

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA



FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES
FOTOVOLTAICOS EN TECHUMBRES DE EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD DEL
BÍO-BÍO.

Informe de Habilitación Profesional
presentado en conformidad a los requisitos
para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:
Sr. Reinaldo Sánchez Arriagada

Yamal Alejandro Oñate Halabi
Concepción – Chile
2016

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres Nadia y Rodrigo, por todo su apoyo en mi proceso de formación profesional.

A mi polola Ana Daza que me apoyó y motivó en todo momento a lo largo de todo el proceso de aprendizaje profesional.

Por último a mi abuela y amigos en general.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a todos los profesores y académicos que de una u otra forma contribuyeron con el logro de este proyecto y la culminación de mi carrera profesional de pregrado, en especial al Sr. Reinaldo Sánchez Arriagada, por su apoyo y tiempo para el desarrollo de este trabajo.

Gracias

RESUMEN

El presente proyecto presenta una evaluación de alternativas de generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos para disminuir los costos por consumo de electricidad proveniente de la red pública en la Universidad del Bío-Bío, Concepción.

Las alternativas evaluadas se desarrollaron sobre las techumbres de los edificios Gantes, Sala de clases Mecánica y Arquitectura. Se evaluaron las condiciones del recurso solar en la ciudad de Concepción, posteriormente se establecieron las superficies a utilizar así como la cantidad de paneles a emplear en 2 tipos de alternativas de paneles diferentes en forma separada, 250 Watt y 200 Watt, con ello se logró calcular la generación teórica por cada edificio con paneles independiente los cuales se evaluaron conectados a 2 tipos de inversores diferentes cada edificio por cada alternativa de panel, Inversor central único e inversores pequeños conectados en paralelo, obteniendo un total de 4 combinaciones de soluciones diferentes.

Las potencias instaladas de los paneles fotovoltaicos, en las dos alternativas de paneles fueron de 277 kW con 1108 paneles en 1850,36 m² de panel y 274 kW con 1372 paneles en 2016 m² de panel.

Cada evaluada en función de la potencia generada en el año determinando que la alternativa de 250 Watt logro generar 515.073,2 kWh/año siendo superior a la de 200 Watt con 510.238,6 kWh/año. A cada alternativa de paneles/inversor por cada edificio evaluado fue necesario realizarle los estudios de protecciones eléctricas pertinentes tanto en DC como AC y el cableado correspondiente para asegurar su instalación.

La solución elegida fue la de paneles de 250 Watt e inversores pequeños la que posee una inversión de \$ 407.510.005 con un retorno de inversión de 6,6 años y un costo instalado de 2.2 US\$/Watt siendo esta además la más rentable económicamente, con un periodo de vida útil de la instalación de 25 a 30 años y contribuyendo a la reducción de consumo de energía eléctrica de la red para la Universidad del Bío-Bío en un 31 % de su consumo anual, dicha instalación no contamina visualmente y actúa de referente a la Universidad del Bío-Bío.

INDICE DE CONTENIDOS

Introducción	11
Capítulo I Planteamiento	12
1.1.- Situación problema	12
1.2.- Objetivos	13
1.2.1.- Objetivo general	13
1.2.2.- Objetivos específicos	14
1.3.- Justificación	14
Capítulo II Métodos de generación eléctrica	15
2.1.- Generación eléctrica	15
2.2.- Antecedentes históricos	16
2.3.- Métodos de generación	17
2.3.1.- Energías convencionales	17
2.3.1.1.- Centrales hidroeléctricas	17
2.3.1.2.- Centrales termoeléctricas	18
2.3.1.3.- Centrales nucleares	19
2.3.2.- Energías renovables no convencionales	20
2.3.2.1.- Centrales eólicas	20
2.3.2.2.- Centrales mini hidroeléctricas o de pasada	20
2.3.2.3.- Centrales de biomasa	21
2.3.2.4.- Energía solar térmica	22
2.3.2.5.- Energía solar fotovoltaica	22
Capítulo III Recurso solar	24
3.1.- Aspectos generales	24
3.2.- Hora solar	26
3.3.- Ángulos solares	28
3.3.1.- Angulo horario (ω)	28
3.3.2.- Declinación (δ)	29
3.3.3.- Ángulos solares principales	29
3.3.3.1.- Altitud (α)	30

3.3.3.2.- Azimut solar (Z)	30
3.3.3.3.- Zenit (φ)	30
3.3.4.- Ángulos solares complementarios	31
3.3.4.1.- Inclinación (β)	31
3.3.4.2.- Ángulo azimutal de superficie (Z_s)	31
3.3.4.3.- Ángulo de incidencia solar (ϑ)	31
3.4.- Duración del día solar	32
3.5.- Recurso solar para la ciudad de Concepción	33
Capítulo IV Marco teórico	35
4.1.- Energía solar en paneles FV	35
4.2.- Paneles FV	37
4.3.- Tipos de paneles FV	39
4.3.1.- Paneles de silicio mono cristalino	39
4.3.2.- Paneles de silicio poli cristalino	39
4.3.3.- Silicio Amorfo	40
4.3.4.- Paneles Fotovoltaicos de película delgada (thin-film)	40
4.4.- Funcionamiento de un panel solar FV	41
4.4.1.- Corriente de corto circuito (I_{sc})	42
4.4.2.- Voltaje de circuito abierto (V_{oc})	42
4.5.- Factores de eficiencia de un panel FV	43
4.5.1.- Punto de máxima potencia (P_{mp})	43
4.5.2.- Eficiencia en la conversión de energía de una celda FV	43
4.5.3.- Factor de forma (FF)	43
4.6.- Factores que afectan el rendimiento de un PF	44
4.6.1.- Energía de la luz incidente	44
4.6.2.- Reflexión	44
4.6.3.- Efecto de la sombra	44
4.6.4.- Efecto de la orientación e inclinación	44
4.6.5.- Efecto de la temperatura	45
4.7.- Tipos de instalaciones de paneles FV	46
4.7.1.- Instalaciones aisladas de la red eléctrica	46

4.7.2.- Instalaciones conectadas a la red eléctrica	46
4.8.- Equipos Necesarios para una Instalación FV	47
4.8.1.- Paneles fotovoltaicos	47
4.8.2.- Regulador	47
4.8.3.- Baterías de ciclo profundo	47
4.8.4.- Inversor	48
4.8.5.- Cables de conexión	50
4.8.6.- Protecciones	51
4.9.- Tipos de conexiones de los módulos FV	53
Capítulo V Normativas y leyes	55
5.1.- Normativas de instalación para instalaciones FV	55
5.2.- Disposiciones generales	55
5.3.- Condiciones de instalación	56
5.4.- Condiciones generales de módulos FV	58
5.5.- Condiciones para arreglos y conexiones eléctricas.	59
5.6.- Condiciones de conductores y canalización	59
5.7.- Condiciones para inversores.	60
5.8.- Condiciones de protecciones	61
5.9.- Condiciones de puesta a tierra	61
5.10.- Condiciones de interfaz con red	62
Capítulo VI Estudio técnico	63
6.1.- Tipo de instalación para la U. del Bío-Bío	63
6.2.- Posicionamiento de paneles FV en Deptos. de la U. del Bío-Bío	63
6.3.- Condiciones y características de la ciudad de Concepción	64
6.4.- Estudio de superficies de montaje	66
6.4.1.- Estudio de inclinación	66
6.4.2.- Estudio de dimensiones	68
6.5.- Selección de paneles	68
6.6.- Distribución de paneles por alternativa propuesta	71
6.6.1.- Alternativa 1	71
6.6.2.- Alternativa 2	75

