LFC) 15 W.

En el Gráfico 2.3.6 se pueden apreciar las características de eficiencia y flujo luminoso para distintos fabricantes de ampolletas LFC de 15 W. Las lámparas más deficientes corresponden a las Ecolight y Elfa, ambas con un flujo de 470 lm y apenas 31,3 lm/W de eficiencia, mientras que la más eficiente corresponde a la GE con 62,7 lm/W y 940 lm de flujo. Luego se encuentran la Home Works y Osram, ambas con 750 lm de flujo lumínico y 53,6 y 50 lm/W de eficiencia respectivamente, la Philips posee un flujo de 850 lm y 56,7 lm/W de eficiencia, finalmente se encuentra la Westinghouse con 800 lm y 53,3 lm/W de eficiencia. En promedio el conjunto de muestras alcanza un valor de 719 lm de flujo luminoso y 48,4 lm/W de eficiencia, además de un costo comercial promedio de \$1.452 aproximadamente.

- **Lámpara Fluorescente Compacta (LFC) 20 W.**

A continuación se detallan las características de flujo y eficiencia para ampollas LFC de 20 W. Al igual que para el caso de las lámparas de 15 W, las marcas Ecolight y Elfa corresponden a las ampollas menos eficientes, 39 lm/W y 780 lm de flujo. La GE posee un flujo luminoso de 880 lm y una eficiencia de 44 lm/W, luego la Osram alcanza los 1.000 lm de emisión luminosa y 50 lm/W de eficiencia, la Westinghouse llega a 1.155 lm de flujo y 57,8 lm/W de eficiencia. Home Works y Philips corresponden a las marcas que mejor aprovechan la energía, ya que poseen un flujo de 1.170 lm y 58,5 lm/W de eficiencia de utilización de la energía. El conjunto de muestras poseen un promedio de flujo luminoso de 991 lm y 49,5 lm/W de eficiencia energética. El valor promedio comercial en pesos alcanza los \$1.671. El Gráfico 2.3.7 muestra los datos antes mencionados.

Gráfico 2.3.6 Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 15 W

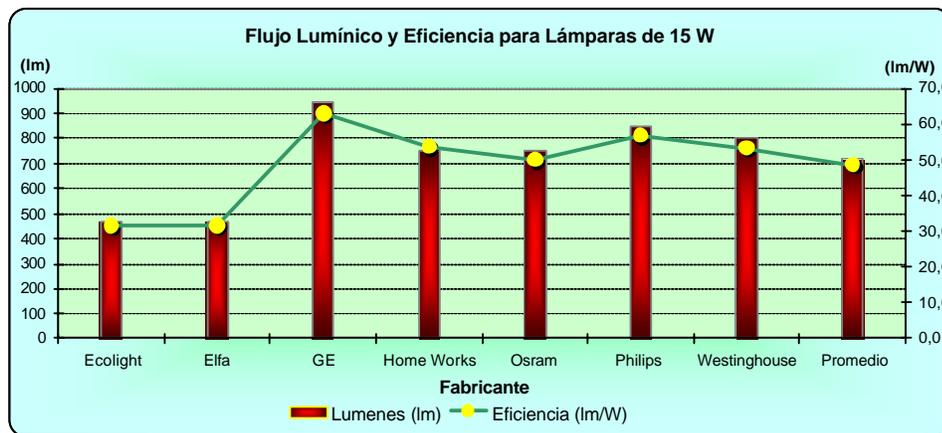


Gráfico 2.3.7 Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 20 W





Para finalizar, nos remontamos a la Tabla 2.3.3, en la cual se especifican los mínimos valores de flujo y eficiencia energética permitidos para Corea, los cuales son utilizados como base para comparar las ampolletas disponibles en nuestro país.

Para el caso de ampolletas LFC de 15 W, se puede observar según los gráficos que la mayoría de las muestras superan el mínimo establecido, correspondiente a un flujo de 480 lm y 48 lm/W. Las marcas que se encuentran sobre los mínimos corresponden a los siguientes: General Electric 62,7 lm/W (de mejor desempeño entre las muestras), Philips, Home Works, Westinghouse y Osram, en orden descendente según eficiencia. Por otro lado las de menor rendimiento corresponden a las marcas Ecolight y Elfa, las cuales no superan el mínimo de eficiencia requerido, apenas alcanzan 31,3 lm/W. La eficiencia promedio del conjunto de muestras supera en 0,4 lm/W el mínimo de eficiencia requerido en los MEPS.

A continuación se muestra en la Tabla 2.3.5 un resumen de las características de las ampolletas LFC antes mencionadas.

Tabla 2.3.5 Resumen de Ampolletas LFC

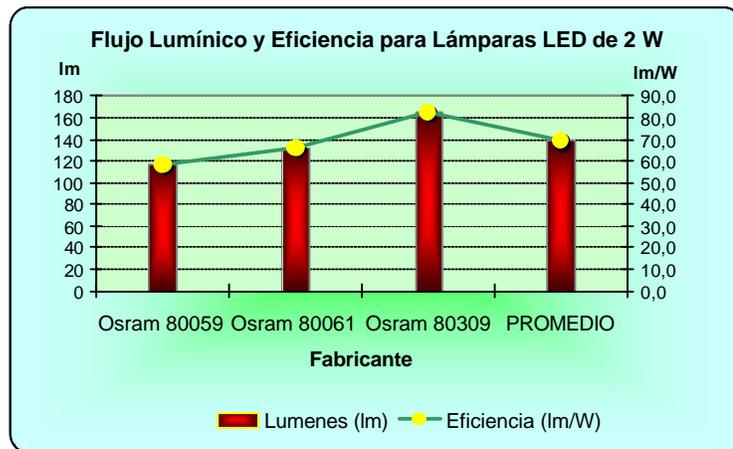
Marca	Tipo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Eficiencia (lm/W)	Etiqueta	T. de Color (°K)	Base	Vida Útil (Horas)	Costo (\$)	Encendido
Ecolight	Bitubo	15	220	470	31,3	B	2.700	E-27	3.000	690	Instantáneo
Elfa	Tritubo	15	220	470	31,3	B	2.700	E-27	5.000	1.609	Instantáneo
Osram	Tritubo	15	220	750	50,0	A	2.700	E-27	3.000	1.889	Progresivo
Westinghouse	Bitubo	15	220	800	53,3	A	3.000	E-27	6.000	1.990	Progresivo
Home Works	Bitubo	14	220	750	53,6	A	2.700	E-27	6.000	799	Progresivo
Philips	Bitubo	15	220	850	56,7	A	2.700	E-27	6.000	2.190	Instantáneo
GE	Bitubo	15	220	940	62,7	A	2.700	E-27	4.000	995	Progresivo
Promedio		15	220	719	48,4		2743	E-27	4714	\$ 1.452	
Ecolight	Tritubo	20	220	780	39,0	B	2.700	E-27	3.000	850	Instantáneo
Elfa	Tritubo	20	220	780	39,0	B	2.700	E-27	3.000	1.290	Instantáneo
GE	Tritubo	20	220	880	44,0	A	4.000	E-27	4.000	1.695	Progresivo
Osram	Tritubo	20	220	1000	50,0	A	2.700	E-27	3.000	1.990	Progresivo
Westinghouse	Tritubo	20	220	1.155	57,8	A	3.000	E-27	6.000	1.990	Progresivo
Home Works	Tritubo	20	220	1.170	58,5	A	2.700	E-27	6.000	1.695	Progresivo
Philips	Tritubo	20	220	1.170	58,5	A	2.700	E-27	6.000	2.190	Instantáneo
Promedio		20	220	991	49,5		2.929	E-27	4.429	\$ 1.671	
Fuente: Datos indicados por fabricante											

Ampolletas LED: poco a poco se han ido introduciendo en nuestro país las ampolletas LED, que como se explicó anteriormente, están formadas por diodos LED de alta luminosidad y bajo consumo de energía. La gran barrera existente hasta el momento, corresponde a su alto costo, lo cual hace lenta la recuperación de la inversión en aplicaciones domésticas u otra, donde el tiempo de utilización generalmente no supera las 3 a 4 horas. Sin embargo en aplicaciones donde se necesite mantener iluminado por largos periodos de tiempo, como supermercados, estacionamientos subterráneos, salas de exposición, etc., el uso de este tipo de lámparas genera ahorros económicos a corto plazo y ahorros energéticos inmediatos. A continuación se muestran algunas de las lámparas existentes en el mercado:

- **Ampolleta LED de 2 W**

En este caso las muestras corresponden a la marca Osram, como se puede apreciar en el Gráfico 2.3.8. El flujo y eficiencia mínima es de 117 lm y 58,5 lm/W respectivamente, mientras que el flujo y eficiencia máxima son de 165 lm y 82,5 lm/W. El promedio se encuentra en 138 lm de flujo y 69 lm/W de eficiencia luminosa. Si bien es cierto poseen un bajo flujo luminoso, se puede comprobar que tienen una alta eficiencia de conversión de energía.

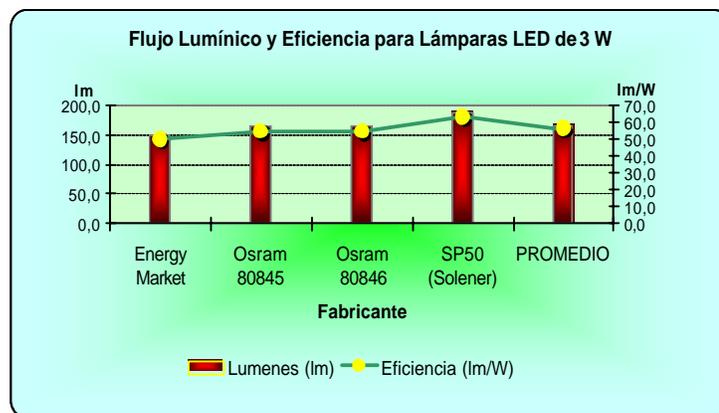
Gráfico 2.3.8 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W



- **Ampolleta LED de 3 W**

En este caso, existen 2 marcas adicionales, las cuales corresponden a los modelos Energy Market y SP50, la primera es distribuida por la empresa del mismo nombre, la cual además fabrica algunos modelos de ampollitas LED, su flujo es de 150 lm y su eficiencia de 50 lm/W, mientras que la segunda alcanza los 190 lm de flujo luminoso y 63,3 lm/W de eficiencia de conversión y es comercializada por la empresa Solener, dedicada principalmente a la venta de equipos solares. Por último se encuentran 2 modelos de la marca Osram, de idéntico flujo y eficiencia luminosa, con 165 lm y 55 lm/W respectivamente, la única diferencia entre ambas se encuentra en su tonalidad de luz, la Osram 80845 de color blanco frío, mientras que la 80846 es blanco cálido. El Gráfico 2.3.9 muestra los datos antes mencionados.

Gráfico 2.3.9 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 3 W

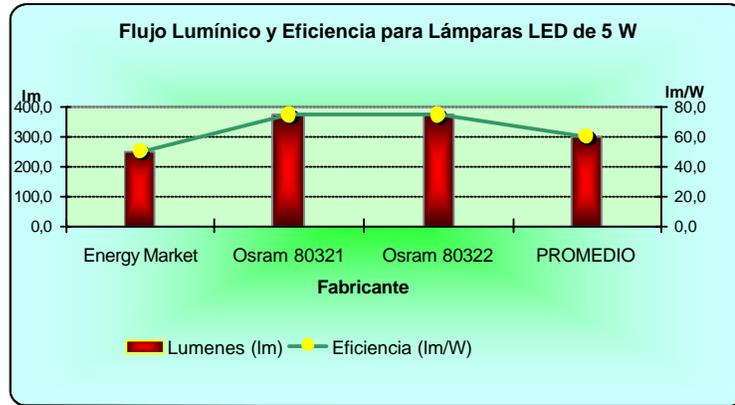


- **Ampolleta LED de 5 W**

En este caso, encontramos distribuidores que comercializaban modelos de lámparas de similares características, como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que aparece más adelante. Se tomó solo una de estas tres lámparas, la cual corresponde a la Energy Market, con un flujo de 250 lm y 50 lm/W de eficiencia, mientras que las dos restantes son de la marca Osram, ambas con flujos de 370 lm y 74 lm/W de eficiencia. El promedio se encuentra en 298 lm de flujo y 59,6 lm/W de eficiencia, como se aprecia en el Gráfico 2.3.10.



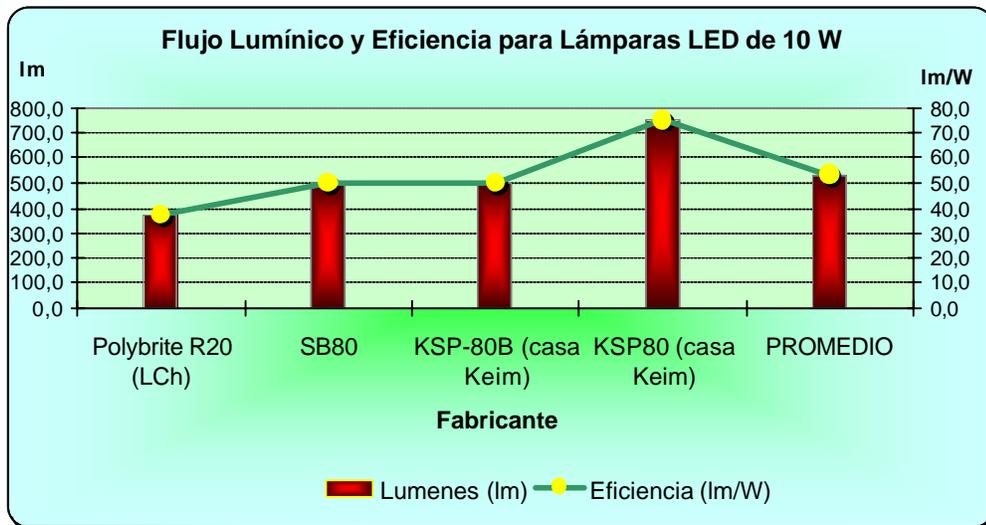
Gráfico 2.3.10 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 5 W



- Ampolleta LED de 10 W

De las cuatro lámparas consideradas, la de menor flujo y eficiencia corresponde a la polybrite R20, distribuida por Led Chile, con un flujo 372 lm y una eficiencia de 37,2 lm/W, luego se encuentran la SB80 y la KSP-80B (casa Keim), ambas con un flujo de 500 lm y 50 lm/W de eficiencia respectivamente. Finalmente la KSP80 de Casa Keim, es la que alcanza mayor flujo luminoso, igual a 750 lm y una eficiencia de 75 lm/W. El promedio esta situado en los 530,5 lm de flujo luminoso y 53,1 lm/W de eficiencia luminosa. Esto se puede apreciar en el Gráfico 2.3.11.

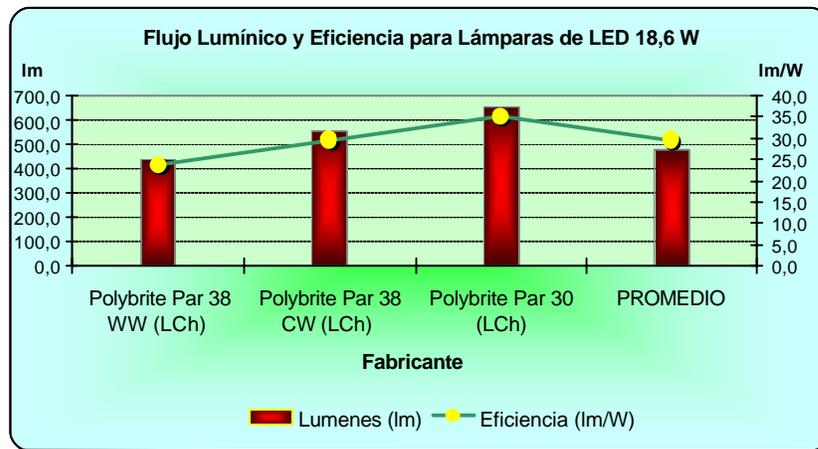
Gráfico 2.3.11 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W



- **Ampolleta LED de 18,6 W**

Finalmente para la lámpara de 18,6 W, la marca Polybrite, distribuida por Led Chile, dispone de tres modelos como se observa en el Gráfico 2.3.12, la Par 38 WW es la de menor flujo y eficiencia, con 440 lm y 23,7 lm/W respectivamente, luego la Par 38 CW posee un flujo de 550 lm y una eficiencia de 29,6 lm/W, por último la Par 30 alcanza un flujo de 656 lm y 35,3 lm/W de eficiencia. El promedio se encuentra en 479,8 lm de flujo luminoso y 29,5 lm/W de eficiencia de conversión de energía.

Gráfico 2.3.12 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 18,6 W



A continuación la Tabla 2.3.6 muestra resumen que contiene los datos antes mencionados.

Tabla 2.3.6 Resumen de Ampolletas LED

Marca/Modelo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Eficiencia (lm/W)	Color de luz	T. de Color (°K)	V. Útil (Horas)
Osram 80059	2	220	117,0	58,5	Blanco frío	5500	25000
Osram 80061	2	220	132,0	66,0	Blanco calido	3000	25000
Osram 80309	2	220	165,0	82,5	Blanco frío	6500	20000
PROMEDIO	2	220	138,0	69,0	-	-	23333
Energy Market	3	220	150,0	50,0	Blanco Calido	5.000-6.000	50000
Osram 80845	3	220	165,0	55,0	Blanco frío	5500	25000
Osram 80846	3	220	165,0	55,0	Blanco Calido	3000	25000
SP50 (Solener)	3	220	190,0	63,3	-	-	50000
PROMEDIO	3	220	167,5	55,8	-	-	37500
SP70 (Solener)	5	220	250,0	50,0	Blanco Calido	-	50000
SKP-70 (Casa keim)	5	220	250,0	50,0	Blanco calido, frío	5.000-7.000 / 3.000-4.000	50000
Energy Market	5	220	250,0	50,0	Blanco Calido	5.000-6.000	50000
Osram 80321	5	220	370,0	74,0	Blanco frío	6500	15000
Osram 80322	5	220	370,0	74,0	Blanco calido	3000	15000
PROMEDIO	5	220	298,0	59,6	-	-	32500
Polybrite R20 (LCh)	10	220	372,0	37,2	Blanco frío	4.600-5.600	50000
SB80	10	220	500,0	50,0	Blanco Calido	-	
KSP-80B (Casa Keim)	10	220	500,0	50,0	Blanco: frío, calido	5.000-7.000 / 3.000-4.000	50000
KSP80 (Casa Keim)	10	220	750,0	75,0	Blanco: frío, calido	5.000-7.000 / 3.000-4.000	50000
PROMEDIO	10	220	530,5	53,1	-	-	50000
Polybrite Par 38 WW (LCh)	18,6	220	440,0	23,7	incandescente	2.800-3.200	50000
Polybrite Par 38 CW (LCh)	18,6	220	550,0	29,6	blanco fluorescente	3.800-4.600	50000
Polybrite Par 30 (LCh)	18,6	220	656,0	35,3	blanco frío	4.600-5.600	50000
PROMEDIO	18,6	220	479,8	29,5	-	-	50000

Fuente: Datos indicados por fabricante

Para concluir con esta etapa, se puede decir la cantidad de luz entregada por las ampolletas Led consideradas anteriormente es aún baja como para alcanzar los niveles de luminosidad de las Incandescentes o LFC, además sus costos las superan ampliamente. Pero sin embargo, el bajo consumo de energía, larga vida útil, emisión nula de UV o IR, no contaminantes al no contener mercurio o plomo, etc., hacen de estas lámparas una gran opción para reducir el consumo de energía y los niveles de contaminación.



Poco a poco esta tecnología se ha ido ganando un espacio, muchos son los países que han implementado este tipo de lámparas para iluminación pública y señalética de tránsito, lo cual ha generado ahorros considerables. En Chile es común observarlas en semáforos, tableros de información en autopistas, etc., pero también es posible observar lámparas utilizadas para iluminación de interiores, pasillos u otro lugar a iluminar, lo que es un pequeño gran paso para reemplazar las ineficientes Incandescentes y las LFC, aunque si son eficientes son muy contaminantes. En el senado²³ de nuestro país se ha planteado la idea de legislar sobre el reemplazo de ampollitas incandescentes por ampollitas de ahorro, específicamente ampollitas LED, para lo cual se ha solicitado hacer los estudios correspondientes para evaluar la factibilidad de la implementación, lo cual sumado a las políticas de eficiencia energética se transforman en un gran avance en materia de ahorro energético.

²³ <http://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=sesionessala&ac=getDocumento&teseid=10060&legiid=479#Tema88>



3.0 CAPITULO 3: ENERGÍA SOLAR

El sol representa la mayor fuente de energía existente en nuestro planeta. La cantidad de energía emitida y que llega a la tierra en forma de radiación, equivale a aproximadamente 35 millones²⁴ de veces la energía producida por todas las centrales de generación eléctrica de Chile. La energía²⁵ es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía la podemos percibir en forma de luz y calor. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos, mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio.

La energía solar cumple un rol fundamental en nuestras vidas, esto porque sin ella sería imposible. La energía absorbida por la atmósfera, la tierra y los océanos permite una serie de procesos naturales, como por ejemplo mantener una temperatura promedio, la evaporación, que permite la generación de precipitaciones, movimiento de masas de aire, fotosíntesis, generación de biomasa, etc.

Por otro lado la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sustentable en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una creciente conciencia social y de los gobiernos, de sacar provecho de este tipo de energías. Esto es posible de ver por la mayor cantidad de sistemas de generación en base a energías renovables instalados y en proceso de instalación en nuestro, los cuales son utilizados como sistema auxiliar o principal, dependiendo de la ubicación y recursos de quien los utilice.

La demanda de energía eléctrica cada vez mayor en nuestro país y la necesidad de diversificar la matriz energética de Chile, llevó al gobierno a desarrollar un plan que contempla un 15% de generación de energía en base a ERNC para el año 2010.

Ahora bien, la potencia de la radiación²⁶ depende del momento del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones optimas se puede asumir un valor aproximado de irradiancia de 1000 W/m² en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa o difusa.

²⁴ <http://www.explora.cl/otros/energia/e-solar.html>

²⁵ http://www.solener.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=13

²⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_solar



- **Radiación Directa**²⁷: es aquella que llega directamente del Sol hasta algún objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Además se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que se interponen en su trayecto.
- **Radiación Difusa**: corresponde a la radiación emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmósfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes. Producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía. No proyecta sombra de los objetos que se interponen en su recorrido. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven pueden ver el cielo en todas la direcciones, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

La radiación²⁸ es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. En un día despejado, la radiación directa es mucho mayor que la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente corresponde a radiación difusa.

La irradiancia directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor promedio de 1354 W/m², el valor máximo se encuentra en el perihelio (lugar donde un planeta se encuentra más cercano al sol) y corresponde a 1395 W/m², mientras que el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta se encuentra más lejano al sol) y es de 1308 W/m².

Existen distintos tipos de tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del sol, los cuales se nombran a continuación:

- **Energía solar pasiva**: aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- **Energía solar térmica**: aprovecha la energía calórica del sol para calentar algún tipo de fluido a baja temperatura, normalmente agua, para uso sanitario y calefacción, los sistemas utilizados para esto se denominan colectores solares.
- **Energía solar fotovoltaica**: aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar, estos sistemas se llaman Paneles Solares Fotovoltaicos (PFV).