6.7.- Estudio de generación por instalación de alternativa	78
6.7.1.- Alternativa 1	80
6.7.2.- Alternativa 2	81
6.8.- Conexión a la red	82
6.8.1.- Tensión y corriente para alternativa 1. (a)	84
6.8.2.- Tensión y corriente para alternativa 2. (a)	85
6.8.3.- Inversores según alternativa (a)	86
6.8.4.- Tensión y corriente para alternativa 1. (b)	91
6.8.5.- Tensión y corriente para alternativa 2. (b)	93
6.8.6.- Inversores según alternativa (b)	94
6.9.- Protecciones	99
6.9.1.- Protecciones de rendimiento (diodo de Bypass)	99
6.9.2.- Protecciones eléctricas	101
6.9.2.1.- Protecciones eléctricas en DC	102
6.9.2.2.- Protecciones eléctricas en AC	104
6.10. Cableado de conexión	105
6.10.1.- Cálculo de secciones transversales de cables	107
6.11.- Tierra de servicio para instalación	110
6.12.- Mantenimiento de las instalaciones	111
6.13.- Cubicación según alternativa	111
Capítulo VII Estudio económico	114
7.1.- Evaluación económica	114
7.2.- Estudio inversión de alternativas	114
7.3.- Costo de mantención y limpieza de la instalación anual	118
7.4.- Resumen de alternativas	119
7.5.- Recuperación real de alternativa elegida	119
Conclusiones	121
Recomendaciones	124
Bibliografía	125
Linkografía	126
Anexos	127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Generación SIC + SING 2000-2011	12
Figura 2.1. Manubrio de carga del siglo XIX	16
Figura 2.2. Generador de inducción	16
Figura 3.1. Esquema de tipos de radiación	24
Figura 3.2. Traslación terrestre respecto al sol.	25
Figura 3.3. Ecuación del tiempo respecto a los meses del año	27
Figura 3.4. Ángulos solares principales	29
Figura 3.5. Ángulos solares complementarios	31
Figura 4.1. Diagrama de comportamiento de radiación solar	36
Figura 4.2. Longitudes de onda de radiación térmica	36
Figura 4.3. Composición de paneles FV	38
Figura 4.4. Movimiento de electrones en la capa FV	38
Figura 4.5. Panel mono cristalino	39
Figura 4.6. Panel poli cristalino	40
Figura 4.7. Tabla comparativa de características	41
Figura 4.8. Curva IV y PV para un módulo FV típico a 1000 W/m ² y 25 °C	42
Figura 4.9. Incidencia de niveles de radiación en la corriente	44
Figura 4.10. Incidencia de temperatura sobre la generación de energía	45
Figura 4.11. Instalación aislada de la red eléctrica	46
Figura 4.12. Instalación conectada a la red eléctrica	47
Figura 4.13. Tipos de onda en inversores	49
Figura 4.14. Tecnologías de inversores	50
Figura 4.15. Ondas R, S, T de corriente alterna trifásica	51
Figura 4.16. Esquema de conexión en paralelo	52
Figura 4.17. Onda desfasada por ángulo ϕ proveniente de un sistema FV	52
Figura 4.18. Esquema de conexión en serie	53
Figura 4.19. Esquema de conexión en paralelo	54
Figura 4.20. Esquema de conexión mixto	54
Figura 5.1. Localización de interruptores de desconexión con la red	62
Figura 6.1. Planta U. del Bío-Bío, con áreas demarcadas	64

Figura 6.2. Radiación para la ciudad de Concepción	65
Figura 6.3. Radiación promedio por día	65
Figura 6.4. Planta edificio arquitectura U. del Bio-Bio, con cerchas demarcadas	67
Figura 6.5 Geometría de cálculo	71
Figura 6.6. Conexión trifásica de inversores en paralelo	83
Figura 6.7 Esquema conexión inversor	91
Figura 6.8 Panel FV con fallas	99
Figura 6.9 Funcionamiento diodo de bypass	100
Figura 6.10 Esquema de protecciones eléctricas	101

INDICE DE TABLAS

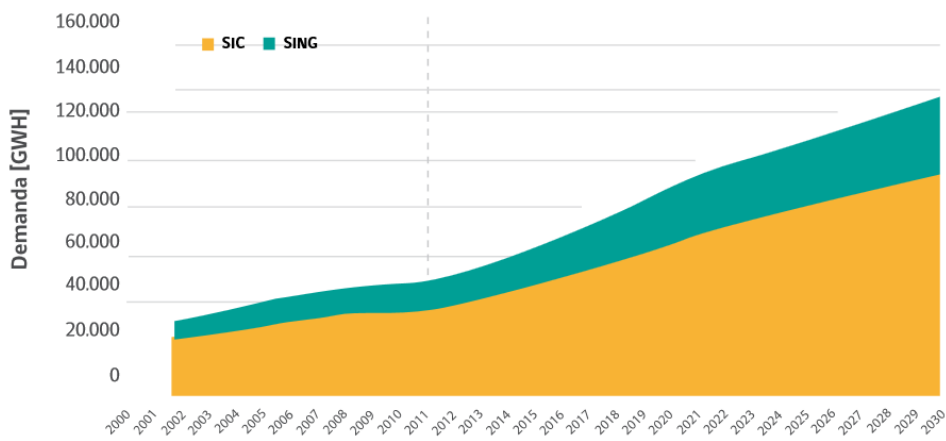
Tabla 3.1 Datos de características solares para Concepción	33
Tabla 3.2 Datos de radiaciones solares para Concepción	34
Tabla 4.1. Resumen de nomenclaturas	43
Tabla 4.2. Inclinación y orientación	45
Tabla 6.1. Radiación mensual en una superficie inclinada para Concepción	66
Tabla 6.2 Tabla distribución de paneles según alternativa/edificio	78
Tabla 6.3. Parámetros de operación alternativa 1	80
Tabla 6.4. Estudio generación Edif. Gantes Alt. 1	80
Tabla 6.5. Estudio generación Edif. Sala clases Mecánica Alt. 1	80
Tabla 6.6. Estudio generación Edif. Arquitectura Alt. 1	81
Tabla 6.7. Parámetros de operación alternativa 2	81
Tabla 6.8. Estudio generación Edif. Gantes Alt. 2	81
Tabla 6.9. Estudio generación Edif. Sala clases Mecánica Alt. 2	82
Tabla 6.10. Estudio generación Edif. Arquitectura Alt. 2	82
Tabla 6.11. Propiedades inversor ARTESA 70 KW	87
Tabla 6.12. Propiedades inversor ARTESA 100 KW	88
Tabla 6.15. Propiedades inversor KACO 10 KW	95
Tabla 6.16. Propiedades inversor KACO 14 KW	96
Tabla 6.19 Interruptor magnetotérmico DC	102

Tabla 6.20 Disyuntor de dos polos DC	103
Tabla 6.21 Resultados secciones alternativa 1.(a)	109
Tabla 6.22 Resultados secciones alternativa 2.(a)	109
Tabla 6.23 Resultados secciones alternativa 1.(b)	109
Tabla 6.24 Resultados secciones alternativa 2.(b)	110
Tabla 6.25 Sec. nominales para conductores de tierra servicio	110
Tabla 6.26 Cubicación alternativa 1.(a)	111
Tabla 6.27 Cubicación alternativa 2.(a)	112
Tabla 6.28 Cubicación alternativa 1.(b)	112
Tabla 6.29 Cubicación alternativa 2.(b)	113
Tabla 7.1 Tabla resumen inversión alternativa 1.(a)	114
Tabla 7.2 Tabla resumen inversión alternativa 2.(a)	115
Tabla 7.3 Tabla resumen inversión alternativa 1.(b)	116
Tabla 7.4 Tabla resumen inversión alternativa 2.(b)	117
Tabla 7.5 Tabla costos mantención	118
Tabla 7.6 Recuperación estimada de la inversión para las alternativas	119
Tabla 7.7 Recuperación real, flujo de caja al octavo año de alternativa (1.(b))	120