²⁷ http://www.solarpedia.es/index.php/Radiacion_solar

²⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_solar

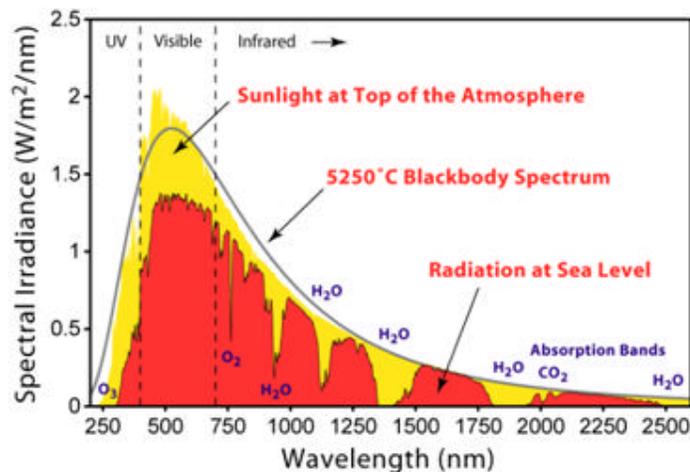
- **Energía solar termoeléctrica:** aprovecha la energía calórica para producir electricidad, esto se logra a través de un ciclo termodinámico convencional, mediante el cual se calienta algún tipo de fluido a alta temperatura (aceite térmico).
- **Energía solar híbrida:** consiste en utilizar además de la energía solar, otro tipo de energía. Esto se conoce como hibridación y dependiendo con el tipo de energía que se combine será:
 - **Renovable:** biomasa, energía eólica.
 - **Fósil.**
- **Energía eólico solar:** consiste en utilizar el aire calentado por el sol, para hacer girar unos generadores ubicados en la parte superior de una chimenea.

3.1 IRRADIACIÓN

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m^2 .

En la Figura 3.1.1 se puede apreciar el espectro de radiación solar para niveles sobre la atmósfera terrestre y a nivel del mar.

Figura 3.1.1 Espectro²⁹ de Radiación Solar



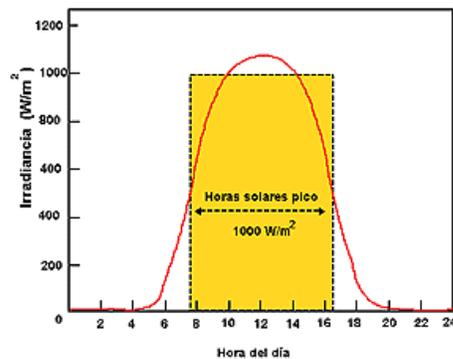
²⁹ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Solar_Spectrum.png

3.2 INSOLACIÓN³⁰

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual). En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado ($W\cdot h/m^2$). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1.000 W/m^2 . La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente.

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura 3.2.1 se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la figura.

Figura 3.2.1 Curva de Irradiancia Diaria y horas solares pico

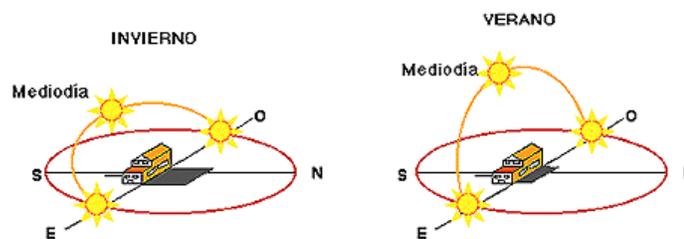


La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15° .

³⁰ http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html

Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur.

Figura 3.2.2 Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año

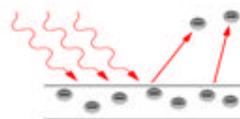


3.3 CELDA FOTOVOLTAICA³¹

Una celda fotovoltaica³², es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. A su vez el efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética, estos electrones libres, al ser capturados generan una corriente eléctrica (ver Figura 3.3.1). La Figura 3.3.2 muestra una celda fotovoltaica policristalina.

La unión de celdas fotovoltaicas da origen a un panel fotovoltaico, el que consiste en una red de celdas solares conectadas en serie para aumentar la tensión de salida continua hasta el valor deseado. También se conectan en paralelo con el propósito de aumentar la corriente de salida del sistema.

Figura 3.3.1 Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar

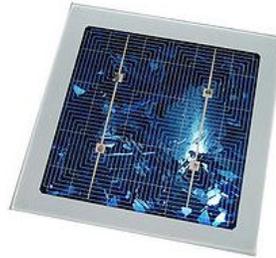


³¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico

³² http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotovoltaica



Figura 3.3.2 Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino



3.3.1 Dopado del Silicio y la Unión P-N³³

Un átomo del silicio posee cuatro electrones de valencia, estos electrones enlazan a los átomos adyacentes. Si se substituye un átomo de silicio por otro átomo que tenga tres o cinco electrones de valencia, en el primer, la falta de un electrón dejará un hueco disponible, quedando de esta forma con mayor carga positiva (capa P), mientras que en el segundo caso quedará un electrón libre, lo que genera una mayor cantidad de carga negativa (capa N), a este proceso de substitución de átomos se le conoce como dopado. El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura (existen otros métodos para dopar al silicio), donde las láminas se introducen en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Ambas capas se encuentran separadas por un material semiconductor, para formar una unión P-N. Para el dopado tipo P se utilizan generalmente átomos de boro, el cual posee tres electrones de valencia, mientras que para el dopado tipo N, se puede utilizar átomos de fósforo, que poseen cinco electrones de valencia.

El proceso de formación de la unión P-N, provoca una difusión de electrones de las zonas con mayores concentraciones, es decir, desde la capa de tipo N de la unión, hacia la capa P con menores concentraciones de electrones.

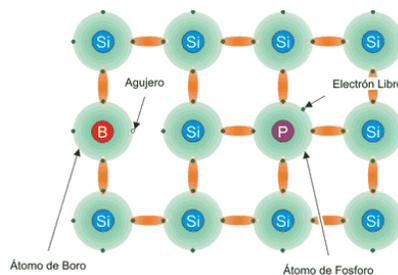
Esta difusión de electrones a través de la unión P-N, produce una recombinación con los huecos de la cara de tipo P, generando un campo eléctrico en la juntura hasta que se alcance el equilibrio, luego de esto no existe flujo de cargas a través de la unión, a no ser que sea excitada por una fuente externa.

³³ <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

El campo eléctrico establecido a través de la creación de la unión P-N crea un diodo que permite la circulación de corriente en un solo sentido a través de la juntura. Los electrones pueden pasar del lado N hacia el interior del lado P y los huecos pueden pasar del lado P hacia el lado N. A la zona de difusión de electrones se le llama región de agotamiento o región de espacio de cargas, ya que son escasos los portadores de carga móviles existentes.

Finalmente, a la unión PN se le insertan los contactos eléctricos en ambas capas de la celda, por medio de evaporación o pintando con metal. La parte posterior de la placa se puede cubrir totalmente con metal, pero el frente de la misma tiene que tener solamente un patrón en forma de rejilla o de líneas finas de metal, a fin de evitar el bloqueo de los rayos solares.

Figura 3.3.3 Dopado del Silicio



3.3.2 Generaciones de Celdas Fotovoltaicas

Figura 3.3.4 Barra de Silicio Policristalino



- **Primera Generación:** consistían en una gran superficie de cristal simple. Una capa de unión P-N (similar a un diodo), capaces de generar energía eléctrica a partir de energía luminosa proveniente del sol. Se fabrican mediante un proceso de difusión con obleas de silicio, es por esto que también se lo conoce como celdas solares basadas en oblea. Corresponde a la tecnología que predomina en el mercado actual, abarcando aproximadamente el 86% del total de paneles fotovoltaicos.



- **Segunda Generación:** se basan en el uso de depósitos epitaxiales³⁴ muy delgados de semiconductores sobre obleas con concentradores. Existen dos clases de celdas fotovoltaicas epitaxiales: las espaciales y las terrestres. Las celdas espaciales, generalmente poseen eficiencias AM0 (Air Mass Zero) más altas, cercanas al 28 o 30%, aunque su costo por Watt más alto. En las terrestres en cambio, la película delgada se ha desarrollado usando procesos de bajo costo, pero su eficiencia AM0 es menor que la anterior, alcanzando valores en 7 y 9%.

La tecnología de celdas solares de película delgada considera un ahorro notable en los costos de producción, que junto a su reducida masa, apropiada para aplicaciones sobre materiales flexibles y livianos, incluso en materiales de origen textil, representan grandes ventajas de la tecnología.

La aparición de paneles de película delgada de Ga y As para aplicaciones espaciales, con eficiencia AM0 sobre el 37%, se encuentran en estado de desarrollo para aplicaciones de elevada potencia. Esta tecnología representa un pequeño segmento del mercado fotovoltaico terrestre, siendo aproximadamente un 90% del mercado espacial.

- **Tercera Generación:** propuesta desde el año 2007, representa una tecnología muy diferente a las dos anteriores, ya no utiliza la unión P-N. Para aplicaciones espaciales se estudian dispositivos de huecos cuánticos y dispositivos que incorporen nanotubos de carbono, los que pueden alcanzar una eficiencia AM0 superior al 45%. En cambio para aplicaciones terrestres, se están investigando dispositivos que incluyan celdas electroquímicas, polímeros, nanocristales y tintas sensibilizadas, de las cuales ya es posible ver algunos modelos (ver Figura 3.3.8 y Figura 3.3.9)
- **Cuarta Generación:** si bien es cierto no es una tecnología desarrollada, se estima que esta generación consistiría en una mezcla de nanopartículas con polímeros para formar una capa simple multiespectral. Luego se monta una capa sobre otra para fabricar celdas solares multiespectrales definitivas. Este tipo de celdas serán más eficientes y baratas.

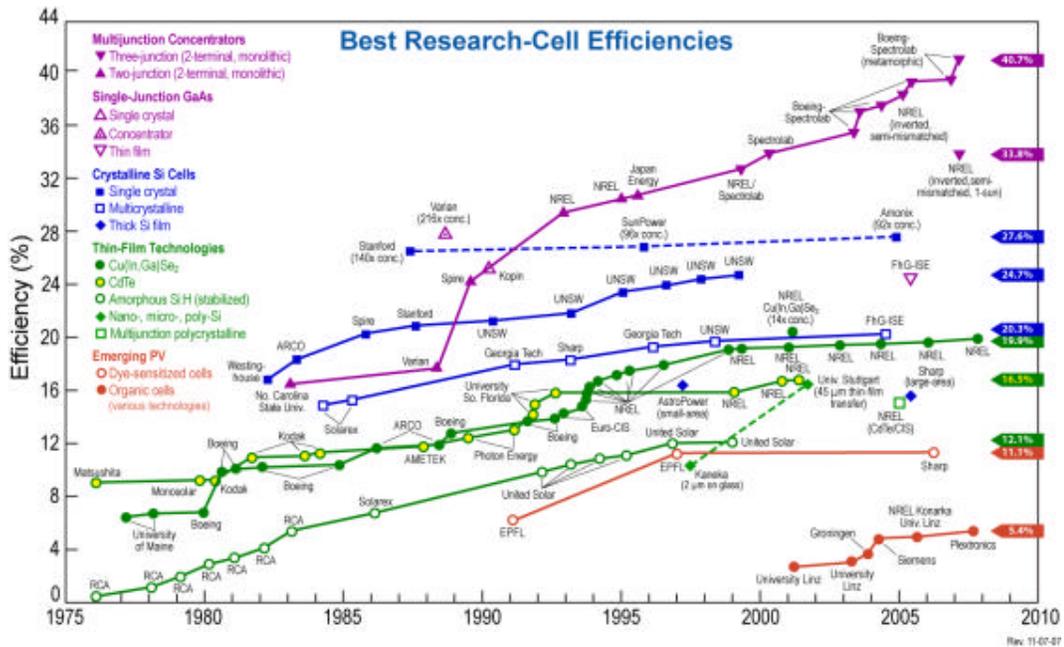
³⁴ **Crecimiento epitaxial:** es uno de los procesos de fabricación de circuitos integrados. Consiste en crear una capa uniforme y muy delgada sobre una de las caras de un cristal de material semiconductor o un sustrato. Esta capa posee la misma estructura cristalina del material base. El propósito de esta técnica es controlar de forma muy precisa el nivel de impurezas en el semiconductor, las cuales definirán el tipo de material (N o P). Esto se hace calentando el material semiconductor hasta casi su punto de fusión y luego ponerlo en contacto con el material base para que, al enfriarse, recristalice con la estructura adecuada.



La NASA ha utilizado la idea junto a la tecnología multiunión para sus misiones a Marte. Dentro de esta celda solar compuesta, la primera capa convierte los diferentes tipos de luz, la segunda es para la conversión de energía y la última capa es para el espectro infrarrojo, la cual permite utilizar parte del calor para generar energía aprovechable. La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) es la encargada de dirigir y supervisar la investigación que busca determinar la viabilidad de esta tecnología. Xsunx, Konarka Technologies, Inc., Nanosolar, Dyesol y Nanosys, son algunas de las compañías que trabajan en el proyecto.

La Figura 3.3.5 muestra la evolución de las celdas solares desde el año 1975 a 2007

Figura 3.3.5 Evolución de Eficiencia de las Celdas Solares



3.3.3 Tecnologías de Fabricación de celdas fotovoltaicas^{35 36}

Las celdas solares de silicio se construyen utilizando planchas monocristalinas, planchas policristalinas o láminas delgadas (amorphas).

³⁵ <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

³⁶ <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm#comofunciona>

- **Silicio Monocristalino:** estas celdas están fabricadas en base a láminas de un único cristal de muy alta pureza y estructura cristalina casi perfecta. El espesor aproximado de las láminas es de 1/3 a 1/2 milímetro, las cuales son cortadas de una gran barra o lingote monocristalino creado a una temperatura cercana a 1400° C, siendo este un proceso muy costoso. La eficiencia de estas celdas ha llegado hasta el 24,7% en laboratorio y a un 16% en paneles comerciales. Los paneles construidos con este tipo de tecnología son los más desarrollados del mercado, siendo garantizados por algunos fabricantes por hasta 25 años. La Figura 3.3.6 muestra un panel solar de silicio monocristalino.

Figura 3.3.6 Panel Solar de Silicio Monocristalino



- **Silicio Policristalino:** las láminas policristalinas son fabricadas a través de un proceso de moldeo, para esto se funde el silicio y luego se vierte sobre moldes. Una vez que el material se ha secado, se corta en delgadas láminas. El proceso de moldeo es menos costoso de producir que el silicio monocristalino, pero son menos eficientes, debido a que el proceso deja imperfecciones en la superficie de la lámina. La eficiencia de conversión alcanza valores alrededor del 19,8% en laboratorio y de 14% en paneles comerciales. En la Figura 3.3.7 se puede apreciar un panel de estas características.

Las características del silicio cristalizado, hacen que los paneles de silicio policristalino posean un grosor considerable. Empleando silicio con otros materiales semiconductores, es posible obtener paneles más finos e incluso flexibles.

Figura 3.3.7 Panel Solar de Silicio Policristalino



Tanto en el proceso de fabricación de láminas de silicio monocristalino, como policristalino, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el corte.

- **Silicio Amorfo:** es una tecnología de lámina delgada y se fabrica depositando silicio sobre un sustrato de vidrio de un gas reactivo, tal como silano (SiH_4). Además es posible aplicarlo como película sobre sustratos de bajo costo como cristal o plástico. La tecnología de fabricación ha cambiado rápidamente, lo que ha generado un aumento de su eficiencia, llegando a valores entre 5 y 10% para paneles comerciales y de 13% en laboratorios. Existen tecnologías de lámina delgada que incluyen láminas de silicio multicristalino, seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio, telurio de cadmio/sulfuro del cadmio y arseniuro de galio. Este tipo de tecnología ofrece una serie de ventajas como: deposición y un ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en sustratos o materiales de construcción baratos, los que incluso pueden ser flexibles, producción en masa, y conveniencia para grandes aplicaciones. Sus costos son inferiores a las dos tecnologías anteriores.

Otras tecnologías de lámina delgada son:

- **Telurio de cadmio:** Rendimiento en laboratorio 16% y en paneles comerciales 8%
- **Arseniuro de Galio:** es uno de los materiales más eficientes, alcanza un 25,7% de rendimiento en laboratorio y 20% en paneles comerciales
- **Diseleniuro de cobre en indio:** con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en paneles comerciales del 9%
- **Paneles Tándem:** estos combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Esto se debe a que cada tipo de material trabaja en una parte del espectro electromagnético de la radiación solar y con la utilización de dos o tres tipos de materiales se pueden aprovechar desde la radiación ultravioleta a las ondas visibles e infrarrojas del espectro. Con este tipo de paneles se ha alcanzado rendimientos del 35% y en teoría, con la unión de tres se podría alcanzar un 50% de rendimiento.

- **Paneles Fotovoltaicos Orgánicos (OPV)**³⁷: Se trata de polímeros orgánicos capaces de reaccionar y liberar electrones en presencia de luz solar. La particularidad de estos paneles es que se pueden elaborar por medio de procesos de impresión y de recubrimiento a alta velocidad y escalables, como las pinturas en spray (ver Figura 3.3.8) y la impresión de inyección de tinta para cubrir áreas más extensas. Lo que facilita su aplicación sobre superficies metálicas, paredes exteriores de un edificio o techo. De esta manera, es posible conseguirlos a costos mucho más bajos que los tradicionales de silicio.

Los expertos aseguran que gracias a los avances de la nanotecnología se están mejorando sus propiedades de eficiencia y grosor. En el caso de las celdas solares sensibilizadas por tinta, corresponden a unas películas coloreadas o transparentes que pueden instalarse en ventanas. Además poseen baja dependencia a la temperatura y al ángulo de luz, con lo que se puede conseguir la máxima potencia energética durante todo el año.

Figura 3.3.8 Celda Fotovoltaica Orgánica



- **Paneles Fotovoltaicos de película delgada (thin-film)**: se construyen en base a microestructuras CIGS (Cobre Indio Galio Selenio), o CIS en caso de no incluir al Galio, alojadas sobre un soporte flexible y liviano, aptas para ser instaladas sobre techos, fachadas de edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y automóviles. La Figura 3.3.9 muestra dos tipos de láminas de esta tecnología.

Respecto a la energía consumida durante su fabricación, las temperaturas son mucho más bajas, al igual que el impacto ambiental. Según un estudio de Nanosolar, empresa especializada en el desarrollo de este tipo de tecnología, indica que un kilo de CIGS integrado en una celda solar produce cinco veces más electricidad que un kilo de uranio enriquecido integrado en una central nuclear.

³⁷ http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/02/23/183546.php

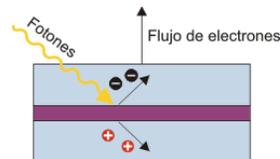
Figura 3.3.9 Láminas Fotovoltaicas de Película Delgada (thin-film)



3.4 FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

El principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos se basa en el efecto fotovoltaico o efecto fotoeléctrico, mediante la captación de fotones provenientes de la luz solar, los cuales inciden con una cierta cantidad de energía en la superficie del panel, esta interacción provoca el desprendimiento de los electrones de los átomos de silicio, rompiendo y atravesando la barrera de potencial de la capa semiconductor (ver Figura 3.4.1). Esto genera una diferencia de potencial en la capa N con respecto a la P. Luego si se conecta una carga eléctrica o elemento de consumo entre los terminales del panel se iniciará una circulación de corriente continua, tal como se puede apreciar en la Figura 3.4.2.

Figura 3.4.1 Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones



El nivel de energía proporcionado por un panel fotovoltaico depende de lo siguiente:

- Tipo de panel y área del mismo
- Nivel de radiación e insolación
- Longitud de onda de la luz solar

Una celda fotovoltaica común de silicio monocristalino de 100 cm² de superficie, puede producir aproximadamente 1.5 Watt de energía, a 0.5 volt (CC) y 3 amperes de corriente bajo condiciones óptimas (luz solar en pleno verano a una radiación de 1000W/m²). La energía entregada por la celda es casi directamente proporcional al nivel de radiación solar.

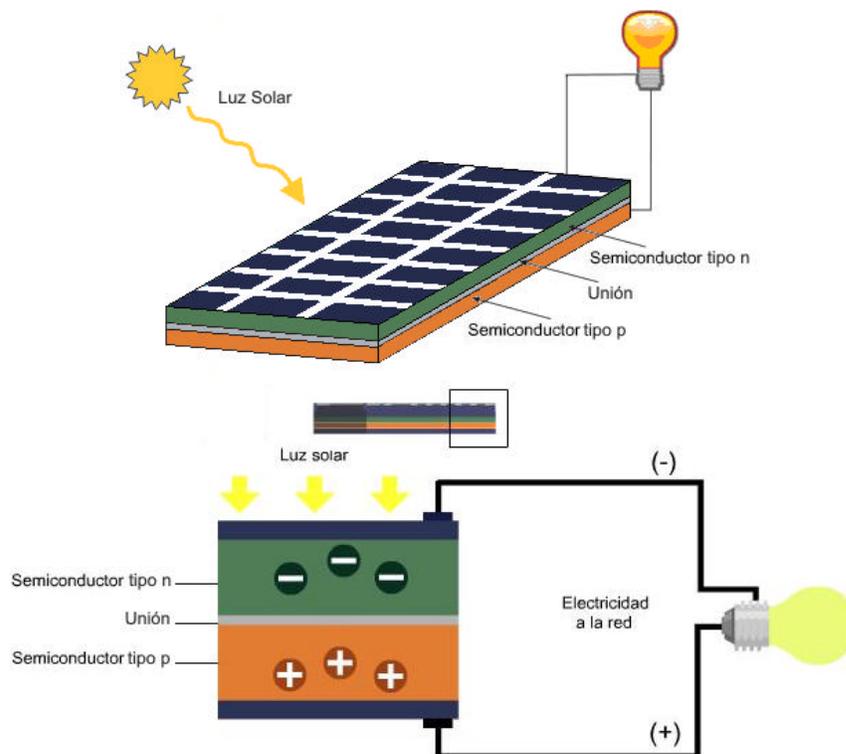
El nivel de potencia de salida por panel es denominado potencia pico, la cual corresponde a la potencia máxima entregable por el conjunto de celdas bajo las siguientes condiciones estándares de prueba (STC: Standard Test Conditions):

- Radiación de 1000 W/m^2
- Temperatura de celda de 25° C (no corresponde a la temperatura ambiente).
- Masa de aire ($AM=1,5$).

Bajo estas condiciones es posible medir los siguientes parámetros:

- **Corriente de corto circuito (I_{sc}):** corresponde a la máxima corriente en amperes generada por cada panel, al conectar una carga de resistencia cero en sus terminales de salida. Su valor depende de la superficie del panel y de la radiación solar.
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):** corresponde al voltaje máximo que genera un panel solar y medido en los terminales de salida cuando no existe carga conectada, es decir, a circuito abierto.

Figura 3.4.2 Esquema de Funcionamiento de un Panel solar



El comportamiento eléctrico de los paneles está dado por las curvas de corriente v/s voltaje (curva IV) o potencia v/s voltaje (curva PV). La curva de potencia esta dada por el producto entre la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV. La Figura 3.4.3 muestra las curvas IV y PV características de un panel típico Solarex VLX-53, disponible comercialmente. Bajo las condiciones estándares de prueba mencionadas anteriormente, cada modelo de panel tiene una curva IV o PV característica. La corriente nominal (I_{mp}) y el voltaje nominal (V_{mp}) del panel se alcanzan en el punto de máxima potencia. Mientras el panel opere fuera del punto de máxima potencia, la potencia de salida será significativamente más baja. La Tabla 3.4.1 muestra los datos entregados por el fabricante de paneles Solarex VLX-53.

Figura 3.4.3 Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m^2 y 25°C

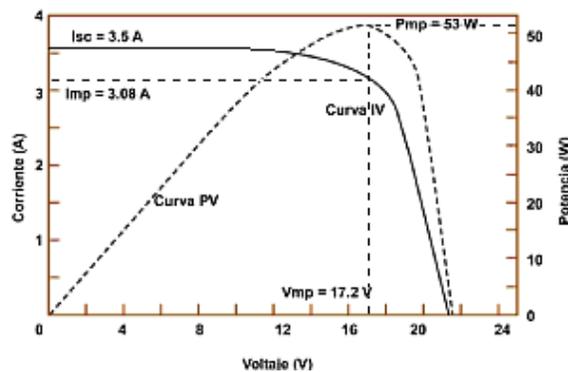


Tabla 3.4.1 Placa de datos entregada por fabricante de un panel Solarex VLX-53

Modelo	VLX-53
Pmp	53 W
Vmp	17,2 V
Imp	3,08 A
Voc	21,5 V
Isc	3,5 A
Condiciones	1000 W/m ² , 25°C

Una característica importante a tener en cuenta de los paneles fotovoltaicos es que el voltaje de salida no depende de su tamaño, ya que frente a cambios en los niveles de radiación incidente tiende a mantener una tensión constante de salida. En cambio la corriente, es casi directamente proporcional a la radiación solar y al tamaño del panel.

Una forma práctica de aumentar la potencia de salida del panel, consiste en instalar sistemas de seguimiento del sol, con el propósito de mantener lo más perpendicular posible el panel frente al sol, o concentrando la luz solar mediante lentes o espejos. El empleo de concentradores debe estar dentro de ciertos límites, ya que un aumento considerable de la temperatura provoca una reducción del voltaje de salida y por ende una reducción de potencia, no así la corriente, que se mantiene relativamente estable.

3.4.1 Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico³⁸

- **Punto de máxima potencia (Pmp):** corresponde a la máxima potencia que el panel puede entregar, la cual se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos en forma simultánea, esto se puede ver en el rectángulo inscrito dentro la curva IV de la Figura 3.4.3, donde el vértice sobre la curva, denominado Pmp, representa el valor de máxima potencia. Este valor se consigue de acuerdo a la Ecuación 3.4.1.

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Ecuación 3.4.1 Punto de Máxima Potencia

- **Eficiencia en la conversión de energía (η , "eta")**

La eficiencia de un panel fotovoltaico, corresponde al porcentaje de energía eléctrica generada en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico. La Ecuación 3.4.2 define la eficiencia (η).

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E \times A_c} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_i}$$

Ecuación 3.4.2 Eficiencia de Conversión de Energía para un PFV

Donde:

- η : representa a la eficiencia de la conversión de la energía.
- **Pmp**: punto de potencia máxima (W).
- **E**: nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m^2), bajo condiciones STC.
- **Ac**: Superficie del panel fotovoltaico (m^2).
- **Pi**: Potencia Recibida por el panel

³⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotovoltaica

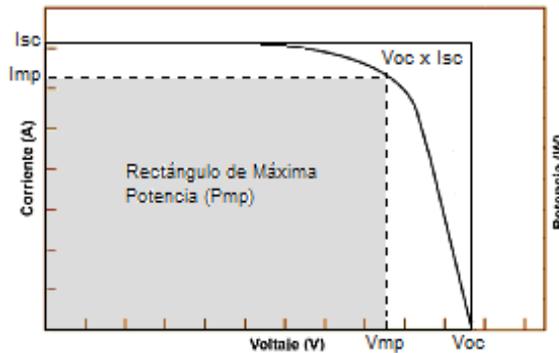
- **Factor de forma (FF)**

También se conoce como Fill Factor en inglés y define la eficacia de un panel solar, relacionando el punto de máxima potencia (Pm), dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto (Voc) y la corriente de cortocircuito (Isc). Esto se muestra en la Ecuación 3.4.3.

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

Ecuación 3.4.3 Factor de Forma para un PFV

Figura 3.4.4 Factor de Forma (FF)

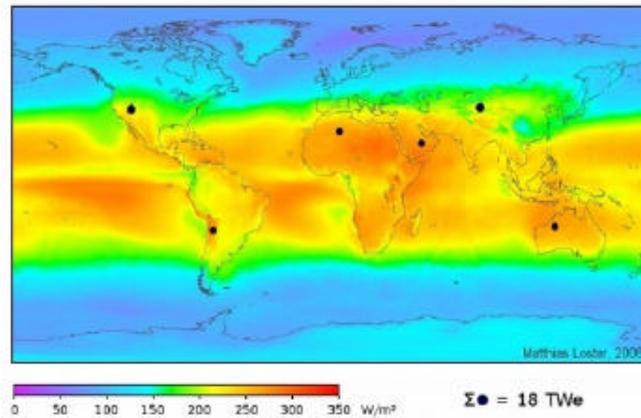


- **Potencia y Costos**

En un día despejado de nubosidad, el Sol irradia cerca de 1 kW/m² a la superficie de la Tierra. Teniendo en cuenta que actualmente la eficiencia de un panel fotovoltaico puede estar entre el 12 y 25%, se alcanzaría una producción de energía aproximada de 120 a 250 W/m², dependiendo eso sí de la insolación solar. La Figura 3.4.5 muestra los niveles de radiación para distintos lugares del mundo, donde se puede observar que la zona norte de nuestro país cuenta con los niveles de radiación más altos del mundo.



Figura 3.4.5 Niveles de Radiación³⁹ Solar en el Mundo



A latitudes medias y septentrionales (regiones del norte), de acuerdo a las estaciones del año y las condiciones atmosféricas, en invierno el nivel de radiación promedio en la superficie terrestre es de 100 W/m² y 250 W/m² en verano. Con paneles de 12% de eficiencia de conversión de la energía, se pueden obtener 12 Watt y 30 Watt respectivamente.

Tomando como referencia un panel de un metro cuadrado de superficie y que entrega en promedio 30 Watt (0,03 KWh), además de un costo de la energía de 135 \$/KWh, se obtiene una generación de \$4,05 hora (\$97,2 día), promedio en la superficie terrestre. Ahora bien, un Km² genera 30 MW (30 KWh) y un equivalente en pesos de 4.050.000 por hora y \$97.200.000 por día.

Para hacer una relación entre lo dicho anteriormente, el desierto de Atacama posee una superficie de 363.000 km², el cual sería capaz de generar una energía cercana a los 10,89 TW (Tera Watt) en total.

Por último, la gran desventaja que poseen los paneles fotovoltaicos, es su alto costo inicial y por lo tanto el proceso de recuperación de la inversión suele ser más lento, se estima en hasta 10 años el periodo de recuperación de la inversión realizada para un sistema convencional, mientras que para una instalación con sistema de seguimiento el periodo aumenta.

³⁹ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Solar_land_area.png

3.4.2 Factores que afectan el rendimiento de un Panel Fotovoltaico^{40 41}.

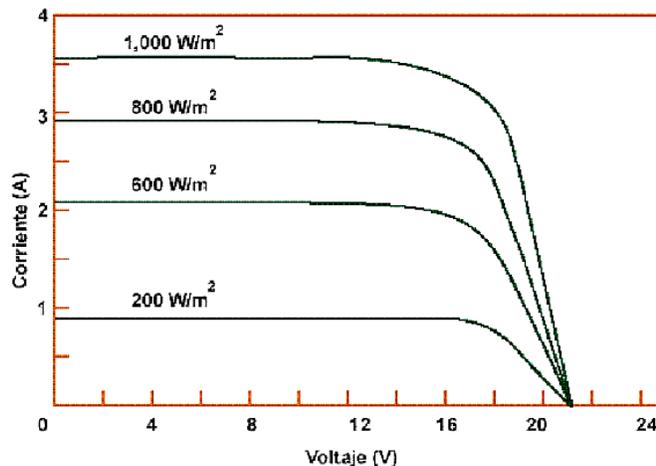
- **Energía de la luz incidente**

Para producir el movimiento de los electrones y generar flujo de corriente, es necesario que el nivel de radiación que incide sobre el panel (fotones) posea una cantidad de energía entre ciertos límites. Debido a que la luz incidente tiene distintas longitudes de onda, cerca del 50% de la radiación recibida no está dentro del margen aceptado por los paneles solares disponibles comercialmente y se pierde, ya sea por poca o demasiada energía. Por otro lado la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja, la Figura 3.4.6 muestra las curvas IV para distintos niveles de radiación.

- **Reflexión**

Este tipo de pérdidas se produce en la superficie del panel, debido a la reflexión de los rayos incidentes. Para disminuir este tipo de pérdidas, en el proceso de fabricación se están utilizando capas antirreflejo y superficies rugosas.

Figura 3.4.6 Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente



⁴⁰ <http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/energia.html>

⁴¹ <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/id.29/re/menu.46>

- **Efecto de la Sombra**

El efecto de sombras sobre los paneles solares, afecta notoriamente el rendimiento de estos, es por esto que se debe procurar al momento de diseñar una instalación fotovoltaica, situar los paneles en lugares donde no sufran este tipo de interferencias. Este efecto es más notorio en instalaciones de paneles conectados en serie, ya que si un panel es sombreado no generará los mismos niveles de energía que los que se encuentran descubiertos, por lo cual consumirá energía, en vez de generarla.

- **Efecto de la orientación e inclinación**

Los paneles solares trabajarán en forma óptima cuando su orientación sea directa hacia el sol, es decir, que el panel se sitúe perpendicularmente hacia el sol. En instalaciones fijas, es imposible mantener el panel perpendicular al sol, por lo cual, el sistema se debe diseñar de tal forma que su instalación permita aprovechar la mayor cantidad de luz posible y en los periodos de mayor radiación.

Para las instalaciones con sistema de seguimiento, este problema tiene menor incidencia, ya que el panel tiende a mantener la perpendicularidad hacia el sol. La Tabla 3.4.2 muestra los valores aceptables para distintos factores de pérdidas.

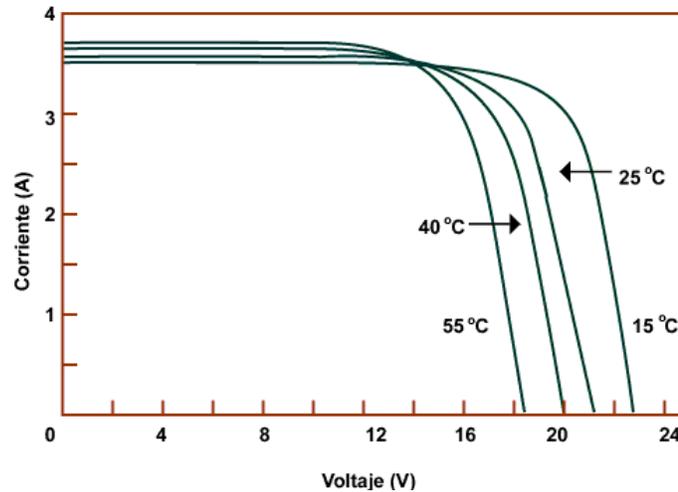
Tabla 3.4.2 Límites aceptables por pérdidas por efecto de la sombra, orientación e inclinación

	Orientación e Inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI+S)
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración Arquitectónica	40%	20%	50%

- **Efecto de la Temperatura**

La temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico. Al aumentar la temperatura, la corriente también tiende a aumentar, pero el voltaje cae notablemente, lo que provoca una disminución de la potencia entregada por el panel, en cambio, al disminuir la temperatura el voltaje tiende a aumentar, pero la corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregada. Se estima que la potencia nominal se reduce aproximadamente un 0.5% por cada grado por sobre de 25 °C. Esto se puede ver en la Figura 3.4.7.

Figura 3.4.7 Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar



3.5 APLICACIONES DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser aplicados tanto en la superficie terrestre como en el espacio.

En el espacio son una forma muy confiable para alimentar de energía a los satélites o sondas espaciales, ya que los niveles de radiación son más elevados por la carencia de obstáculos como la atmósfera.

Por otro lado, las aplicaciones en tierra van desde una simple celda para energizar calculadoras o relojes, hasta complejos sistemas de captación de la energía solar, también llamados parques solares. Las instalaciones pueden ser de dos tipos: conectadas a la red eléctrica, o bien, aisladas de la red eléctrica. Éstas serán descritas más adelante.

La utilización de sistemas auxiliares, como, baterías, inversores o reguladores, han permitido ampliar el campo de aplicación de estos sistemas, ya que como se sabe, los paneles fotovoltaicos entregan por sí solos corriente continua, lo cual imposibilita su utilización directa en sistemas que funcionen en base a corriente alterna.

Actualmente muchos gobiernos están impulsando y motivando a la población para la utilización de sistemas no convencionales en base a energías renovables. Algunos de estos países son: Alemania, Japón, EEUU, España, Grecia, Italia, Francia, etc., los cuales subvencionan las instalaciones con el objetivo de diversificar la matriz de generación y así evitar la dependencia de los sistemas convencionales de generación eléctrica, como por ejemplo: hidroeléctricas o en base a combustibles fósiles. Además de contar con apoyo para la instalación del sistema, para las instalaciones conectadas a la red eléctrica y que tienen la posibilidad de vender parte de la energía generada, los costos pagados por este concepto suelen ser más elevados que por los de generación convencional.

A continuación se listan una serie de aplicaciones, sin necesidad de estar limitadas a ésta.

Figura 3.5.1 Conjunto de paneles solares, Expo 2005 Aichi Japan, Japón



- Centrales conectadas a la red eléctrica con subvención a la producción (para los países que se cuenta con ésta opción).
- Estaciones repetidoras de microondas y de radio.
- Electrificación de zonas alejadas de la red eléctrica.
- Sistemas de comunicaciones de emergencia.
- Sistemas de monitoreo remoto.
- Faros, boyas y balizas de navegación marítima.
- Bombeo para sistemas de riego y agua potable en áreas rurales.
- Balizamiento para protección aeronáutica.
- Sistemas de desalinización.
- Señalización ferroviaria.
- Fuente de energía para naves espaciales.
- Parquímetros, etc.

3.6 CLASIFICACIONES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS ⁴²

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos tipos, según el objetivo que a estas se les designe. El primer tipo corresponde a las instalaciones aisladas de la red eléctrica, las cuales cumplen la función de satisfacer total o parcialmente los requerimientos de energía eléctrica de viviendas o localidades que no cuentan con la prestación de servicio eléctrico de alguna compañía. El segundo tipo corresponde a las instalaciones conectadas a la red eléctrica y tienen por objetivo reducir el consumo de energía eléctrica convencional (de la red), optando por satisfacer la demanda por medio del sistema fotovoltaico y si es posible, entregar a la red eléctrica parte de la energía generada y que no es ocupada en el lugar de la instalación.

3.6.1 Instalaciones aisladas de la red eléctrica

Son utilizadas en sectores alejados, que no tienen acceso a la red eléctrica, generalmente sectores rurales, iluminación de áreas aisladas, antenas de comunicaciones, balizas o boyas de señalización, bombeo de agua, etc. Estos sistemas van acompañados de inversores de corriente, para pasar de corriente continua a corriente alterna, reguladores de voltaje y bancos de baterías que permiten almacenar la energía que no se está utilizando. Esto puede ser apreciado en la Figura 3.6.1.

Las instalaciones aisladas de la red dan lugar a dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

- **El sistema centralizado**

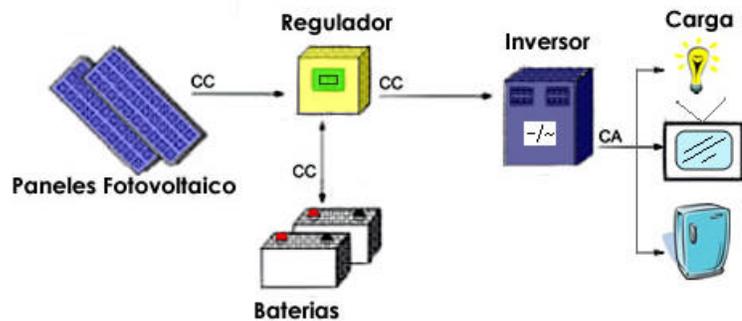
Consiste en un único sistema que cubre las necesidades del conjunto de usuarios. De esta forma se disminuyen los costos del sistema, sin afectar la calidad del suministro.

- **El sistema descentralizado**

Al contrario del sistema centralizado, en este caso se instala individualmente el sistema completo en la vivienda o lugar a energizar. Los costos en este tipo de instalaciones son más altos.

⁴²<http://revistaurbanismo.uchile.cl>

Figura 3.6.1 Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red Eléctrica



3.6.2 Instalaciones conectadas a la red eléctrica

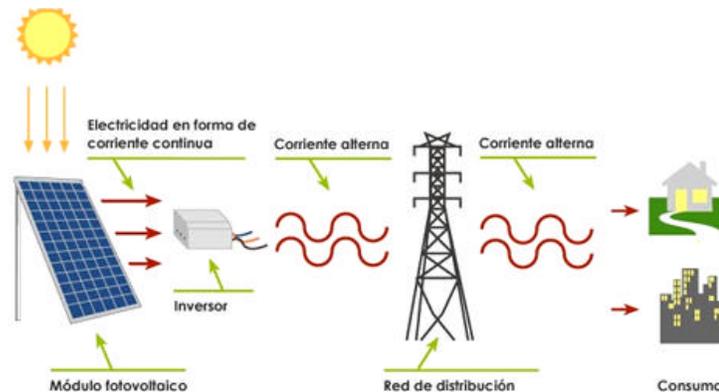
Este tipo de instalaciones se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que en periodos de irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien entregue energía, mientras que en periodos de radiación limitada o nula, sea la red eléctrica quien entregue la electricidad necesaria para satisfacer la demanda.

En el caso de que la energía generada por el sistema sea superior a la demanda localmente, la red eléctrica aceptará todo excedente de energía que no sea utilizado.

Los equipos que forman parte de estas instalaciones son: panel fotovoltaico, inversor de corriente para pasar de CC a CA y un Contador que permita contabilizar la energía producida por el sistema. Para poner en funcionamiento una instalación fotovoltaica de este tipo es necesario contar con un punto de acceso a la red eléctrica, que permitirá entregar la energía generada, este punto de acceso es asignado por la compañía eléctrica del sector donde se realice la instalación.

Si bien es cierto, estas instalaciones en estricto rigor están permanentemente conectadas a la red eléctrica, por lo cual no necesitan de sistemas de conversión y almacenamiento como en el caso de las aisladas, también sería posible utilizarlas como los sistemas aislados, esto en el caso de que sea una instalación pequeña que cubra parcialmente la demanda local y que desee cubrir la energía faltante con la red eléctrica. Para esto, además es necesario utilizar un conmutador que permita realizar el cambio entre la energía entregada por el sistema fotovoltaico a la energía de la red. La Figura 3.6.2 muestra un esquema de instalación conectada a la red.

Figura 3.6.2 Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red Eléctrica⁴³



- **Huerta Solar⁴⁴:** Una huerta solar o también llamada Electranet, es un recinto en el cual distintos dueños o familias instalan y comparten pequeños sistemas fotovoltaicos. La Figura 3.6.3 muestra una huerta solar. Se estima que una instalación fotovoltaica en una superficie de una hectárea, puede entregar energía suficiente para satisfacer los requerimientos de unas 100 familias.

Para una instalación que genere unos 100 KW de energía, es posible recuperar la inversión realizada (incluyendo paneles, bancos de baterías, inversores, reguladores, accesos, cierre perimetral, etc.) en un periodo comprendido entre 12 y 17 años aproximadamente. Además en algunos países se cuenta con el incentivo del gobierno para instalaciones de este tipo, lo cual las hace aún más ventajosas.

3.6.3 Instalaciones Híbridas

En este tipo de instalaciones se combinan los sistemas fotovoltaicos con una o más fuente de energía renovable o no renovable, como por ejemplo: sistemas eólicos, mareomotriz, biomasa, geotermia, generadores, etc. según se muestra en la Figura 3.6.4, aumentando de esta forma la confiabilidad de la instalación, ya se evita la dependencia de la plena de un solo medio de generación, como lo es el fotovoltaico, permitiendo en cambio, la complementación de estos sistemas.

⁴³ <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?id=991&c=6&idm=10&pat=10>

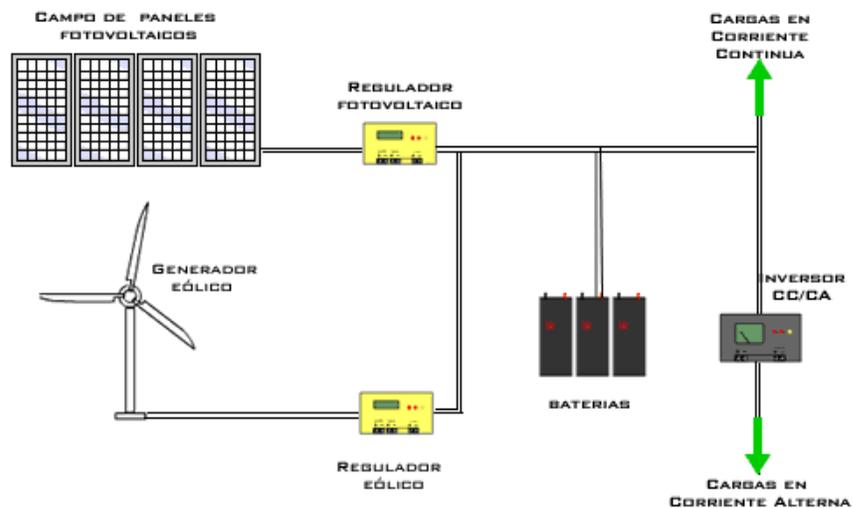
⁴⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Huerta_solar



Figura 3.6.3 Huerta Solar



Figura 3.6.4 Instalación Híbrida Solar-Eólica



3.6.4 Equipos Necesarios para una Instalación Fotovoltaica

- **Paneles fotovoltaicos:** como se ha dicho en reiteradas ocasiones, el panel solar es el encargado de transformar la energía proveniente del sol (fotones), en energía eléctrica (electrones). La tecnología más utilizada en la construcción de paneles solares es la de Silicio Cristalino.

Para instalaciones que demanden una gran cantidad de energía, se debe realizar una interconexión de paneles a fin de lograr la potencia requerida.



- **Regulador:** este equipo cumple la función de controlar el ciclo de carga y descarga del banco de baterías de ciclo profundo, además de protegerlas en caso de una sobrecarga o descarga excesiva. Una sobrecarga además de reducir la vida útil de la batería, genera el riesgo de explosión o incendio de la batería. Para proteger a las baterías, el regulador cierra en forma automática el flujo de corriente eléctrica desde y hacia las baterías, o bien emitiendo una señal visible o sonora.

El conjunto de paneles puede ser desconectado por completo o en forma parcial de las baterías sin perjudicar al sistema. Conforme las baterías van alcanzando su nivel de carga máxima, el regulador desconecta gradualmente el flujo de corriente desde los paneles hacia las baterías.

- **Baterías de ciclo profundo:** están encargadas de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos y son diseñadas para soportar los constantes procesos de carga y descarga, en base a un proceso electroquímico de oxidación/reducción. Una batería de ciclo profundo, en su estado máximo de carga, puede proveer energía eléctrica durante unas 20 horas continuas.

El ciclo corresponde al tiempo que tarda la batería en descargarse a sus niveles mínimos (hasta el 80% de su capacidad total de carga, de ahí el nombre de ciclo profundo) y luego volver a cargarse al 100% de su capacidad.