INTRODUCCION

El mundo tecnológico se ha vuelto totalmente dependiente de la disponibilidad continua de suministro eléctrico. En la mayoría de los países, el suministro eléctrico comercial se abastece a través de redes nacionales, que interconectan numerosas estaciones generadoras. La red debe abastecer las necesidades básicas nacionales de iluminación, calefacción, refrigeración, aire acondicionado, transporte y residenciales, así como el abastecimiento crítico a comunidades gubernamentales, industriales, financieras, comerciales, médicas y de comunicaciones. El suministro eléctrico comercial literalmente le permite al mundo moderno actual funcionar a su paso acelerado. La tecnología sofisticada ha penetrado profundamente en los hogares, y con la llegada del comercio electrónico está cambiando continuamente la forma de interactuar con el resto del mundo.

En Chile, a partir del año 2009 y durante los años 2010 y 2011, se ha recuperado la capacidad de crecer a altas tasas, con una economía muy activa. La economía chilena acumula un crecimiento proyectado al 2011 de 6,3%, mostrando la mayoría de los sectores una fuerte expansión. En la medida que nuestro país crece, mayor energía requiere, produciéndose un natural acoplamiento entre economía y energía. En consecuencia, el desafío de Chile hoy es contar con recursos energéticos suficientes y competitivos para apoyar ese desarrollo.



Demanda proyectada SIC + SING hasta 2030 (Ministerio de energía)

CAPITULO I

Planteamiento del problema

1.1.- Situación problema.

En Chile el recurso hídrico es un componente fundamental de la eléctrica, representando, el año 2011, cerca del 35% de la producción de energía eléctrica, por lo que se fomenta decididamente su desarrollo dado el enorme potencial que este recurso ofrece.

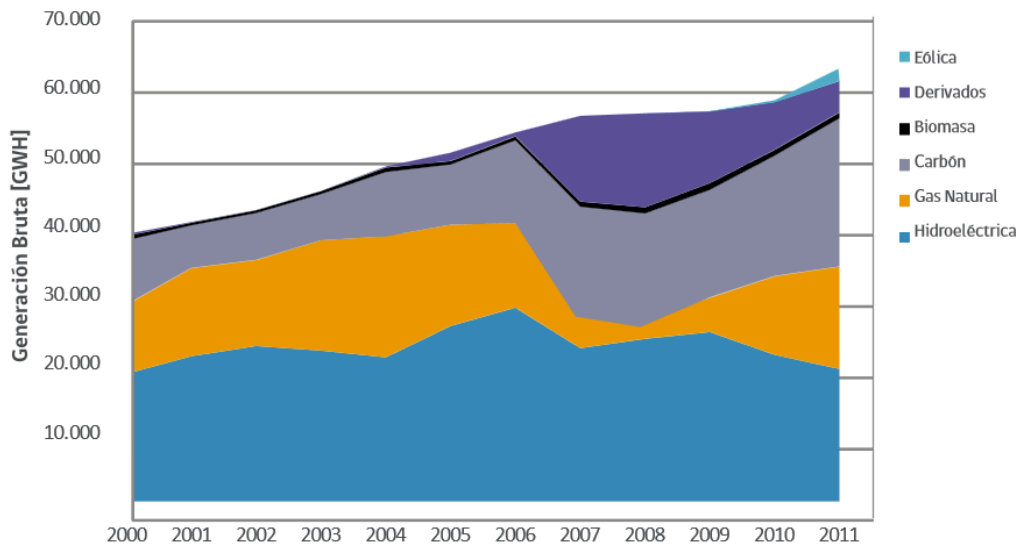


Figura 1.1. Generación SIC + SING 2000-2011 (Ministerio de energía)

El sistema eléctrico chileno tiene un porcentaje importante de generación hidroeléctrica, ubicada básicamente en el Sistema Interconectado Central (SIC). Por esto, es muy importante prepararse para el impacto que tendrá el cambio climático en la generación hidroeléctrica a futuro.

Sin embargo el sistema de generación del país, ha sufrido un cambio en el reemplazo de la generación hacia centrales térmicas operadas en base a carbón o diésel. Lo que ha llevado a una mayor participación de combustibles que se importan, convirtiéndose en un país dependiente de estos. En la misma línea pero en menor medida se trabaja adicionalmente con gas Argentino para suplir esta demanda para mantener la matriz energética.

Considerando que el agua, como elemento generador de energía eléctrica, es una de las principales fuentes de desarrollo energético nacional y que actualmente se encuentra en déficit, sumado a la dependencia de combustibles, que se importan, para operar las centrales térmicas y al crecimiento proyectado para los años próximos por fuerte expansión industrial que acompaña. Ha traído consigo un aumento en la demanda energética a nivel nacional, lo que ha incurrido en el incremento de los costos de la energía.

Por otra parte, Chile como miembro de la OCDE se ha hecho parte del crecimiento verde y lo ha plasmado en el compromiso de disminuir en un 20% las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el año 2020, así como en su compromiso de aumentar el aporte de las ERNC a la matriz energética a un 20% para el 2020, además de la aprobación de la ley de cogeneración por parte del Congreso Nacional. En el mismo sentido, la encuesta CEP de 2010 demostró que el común de las personas está consciente de la problemática ambiental y de la responsabilidad de cada uno, así como del hecho que cada persona puede aportar a la descontaminación.

El uso de diferentes fuentes de energías renovables no convencionales para aminorar el uso energético del SIC es uno de los diversos desafíos que se plantea para este sector la que se debe enfrentar oportunamente.

Para la Universidad del Bío-Bío el contar con sistema de autogeneración empleando energías limpias para disminuir los consumos de energía eléctrica y a su vez crear un sistema de eficiencia energética que contribuiría con disminuir tanto sus costos por consumo como a su vez la dependencia externa.

1.2.- Objetivos:

1.2.1.- Objetivo General

- Evaluar la factibilidad técnico económica de un sistema generador de energía eléctrica con energía solar como fuente renovable no convencional, como alternativa que permita suministrar energía

eléctrica, disminuyendo el consumo de energía tradicional y así disminuir costos de operación y promover la sostenibilidad económica en la Universidad del Bío-Bío.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Evaluar sistemas de generación eléctrica mediante distintas alternativas de instalaciones fotovoltaicas.
- Realizar estudio de factibilidad técnica para instalaciones de paneles fotovoltaicos sobre techumbre de edificios de la Universidad del Bío-Bío
- Desarrollar estudio económico y viabilidad del proyecto.

1.3.- Justificación

Las energías renovables son fuentes de energía que cada día se hacen más necesarias ya que es inminente la escasez de los combustibles fósiles.

El presente trabajo quiere aportar, a la difusión así como a la aplicación de las energías renovables, en los países como Chile que están en vías de desarrollo y aportar con ideas nuevas en la resolución de los problemas. Existen los recursos necesarios para aplicar este tipo de energía, que haría al país, en parte, independiente del petróleo que tanto afecta la economía.