- **Inversor:** Transforma la corriente continua de baja tensión (12, 24, 32, 36 o 48 v) generada por las placas fotovoltaicas y la acumulada en las baterías, a corriente alterna de una magnitud y frecuencia necesaria, en nuestro caso, 220 Volts y 50 Hz de frecuencia. Esto es necesario para poder utilizar los equipos eléctricos de corriente alterna.

Un inversor está formado por las siguientes etapas:

- Etapa Osciladora: cumple la función de generar los pulsos a una frecuencia similar a la frecuencia de la red eléctrica donde será conectado, en nuestro caso es de 50 Hz, o ciclos por segundo.
- Etapa Amplificadora: está formada por transistores que cumplen la función de amplificar la señal pulsante de la etapa osciladora, a un nivel suficiente como para excitar a la sección elevadora de voltaje.

- Etapa elevadora de Voltaje: un transformador de voltaje se encarga de elevar la tensión a 220 volt para nuestro caso, para que de esta forma se puedan conectar artefactos eléctricos que trabajen a 220 volt y 50 Hz. A la salida se obtiene una señal senoidal de características casi similares a la de la red eléctrica.

3.7 POSICIONAMIENTO Y ORIENTACIÓN DE LOS PFV Y CONDICIONES ÓPTIMAS PARA UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Debido a que los paneles solares fotovoltaicos basan su funcionamiento en la luz y energía proveniente del sol, la energía eléctrica entregada será proporcional a la cantidad de luz que reciban sobre su superficie captadora. Es por esto que mientras mayor sea la energía irradiada sobre el panel, mayor será la cantidad de energía eléctrica que se obtenga a su salida. En el caso de nuestro país, las condiciones son variadas según muestra la Tabla 3.7.1, la zona norte cuenta con las mejores condiciones de irradiación a lo largo de todo el país, siendo la zona sur Antártica la que posee la menor irradiación.

Tabla 3.7.1 Radiación⁴⁵ Solar en Chile

Región	Radiación Solar [kcal/(m ² día)]	Radiación Solar [kWh/(m ² día)]	Radiación Solar [kWh/(m ² año)]
I	4.554	5,3	1.933,2
II	4.828	5,6	2.049,5
III	4.346	5,1	1.844,9
IV	4.258	5,0	1.807,5
V	3.520	4,1	1.494,2
VI	3.676	4,3	1.560,4
VII	3.672	4,3	1.558,7
VIII	3.475	4,0	1.475,1
IX	3.076	3,6	1.305,7
X	2.626	3,1	1.114,7
XI	2.603	3,0	1.105,0
XII	2.107	2,5	894,4
RM	3.570	4,2	1.515,4
Antártica	1.563	1,8	663,5

Las mejores condiciones de funcionamiento para un panel fotovoltaico estarán dadas en días despejados, con alto nivel de irradiación directa, con la superficie captadora perpendicular al sol, sin objetos que se interpongan en la trayectoria de la luz (sombras de árboles, edificios, suciedad del panel, etc.) y con amplios periodos de insolación. La respuesta o cantidad de energía entregada por el panel dependerá directamente de la eficiencia del mismo, lo cual a su vez depende de la tecnología con que fue construido.

⁴⁵ Laboratorio de Estudios Solarimétricos UTFSM

Por otro lado un panel solar generará electricidad incluso en ausencia de luz solar directa, lo que significa que en días nublados también habrá generación de electricidad, pero como se dijo anteriormente, las condiciones óptimas de operación implican la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol, con el fin de aprovechar al máximo la luz solar directa. Es por esto que en el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y en el Hemisferio Sur, hacia el norte. En nuestro país deben ser orientados hacia el norte para aprovechar la mayor cantidad de horas de luz. Además el panel deberá instalarse con un cierto ángulo de inclinación medido entre el panel y el plano horizontal, para que la irradiación incidente se lo más uniforme y perpendicular al panel, esta inclinación dependerá de la latitud de la zona donde se instalarán los paneles y de la estación del año. En zonas cercanas al ecuador el panel es instalado casi en forma horizontal al plano de la tierra.

Algunas recomendaciones acerca de la instalación apuntan a que se debe tomar como referencia el punto de mayor producción durante la estación de invierno, lo cual asegurará un óptimo funcionamiento durante el resto del año.

Una forma de aprovechar mejor la energía solar, aunque más cara, es instalando sistemas de seguimiento del sol. Para esto el panel se monta sobre una plataforma móvil que permite seguir la trayectoria del sol en forma automática.

Una pequeña desviación en la orientación no influye significativamente en la generación de electricidad, ya que durante el día el sol se traslada en el cielo de este a oeste.

A continuación se mencionan algunos factores a tener en cuenta para la instalación de paneles fotovoltaicos:

- **Masa de Aire (AM):** esta determinada por la posición relativa del sol respecto a la horizontal de un lugar de la tierra en particular. Dicho de otra forma, se relaciona con el ángulo de incidencia del sol respecto al cenit. La Masa de Aire se representa por la Ecuación 3.7.1 y la Figura 3.7.1 lo muestra en forma gráfica.

$$AM = \frac{1}{\cos \alpha}$$

Ecuación 3.7.1 Masa de Aire

- **Cenit⁴⁶ (zenit o cénit):** corresponde a la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. Es el punto más alto del cielo o Bóveda Celeste. El punto diametralmente opuesto de la esfera celeste al cenit se denomina nadir. Esto se observa en la Figura 3.7.2.

Figura 3.7.1 Masa de Aire entre el Sol y la Superficie Captadora

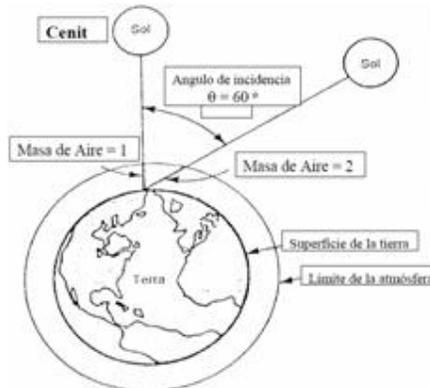
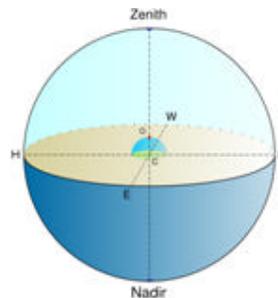


Figura 3.7.2 Representación del Cenit y Nadir



- **Inclinación (β):** Angulo entre el panel solar y el plano horizontal. Este ángulo será de gran importancia para una buena instalación. Dependerá directamente de la latitud del lugar y de la estación del año. (ver Figura 3.7.3)
- **Angulo acimutal⁴⁷ (α):** En astronomía es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Norte (Sur) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj (Norte-Este-Sur-Oeste).

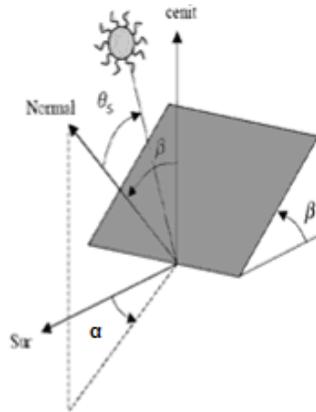
Por proyección vertical entendemos el corte con el horizonte que tiene el círculo máximo que pasa por el cenit y el sol (ver Figura 3.7.3).

⁴⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Cenit>

⁴⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Acimut>



Figura 3.7.3 Ángulos de Inclinación (β) y Acimut (α)



3.7.1 Condiciones de la ciudad de Valdivia^{48 49}

La ciudad de Valdivia se ubica en la Décima Cuarta Región de Los Ríos, en los 39° 38' de latitud sur, con 73° 5' de longitud oeste, a una altitud media de 19 metros. Se caracteriza por su clima templado lluvioso, con influencia mediterránea, cuyas características son una humedad relativa alta, bajas temperaturas y alto registro pluviométrico anual.

Las características de radiación solar para las localidades de Pullinque, Valdivia, Huilo Huilo, Lago Chapo, Isla Guafo y Alto Palena, de la Décima Región son indicadas en la Tabla 3.7.2, en esta se puede apreciar los mayores niveles de radiación se producen entre los meses de octubre y marzo, siendo diciembre el mes en que se concentra la radiación más alta. El Gráfico 3.7.1 representa el promedio de radiación para la región.

Tabla 3.7.2 Irradiación Global Mensual y Anual para la Décima Región (KWh/m²)

IRRADIACION GLOBAL MENSUAL Y ANUAL, EN PLANO HORIZONTAL, PARA LA X REGIÓN (KWh/m ²)													
X Región	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Pullinque	164,8	124,1	105,5	65,3	31,5	26,6	30,8	51,8	84,5	119,7	143,1	167,3	1115,0
Valdivia	195,4	180,2	128,0	75,4	43,8	29,1	37,2	59,6	94,6	133,4	135,5	187,5	1216,2
Huilo Huilo	175,6	142,8	123,1	72,9	38,0	28,2	32,0	57,2	84,4	127,0	155,9	179,2	1216,2
Lago Chapo	149,5	123,1	102,1	65,1	32,6	24,9	28,8	47,0	73,8	105,6	129,9	155,8	1038,3
Isla Huafo	138,1	100,8	89,7	67,8	20,6	12,7	10,3	22,2	64,6	107,7	124,6	159,8	891,0
Alto Palena	186,0	147,5	118,2	72,6	38,7	30,2	34,4	60,0	96,9	145,4	175,6	190,2	1295,8
Promedio	168,2	136,4	111,1	69,9	34,2	25,3	28,9	49,6	83,1	123,1	144,1	173,3	1128,7

⁴⁸ <http://www.labsolar.utfsm.cl/images/stories/RegistroSolarimetrico.pdf>

⁴⁹ Elementos para la Creación de un Manual de Buenas Prácticas para Instalaciones Solares Térmicas Domiciliarias, Hans Christian Petersen Oehninger



Gráfico 3.7.1 Promedio de Irradiación Mensual, para la Décima Región (KWh/m²)

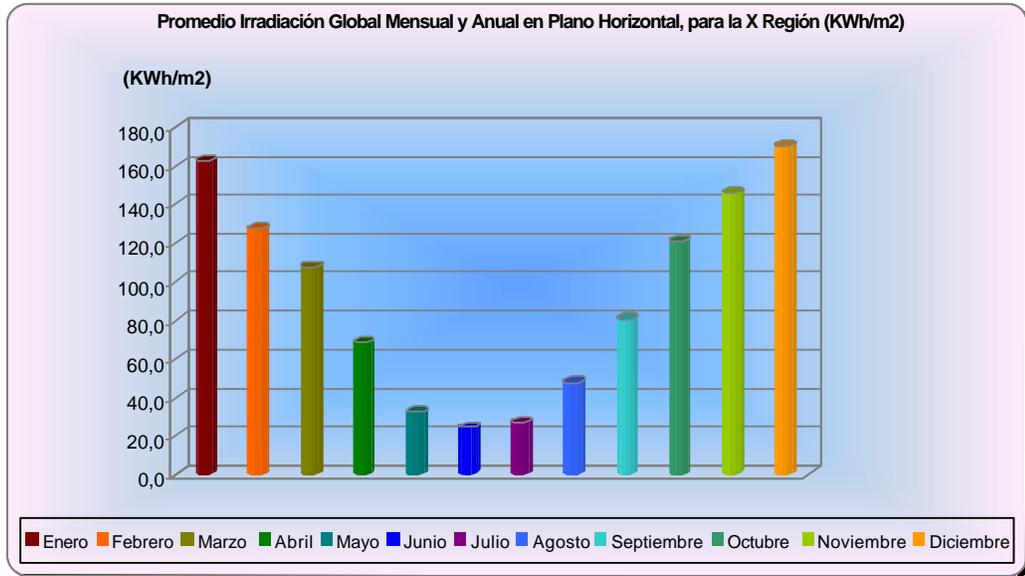
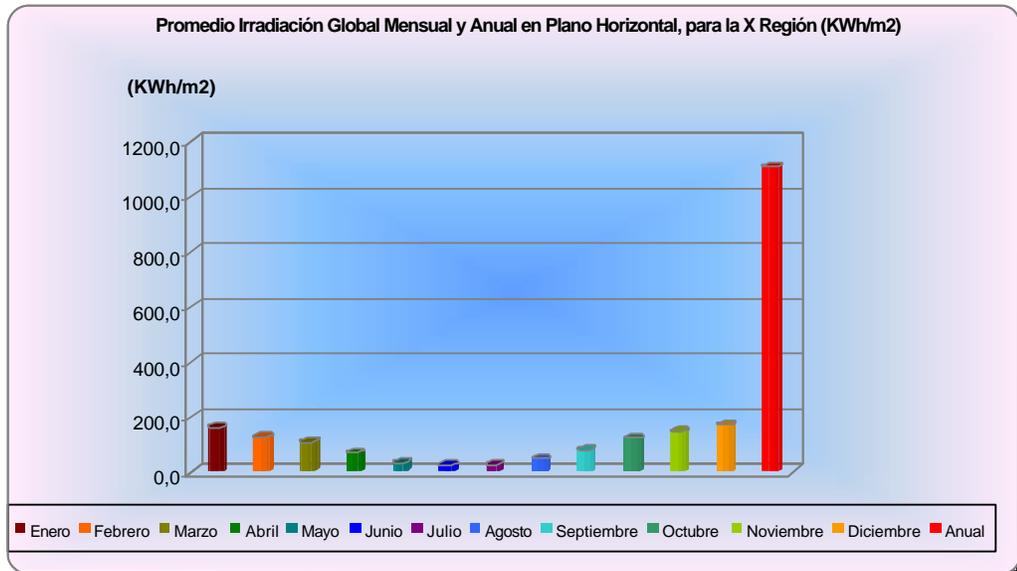


Gráfico 3.7.2 Promedio de Irradiación Mensual y Anual para la Décima Región



3.8 MANTENIMIENTO⁵⁰ DE LA INSTALACIÓN

- Los paneles fotovoltaicos generalmente no requieren de mantenimiento, pero se debe tener presente que la superficie del panel esté siempre limpia y libre de sombras (árboles u otro obstáculo que impida la incidencia directa de la luz sobre el panel).
- El regulador de carga no requiere ningún mantenimiento.
- Para el caso de la batería, si es del tipo de Plomo-ácido no sellada, debe controlarse el nivel del líquido una vez al año. Además se debe evitar que los bornes de conexión se sulfaten. Hay que instalar la batería en lugares suficientemente sombreados y ventilados.
- El cableado del sistema se debe mantener en perfectas condiciones, a fin de evitar sobrecalentamiento de los conductores, para lo cual es recomendable realizar inspecciones periódicas.

3.9 BENEFICIOS DE UNA VIVIENDA DOTADA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO⁵¹

Los principales beneficios son:

- Capacidad de independencia de la red eléctrica (hasta en un 100%).
- Puede entregar energía eléctrica en sectores remotos, donde no exista servicio eléctrico.
- Es una alternativa en caso de crisis energética, además es una ayuda frente a los incrementos del costo de la energía.
- Dependiendo del tamaño de la instalación, se puede transformar en un a fuente de ingresos, por el concepto de venta de energía.
- Fuente de generación limpia y renovable. Reduce el efecto invernadero, no produce contaminación térmica ni emisiones de CO₂.
- Instalación relativamente rápida.
- Es posible instalarlos en cualquier lugar donde se disponga de luz solar.
- Baja mantención.
- Bajo impacto visual.

⁵⁰ www.solarco.cl

⁵¹ <http://www.solarenergy.cl/Fotovoltaico.html>



- Vida útil de aproximadamente 25 años .
- Resistencia al Agua.
- Integración con la conexión a la red eléctrica.
- Posibilidad de monitoreo.

4.0 CAPITULO 4: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN ALIMENTADO POR PANELES FV, UTILIZANDO AMPOLLETAS LED

4.1 CÁLCULO DE ILUMINACIÓN

El diseño del sistema de iluminación se realizará para una casa que consta de dos dormitorios, un living / comedor, una cocina y un baño, además de un pequeño pasillo. La planta de la casa es mostrada en la Figura 4.1.1, la cual además de mostrar las dimensiones, muestra la Iluminancia mantenida (E) necesaria para cada una de las habitaciones (planta sin escala).

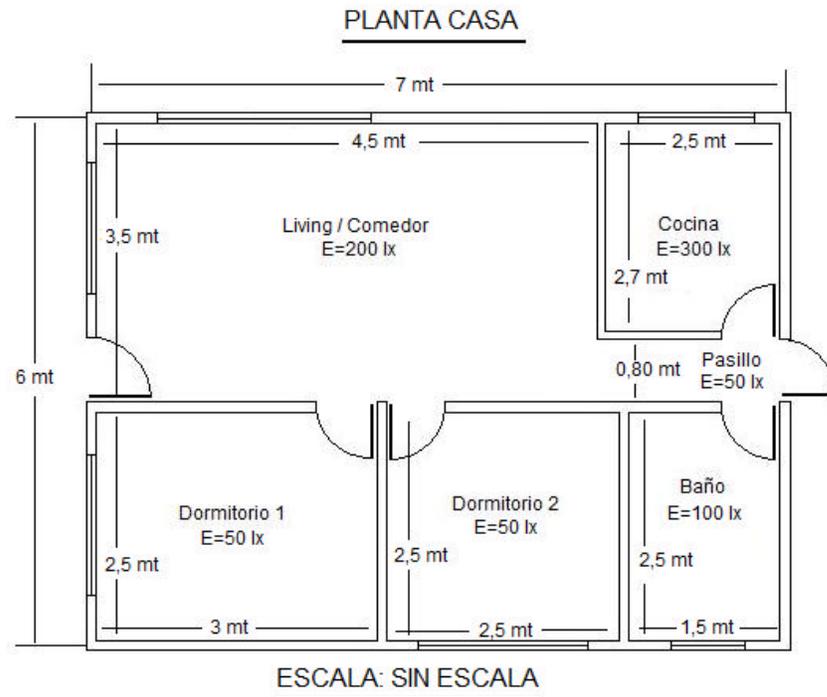
Los niveles de Iluminancia mantenida, fueron extraídos del Manual de Iluminación de Philips Iluminación, en base a recomendaciones realizadas por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación), y corresponden a las mínimas iluminancias admisibles para cada aplicación.

Para realizar los cálculos de iluminación, se utilizará el método del flujo total para el cálculo del alumbrado de interiores, para lo cual es necesario definir lo siguiente:

- E: iluminancia promedio que se pretende (Lux)
- F_l : flujo lumínico de la lámpara que se desea utilizar (Lumen)
- S: superficie de la habitación (m^2)
- μ : factor de utilización, el cual indica la eficiencia luminosa del conjunto lámpara, luminaria y local, por lo tanto depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice del local (K), del factor de reflexión del techo, piso y paredes de la habitación.



Figura 4.1.1 Planta Casa



$$\mu = \eta_L * \eta_R$$

Ecuación 4.1.1 Factor de Utilización

- K: índice del local, el cual corresponde a un relación entre las dimensiones del local, se calcula utilizando las dimensiones de la habitación, esto es: ancho (A), largo (L) y altura (H) de las luminarias sobre el plano de trabajo, esto se muestra en la Ecuación 4.1.2, la cual se utiliza para distribución con luz directa, semi-directa y mixta.

$$K = \frac{A * B}{H (A + B)}$$

Ecuación 4.1.2 Índice de Local (K) para Iluminación Directa

$$K = \frac{3 * A * B}{2H'(A + B)}$$

Ecuación 4.1.3 Índice de Local (K) para Iluminación Indirecta

Donde:

- A: Ancho del Local
- B: Largo del Local
- H: Plano base útil o altura de las luminarias sobre el plano de trabajo
- H': Distancia del techo al plano de trabajo

Luego, la reflexión de la luz en las paredes, cielorraso y piso del local, incide directamente sobre el factor de utilización. Esta reflectancia es representada por un número de 4 dígitos, los cuales representan la reflexión del cielorraso, friso (para superior de la pared, sobre la horizontal de la lámpara), las paredes y el piso. En caso de no existir friso se utiliza un número de 3 dígitos. Para nuestro caso utilizaremos la combinación 851, la cual corresponde a una reflectancia de 0,8 para el cielorraso (blanco), 0,5 para las paredes (crema) y 0,1 para el piso (madera oscura). Los valores de reflectancia para distintos materiales se pueden observar en la Tabla 4.1.2.

Finalmente, y de acuerdo al valor del índice del local y de la reflectancia del mismo, se puede escoger desde una tabla el factor de utilización. En la Tabla 4.1.1 se muestra un ejemplo de una tabla de factor de utilización.

Tabla 4.1.1 Factor de utilización⁵² en función de las características del local (cielo/pared/piso)

Cielo	80%		
Pared	80%	50%	30%
Piso	10%		
K	Luz Directa		
0,6	0,890	0,730	0,700
0,8	0,940	0,780	0,770
1	0,980	0,830	0,820
1,25	0,101	0,900	0,860
1,5	0,103	0,930	0,890
2	0,105	0,970	0,930
2,5	0,105	0,990	0,960
3	0,106	0,100	0,980
4	0,106	0,102	0,100
5	0,107	0,103	0,101

⁵² Manual de Luminotecnia OSRAM



Tabla 4.1.2 Reflectancia para diversos materiales y terminaciones

Material o Terminación	Reflectancia (%)	Material o Terminación	Reflectancia (%)
Mortero Claro	0,35 - 0,55	Seda Blanca	0,28 - 0,38
Mortero Oscuro	0,2 - 0,3	Seda de Color	0,2 - 0,1
Hormigón Claro	0,3 - 0,5	Blanco	0,7 - 0,85
Hormigón Oscuro	0,15 - 0,25	Negro	0,03 - 0,07
Arenisca Clara	0,3 - 0,4	Gris Claro	0,4 - 0,5
Arenisca Oscura	0,15 - 0,25	Gris Oscuro	0,1 - 0,2
Ladrillo Claro	0,3 - 0,4	Amarillo	0,5
Ladrillo Oscuro	0,15 - 0,25	Beige	0,45
Mármol Blanco	0,6 - 0,7	Crema	0,5 - 0,75
Granito	0,15 - 0,25	Marrón Claro	0,3 - 0,4
Madera Clara	0,3 - 0,5	Marrón Oscuro	0,1 - 0,2
Madera Oscura	0,1 - 0,25	Rosa	0,5 - 0,55
Espejo Plateado	0,8 - 0,9	Rojo Claro	0,3 - 0,4
Aluminio Mate	0,55 - 0,6	Rojo Oscuro	0,1 - 0,2
Aluminio Brillante	0,8 - 0,85	Verde Claro	0,45 - 0,65
Acero Inoxidable	0,65 - 0,65	Verde Oscuro	0,1 - 0,2
Cielo Acústico	0,5 - 0,65	Azul Claro	0,4 - 0,55
Vidrio Opaco Negro	0,5	Azul Oscuro	0,05 - 0,15

Una vez conocidos los valores del índice del local y el factor de utilización, es posible determinar el flujo luminoso requerido para cada habitación en particular, para esto debemos definir el factor de mantenimiento (M) del sistema de iluminación, el cual corresponde a la relación entre el iluminancia producida al final del periodo de mantenimiento y la iluminancia producida cuando el sistema es nuevo. Generalmente este factor es igual a 0,8, es decir, la iluminancia al final del periodo del sistema, ha decaído en un 20% de la iluminancia inicial. Para este diseño se utilizará el factor de mantenimiento de 0,8.

El flujo luminoso total (F_{Total}) es calculado según la Ecuación 4.1.4

$$\phi_{Total} = \frac{E * S}{\mu * M}$$

Ecuación 4.1.4 Flujo total para una habitación

Donde (E) corresponde a la iluminancia mantenida (lux), recomendada por la CIE, para distintos locales. Los niveles de iluminancia para cada habitación, son indicados en el plano de la planta de la casa.

Luego el número de lámparas necesarias se determina de acuerdo a la Ecuación 4.1.5.

$$N_L = \frac{\phi_{Total}}{\phi_{Lámpara}}$$

Ecuación 4.1.5 Cálculo del número de lámparas

4.1.1 Cálculo de iluminación por habitación

- Dormitorio N°1

$$K = \frac{3 * 2,5}{1,45(3 + 2,5)} = 0,94$$

De acuerdo a este resultado, buscamos el valor de K más próximo al obtenido y de acuerdo al parámetro de reflectancia del local, hacemos la intersección entre ambas para encontrar el factor de utilización del local, el cual corresponde para este caso a:

$$\mu = 0,83$$

Entonces el flujo total será:

$$\phi_{Total} = \frac{50 * (3 * 2,5)}{0,83 * 0,8} = 565 \text{ (lm)}$$

Con este valor de flujo luminoso, es posible determinar el número de lámparas necesarias. Las lámparas seleccionadas para los cálculos, corresponden a ampollitas LED de 1,8 Watt, con un flujo luminoso de 120 lumens y una eficiencia aproximada de 67 lm/W, luz blanca. Por lo tanto, el número de lámparas será:

$$N_L = \frac{565}{120} = 4,7 \approx 5$$

Finalmente la potencia necesaria para alimentar las 5 ampollitas será:

$$P = P_{Lámpara} * N_L$$

$$P = 1,8 * 5 = 9 \text{ (W)}$$



- **Dormitorio N°2**

$$K = \frac{2,5 * 2,5}{1,45(2,5 + 2,5)} = 0,86$$

$$\mu = 0,78$$

$$\phi_{Total} = \frac{50 * (2,5 * 2,5)}{0,78 * 0,8} = 500 \text{ (lm)}$$

$$N_L = \frac{500}{120} = 4,1 \approx 4$$

$$P = 1,8 * 4 = 7,2 \text{ (W)}$$

- **Baño**

$$K = \frac{1,5 * 2,5}{1,45(1,5 + 2,5)} = 0,65$$

$$\mu = 0,73$$

$$\phi_{Total} = \frac{100 * (1,5 * 2,5)}{0,73 * 0,8} = 642 \text{ (lm)}$$

$$N_L = \frac{642}{120} = 5,35 \approx 5$$

$$P = 1,8 * 5 = 9 \text{ (W)}$$

- **Cocina**

$$K = \frac{2,7 * 2,5}{1,45(2,7 + 2,5)} = 0,9$$

$$\mu = 0,83$$

$$\phi_{Total} = \frac{300 * (2,7 * 2,5)}{0,83 * 0,8} = 3050 \text{ (lm)}$$

Para este caso y para el próximo se utilizarán ampolletas LED de 4 W, 320 lumens y una eficiencia de 80 lm/W, esto se debe a la gran cantidad de flujo luminoso requerido.



$$N_L = \frac{3050}{320} = 9,5 \approx 10$$

$$P = 4 * 10 = 40 \text{ (W)}$$

- **Living / Comedor**

$$K = \frac{4,5 * 3,5}{1,45(4,5 + 3,5)} = 1,36$$

$$\mu = 0,93$$

$$\phi_{Total} = \frac{100 * (4,5 * 3,5)}{0,93 * 0,8} = 2116 \text{ (lm)}$$

$$N_L = \frac{2116}{320} = 6,6 \approx 7$$

$$P = 4 * 7 = 28 \text{ (W)}$$

- **Pasillo**

$$K = \frac{2,5 * 0,8}{1,45(2,5 + 0,8)} = 0,4$$

$$\mu = 0,73$$

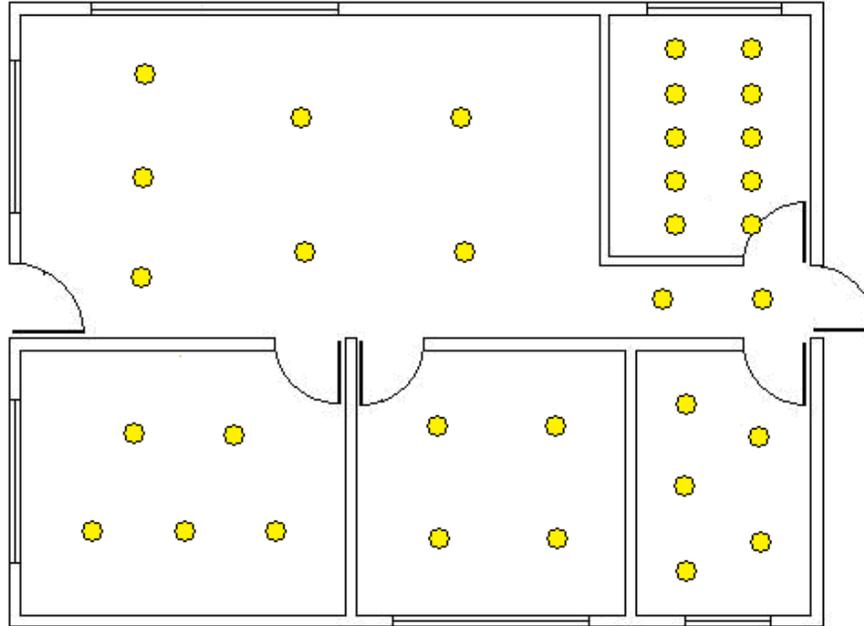
$$\phi_{Total} = \frac{50 * (2,5 * 0,8)}{0,73 * 0,8} = 171 \text{ (lm)}$$

$$N_L = \frac{171}{120} = 1,43 \approx 2$$

$$P = 1,8 * 2 = 3,6 \text{ (W)}$$

La disposición de las lámparas puede ser como se muestra en la Figura 4.1.2

Figura 4.1.2 Disposición de las lámparas



4.2 CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

4.2.1 Determinación de la Potencia de Consumo para el Sistema de Iluminación^{53 54}

En la Tabla 4.2.1 se describen los distintos consumos de iluminación para cada una de las habitaciones del hogar donde se desea implementar el sistema. La sumatoria de consumos de energía alcanza un valor aproximado de 96,8 W, a este valor debemos aplicar un factor de diversidad, el cual representa una estimación de la porción de artefactos que se encuentran en funcionamiento en forma simultánea. Para este caso utilizaremos un factor de diversidad igual a un 70%, es decir, se estima que se utilizará en forma simultánea un 70% del consumo total considerado por concepto de iluminación, lo cual corresponde a un consumo aproximado de 68 W.

⁵³ www.diegonate.es (Diseño de un Instalación Fotovoltaica)

⁵⁴ www.idae.es (Instalaciones de Energía Fotovoltaica)



Tabla 4.2.1 Estimación de Consumos de Iluminación

Estimación de Consumos Energéticos	
Descripción	Consumo (KW)
Living / Comedor	0,028
Cocina	0,04
Baño	0,009
Luz Dormitorio 1	0,009
Luz Dormitorio 2	0,0072
Pasillo	0,0036
Consumo Total	0,0968
Factor de Diversidad	0,7
Consumo Estimado	0,068

Una vez estimado el consumo energético total teórico de iluminación (E_T (Wh)), es necesario calcular el consumo real (E) que tendrá la casa una vez realizada la instalación fotovoltaica, esto es, considerando además el consumo de los equipos propios de la instalación (inversor, baterías, otros), producto de las pérdidas asociadas al funcionamiento. Para esto, se utilizará la Ecuación 4.2.1:

$$E = \frac{E_T}{R} (Wh)$$

Ecuación 4.2.1 Consumo Energético Real

Donde R corresponde al factor de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, y se calcula según la Ecuación 4.2.2:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{k_a * N}{P_d} \right)$$

Ecuación 4.2.2 Factor de Rendimiento Global de la Instalación Fotovoltaica

Donde los factores de la Ecuación 4.2.2 son los siguientes:

- k_b : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del banco de baterías
 - 0,05 en sistemas que no demanden descargas profundas
 - 0,1 en sistemas con descargas profundas

- k_c : Coeficiente de pérdidas en el inversor
 - 0,05 para inversores senoidales puros, trabajando en régimen nominal
 - 0,1 para inversores trabajando fuera del régimen nominal
- k_v : Coeficiente de pérdidas varias (pérdidas en conductores, efecto joule, etc.)
 - se consideran valores de referencia entre 0,05 y 0,15
- k_a : Coeficiente de auto-descarga diario
 - 0,002 para baterías de baja auto-descarga Ni-Cd
 - 0,005 para baterías estacionarias de Pb-ácido
 - 0,012 para baterías de alta auto-descarga (arranque de vehículos)
- N: número de días de autonomía de la instalación
 - Días en que la instalación trabajará bajo condiciones de irradiación mínimas (días nublados continuos), se consumirá más energía de la que se genera.
- p_d : Profundidad de descarga diaria de la batería
 - no deberá exceder el 80% de su capacidad nominal, a fin de evitar afectar la vida útil del banco de baterías.

Los valores utilizados para los cálculos son los siguientes:

- k_b : 0,1
- k_c : 0,05
- k_v : 0,05
- k_a : 0,005
- N: 4
- p_d : 0,7

Por lo tanto, y según la Ecuación 4.2.2, el rendimiento de la instalación será:

$$R = (1 - 0,1 - 0,05 - 0,05) * \left(1 - \frac{0,005 * 4}{0,7} \right) = 0,777$$

De acuerdo a lo anterior la energía real consumida (E) será:

$$E = \frac{68}{0,777} = 87,5(Wh)$$

4.2.2 Cálculo del Banco de Baterías

Ya conocido el valor real del consumo energético de la instalación es posible calcular la capacidad del banco de baterías (C_{Bat}) necesario para acumular la energía generada por el sistema, esto se hará de acuerdo a la Ecuación 4.2.3:

$$C_{Bat} = \frac{E * N}{V * p_d}$$

Ecuación 4.2.3 Capacidad del Banco de Baterías

Donde V corresponde al voltaje nominal de la batería.

Por lo tanto, la capacidad del banco de baterías es:

$$C_{Bat} = \frac{87,5 * 4}{12 * 0,7} = 41,6(Ah)$$

4.2.3 Cálculo de los Paneles Solares

Como ya se obtuvo la capacidad del banco de baterías, se esta en condiciones de calcular la cantidad de paneles solares necesarios para la instalación. Para esto se hará uso de los datos obtenidos de la irradiación solar diaria promedio de la Ciudad de Valdivia, los cuales don indicados en la Tabla 4.2.2.

Tabla 4.2.2 Irradiación Solar Mensual para la Ciudad de Valdivia

IRRADIACION DIARIA PARA LA CIUDAD DE VALDIVIA (KWh/m ² día)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6,5	6,0	4,3	2,5	1,5	1,0	1,2	2,0	3,2	4,4	4,5	6,3

A los datos indicados en la Tabla 4.2.2, se le deberán descontar las pérdidas de Radiación por concepto de Orientación e Inclinación de los paneles, junto con las pérdidas por sombras.

Antes de realizar los cálculos, es necesario indicar algunos datos mínimos para realizar el diseño, estos son:

- Latitud (F): 39°38' Sur
 - Longitud: 73°15' Oeste
 - Elevación: 14 metros
- Cálculo de Pérdidas por Orientación e Inclinación

Para realizar estos cálculos, primero se deben estimar los valores de elevación y acimut de los paneles y luego comprobar si estos valores están dentro de los límites indicados en la Tabla 3.4.2, esto se puede hacer de acuerdo a ciertas recomendaciones para el diseño de instalaciones fotovoltaicas. Por ejemplo, la elevación de los paneles puede ser de +/- 10° la latitud del lugar donde se realizará la instalación, mientras que la orientación para el hemisferio sur, es apuntando hacia el norte. Es de acuerdo a estas recomendaciones que los valores estimados son los siguientes:

- Inclinación de los Paneles (β): 40°
- Acimut (α): 0°

Nota: los paneles serán montados sobre la techumbre de la casa en la cual se pretende realizar la instalación, la cual tiene una inclinación cercana a los 40° y se ubica mirando en dirección norte.

Para determinar si la inclinación y orientación estimadas se encuentran dentro de los límites aceptables, se debe recurrir a la Figura 4.2.1, en esta, los distintos anillos de color indican distintos niveles de pérdidas, así el primer anillo de color blanco corresponde a una pérdida del 0%, el segundo indica pérdidas entre el 0 y 5%, el siguiente entre 5 y 10%, el cual corresponde al anillo de nuestro interés, ya que como se ha dicho, las pérdidas por este concepto no deberán superar el 10%. Pues bien, en el diagrama se debe ubicar el valor de acimut 0°, la cual corresponde exactamente a la dirección norte, luego se identifica el anillo que indica el 10% de pérdidas, este corresponde al anillo de color amarillo de borde negro. La intersección de la recta de acimut con los límites de pérdidas, nos indican los valores de inclinación máxima y mínima. En caso de no existir intersección entre ambas, significa que las pérdidas están fuera de las aceptadas. Se observa que la recta acimut interseca al anillo amarillo para una inclinación mínima de 10° y máxima de 80°. Estos valores deben ser corregidos de acuerdo a las Ecuaciones 4.2.4, en función de la diferencia entre la latitud del lugar y la de 39°.

Inclinación máxima = Inclinación límite máx. ($\Phi = 39^\circ$) – (39° – latitud del lugar)

Inclinación mínima = Inclinación límite mín. ($\Phi = 39^\circ$) – (39° – latitud del lugar), siendo 0° su valor mínimo.

Ecuaciones 4.2.4 Corrección de los Límites Aceptables de Orientación e Inclinación

De acuerdo a las Ecuaciones 4.2.4 nuestros límites serán los siguientes:

$$\text{Inclinación máxima} = 80^\circ - (39^\circ - 39,63^\circ) = 80,63^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima} = 10^\circ - (39^\circ - 39,63^\circ) = 10,63^\circ$$

Por lo tanto, la inclinación y orientación estimadas, están dentro de los valores aceptados. Ahora bien, como método de comprobación se utilizarán las Ecuaciones 4.2.5, las que son utilizadas en caso donde los valores se encuentran cerca del límite, estas nos servirán además para estimar el porcentaje de pérdidas de nuestra instalación.

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \Phi + 10)^2] \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - F + 10)^2 + 3,5 \times 10^{-5} a] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

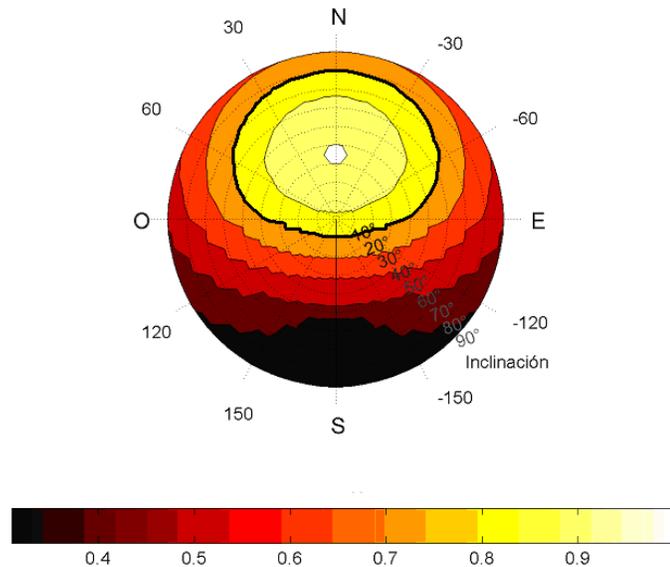
Ecuaciones 4.2.5 Estimación del Porcentaje de Pérdidas

En nuestro caso utilizaremos la primera ecuación, ya que la inclinación es de 40° , por lo que las pérdidas serán:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (40 - 39,63 + 10)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \cdot 0^2] = 1,3\%$$

Con el valor anterior comprobamos que nuestra estimación no solo está dentro de los límites aceptables, sino que también es un valor muy bajo.

Figura 4.2.1 Diagrama Polar de Pérdidas por Orientación e Inclinación para Latitud 39° Sur



- Cálculo de Pérdidas por Sombras

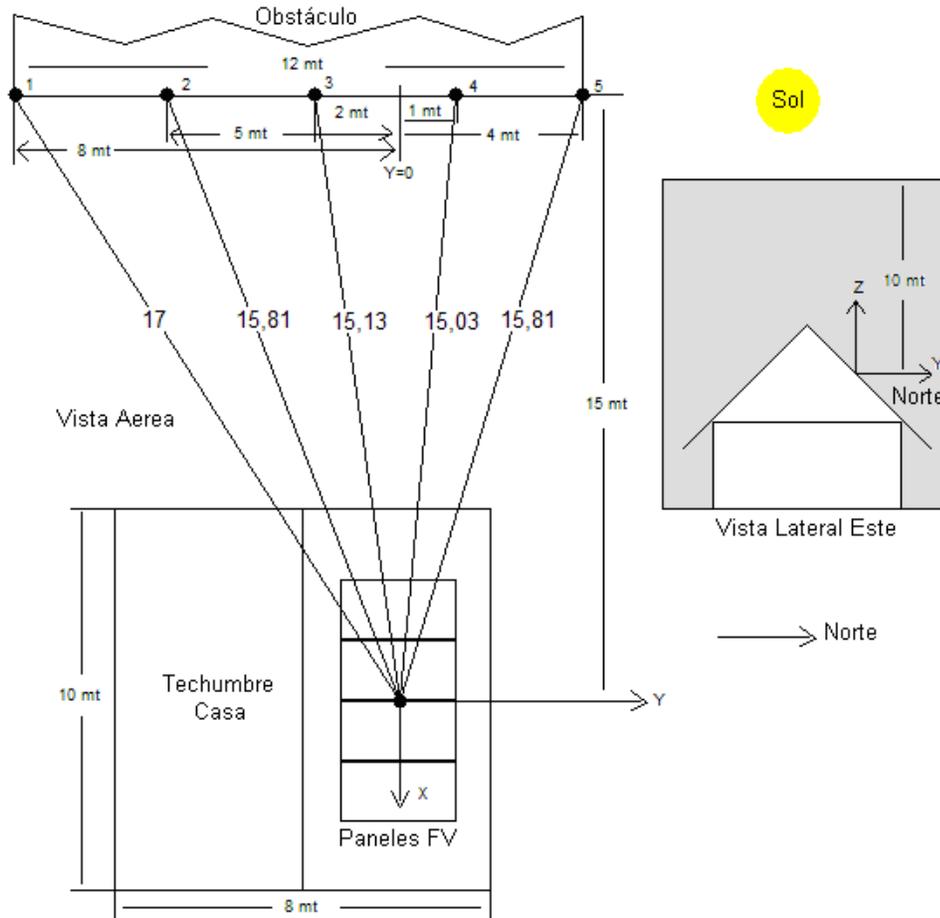
Si bien es cierto en el lugar donde se realizará la instalación no cuenta con obstáculos que bloqueen la incidencia de rayos solares sobre la superficie de los paneles, de igual forma se considerará un obstáculo imaginario a modo de ejercicio. Este se encuentra al oeste del sistema fotovoltaico, por lo que durante la tarde puede proyectar sombras sobre los paneles.

Para evaluar las pérdidas provocadas por el edificio, se deben marcar algunos puntos sobre el borde del obstáculo, en este caso se marcaron 5 puntos, luego, mediante un eje de coordenadas (x, y, z) se indican las distintas coordenadas de los puntos marcados, tomando como referencia, el centro del sistema fotovoltaico, según se indica en la Figura 4.2.2. Estas coordenadas son indicadas en la Tabla 4.2.3, en la que además aparecen los valores de los ángulos de acimut y elevación para las distintas marcas.

Tabla 4.2.3 Distancias entre los Paneles FV y el Edificio y Ángulos de Elevación y Acimut

Cálculo de Pérdidas por Obstáculos						
Punto	Coordenadas				Acimut (°)=asen(y/x)	Elevación (°)=asen(z/h)
	x	y	z	h		
1	-15	-8	10	17	32,2	36,1
2	-15	-5	10	15,81	19,5	39,3
3	-15	-2	10	15,13	7,7	41,4
4	-15	1	10	15,03	-3,8	41,7
5	-15	5	10	15,81	-19,5	39,3

Figura 4.2.2 Proyección de Sombras sobre las Superficies Fotovoltaicas



Una vez obtenidos el valor de los ángulos de acimut y elevación, se debe representar el perfil del obstáculo, para esto es necesario utilizar un diagrama de trayectorias del sol para la latitud del sector, como el que se muestra en la Figura 4.2.3, en este ya se ha trazado el perfil del obstáculo de acuerdo a los valores obtenidos previamente. Cada una de las porciones indicadas en el diagrama representa el recorrido del sol a una cierta hora del día, y por ende, una cierta contribución de radiación solar sobre la superficie fotovoltaica. El aporte de radiación solar de cada una de estas porciones es indicado en tablas de referencia para distintas latitudes, inclinación y orientación, por lo cual debe escogerse la que más se asemeje a las condiciones de trabajo utilizadas para la instalación. La tabla de referencia utilizada para nuestras condiciones de trabajo es indicada en la Tabla 4.2.4.

Representar el perfil del obstáculo sobre el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas de irradiación solar por efecto de sombras. Para conocer estas pérdidas, se deben sumar los aportes de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el obstáculo. En aquellos casos en que la porción resulte parcialmente oculta, se utilizará un factor de llenado, el cual corresponde a una fracción estimada del total de la porción, este deberá estar lo más próximo a los siguientes valores: 0,25, 0,5, 0,75, 1.

Figura 4.2.3 Diagrama de Trayectorias del Sol para la Latitud 38° Sur

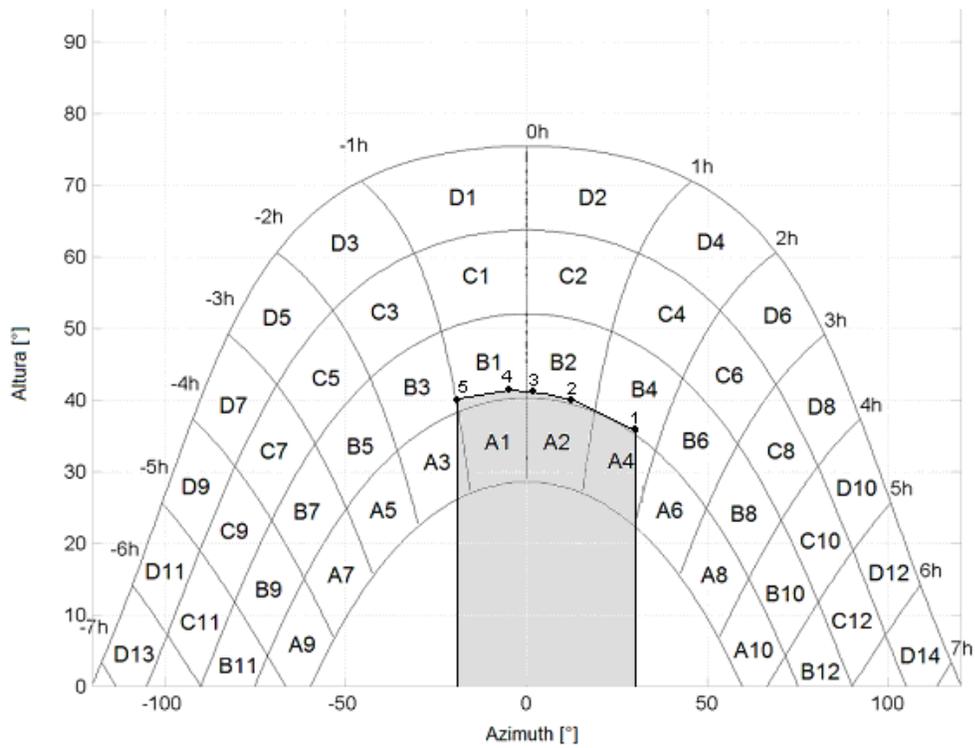




Tabla 4.2.4 Tabla de Pérdidas de Radiación Solar por Sombras para la Latitud 35° Sur

$\beta = 30^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
11	0,0%	0,0%	0,2%	0,6%
9	0,3%	0,5%	0,6%	1,6%
7	1,4%	1,1%	1,2%	2,8%
5	2,6%	1,7%	1,7%	3,8%
3	3,5%	2,1%	2,1%	4,6%
1	4,0%	2,4%	2,4%	5,1%
2	4,1%	2,4%	2,4%	5,2%
4	3,8%	2,3%	2,3%	4,9%
6	3,1%	1,9%	2,0%	4,2%
8	2,0%	1,4%	1,5%	3,3%
10	0,8%	0,8%	0,9%	2,2%
12	0,1%	0,2%	0,4%	1,0%
14	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%

Con lo dicho anteriormente, nuestro ejemplo queda como se indica a continuación:

$$PSombra=A1*1+A2*1+A4*0,75+A3*0,25+B1*0,25+B2*0,25$$

$$PSombra=4*1+4,1*1+3,8*0,75+3,5*0,25+2,4*0,25+2,4*0,25$$

$$PSombra=13\%$$

Si bien es cierto, este valor de pérdidas se encuentra fuera del límite aceptado, la suma de las pérdidas por orientación e inclinación con las pérdidas por sombra esta dentro del límite permitido de 15% (ver Tabla 3.4.2).