La energía solar es una buena alternativa para reducir los costos por consumo de energía eléctrica tradicional y sería una de las soluciones ideales para cumplir con los objetivos propuestos, además la universidad del Bío-Bío cuenta con superficies sobre las techumbres en donde la incidencia de radiación solar es directa ya que su ubicación es favorable por estar orientada en dirección norte.

Estas energías representan el futuro, ya que, son fuentes inagotables y representan un peligro mínimo para el medio ambiente. Se debe poner especial atención a este tipo de energía que representa un porvenir prometedor.

CAPITULO II

Métodos de generación eléctrica

2.1.- Generación eléctrica

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico) y obtener trabajo. A su vez, la energía eléctrica se puede transformar en otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, energía mecánica, energía térmica, etc.

La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

El aprovechamiento de la energía está ligado, en efecto, al desarrollo humano. Hoy en día sin embargo existe una complejidad creciente en los temas energéticos. Se dispone de un número cada vez mayor de fuentes energéticas, redes energéticas más complejas, métodos de almacenamiento, etc.

La energía eléctrica es la forma de energía más utilizada. Gracias a la flexibilidad en la generación y transporte, se ha convertido para la industria en la forma más extendida de consumo de energía.

La generación de electricidad, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía, "no eléctrica", sea esta química, mecánica, térmica, luminosa, etc. en energía eléctrica.

Para la generación industrial de energía eléctrica se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, las cuales ejecutan alguna de las

transformaciones citadas, de energía “no eléctrica” en energía eléctrica y constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

2.2.- Antecedentes Históricos

Aunque los griegos habían dado un importante paso hacia el gran descubrimiento de los generadores, hasta el siglo XVII el hombre no inventa la primera máquina para producir electricidad. En Alemania, Otto Von Guericke construye un sencillo aparato que contenía una gran bola de azufre. Girando la bola con un manubrio y colocando una mano sobre la bola, se cargaba por fricción (figura 2.1.). A mediados del siglo XIX, se habían inventado muchos generadores por fricción parecidos.

Otros tipos de generadores funcionaban por inducción electrostática (figura 2.2.), un proceso por el cual un objeto se carga eléctricamente por proximidad de otro objeto ya cargado. Los generadores de inducción funcionan recogiendo cargas inducidas hasta acumular un voltaje elevado. Una de estas máquinas, inventada en 1883 por James Wimshurst, todavía se utiliza en prácticas de laboratorio para generar hasta 5000 voltios, y a veces aún más.



Figura 2.1.

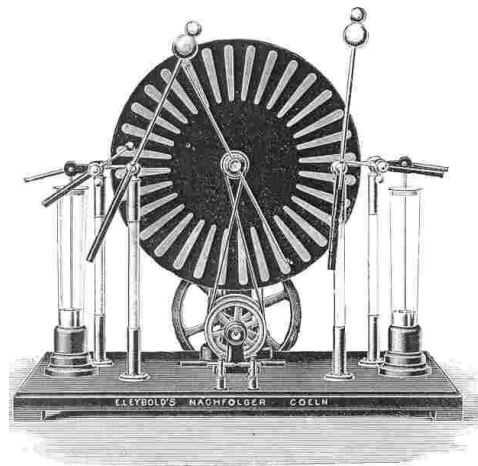


Figura 2.2.

La energía eléctrica es una forma de energía de transición (ni primaria ni final) extremadamente difundida actualmente y cómoda debido a sus posibilidades de conversión (calefacción, iluminación, energía mecánica, etc.) y de transporte. Proviene, en general, de la conversión, en centrales, de energía mecánica por medio de generadores (o alternadores).

2.3.- Métodos de generación

Los métodos más tradicionales de generación de energía eléctrica se produce en centrales que utilizan combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón), energía nuclear o energía hidráulica, sin embargo hoy en día han aparecido otros métodos de generación lo que lleva a clasificar las formas de generación.

- Energías convencionales
- Energías no convencionales

2.3.1.- Energías convencionales

En Chile la energía eléctrica es generada, principalmente, por medio de plantas hidroeléctricas y termoeléctricas, esto debido a que las demás fuentes de energía eléctrica requieren mayor cantidad de inversión económica y no generan un potencial superior o al menos igual a las antes mencionadas.

2.3.1.1.- Centrales hidroeléctricas

La función de una planta hidroeléctrica es utilizar la energía potencial del agua en energía mecánica y luego convertirla en energía eléctrica. Este proceso toma en consideración varios factores entre los cuales uno de los más importantes es la caída de agua. Este factor es decisivo al momento de escoger el tipo de turbina hidráulica que se instalará en la planta.

Los generadores, que se encuentran acoplados a las turbinas por un eje en común, son los encargados de transformar la energía de rotación proveniente de la turbina en energía eléctrica por el generador, la cual se traslada a la subestación elevadora (ubicada cerca de la casa de máquinas); esta se encarga de elevar la tensión o voltaje para que la energía llegue a los centros de distribución con la debida calidad. Todo este proceso es administrado desde la sala de control de la casa de máquinas. Una caída alta (entre 240 a 600 m) requiere una turbina para alta presión, de impulso tipo Pelton. Si la caída es intermedia (entre 60 y 240 m), entonces se escoge una turbina de reacción tipo Francis. Para caídas bajas (menores a 60 m) se utiliza un tipo de turbina de reacción tipo Kaplan.

2.3.1.2.- Centrales termoeléctricas

En este grupo caben todas las plantas generadoras que utilizan como fuente primaria el calor proveniente de los combustibles. De esta forma pueden ser de combustión o de no combustión.

El principio de funcionamiento de una central térmica se basa en el intercambio de energía calórica en energía mecánica y luego en energía eléctrica. Es el aprovechar la energía química de los combustibles derivados del petróleo.

Los 3 elementos esenciales de una central térmica son:

- La caldera, elemento que produce vapor a partir de la energía química obtenida al efectuarse la combustión o quemado de combustible.
- La turbina, elemento que produce la energía mecánica.
- El alternador (Generador), elemento que produce la energía eléctrica

El funcionamiento de todas las centrales térmicas o termoeléctricas es semejante.

En la caldera, los quemadores provocan la combustión del carbón, fueloil, gas, bunker entre otros, generando energía calorífica. Calentado el agua que circula por una extensa red formada por miles de tubos que tapizan las paredes de la caldera y producir vapor a alta temperatura; este vapor entra a gran presión en la turbina central, la cual produce la energía mecánica que es utilizada por el generador para producir la electricidad.

2.3.1.3.- Centrales nucleares

La energía nuclear es la energía proveniente de reacciones nucleares, o de la desintegración de algunos átomos, como consecuencia de la liberación de la energía almacenada en el núcleo de los mismos.

Recibe el nombre de fisión una reacción en la cual un núcleo pesado, al bombardearlo con neutrones, se descompone en dos núcleos, con gran desprendimiento de energía y la emisión de dos o tres neutrones, que, a su vez, pueden ocasionar más fisiones, al interaccionar con nuevos núcleos fisionables, y así sucesivamente. Este efecto multiplicador se conoce con el nombre de reacción en cadena.

Si se logra que sólo uno de los neutrones liberados produzca una fisión posterior, el número de fisiones que tienen lugar por segundo permanece constante y la reacción está controlada. Este es el principio de funcionamiento en el que están basados los reactores nucleares, que son fuentes controlables de energía nuclear de fisión.