Ahora que ya se conoce el valor de las pérdidas por inclinación, orientación y sombras, es posible continuar con el cálculo de la irradiación que llegará a la superficie de los paneles, lo cual nos permitirá finalmente conocer el número de paneles necesario para nuestra instalación. La irradiación neta que llegará a la superficie de los paneles es indicada en la Tabla 4.2.5, la cual se obtuvo descontando el 13% de la irradiación total sobre la superficie terrestre en ese lugar.



Tabla 4.2.5 Valores de Irradiación menos pérdidas por orientación, inclinación y sombras

IRRADIACION TOTAL DIARIA E IRRADIACIÓN MENOS PÉRDIDAS, PARA LA CIUDAD DE VALDIVIA (KWh/m2 día)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Irradiación Total	6,5	6,0	4,3	2,5	1,5	1,0	1,2	2,0	3,2	4,4	4,5	6,3
Irradiación – 13% Pérdidas	5,7	5,2	3,7	2,2	1,3	0,8	1,1	1,7	2,7	3,9	3,9	5,4

Conocido el nivel de irradiación diaria, es necesario estimar las horas de sol diarias, o también conocidas como Horas Solares Pico (HSP), las que corresponden a las horas solares equivalentes por día, en base a un nivel de radiación estándar de 1 KW/m². Las HSP son mostradas en la Tabla 4.2.6.

Tabla 4.2.6 Horas Solares Pico (h) Mensuales para la Ciudad de Valdivia

HSP Mensuales (h)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
HSP (h)	5,7	5,2	3,7	2,2	1,3	0,8	1,1	1,7	2,7	3,9	3,9	5,4

El número de paneles está determinado por la Ecuación 4.2.6:

$$NP = \frac{E}{0,9 * W_p * HSP}$$

Ecuación 4.2.6 Número de Paneles Solares

Donde Wp corresponde a la potencia pico del panel, la cual debe ser definida por el diseñador. Para nuestra instalación consideraremos un panel de 130 Wp, además se realizará un cálculo para la condición más desfavorable en términos de HSP, es decir, para el mes de junio, lo cual es recomendable para abastecer de energía eléctrica durante todo el año. Otro cálculo se hará para la condición más favorable (panel de 20 W), el cual corresponde al mes de enero, y por último un cálculo para el promedio de HSP anual (panel de 30 W).

Por lo tanto:

- HSP=0,8 Horas

$$NP = \frac{87,5}{0,9 * 130 * 0,8} = 0,93 \approx 1$$

- HSP=5,7 Horas

$$NP = \frac{87,5}{0,9 * 20 * 5,7} = 0,85 \approx 1$$

- HSP=3,1 Horas (Promedio)

$$NP = \frac{87,5}{0,9 * 30 * 3,1} = 1,04 \approx 1$$

Como se puede apreciar en los cálculos anteriores, el utilizar el criterio del mes más desfavorable en términos de HSP, hace necesario utilizar un panel de mayor potencia, o bien utilizar mayor cantidad de paneles de baja potencia, aumentando también el costo de la instalación. A continuación, en la Ecuación 4.2.7 se muestra un método de comprobación de la cobertura entregada por la instalación para cada uno de los meses del año, el cual corresponde al Factor de Utilización (Fi) o Factor de Cobertura del mes i.

$$F_i = \frac{\text{Energía Disponible}}{\text{Energía Consumida}} = \frac{NP * 0,9 * W_p * HSP_i}{E}$$

Ecuación 4.2.7 Factor de Cobertura

Donde HSP_i, corresponde a las Horas Solares Pico de un mes específico.

Los valores del Factor de Cobertura para cada uno de los cálculos anteriores, con las respectivas potencias de cada panel son indicados en la Tabla 4.2.7, Tabla 4.2.8 y Tabla 4.2.9 respectivamente.

Tabla 4.2.7 Factor de Cobertura Solar NP=1, Wp=130W

Factor de Cobertura para NP=1, Wp=130W													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
F	7,6	7,0	4,9	2,9	1,7	1,1	1,5	2,3	3,6	5,2	5,2	7,2	4,2

Tabla 4.2.8 Factor de Cobertura Solar NP=1, Wp=20W

Factor de Cobertura para NP=1, Wp=20W													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
F	1,2	1,1	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,6	0,8	0,8	1,1	0,6



Tabla 4.2.9 Factor de Cobertura Solar NP=1, Wp=30W

Factor de Cobertura para NP=1, Wp=30W													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
F	1,8	1,6	1,1	0,7	0,4	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	1,2	1,7	1,0

En la Tabla 4.2.7, se puede apreciar que la instalación cubre a cabalidad los requerimientos de energía, incluso el mes de junio (mes más crítico) los supera en un 10%, esto muestra además que la instalación puede independizarse de la red eléctrica, generando el 100% de la energía que consume. El promedio, situado en 4,2 (420%), indica que la instalación produce anualmente 3,2 veces más energía de la que requiere, esto es porque el cálculo se realizó para el mes con menor cantidad de radiación solar y con menos horas de sol diarias. El excedente de energía en los meses de mayor producción podría ser vendido perfectamente.

Luego en la Tabla 4.2.8 se observa que no es posible cubrir los requerimientos de energía a lo largo del año con la cantidad y características de los paneles indicados, pero sí es posible satisfacer la demanda de gran parte este, el promedio indica que anualmente la instalación produce un 40% menos de la energía que necesita. Durante los meses de menor producción es posible suplir la energía faltante con la red eléctrica.

Por último, en la Tabla 4.2.9 se observa que solo es posible satisfacer la demanda energética de la mitad del año, esto es durante los meses enero, febrero, marzo, octubre noviembre y diciembre, generando en los meses restantes, fracciones de la energía requerida. En este caso se puede suplir la energía faltante con energía proveniente de la red eléctrica. A pesar de lo anterior el promedio anual de generación de energía esta en un 100%.

4.2.4 Cálculo del Regulador

Para estimar el regulador de carga necesario, debemos utilizar los datos indicados por el fabricante del panel solar a utilizar, específicamente nos centraremos en la corriente de cortocircuito (I_{sc}), luego este valor será multiplicado por la cantidad de paneles necesarios para la instalación. Esto se puede observar en la Ecuación 4.2.8.

$$I_{m\acute{a}x} = I_{sc} * NP$$

Ecuación 4.2.8 Cálculo del Regulador de Carga

Por lo que el regulador será:

- Para NP=1, Wp=130 W, I_{sc}=8,02 A

$$I_{m\acute{a}x} = 8,02 * 1 = 8,02 \text{ A}$$

- Para NP=1, Wp=20 W, I_{sc}=1,24 A

$$I_{m\acute{a}x} = 1.24 * 1 = 1,24 \text{ A}$$

- Para NP=1, Wp=30 W, I_{sc}=1,86 A

$$I_{m\acute{a}x} = 1,86 * 1 = 1,86 \text{ A}$$

4.2.5 Cálculo del Inversor

Para el seleccionar el inversor, se debe estimar la potencia máxima instantánea demandada, para lo cual es conveniente observar la descripción de los distintos consumos de la casa, indicados en la Tabla 4.2.10, de la cual podemos decir que el máximo consumo instantáneo puede alcanzar los 96,8 W, esto es, funcionando todos los equipos al mismo tiempo dentro de una hora. Pero de acuerdo al factor de diversidad aplicado, esta potencia alcanza un valor de 68 W, y sumando a esta el consumo por parte de los equipos propios de la instalación, la potencia instantánea alcanza los 87,5 W, estimaremos que la potencia del inversor será de 100W.

A modo de recomendación se debe decir que los inversores deben trabajar a plena carga, o cercano a esta, a fin de no afectar su eficiencia de funcionamiento.

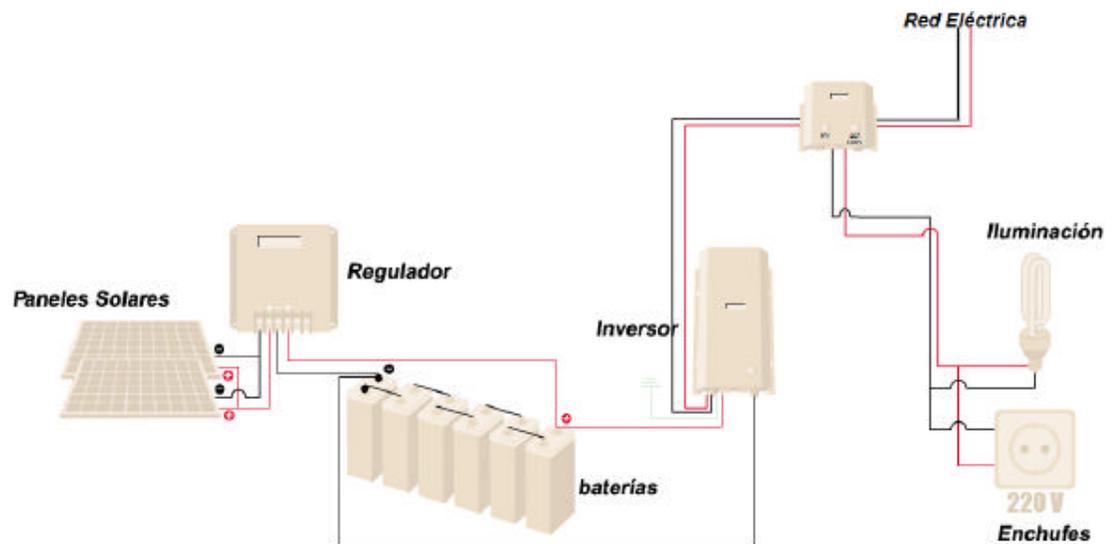
4.2.6 Conmutador

El conmutador podrá ser del tipo manual o automático, y permitirá realizar el cambio de alimentación eléctrica entre el sistema de generación fotovoltaico y el suministro de energía por medio de la red cableada.

Este actuador funcionará en condiciones de baja carga de las baterías (30% de la capacidad máxima, según lo estipulado en el punto 4.1, para el cálculo del banco de baterías), el cual al detectar un nivel inferior al 30% de la carga máxima, realizará el cambio hacia el suministro de la red eléctrica convencional.

Una vez realizado el dimensionamiento del sistema, la configuración de este sería como se muestra en la Figura 4.2.4.

Figura 4.2.4 Diagrama de funcionamiento del sistema fotovoltaico



4.2.7 Cálculo de una Instalación Fotovoltaica para el Hogar en General

Si bien es cierto el objetivo de este trabajo es hacer el análisis para un sistema de iluminación, el cual fue realizado en el punto anterior, se realizará el análisis para el consumo total del hogar, a fin de estimar los requerimientos de equipos necesarios para la alimentación de las cargas.

- Estimación del Consumo Energético

En la Tabla 4.2.10 se estiman los consumos para toda la casa de igual forma como se hizo anteriormente, en la cual se incluyen los consumos de iluminación antes mencionados. A estos consumos se le aplicará un factor de diversidad igual que para el sistema de iluminación, es decir un 70%.



Tabla 4.2.10 Estimación de Consumos Energéticos

Estimación de Consumos Energéticos	
Descripción	Consumo (KW)
Living / Comedor	0,028
Cocina	0,4
Baño	0,009
Luz Dormitorio 1	0,009
Luz Dormitorio 2	0,0072
Equipo de Música	0,06
DVD	0,02
TV	0,065
Lavadora	0,35
Refrigerador	2,2
Consumo Total	3,15
Factor de Diversidad	0,70
Consumo Estimado	2,20

De acuerdo a los resultados obtenidos de la estimación del consumo, se procede a realizar el mismo procedimiento realizado para el cálculo del sistema de iluminación anterior.

Para estimar el consumo energético real se consideran los mismos parámetros utilizados anteriormente, es decir, un factor rendimiento de la instalación igual a 0,777, por lo que este valor será el siguiente:

$$E = \frac{2,2}{0,777} = 2,8(KWh / día)$$

- Estimación de la capacidad del banco de baterías

$$C_{Bat} = \frac{2800 * 4}{12 * 0,7} = 1333(Ah)$$

- Estimación de la cantidad de paneles

Una vez obtenida la capacidad del banco de baterías, procedemos a calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos. Se considera la instalación de los paneles sobre la misma superficie utilizada anteriormente, por lo que las pérdidas por orientación e inclinación se consideran iguales.



Se realizarán los cálculos para la condición menos favorable, la más favorable y para el promedio de horas solares pico (HSP), todos con paneles de 130 Wp.

Por lo tanto:

- HSP=0,8 Horas

$$NP = \frac{2800}{0,9 * 130 * 0,8} = 29,9 \approx 30$$

- HSP=5,7 Horas

$$NP = \frac{2800}{0,9 * 130 * 5,7} = 4,1 \approx 5$$

- HSP=3,1 Horas (Promedio)

$$NP = \frac{2800}{0,9 * 130 * 3,1} = 7,7 \approx 8$$

- Estimación del factor de cobertura

Los valores del Factor de Cobertura para NP=30, 5 y 8, son indicados en la Tabla 4.2.11, Tabla 4.2.12 y Tabla 4.2.13 respectivamente.

Tabla 4.2.11 Factor de Cobertura Solar NP=30

Factor de Cobertura Solar Mensual (NP=30)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
F	7,1	6,5	4,6	2,8	1,6	1,0	1,4	2,1	3,4	4,9	4,9	6,8	3,9

Tabla 4.2.12 Factor de Cobertura Solar NP=8

Factor de Cobertura Solar Mensual (NP=8)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
F	1,9	1,7	1,2	0,7	0,4	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,3	1,8	1,0

Tabla 4.2.13 Factor de Cobertura Solar NP=5

Factor de Cobertura Solar Mensual (NP=5)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
F	1,2	1,1	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,1	0,7

- Estimación del Regulador de Carga

- Para NP=30

$$I_{m\acute{a}x} = 8,02 * 30 = 240,6 \text{ A}$$

- Para NP=8

$$I_{m\acute{a}x} = 8,02 * 8 = 64,16 \text{ A}$$

- Para NP=5

$$I_{m\acute{a}x} = 8,02 * 5 = 44,1 \text{ A}$$

- Estimación del Inversor

Para el seleccionar el inversor, se debe estimar la potencia máxima instantánea demandada, para lo cual es conveniente observar la descripción de los distintos consumos de la casa, indicados en la Tabla 4.2.10, de la cual podemos decir que el máximo consumo instantáneo puede alcanzar los 657 W, esto es, funcionando todos los equipos al mismo tiempo dentro de una hora. Pero como sabemos que es una condición poco probable, además de poco conveniente y no recomendable, estimaremos que la potencia instantánea puede llegar a los 500 W.

- Conmutador

El conmutador será de 500 W y podrá ser del tipo manual o automático, y permitirá realizar el cambio de alimentación eléctrica entre el sistema de generación fotovoltaico y el suministro de energía por medio de la red cableada.

Este actuador funcionará en condiciones de baja carga de las baterías (30% de la capacidad máxima, según lo estipulado en el punto 4.1, para el cálculo del banco de baterías), el cual al detectar un nivel inferior al 30% de la carga máxima, realizará el cambio de hacia el suministro de la red eléctrica convencional.

4.3 ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Ahora que ya se ha dimensionado el sistema, se deben elegir los equipos necesarios para realizar la instalación, estos son indicados en la Tabla 4.3.1 para el primer caso analizado del sistema de iluminación. En la Tabla 4.3.2 se muestra el resumen para el sistema completo.



Tabla 4.3.1 Resumen y Elección de los Equipos para el Sistema de Iluminación

Item	Equipo	Descripción	Capacidad	Unidad	Cant.
1	Baterías	banco de baterías, 41 Ah, 12 VDC, selladas	55	Ah	1
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 130 Wp	130	Wp	1
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 8,02 A	8	A	1
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 100 W	100	W	1
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 100 W, 220 VAC	100	W	1
6	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 120 lm, eficiencia 67 lm/W, 120°	1,8	W	16
	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 320 lm, eficiencia 80 lm/W, 60°	4	W	17

Tabla 4.3.2 Resumen y Elección de los Equipos para el Sistema en General

Item	Equipo	Descripción	Capacidad	Unidad	Cant.
1	Baterías	Banco de Baterías, 1333 Ah, 12 VDC, selladas	200	Ah	7
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 130 Wp	130	Wp	30
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 240,6 A	60	A	4
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 500 W	500	W	1
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 500 W, 220 VAC	500	W	1
6	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 120 lm, eficiencia 67 lm/W, 120°	1,8	W	16
	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 320 lm, eficiencia 80 lm/W, 60°	4	W	17

4.4 ASPECTOS ECONÓMICOS

En la Tabla 4.4.1 se indica el costo de los equipos necesarios para la instalación del sistema para iluminación, mientras que en la Tabla 4.4.2 se muestran los costos para el sistema en general. En esta estimación no se han considerado los materiales para soporte de los paneles, cables eléctricos, protecciones adicionales, mano de obra, varios. Por otro lado esta estimación se realiza en ambos casos para la situación más crítica en cuanto a HSP se trata.



Tabla 4.4.1 Costo de los Equipos⁵⁵ Sistema de Iluminación

Item	Equipo	Descripción	Capacidad	Unidad	Cant.	Costo Unitario	Total	
1	Baterías	Banco de baterías, 8,02 Ah, 12 VDC, selladas	41	Ah	1	45.000	45.000	
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 130 Wp	130	Wp	1	605.000	605.000	
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 304,8 A	8	A	1	110.000	110.000	
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 500 W	100	W	1	65.000	65.000	
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 500 W, 220 VAC	100	W	1	100000	100.000	
6	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 120 lm, eficiencia 67 lm/W, 120°	1,8	W	16	4.875	78.000	
	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 320 lm, eficiencia 80 lm/W, 60°	4	W	17	20.000	340.000	
							Subtotal	1.343.000
							IVA	255.170
							Total	1.598.170

⁵⁵ www.solener.cl



Tabla 4.4.2 Costo de los Equipos Sistema General

Item	Equipo	Descripción	Capacidad	Unidad	Cant.	Costo Unitario	Total
1	Baterías	banco de baterías, 1333 Ah, 12 VDC, selladas	200	Ah	7	210.000	1.470.000
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 130 Wp	130	Wp	30	605.000	18.150.000
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 304,8 A	60	A	4	200.000	800.000
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 500 W	500	W	1	520.000	520.000
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 500 W, 220 VAC	500	W	1	500000	500.000
6	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 120 lm, eficiencia 67 lm/W, 120°	1,8	W	16	4.875	78.000
	Amp. Led	Ampolleta Led tipo dicroica, base E-27, 320 lm, eficiencia 80 lm/W, 60°	4	W	17	20.000	340.000
Subtotal							21.858.000
IVA							4.153.020
Total							26.011.020

4.4.1 Rentabilidad y Periodo de Recuperación de la Inversión

Para estimar la rentabilidad y el periodo de recuperación de la inversión, primero es necesario conocer los ingresos y egresos que se tendrán dentro del periodo de vida útil de la instalación, la cual se ha determinado en 24 años.

La duración de los paneles fotovoltaicos se estima de 25 años, al igual que para las ampolletas Led.

La vida útil del regulador, inversor, baterías, conmutador, se estima de 8 años según datos entregados por el fabricante.

En este análisis no se considerarán costos por concepto de mantención y operación del sistema.

Para el caso del sistema de iluminación, se estima que la instalación es capaz de producir en promedio 4,2 veces la energía consumida, y considerando que el consumo instantáneo es de



87,5 Wh, la instalación producirá anualmente 134 KWh, lo que producirá un ahorro aproximado anual de \$18090, sólo por el concepto de iluminación (se considera un costo por KWh de \$135).