En una central nuclear, como en una central térmica clásica, se transforma la energía liberada por un combustible (óxido de uranio ligeramente enriquecido en el isótopo U235, con un grado de enriquecimiento que oscila entre el 3-5%), en forma de calor, en energía mecánica y después en energía eléctrica; el calor producido permite evaporar agua que acciona una turbina la cual lleva acoplado un alternador.

El vapor que alimenta esta turbina puede ser producido directamente en el interior de la vasija del reactor (en los reactores de agua en ebullición BWR) o en un

intercambiador denominado generador de vapor (en los reactores de agua a presión PWR).

2.3.2.- Energías renovables no convencionales

2.3.2.1.- Centrales eólicas

Es la energía que se puede obtener proveniente de la energía cinética del viento. La energía del viento se transforma mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas generadoras que se encuentran incorporadas dentro del aeromotor, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como aerogenerador.

2.3.2.2.- Centrales mini hidroeléctricas o de pasada

Las mini centrales hidroeléctricas operan con el mismo principio que las centrales hidroeléctricas de gran tamaño. Son centrales que aprovechan la energía cinética de los cauces naturales de agua y utilizan el desvío de una fracción del caudal de un río, con el fin de aprovechar la caída de agua para lograr el movimiento de las turbinas. Estas se encuentran conectadas a un generador, el que produce energía eléctrica con una potencia en este caso menor a 20 MW. Para lograr la transformación es necesario que el relieve de la zona permita tener caídas de agua sobre los 3 metros de altura. El agua se usa de modo que es devuelta río abajo al cauce de donde se extrajo o, a un nuevo cauce, procurando minimizar los impactos ambientales producto de este desvío.

Las mini centrales se pueden clasificar de acuerdo a su generación:

- pico centrales P < 5 kW
- micro centrales P < 100 kW
- mini centrales P < 1.000 kW
- pequeñas centrales P < 10.000 kW

2.3.2.3.- Centrales de Biomasa

Una central de biomasa es una instalación que permite el aprovechamiento de la biomasa para la producción de electricidad. Tiene un ciclo térmico similar al de las centrales térmicas convencionales, la energía calorífica que se produce en un determinado foco es transformada en energía mecánica rotatoria mediante una turbina y, posteriormente, en energía eléctrica a través de un generador. La diferencia está en que el combustible principal utilizado para producir la energía calorífica en el caso de las centrales de biomasa lo constituyen principalmente los residuos forestales, los cultivos de plantas energéticas, o los residuos agrícolas.

Desde el punto de vista de cambio climático, se considera que los gases de invernadero emitidos en la producción de electricidad a partir de la biomasa no tienen impacto negativo, ya que el CO₂ producido en la combustión es aproximadamente el mismo que la cantidad fijada por la masa vegetal durante su crecimiento. En cualquier caso, en la hipótesis de no utilizarse la biomasa en una central, el CO₂ volvería a la atmósfera a través del proceso natural de descomposición de la materia orgánica.

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Biomasa natural: es la que se produce a la naturaleza sin la intervención humana.
- Biomasa residual: son los residuos orgánicos que provienen de las actividades de las personas (residuos sólidos urbanos, RSU, por ejemplo).

- Biomasa producida: son los cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

2.3.2.4.- Energía solar térmica

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en aprovechar la energía del Sol para generar calor. El aprovechamiento de la energía solar térmica consiste en usar la radiación del Sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se utiliza para producir vapor y luego transformarlo en energía eléctrica, o utilizarlo como agua caliente sanitaria.

Es una instalación industrial en la que se utiliza en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica.

Constructivamente, es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 ° C hasta 1000 ° C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica.

2.3.2.5.- Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una posición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se

consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

El elemento fundamental de una central fotovoltaica es el conjunto de las células fotovoltaicas. Éstas, integradas primero en módulos y luego en paneles, captan la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico. Lógicamente, la producción de dichas células depende de las condiciones meteorológicas, fundamentalmente de la radiación, por lo que dichas condiciones son controladas a través del análisis de las medidas que se toman en una torre meteorológica.

La energía eléctrica circula por la red de transporte en forma de corriente alterna, Por ello, la corriente generada en los paneles solares es conducida a la sala de potencia, donde la corriente continua que se recibe en el sistema, es convertida en corriente alterna por medio de inversores y luego recogida en el sistema de corriente alterna.

Una vez convertida a corriente alterna, la energía eléctrica producida pasa por un centro de transformación donde se adapta a las condiciones de intensidad y tensión de la corriente de la red de transporte.

CAPITULO III

Recurso solar

3.1.- Aspectos generales

El sol es una fuente generadora de energía la cual es irradiada a todos los elementos del sistema solar terrestre, para los efectos de un observador terrestre el recurso solar es la radiación total recibida sobre una superficie plana en un determinado periodo de tiempo, la cual es la suma de radiación directa (\bar{H}_D) (recibida desde el sol directamente) y radiación difusa (\bar{H}_d) (radiación con dirección cambiada por reflexión de objetos). Todo valor de radiación puede ser aportado por fuentes externas internacionales como NASA, Meteonorm, World Radiation Data Center, OpensolarDB, o mediante cálculos matemáticos con programas como EES.

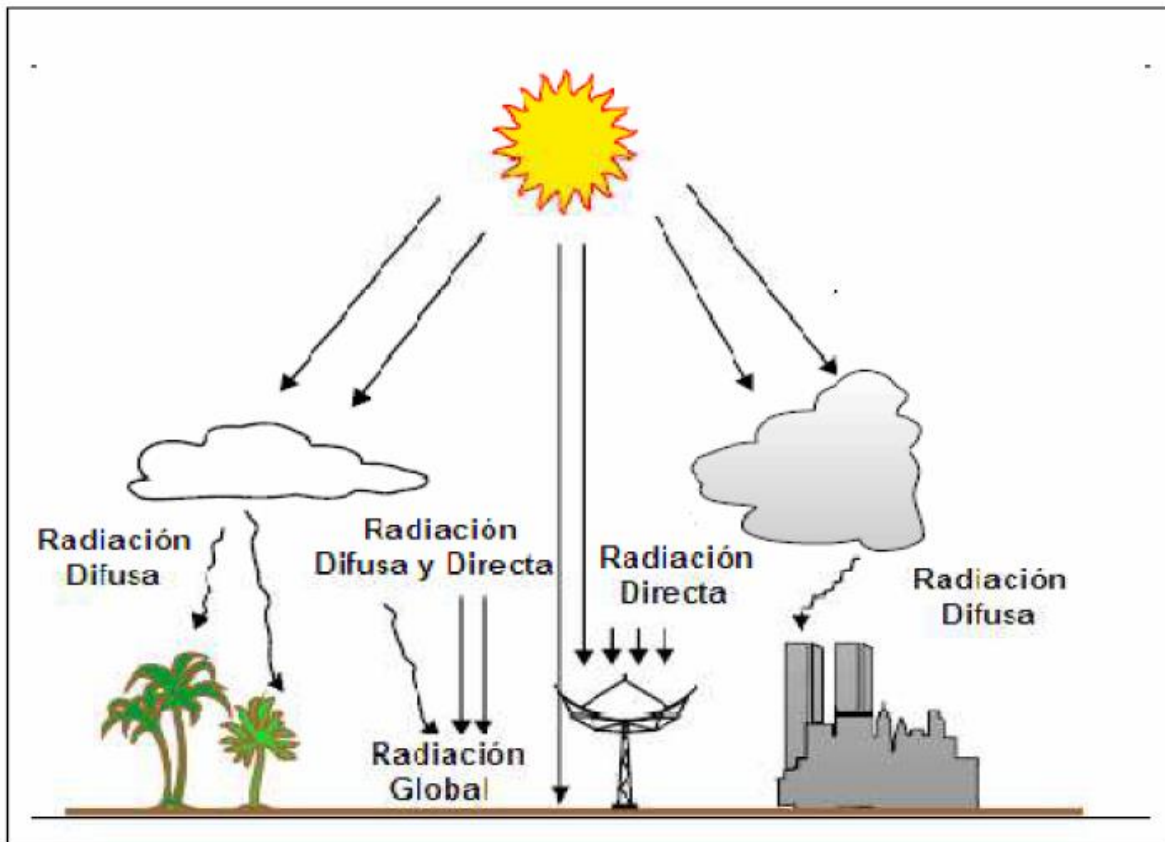


Figura 3.1. Esquema de tipos de radiación (R. Sánchez)

La tierra posee un movimiento de traslación respecto al sol siguiendo una órbita elíptica alrededor de este, esto conlleva a que su distancia respecto al sol es variable, con una distancia media de 149.600.000 (km) (Afelio – 152×10^6 km y Perihelio – 147×10^6 km).

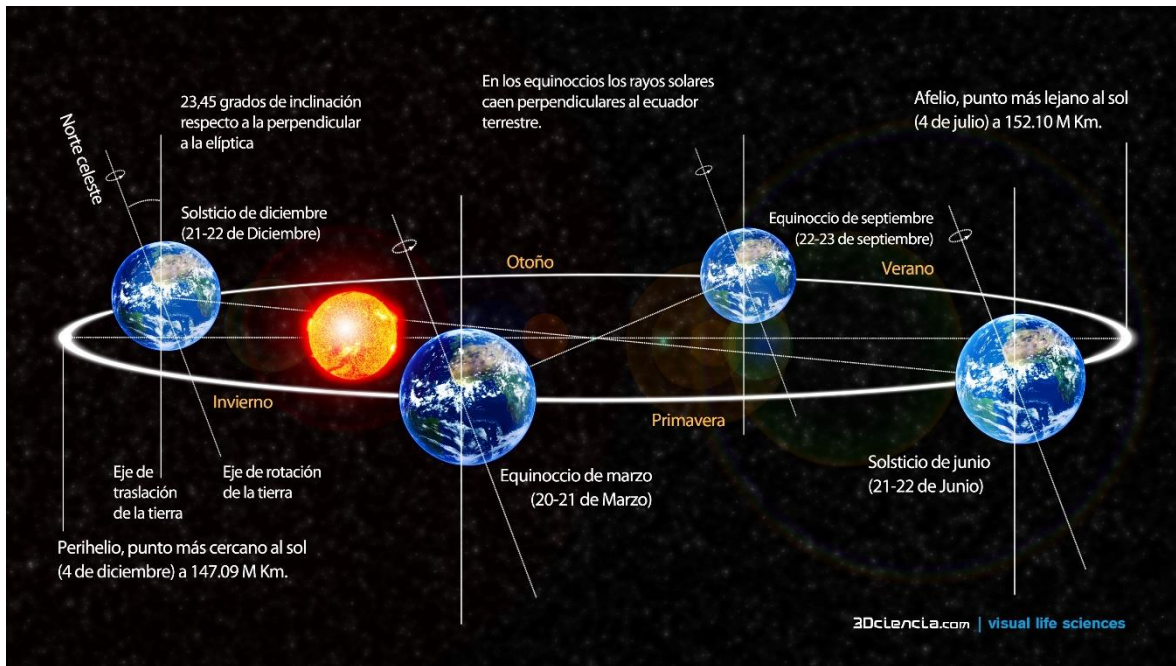


Figura 3.2. Traslación terrestre respecto al sol. (3Dciencia.com)

Como elementos referenciales la tierra se divide en paralelos (líneas horizontales que refieren la latitud respecto al Ecuador) y meridianos (líneas verticales que refieren la longitud respecto al meridiano de Greenwich).

Las latitudes tomando como punto central la línea del ecuador 0° (90° positivos hacia el hemisferio norte y 90° negativos hacia el hemisferio sur) y las longitudes tomando como punto central el meridiano de Greenwich 0° (180° positivos hacia el este y 180° hacia el oeste).

3.2.- Hora solar

La hora solar es una medida del tiempo fundamentada en el movimiento angular aparente del sol sobre el horizonte del lugar. Tomando como origen el instante en que el sol pasa por el meridiano que se encuentra encima del observador siendo su punto más alto en el cielo, y al cual se le asigna el valor de las 12 del día (mediodía). Sin embargo el sol debido que no tiene un movimiento regular a lo largo del año es que la hora del mediodía indicada por el punto que el sol pasa por el meridiano, no coincide con la hora local del observador.

Por esta no coincidencia es que para poder determinar la hora solar es necesario tener en cuenta 3 factores o variables, las cuales son:

- Corrección por la ecuación de tiempo: Ya que la tierra no gira de manera constante sobre su eje de rotación y sobre el eje de traslación alrededor del sol, es que existe una ecuación de tiempo que varía según los días del año creando variación de hasta 15 minutos de retraso o adelanto a la hora solar media, que corrijan las diferencias en la velocidad de órbita debido a su excentricidad e inclinación del eje polar.

$$E = 9,87 * \text{sen}(2 * B) - 7,53 * \text{cos}(B) - 1,5 * \text{sen}(B) \quad (3.1)$$

Siendo

$$B = \frac{360*(d-81)}{364} \quad (3.2)$$

Donde (d) corresponde al día del año en que se encuentre



Figura 3.3. Ecuación del tiempo respecto a los meses del año

- Variación por horario de verano: En países donde existe variación de horario de verano para el aprovechamiento de luz solar, se resta una hora a la hora local para la época de verano.
- Diferencia de longitud: Es una diferencia entre el meridiano local del observador y el meridiano en el cual se basa la hora local del país a partir del meridiano de Greenwich, para estos efectos se considera que 1° equivalen a 4 minutos que demora en recorrerlo el sol.

Luego de considerar estas 3 variables la hora solar se entrega por la siguiente ecuación:

$$h_{sol} = h_{loc} - X + \frac{E}{60} \pm \frac{4*(M_{con}-M_{loc})}{60} \quad (3.3)$$

Donde

h_{loc} : Hora local medida en [hr]

X : Variación horario de verano. $X= 1$ horario de verano

$X= 0$ horario de invierno

E : Corrección por ecuación de tiempo

M_{con} : Meridiano convencional (60° para Chile)

M_{loc} : Meridiano local del observador

Localización al este de Greenwich (-), al oeste (+)

3.3. Ángulos Solares

Para el estudio de radiación es necesario el conocimiento de ciertos ángulos solares los cuales ayudan a determinar la posición del sol en el cielo en algún momento determinado para su posterior evaluación y estudio.

3.3.1. Angulo horario (ω)

El ángulo horario es la distancia entre el meridiano del observador y el meridiano cuyo plano contiene al sol, siendo cero al mediodía (cuando el sol alcanza la máxima altura en el cielo) y otorgando ángulos negativos hacia el este y positivos hacia el oeste, este ángulo se incrementa 15° por cada hora, dando como resultado que a las 0 hrs el ángulo es $\omega=-180^\circ$, al mediodía (12 hrs) es $\omega=0^\circ$ y a las 24 hrs es $\omega= 180^\circ$ al final del día.