Tabla 4.4.3 Estimación de recuperación de la inversión para el Sistema de Iluminación

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN					
Año	Inversión	Ingresos / Ahorros	Costos de Operación	Costos de Mantención	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
0	- 1.598.170	-	-	-	- 1.598.170
1	-	18.090	-	-	18.090
2	-	18.090	-	-	18.090
3	-	18.090	-	-	18.090
4	-	18.090	-	-	18.090
5	-	18.090	-	-	18.090
6	-	18.090	-	-	18.090
7	-	18.090	-	-	18.090
8	- 380.800	18.090	-	-	- 362.710
9	-	18.090	-	-	18.090
10	-	18.090	-	-	18.090
11	-	18.090	-	-	18.090
12	-	18.090	-	-	18.090
13	-	18.090	-	-	18.090
14	-	18.090	-	-	18.090
15	-	18.090	-	-	18.090
16	- 380.800	18.090	-	-	- 362.710
17	-	18.090	-	-	18.090
18	-	18.090	-	-	18.090
19	-	18.090	-	-	18.090
20	-	18.090	-	-	18.090
21	-	18.090	-	-	18.090
22	-	18.090	-	-	18.090
23	-	18.090	-	-	18.090
24	-	18.090	-	-	18.090

Tasa Descto.	VAN (\$)	IVAN	TIR (%)
8,0%	- 1.724.591	- 1,08	#¡DIV/0!
10,0%	- 1.696.155	- 1,06	
12,0%	- 1.673.267	- 1,05	



Ahora bien, para el segundo caso en evaluación, la instalación tiene un factor de cobertura de 3,9 en promedio anual, es decir, produce 3,9 veces la energía consumida, y sabiendo que tiene un consumo estimado de 2800 Wh/día, la instalación será capaz de producir aproximadamente 4 MWh/año, lo que conduce a un ahorro estimado en \$540000 anuales

Tabla 4.4.4 Estimación de recuperación de la inversión para el Sistema General

EVALUACIÓN ECONÓMICA EL SISTEMA EN GENERAL					
Año	Inversión	Ingresos / Ahorros	Costos de Operación	Costos de Mantenición	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
0	- 26.011.020	-	-	-	- 26.011.020
1	-	540.000	-	-	540.000
2	-	540.000	-	-	540.000
3	-	540.000	-	-	540.000
4	-	540.000	-	-	540.000
5	-	540.000	-	-	540.000
6	-	540.000	-	-	540.000
7	-	540.000	-	-	540.000
8	- 3.915.100	540.000	-	-	- 3.375.100
9	-	540.000	-	-	540.000
10	-	540.000	-	-	540.000
11	-	540.000	-	-	540.000
12	-	540.000	-	-	540.000
13	-	540.000	-	-	540.000
14	-	540.000	-	-	540.000
15	-	540.000	-	-	540.000
16	- 3.915.100	540.000	-	-	- 3.375.100
17	-	540.000	-	-	540.000
18	-	540.000	-	-	540.000
19	-	540.000	-	-	540.000
20	-	540.000	-	-	540.000
21	-	540.000	-	-	540.000
22	-	540.000	-	-	540.000
23	-	540.000	-	-	540.000
24	-	540.000	-	-	540.000

Tasa Desccto.	VAN (\$)	IVAN	TIR (%)
8,0%	- 23.583.478	- 0,91	#¡DIV/0!
10,0%	- 23.837.721	- 0,92	
12,0%	- 24.027.370	- 0,92	



Tabla 4.4.5 Ejemplo de un Sistema con Rentabilidad Positiva

EVALUACIÓN ECONÓMICA					
Año	Inversión	Ingresos / Ahorros	Costos de Operación	Costos de Mantenición	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
0	- 1.598.170	-	-	-	- 1.598.170
1	-	206.872	-	-	206.872
2	-	206.872	-	-	206.872
3	-	206.872	-	-	206.872
4	-	206.872	-	-	206.872
5	-	206.872	-	-	206.872
6	-	206.872	-	-	206.872
7	-	206.872	-	-	206.872
8	- 380.800	206.872	-	-	- 173.928
9	-	206.872	-	-	206.872
10	-	206.872	-	-	206.872
11	-	206.872	-	-	206.872
12	-	206.872	-	-	206.872
13	-	206.872	-	-	206.872
14	-	206.872	-	-	206.872
15	-	206.872	-	-	206.872
16	- 380.800	206.872	-	-	- 173.928
17	-	206.872	-	-	206.872
18	-	206.872	-	-	206.872
19	-	206.872	-	-	206.872
20	-	206.872	-	-	206.872
21	-	206.872	-	-	206.872
22	-	206.872	-	-	206.872
23	-	206.872	-	-	206.872
24	-	206.872	-	-	206.872

Tasa Desccto.	VAN (\$)	IVAN	TIR (%)
8,0%	263.049	0,16	10,0%
10,0%	3	0,00	
12,0%	- 203.728	- 0,13	

En la Tabla 4.4.5 se muestra una estimación de los ingresos o ahorros necesarios para obtener un VAN positivo (para una tasa de descuento de 8 y 10%), es decir, que el sistema pueda empezar a generar rentabilidad. En este ejemplo se utilizó la instalación realizada para el sistema de iluminación descrito en el punto 4.2, manteniendo las características de los equipos seleccionados.



De esta tabla podemos decir lo siguiente:

- Para obtener un ahorro de esa magnitud (\$206.872) será necesario generar 1532,4 KWh al año (considerando un precio de \$135 por KWh), es decir, 4,2 KWh diario.
- La instalación deberá poseer un factor de cobertura igual a 48, es decir, deberá producir 48 veces la energía consumida diariamente (correspondiente a 87,5 Wh).

5.0 CAPITULO 5: CONCLUSIONES

- Si bien es cierto, en nuestro país se está incentivando a la utilización de equipos eficientes energéticamente, por medio de las etiquetas de eficiencia energética, es necesario que se acelere el proceso de normalización de las exigencias aplicables a la fabricación de sistemas eléctricos y electrónicos, a fin de eliminar gradualmente a aquellos equipos que posean una menor eficiencia de utilización de la energía.
- Con respecto a la utilización de etiquetas de eficiencia energética en refrigeradores, congeladores y ampolletas, es una medida que ayuda en el proceso de elección del equipo (pero es necesaria la incorporación de más equipos), pero sin embargo es una información que no todos saben interpretar, por lo cual se estima que es necesario realizar campañas educativas en cuanto a la utilización de las etiquetas, cuyo propósito, además del antes mencionado, sea crear conciencia en cuanto a la utilización de la energía, mostrando los beneficios que se obtienen con equipos eficientes.
- Según la comparación realizada para distintos tipos de ampolletas y potencias, se pueden observar ventajas y desventajas para cada uno de los tipos. Por ejemplo para la ampolleta incandescente la principal desventaja es su baja eficiencia energética, ya que desperdicia la mayor parte de la energía en calor, mientras que su única ventaja es su bajo precio. Para el caso de las LFC, sus ventajas principales son un consumo energético relativamente bajo y precio asequible, aunque su principal desventaja es lo peligrosas que se vuelven una vez que termina su vida útil, por su contenido de mercurio. Por último, para las ampolletas Led, su principal desventaja, aunque por el momento, es su precio elevado, mientras que las ventajas que entregan con su bajo consumo energético y alto grado de eficiencia, las hacen una alternativa factible para aplicaciones donde se demanden largos periodos de luz artificial.
- El uso de fuentes de energías alternativas, son medidas que permiten aliviar el uso de las energías convencionales, logrando con esto alcanzar una cierta independencia, consiguiendo además, disminuir los niveles de contaminación al dejar de utilizar en parte combustibles fósiles, disminuyendo también la necesidad de construir centrales hidroeléctricas para satisfacer la demanda energética.



- Chile es un país privilegiado en lo que respecta a recursos solares, cuenta con una amplia superficie de desierto con altos niveles de radiación solar durante prácticamente durante todo el año. Para el caso del sur de nuestro país, específicamente para la ciudad de Valdivia, si bien es cierto durante el verano cuenta con niveles de radiación razonables, en la temporada de invierno esta radiación cae en demasía, siendo ésta la principal razón por la cual la instalación no es rentable.
- La escasa masificación de las instalaciones fotovoltaicas en nuestro país, provoca que los costos asociados a la instalación sean excesivamente elevados, haciéndolos poco rentables, sobretodo para instalaciones conectadas a la red eléctrica.
- La utilización de ampolletas Led en iluminación domiciliaria, en estos momentos es poco recomendable, dado su precio, en algunos casos excesivamente altos, además y debido a su bajo consumo de energía, el flujo luminoso generado no es muy alto (aunque su eficiencia si lo sea en comparación a otros tipos). Si es recomendable para aquellas zonas en donde el flujo requerido es bajo, por ejemplo en iluminación puntual, o zonas de paso, como pasillos.
- Por último, es necesario crear conciencia colectiva en cuanto a la utilización de los recursos disponibles, para lo cual es recomendable partir por nosotros mismos, aplicando medidas simples podremos ayudar a optimizar los recursos y así dar un alivio a nuestro planeta.

6.0 CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA

LIBROS CONSULTADOS

- SARMIENTO, P. 1995. Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería.
- Manual de Iluminación Philips, 1995
- Manual de Luminotecnia OSRAM, 2004
- Harper Enríquez, G. 2003, Manual Práctico del Alumbrado, Primera Edición.
- Sapag Chain, N, 1991, Preparación y Evaluación de Proyectos , Segunda Edición.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- http://www.cne.cl/destacados/f_politica_energetica.html, Lineamientos generales de la política energética.
- <http://www.ppee.cl/#>, Programa País de Eficiencia Energética
- http://www.ecoamerica.cl/pdf_notas/70/70_15-16.pdf, Etiquetas de Eficiencia Energética.
- <http://www.dcmsistemas.com/documentacion.html>, Documentación de Iluminación
- http://www.cne.cl/destacados/f_politica_energetica.html, Políticas de Eficiencia Energética
- <http://www.gechile.cl/cl/nuestra.html>, Conceptos de Iluminación
- www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=1437 - 20k, Estudio de Eficiencia de ampolletas
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Ampolleta>, Composición de la Ampolleta
- www.asifunciona.com, Funcionamiento de la ampolleta
- http://es.wikipedia.org/wiki/Bombilla_de_bajo_consumo, Ampolletas LFC
- http://www.lighting.philips.com/es_es/led/information/leds_explain_tool.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_led&lang=es, Información de ampolletas LED
- http://enciclopedia.us.es/index.php/Diodo_LED, El diodo LED
- <http://www.wikiciencia.org/electronica/semi/diodos/index.php>, Funcionamiento del diodo
- <http://www.dbup.com.ar/info.html>, Funcionamiento del diodo LED
- <http://www.ledtronics.com/html/ColorChart.htm>, Tablas para distintos Colores de LED



- <http://www.ledtronics.com/html/Backlighting.htm>, Superficies Retroiluminadas
- <http://www.ledtronics.com/html/1931ChromaticityDiagram.htm>, Diagrama de Cromaticidad
- http://sil.senado.cl/cgi-bin/sil_tramitacion.pl?6349,S,,,, Estado de Tramitación sobre el uso de Ampolletas LED
- <http://www.apec-esis.org>, Normativa para la Utilización de Ampolletas
- <http://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=sesionessala&ac=getDocumento&teseid=10060&legiid=479#Tema88>, Sesión de Discusión sobre la utilización de Ampolletas LED
- <http://www.explora.cl/otros/energia/e-solar.html>, Curso de Energía Solar, funcionamiento de Celdas Solares
- http://www.solener.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=13, ¿Qué es la Energía solar?
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_solar, Energía Solar
- http://www.solarpedia.es/index.php/Radiacion_solar, Definición de Radiación Solar
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Solar_Spectrum.png, Espectro de Radiación Electromagnética
- http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html, Conceptos de energía solar
- http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico, Descripción de los Paneles Fotovoltaicos
- http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotovoltaica, Célula Fotovoltaica
- <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>, Descripción de las Celdas Solares
- <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm#comofunciona>, Funcionamiento de un Panel Solar
- http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/02/23/183546.php, Energía Solar de bajo coste
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Solar_land_area.png, Mapa de Radiación Solar en el Mundo
- <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/id.29/reImenu.46>, Diseño de Instalaciones Fotovoltaicas
- <http://revistaurbanismo.uchile.cl>, Arquitectura Utilizando PFV



- <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?id=991&c=6&idm=10&pat=10>, Conceptos de Huertas Solares
- http://es.wikipedia.org/wiki/Huerta_solar, Descripción de Huertas Solares
- Laboratorio de Estudios Solarimétricos UTFSM, Registro Solarimetrico UTFSM
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Cenit>, Definición del Cenit
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Acimut>, Definición del Acimut
- Elementos para la Creación de un Manual de Buenas Prácticas para Instalaciones Solares Térmicas Domiciliarias, Hans Christian Petersen Oehninger.
- www.solarco.cl, Venta de Sistemas Fotovoltaicos
- <http://www.solarenergy.cl/Fotovoltaico.html>, Venta de Sistemas Fotovoltaicos
- www.diegonate.es, Diseño de un Instalación Fotovoltaica
- www.idae.es, Instalaciones de Energía Fotovoltaica
- www.solener.cl, Venta de equipos Solares

7.0 CAPITULO 7: ANEXOS

7.1 NORMATIVA PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

NCh2970.Of2005 IEC 61683:1999	Energía fotovoltaica - Sistemas fotovoltaicos Acondicionadores de potencia - Procedimiento para la medición del rendimiento
NCh2976.Of2005	Energía fotovoltaica - Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para aplicaciones terrestres - Calificación del diseño y aprobación de tipo
NCh2922.Of2005	Energía fotovoltaica - Susceptibilidad de un módulo fotovoltaico al daño por impacto accidental
NCh2927.Of2005	Energía fotovoltaica - Sistemas generadores fotovoltaicos terrestres - Generalidades y guía
NCh2896.Of2004	Energía fotovoltaica - Especificaciones generales para sistemas fotovoltaicos domésticos de 12 V corriente continua - Requisitos
NCh2902.Of2004 IEC 61836:1997	Energía fotovoltaica - Sistemas de energía solar fotovoltaica - Términos y símbolos
NCh2956.Of2005 IEC 61646:1996	Energía fotovoltaica - Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para aplicaciones terrestres - Calificación del diseño y aprobación de tipo
NCh2925.Of2005	Energía fotovoltaica - Ensayo de corrosión en módulos fotovoltaicos - Método de niebla salina
NCh2903/1.Of2004 IEC 60904-1:1987	Energía fotovoltaica - Dispositivos fotovoltaicos - Parte 1: Medición de las características corriente-tensión fotovoltaicas
NCh2898.Of2004	Energía fotovoltaica - Parámetros característicos de sistemas fotovoltaicos autónomos
NCh2903/3.Of2004 IEC 60904-3:1989	Energía fotovoltaica - Dispositivos fotovoltaicos - Parte 3: Principios de medición de dispositivos solares fotovoltaicos terrestres con datos de irradiancia espectral de referencia
NCh2903/2.Of2004	Energía fotovoltaica - Dispositivos fotovoltaicos - Parte 2: Requisitos de las celdas solares de referencia
NCh2903/10.Of2004 IEC 60904-10:1998	Energía fotovoltaica - Dispositivos fotovoltaicos - Parte 10: Métodos de medición de la linealidad
NCh2940.Of2005 IEC 61173:1992	Energía fotovoltaica - Protección contra las sobretensiones de los sistemas generadores fotovoltaicos - Guía



7.2 HOJA DE DATOS DEL FABRICANTE

THE NEW VALUE FRONTIER



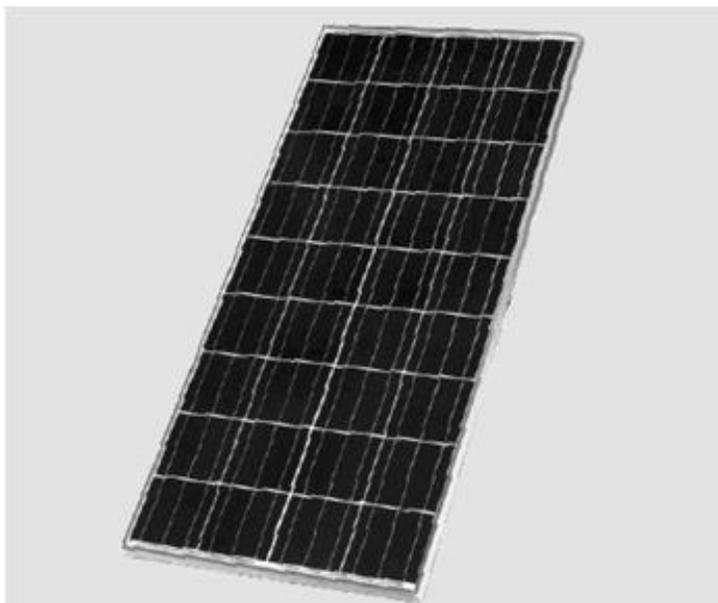
KC130TM

MODULO
FOTOVOLTAICO
POLICRISTALINO
DE ALTO
RENDIMIENTO



25 AÑOS DE GARANTIA

MODELO KC130TM



CARACTERISTICAS SOBRESALIENTES

- La avanzada tecnología e instalaciones fabriles automatizadas de Kyocera hacen posible estos módulos solares policristalinos que tienen una eficiencia de conversión de más del 16%.
- A fin de protegerlas contra las condiciones ambientales más severas, las celdas se encuentran encapsuladas entre una cubierta frontal de vidrio templado y láminas de material plástico (EVA) y una lámina de tedlar como cubierta posterior.
- La totalidad del laminado se encuentra dentro de un armazón de aluminio anodizado que asegura su resistencia estructural y facilidad de instalación.

USOS TÍPICOS

- Estaciones repetidoras de microondas y de radio
- Electrificación de pueblos en áreas remotas
- Instalaciones médicas en áreas rurales
- Corriente eléctrica para casas de campo
- Sistemas de comunicaciones de emergencia
- Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua
- Faros, boyas y balizas de navegación marítima
- Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado
- Balizamiento para protección aeronáutica
- Sistemas de protección catódica
- Sistemas de desalinización
- Vehículos de recreo
- Señalización ferroviaria

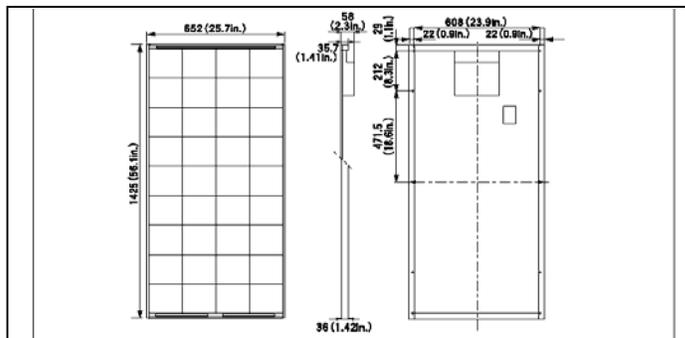
ESPECIFICACIONES

■ Especificaciones Eléctricas

MODELO	KC130TM
Potencia de Salida Maxima	130.0 vatios
Tolerancia	+10% / -5%
Tensión óptima	17.6 voltios
Corriente óptima	7.39 amperios
Tensión de circuito abierto	21.9 voltios
Corriente de corto circuito	8.02 amperios
Largo	1425 mm (56.1in.)
Ancho	652 mm (25.7 in.)
Espesor	58 mm (2.3 in.)
Peso	11.9 kg (26.8 lbs.)

■ Especificaciones Físicas

(en mm)

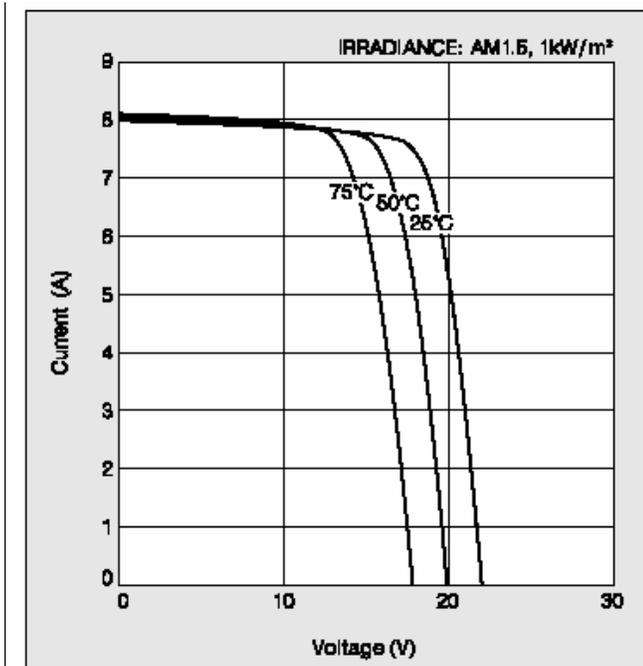


Kyocera garantiza que la disminución de potencia no será mayor al 10 % de la potencia especificada para el módulo dentro de un plazo de 12 años y que no será mayor al 20 % dentro de un plazo de 25 años. Los valores de producción de potencia serán medidos conforme a las

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 kW/m2, masa de aire: 1.5 Temperatura de celda: 25°C

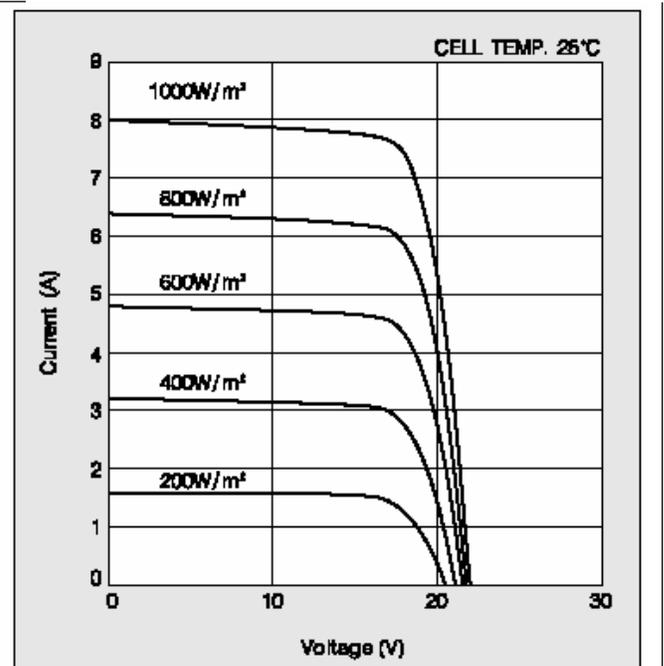
Características Electricas

Características de la corriente en función de la tensión, Módulo Solar KC130TM a diversas temperaturas y a diversas niveles de irradiancia.



Condiciones Ambiental

Características de la corriente en función de la tensión, Módulo Solar KC130TM a diversas niveles de irradianción.



CONTROL DE CALIDAD

Los módulos fotovoltaicos policristalinos de KYOCERA sobrepasan las especificaciones gubernamentales respecto a las siguientes pruebas:

- Prueba de ciclado térmico
- Ensayo de choque térmico
- Prueba de ciclado de congelación y humedad elevada
- Prueba de aislamiento eléctrico
- Prueba de impactos de granizo

- Prueba de cargas mecánicas, de viento y de torsión
- Prueba de rocío salino
- Prueba de exposición a la luz y al agua
- Prueba de exposición en el campo

Certificados:

- U.L. 1703
- IEC 61215
- ISO 9001 & 14001
- Clase 1, División 2, Grupos A, B, C y D

Para cualquier otra información no dude en comunicarse con nosotros.

PS-12550 12 Volt 55.0 AH

Rechargeable Sealed Lead Acid Battery



We've Got The Power.™



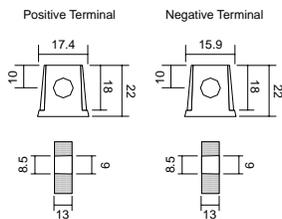
Features

- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for superior performance
- Valve regulated, spill proof construction allows safe operation in any position
- Power/volume ratio yielding unrivaled energy density
- Rugged impact resistant ABS case and cover (UL94-HB)
- Integrated ABS carrying handles for ease of movement
- Approved for transport by air. D.O.T., I.A.T.A., F.A.A. and C.A.B. certified
- U.L. recognized under file number MH 20845

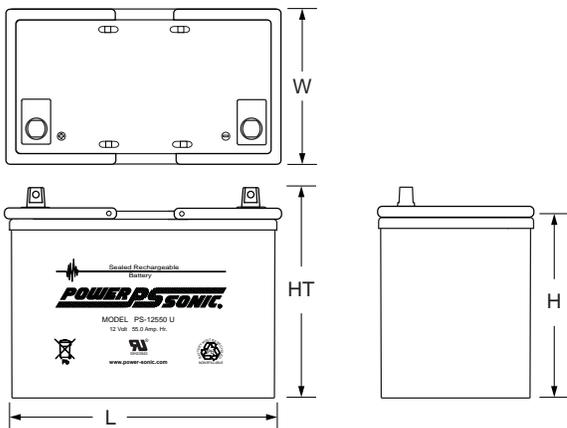
Terminals

(mm)

- U: Universal terminals: Heavy-duty posts with 'nut & bolt' fasteners



Physical Dimensions: in (mm)



L: 9.04 (230) W: 5.45 (138) H: 8.15 (207) HT: 8.98 (228)

Tolerances are +/- 0.04 in. (+/- 1mm) and +/- 0.08 in. (+/- 2mm) for height dimensions. All data subject to change without notice.