Por lo tanto:

$$\omega = \pm 15 * N^\circ \text{ de horas desde el mediodía solar} \quad (3.4)$$

3.3.2. Declinación (δ)

Es una posición angular del sol al mediodía solar respecto al plano del ecuador, dependiendo de los días del año.

Definido por la siguiente ecuación de Cooper:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 * \frac{284+d}{365}\right) \quad (3.5)$$

Dicho ángulo alcanza un valor de $23,45^\circ$ en el solsticio de invierno y $-23,45^\circ$ en el solsticio de verano.

3.3.3. Ángulos solares principales

Estos ángulos principales permiten dilucidar la posición del sol en el cielo, dichos ángulos son Altitud (α), Azimut solar (Z) y Zenit (φ).

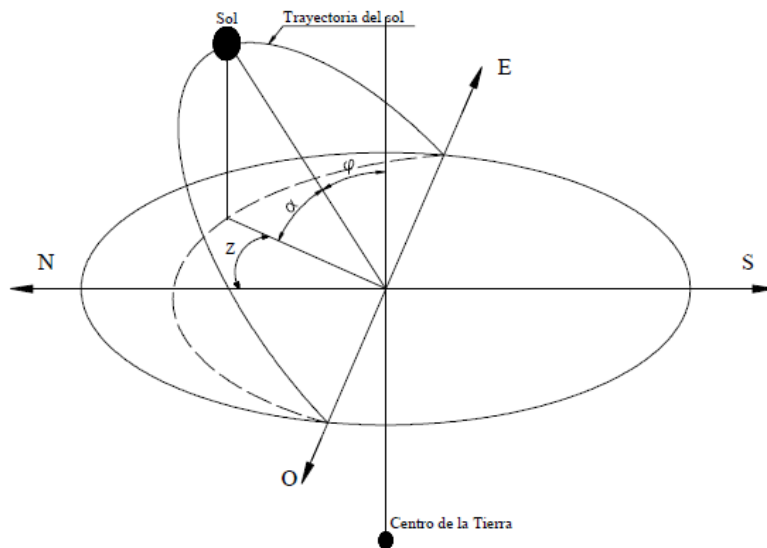


Figura 3.4 Ángulos solares principales

3.3.3.1. Altitud (α)

Es el ángulo que los rayos solares y la superficie horizontal del observador, este ángulo es complementario con el ángulo Zenit (φ) y se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$\sin(\alpha) = \sin(\delta) * \sin(L) + \cos(\omega) * \cos(L) * \cos(\delta) \quad (3.6)$$

Donde L es Latitud.

3.3.3.2. Azimut solar (Z)

Ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano horizontal con la dirección Sur en el hemisferio norte y con dirección norte para el hemisferio sur, el Azimut solar o ángulo acimutal se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$\sin(Z) = \frac{\cos(\delta) * \sin(\omega)}{\cos(\alpha)} \quad (3.7)$$

3.3.3.3. Zenit (φ)

El Zenit o ángulo zenital es el ángulo formado por el radio vector punto-Tierra y la vertical del lugar.

3.3.4. Ángulos solares complementarios referidos a una superficie inclinada

Ángulos relacionados con los rayos solares a un plano con inclinación arbitraria, dichos ángulos son Inclinación (β), ángulo de incidencia solar (ϑ) y ángulo azimutal de superficie (Z_s).

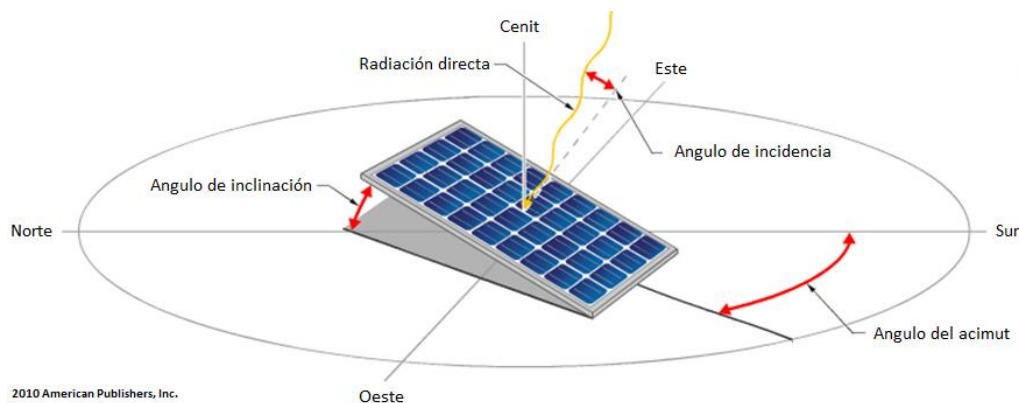


Figura 3.5 ángulos solares complementarios (American Publisher, Inc.)

3.3.4.1. Inclinación (β)

Es el ángulo de inclinación que posee una superficie cualquiera respecto de su horizontal, cuando la superficie esté completamente horizontal, es decir, $\beta=0^\circ$, el ángulo de incidencia será el mismo zenit.

3.3.4.2. Ángulo azimutal de superficie (Z_s)

Es un ángulo de desviación en la proyección en el plano horizontal de la normal de la superficie con respecto al meridiano local.

3.3.4.3. Ángulo de incidencia solar (ϑ)

Es el ángulo formado entre el haz de radiación directa y la normal de la superficie inclinada, este ángulo se puede obtener mediante la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \cos(\vartheta) = & \sin(\delta) * \sin(L) * \cos(\beta) - \sin(\beta) * \cos(L) * \sin(\delta) * \cos(Z_s) + \cos(\delta) * \\ & \cos(L) * \cos(\beta) * \cos(\omega) + \cos(\delta) * \sin(L) * \cos(\omega) * \sin(\beta) * \cos(Z_s) + \sin(Z_s) * \\ & \sin(\omega) * \sin(\beta) * \cos(\delta) \end{aligned} \quad (3.8)$$

3.4. Duración del día solar.

Para términos de máximo aprovechamiento energético es necesario saber cuántas horas el sol permanece en el cielo donde puede encontrarse visible y entregar radiación a alguna superficie, por ello es necesario conocer la duración del día astronómico.

Debido a que el Zenit y la Altitud solar son complementarios, el Zenit valdrá 90° cuando la altitud solar valga 0, lo cual será cuando salga el sol y se ponga el sol, considerando el ángulo horario a la puesta de sol.

$$\cos(\omega) = \frac{-\sin(L) * \sin(\delta)}{\cos(L) * \cos(\delta)} = -\tan(L) * \tan(\delta) \quad (3.9)$$

Debido a que cada hora que pasa son 15° de avance del sol, la ecuación para determinar la duración del día solar queda de la siguiente manera:

$$N = \frac{2}{15} * \arccos(-\tan(L) * \tan(\delta)) \quad (3.10)$$

Donde N es la duración del día en (hrs).

La ecuación es válida si el valor absoluto de $(-\tan(L) * \tan(\delta)) \leq 1$. Para las latitudes altas (mayores de 66.6°), donde dependiendo de la época del año no se satisface esa condición, implica que los días pueden tener una duración igual a 24 horas, el Sol no se oculta, o igual a 0 horas, el Sol se mantiene por debajo del horizonte, dependiendo del día del año. Este fenómeno solo ocurre en los polos.

3.5. Recurso solar para la ciudad de Concepción

El estudio se realizará en la ciudad de Concepción ubicada en la VIII Región de Chile a una latitud de -36,46 y a una longitud de -73,03.

En la tabla siguiente se indican las características solares para la ciudad de Concepción.