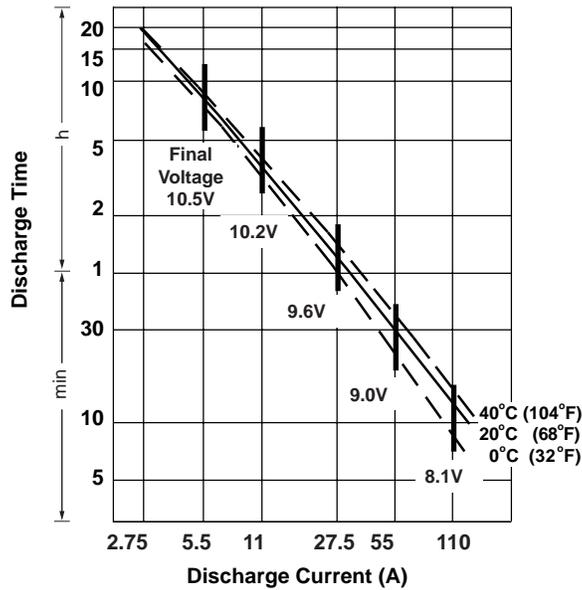
Performance Specifications

Nominal Voltage	12 volts (6 cells)
Nominal Capacity	
20-hr. (2.75A to 10.50 volts)	55.0 AH
10-hr. (5.1A to 10.50 volts)	51.0 AH
5-hr. (8.8A to 10.20 volts)	44.0 AH
1-hr. (30.6A to 9.00 volts)	30.6 AH
15-min. (96A to 9.00 volts)	24.0 AH
Approximate Weight	36.0 lbs. (16.33 kg)
Energy Density (20-hr. rate)	1.64 W-h/in ³ (100.30 W-h/l)
Specific Energy (20-hr. rate)	17.65 W-h/lb (38.91 W-h/kg)
Internal Resistance (approx.)	7 milliohms
Max Discharge Current (7 Min.)	165.0 amperes
Max Short-Duration Discharge Current (7 Sec.)	410.0 amperes
Shelf Life (% of nominal capacity at 68°F (20°C))	
1 Month	97%
3 Months	91%
6 Months	83%
Operating Temperature Range	
Charge ..	-4°F (-20°C) to 122°F (50°C)
Discharge	-40°F (-40°C) to 140°F (60°C)
Case	ABS Plastic
Power-Sonic Chargers	PSC-1210000A-C

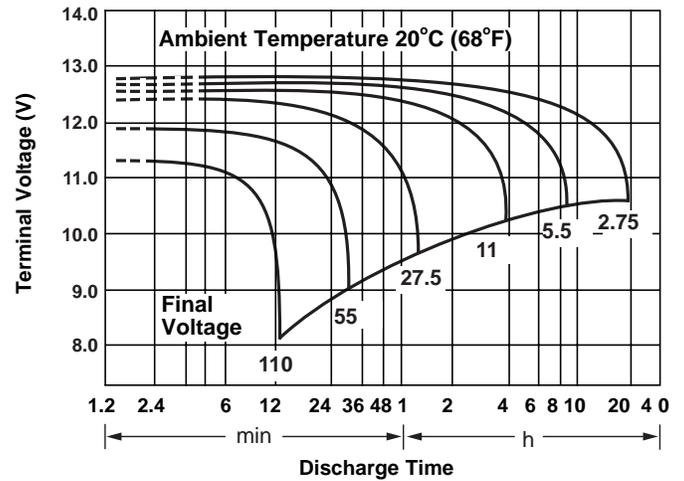
Constant Power Discharge Ratings

MODEL	FINAL VOLTAGE	WATTS PER CELL @ 25° C						
		5 MIN	10 MIN	15 MIN	20 MIN	30 MIN	45 MIN	60 MIN
PS-12550	1.75	320	210	184	153	115	87	72
	1.70	342	225	190	158	118	89	73
	1.67	354	230	194	160	120	90	74

Discharge Time vs. Discharge Current



Discharge Characteristics



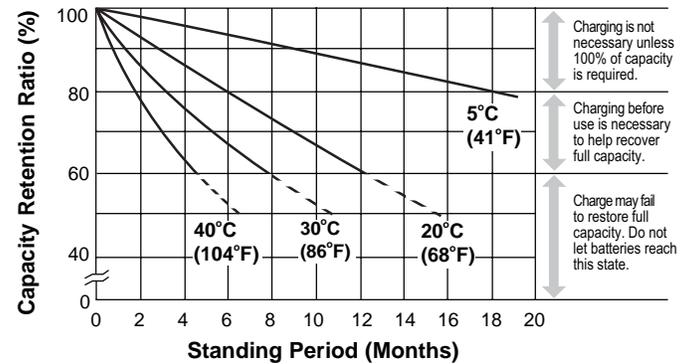
Charging

Cycle Applications: Limit initial current to 16.5A. Charge until battery voltage (under charge) reaches 14.4 to 14.7 volts at 68°F (20°C). Hold at 14.4 to 14.7 volts until current drops to under 550mA. Battery is fully charged under these conditions, and charger should be disconnected or switched to “float” voltage.

“Float” or “Stand-By” Service: Hold battery across constant voltage source of 13.5 to 13.8 volts continuously. When held at this voltage, the battery will seek its own current level and maintain itself in a fully charged condition.

Note: Due to the self-discharge characteristics of this type of battery, it is imperative that they be charged within 6 months of storage, otherwise permanent loss of capacity might occur as a result of sulfation.

Shelf Life & Storage



Chargers

Power-Sonic offers a wide range of chargers suitable for batteries up to 100AH. Please refer to the Charger Selection Guide in our specification sheets for “C-Series Switch Mode Chargers” and “Transformer Type A and F Series”. Please contact our Technical department for advice if you have difficulty in locating suitable models.

Further Information

Please refer to our website www.power-sonic.com for a complete range of useful downloads, such as product catalogs, material safety data sheets (MSDS), ISO certification, etc..

Contact Information

www.power-sonic.com

DOMESTIC SALES

Tel: +1-619-661-2020
 Fax: +1-619-661-3650
 national-sales@power-sonic.com

CUSTOMER SERVICE

Tel: +1-619-661-2030
 Fax: +1-619-661-3648
 customer-service@power-sonic.com

TECHNICAL SUPPORT

Tel: +1-619-661-2020
 Fax: +1-619-661-3648
 support@power-sonic.com

INTERNATIONAL SALES

Tel: +1-650-364-5001
 Fax: +1-650-366-3662
 battery@power-sonic.com

C Series Controllers

Charge, Diversion, or Load Controllers



A charge controller is an important system component that regulates the voltage generated from your renewable energy system and properly maintains your batteries. It protects your batteries from being over and under charged, and ensures maximum battery life. Considered to be the best in the industry, Xantrex Charge Controllers offer a variety of features. The C Series offers three models, the C35, C40, and C60, designed for 35, 40, and 60 amps of DC current.

Features

- ▶ Silent, pulse width modulated (PWM), high efficiency operation.
- ▶ Three-stage battery charging (bulk, absorption, and float) with optional temperature compensation.
- ▶ Automatic overload protection in both active and passive modes.
- ▶ PV array short circuit and reverse polarity protection.
- ▶ Durable construction.
- ▶ Microprocessor controlled.

As a Solar Charge Controller

- ▶ When used as a solar charge controller, the C40 can control 12, 24, or 48 VDC array operation and the C35 and C60 can control 12 and 24 VDC array operation.
- ▶ All units offer selectable settings for NiCad, flooded lead acid, gel, or absorbed glass mat batteries.

As a DC Load Controller

- ▶ As a DC load controller, the C Series has a low voltage disconnect warning indicator and field adjustable set points that govern automatic low and high voltage disconnect.
- ▶ Manual reset switch for emergency low voltage operation.

As a Diversion Controller

- ▶ The C Series automatically directs extra power to a dedicated load, such as an electric water heater, and ensures batteries are never over-charged.

Options

- ▶ Plug-in remote temperature sensor (BTS) for increased charging precision.
- ▶ Cumulative amp-hour meter (CM) that can be installed on the face of the controller, or remotely (CM/R), up to 100 feet (30 m) away.

Xantrex Technology Inc.

Headquarters
8999 Nelson Way
Burnaby, British Columbia
Canada V5A 4B5
800 670 0707 Toll Free
604 420 1591 Fax

5916 195th Street NE
Arlington, Washington
USA 98223
360 435 8826 Telephone
360 435 2229 Fax

C Series Controllers

Charge, Diversion, or Load Controllers

Electrical Specifications

Model	C35	C40	C60
Voltage Configurations	12 and 24 VDC	12, 24, and 48 VDC	12 and 24 VDC
Max. PV Open Circuit Array Voltage	55 VDC	125 VDC	55 VDC
Charging / Load Current (@ 25 °C)	35 amps DC	40 amps DC	60 amps DC
Max. Peak Current	85 amps	85 amps	85 amps
Max. Voltage Drop Through Controller	0.30 volts	0.30 volts	0.30 volts
Typical Operating Consumption	15 ma	15 ma	15 ma
Typical Idle Consumption	3 ma	3 ma	3 ma
Recommended Breaker Size	45 amps	50 amps	60 amps rated at 100% continuous duty
Recommended Wire Size	#8 AWG	#8 AWG	#6 AWG rated at 90 °C
Lead Acid Battery Settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
NiCad Battery Settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
Load Control Mode	Low Voltage Reconnect - Adjustable (sticker provided with unit) all models		
	Low Voltage Disconnect - User selectable manual or automatic reconnection - includes warning flash before disconnect and provides a one time, user selected grace period) all models		

General Specifications

Specified Temperature Range	32 °F to 104 °F (0 °C to 40 °C)		
Enclosure Type	Indoor, ventilated, powder coated steel with 3/4" and 1" knockouts		
Unit Weight	2.5 lb (1.2 kg)	3.0 lb (1.4 kg)	3.0 lb (1.4 kg)
Shipping	3.0 lb (1.4 kg)	3.5 lb (1.6 kg)	3.5 lb (1.6 kg)
Dimensions (H x W x D)	8.0" x 5.0" x 2.5" 20.3 cm x 12.7 cm x 6.4 cm	10" x 5" x 2.5" 25.4 cm x 12.7 cm x 6.35 cm	10" x 5" x 2.5" (25.4 cm x 12.7 cm x 6.35 cm)
Shipping Dimensions (H x W x D)	12.4" x 7" x 2.5" 31.5 cm x 17.8 cm x 6.4 cm	12.4" x 7" x 2.5" 31.5 cm x 17.8 cm x 6.4 cm	12.4" x 7" x 2.5" 31.5 cm x 17.8 cm x 6.4 cm
Mounting	Vertical wall mount - indoor only		
Altitude - Operating	15,000' (4,572 m)		
Altitude - Non-Operating	50,000' (15,240 m)		
Warranty	2 years		
Part numbers	C35, C40, C60 - Controllers		
	CM - Front Display Panel		
	CM/R-50, CM/R-100 - Remote Display Panel		
	BTS - Battery temperature sensor		

Features & Options

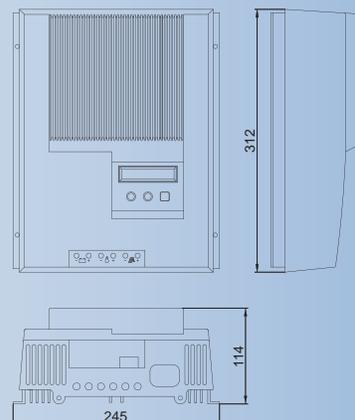
Regulation Method	Solid state, three-stage (bulk, absorption, and float), pulse width modulation
Field Adjustable Control Setpoints	Two user adjustable voltage setpoints for control of loads or charging sources - settings retained if battery is disconnected
Display Panel	CM, CM/R-50, or CM/R-100 - optional LCD - backlit, alphanumeric display showing battery voltage, DC amperage, cumulative amp hours, and amp hours since last reset - remote includes 50' (15 m) or 100' (30.5 m) cable
Equalization Charge	User selectable manual or automatic equalization - every 30 days
Battery Temperature Sensor	BTS - optional remote battery temperature sensor for increased charging precision

Regulatory Approvals

UL Listed to UL 1741 - 1999 and to CSA 22.2 No. 107.1-95 Standards, CE compliant



Inversor senoidal



Solarix Sinus

550 I, 550 RI, 900 I, 900 RI

Clase de potencia 550 - 900 W



Los inversores senoidales de la serie Solarix han probado su eficacia en más de 10.000 aplicaciones. Estos dispositivos han sido empleados en todas partes del mundo. Esta solución plug & play es de fácil instalación, de construcción compacta y está disponible opcionalmente con Regulador Fotovoltaico integrado. Por medio de un interruptor en el panel frontal el usuario puede seleccionar entre modo de detección automática de consumidor, operación continua o modo de suspensión, lo que reduce considerablemente el consumo en standby. Esto es particularmente importante para sistemas independientes de la red.



Inversor Solarix Sinus	550 I / 550 RI*	550 I-L60 / 550 RI-L60*	900 I / 900 RI*	900 I-L60
Tensión nominal de entrada (V)	12 V	12 V	24 V	24 V
Rango de tensión de entrada (V)	10,5 - 16 V	10,5 - 16 V	21 - 32 V	21 - 32 V
Corriente máx. de cortocircuito de los módulos*	25 A*			
Corriente máx. de carga de corriente directa*	15 A*			
Tensión de salida	230 V +/-10 % (onda senoidal pura)	115 V +/-10 % (onda senoidal pura)	230 V +/-10 % (onda senoidal pura)	230 V +/-10 % (onda senoidal pura)
Frecuencia de salida	50 Hz +/-0,5 % opcional 60 Hz	60 Hz +/-1 %	50 Hz +/-0,5 % opcional 60 Hz	60 Hz +/-1 %
Potencia continua (VA)	550 VA	500 VA	900 VA	900 VA
Eficiencia máxima (%)	91,5	91	92	91,5
Consumo propio (mA)	430 mA / 50 mA / 15 mA (encendido / standby / apagado)			
Conexión DC / AC	bloque de bornes de 16 mm ² integrado / enchufe de corriente alterna estándar con cable incluido			
Temperatura de trabajo	-15 °C to +45 °C			
Tipo de protección	IP 20			
Peso	5,5 kg		7,5 kg	
Dimensiones L x A x A	312 x 245 x 114 mm			

* Sólo las versiones RI (con Regulador Fotovoltaico incluido)

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F

Opciones

- Tensión 115 V / 60 Hz o 230 V / 60 Hz

Características

- Inversor senoidal de 550 W o 900 W
- Opcionalmente con Regulador Fotovoltaico integrado
- Alta capacidad de sobrecarga
- Protección óptima de la batería
- Detección automática de consumidor en modo standby

Protección electrónica

- Descarga profunda de la batería
- Desconexión por sobretensión en la batería
- Sobretensión y sobrecarga
- Protección contra cortocircuitos
- Polaridad invertida, por medio de fusible interno

Visualización

- LED de estado operativo del inversor LED de tres colores
- El regulador de carga opcional muestra el estado operativo por medio de LED adicional de tres colores y un display de LCD de 16 caracteres



PG-12V200 FR 12 Volt 210 AH

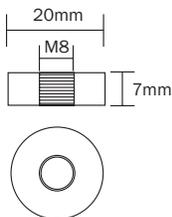
Rechargeable Sealed Lead Acid Battery

We've Got The Power.™

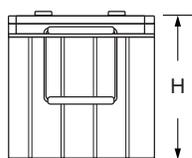
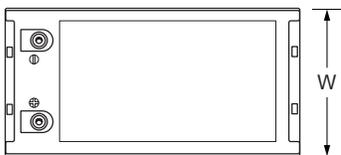


Terminals (mm)

- T11 - THREADED INSERT - 8mm STUD



Physical Dimensions: in (mm)



L: 20.55 (522) W: 9.45 (240) H: 8.58 (218) HT: 8.82 (224)

Tolerances are +/- 0.04 in. (+/- 1mm) and +/- 0.08 in. (+/- 2mm) for height dimensions. All data subject to change without notice.

Features

- **Long Service Life** - Thick plate design and efficient gas recombination yield a service life expectancy of up to 10 years in standby mode.
- **Low Internal Resistance** - Superb high-rate discharge characteristics ensure reliable performance in UPS and Telecom applications.
- **Maintenance-Free, Non-Spillable** - Proven VRLA technology guarantees safe operation without maintenance and 'non-restricted article' status for transportation.
- **Handles** - Integral carrying handles.
- **Low Self-Discharge** - Lead-calcium alloy grids and use of high purity lead account for superior shelf-life characteristics permitting storage for extended periods of time.
- **Designed-In Reliability** - Cutting-edge manufacturing and process control combined with meticulous quality assurance procedures guarantee consistent and dependable performance.

Performance Specifications

Nominal Voltage 12 volts (6 cells)

Nominal Capacity		
20-hr. (11.30A to 10.80 volts)	226.0 AH	
10-hr. (21.0A to 10.80 volts)	210.0 AH	
8-hr. (25A to 10.50 volts)	200.0 AH	
5-hr. (36.10A to 10.50 volts)	180.5 AH	
3-hr. (54.60A to 10.50 volts)	163.8 AH	
1-hr. (126.0A to 9.60 volts)	126.0 AH	

Approximate Weight 144 lbs. (65.3 kg)

Energy Density (10-hr. rate) 1.51 W-h/in³ (92.29 W-h/l)

Specific Energy (10-hr. rate) 17.50 W-h/lb (38.58 W-h/kg)

Internal Resistance (approx.) 3.0 milliohms

Max Short-Duration Discharge Current (10 Sec.)..... 1200 amperes

Shelf Life (% of nominal capacity at 68°F (20°C))	
1 Month	97%
3 Months.....	91%
6 Months	83%

Operating Temperature Range

Charge .. -4°F (-20°C) to 122°F (50°C)
 Discharge..... -40°F (-40°C) to 140°F (60°C)

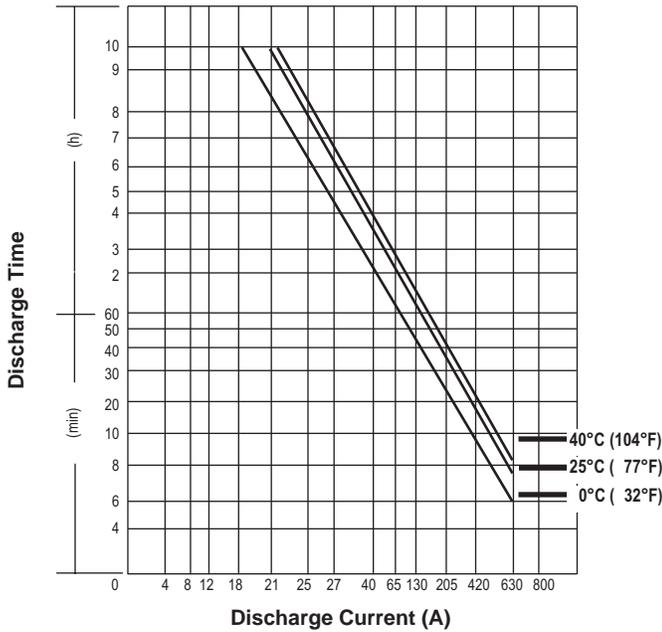
Case ABS Plastic (UL94 V-0 flame retardant)

Power-Sonic Chargers n/a

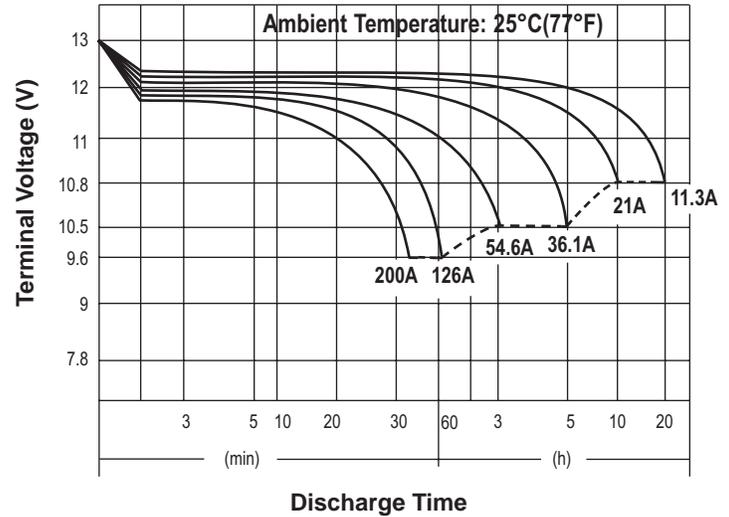
Constant Current & Power Discharge Ratings

MODEL	FINAL VOLTAGE	AMPS/WATTS PER CELL @ 25° C													
		5 MIN		10 MIN		15 MIN		20 MIN		30 MIN		45 MIN		60 MIN	
		A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W
PG-12V200 FR	1.80	386	706	330	610	286	538	253	498	206	412	149	293	120	239
	1.75	442	805	359	658	313	585	278	503	220	427	162	320	121	241
	1.67	506	846	413	737	361	655	364	532	233	438	161	327	126	245
	1.60	620	1040	450	801	372.4	675	305	561	241	456	168	334	127	250

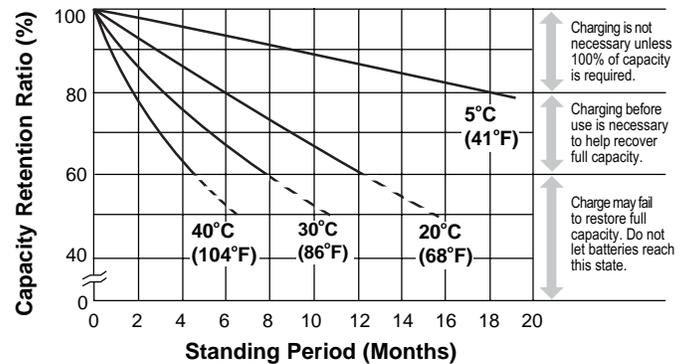
Discharge Time vs. Discharge Current



Discharge Characteristics



Shelf Life & Storage



Charging

Cycle Applications: Limit initial current to 25.0A. Charge until battery voltage (under charge) reaches 14.4 to 14.7 volts at 68°F (20°C). Hold at 14.4 to 14.7 volts until current drops to under 2.1A. Battery is fully charged under these conditions, and charger should be disconnected or switched to “float” voltage.

“Float” or “Stand-By” Service: Hold battery across constant voltage source of 13.5 to 13.8 volts continuously. When held at this voltage, the battery will seek its own current level and maintain itself in a fully charged condition.

Note: Due to the self-discharge characteristics of this type of battery, it is imperative that they be charged within 6 months of storage, otherwise permanent loss of capacity might occur as a result of sulfation.

Chargers

Power-Sonic offers a wide range of chargers suitable for batteries up to 100AH. Please refer to the Charger Selection Guide in our specification sheets for “C-Series Switch Mode Chargers” and “Transformer Type A and F Series”. Please contact our Technical department for advice if you have difficulty in locating suitable models.

Further Information

Please refer to our website www.power-sonic.com for a complete range of useful downloads, such as product catalogs, material safety data sheets (MSDS), ISO certification, etc..

Contact Information

www.power-sonic.com

DOMESTIC SALES

Tel: +1-619-661-2020
 Fax: +1-619-661-3650
national-sales@power-sonic.com

CUSTOMER SERVICE

Tel: +1-619-661-2030
 Fax: +1-619-661-3648
customer-service@power-sonic.com

TECHNICAL SUPPORT

Tel: +1-619-661-2020
 Fax: +1-619-661-3648
support@power-sonic.com

INTERNATIONAL SALES

Tel: +1-650-364-5001
 Fax: +1-650-366-3662
battery@power-sonic.com