Mes	Angulo horario a la puesta de sol ω_s	Promedio mensual de hora solar \bar{N} (horas)	Declinación δ	Índice de claridad atm. \bar{K}_T	Radiación difusa \bar{H}_d kWh/m ² día	Radiación directa \bar{H}_D kWh/m ² día
Enero	106°	14.3	-20.7	0.63	1.78	9.89
Febrero	99.3°	13.3	-12.3	0.61	1.64	8.62
Marzo	91.3°	12.3	-1.8	0.59	1.35	7.37
Abril	82.7°	11.1	9.71	0.54	1.08	5.79
Mayo	75.4°	10.2	18.8	0.48	0.87	4.18
Junio	71.6°	9.71	23.0	0.46	0.75	3.67
Julio	73.3°	9.93	21.2	0.49	0.77	4.27
Agosto	79.5°	10.7	13.7	0.51	1.01	4.92
Septiembre	87.7°	11.8	3.08	0.56	1.28	6.35
Octubre	96.3°	12.9	-8.45	0.57	1.67	7.26
Noviembre	104°	14.0	-18.1	0.59	1.91	8.55
Diciembre	108°	14.5	-22.8	0.61	2.00	9.35

Tabla 3.1 Datos de características solares para Concepción (NASA)

De igual modo, para la ciudad de Concepción, los datos anteriores permiten definir los valores de radiación diarios para cada mes tanto en superficies horizontales como en superficies inclinadas requeridas para la latitud pertinente.

Mes	Radiación para superficie horizontal kWh/m ² día	Radiación diaria para superficie inclinada a 36° kWh/m ² día	Radiación mensual para superficie inclinada a 36° kWh/m ² mes
Enero	8.29	7.40	229.4
Febrero	7.12	7.02	196.56
Marzo	5.57	6.37	197.47
Abril	3.93	5.29	158.7
Mayo	2.56	3.86	119.66
Junio	2.08	3.41	102.3
Julio	2.40	3.86	119.66
Agosto	3.19	4.46	138.26
Septiembre	4.75	5.73	171.9
Octubre	6.05	6.29	194.99
Noviembre	7.50	6.87	206.1
Diciembre	8.18	7.13	221.03
Promedio anual	5.12	5.63	

Tabla 3.2 Datos de radiaciones solares para Concepción (Lat.= -36,46°, Long.= -73,03°) (NASA)

CAPITULO IV

Marco teórico

4.1.- Energía solar en paneles fotovoltaicos

La energía emitida por el sol como consecuencia de reacciones nucleares de fusión llega a la tierra, a través del espacio, en forma de partículas de energía (fotones) y por radiación. Esta puede utilizarse por su capacidad para calentar, o transformarse en energía eléctrica mediante dispositivos ópticos u de otro tipo. Es una fuente de energía renovable y limpia.

En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica.

La cantidad de energía de radiación solar recibida en un punto del planeta está directamente relacionada con su latitud, la hora del día y las condiciones atmosféricas, de igual modo la cantidad de radiación que puede ser aprovechada es función de sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas.

Se entiende a la radiación directa como la que proviene directamente del sol, mientras que la radiación difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, nubes y elementos terrestres.

La Tierra recibe aproximadamente 174 (W) de radiación solar proveniente desde la capa más alta de la atmósfera por la energía irradiada del sol, un 30 % regresa al espacio, mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben la restante.

La radiación directa normal o perpendicular a los rayos solares fuera de la atmósfera recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 W/m², en una banda de longitud de onda entre 0,1 y 0,3 micrones (**µm**). En la superficie terrestre el valor es siempre inferior, ya que parte de la energía se pierde al atravesar las

capas de la atmósfera. En buenas condiciones este valor llega a ser superior a los 1000 W/m² en la superficie, lo que se conoce como irradiancia.

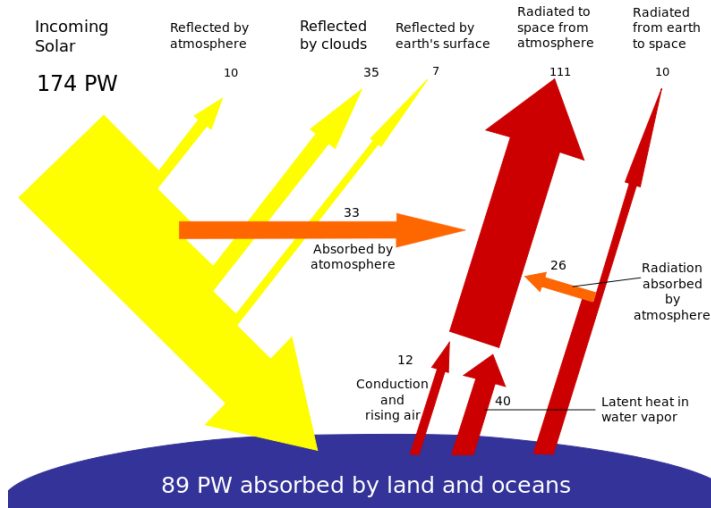


Figura 4.1. Diagrama de comportamiento de radiación solar (Estudio Solar)

En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de 0,1 μm a 100 μm, que abarca parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético.

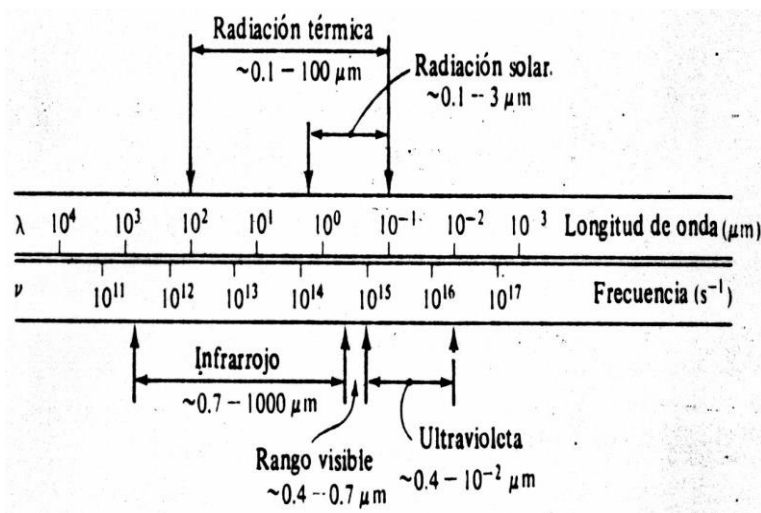


Figura 4.2 Longitudes de onda de radiación térmica

Teóricamente es posible calcular y determinar la potencia de radiación solar en un punto del planeta, con fórmulas astronómicas y suponiendo un cielo despejado, y se corrige el valor obtenido con las medidas reales de radiación captadas en ese lugar, los fenómenos meteorológicos (nubes, nieblas) modifican en gran medida ese valor.

También mediante equipos de medición especializados para este fin es posible obtener el valor de radiación concreto para ese punto en el planeta. Equipos como Pyranómetro (mide radiación neta y/o difusa si posee banda de sombra), Pyrheliómetro (mide radiación directa), Pyrgeómetro (mide radiación onda larga) permiten obtener dicha información.

Sin embargo actualmente el valor de la radiación incidente para un punto en la tierra es entregado por programas especializados como meteonorm o por páginas oficiales de entidades profesionales que mantienen estudios sobre esta área (NASA).

Estos valores de radiación son necesarios para el estudio y cálculo de paneles fotovoltaicos para obtener la energía eléctrica que puede generar dicho panel.

4.2.- Paneles fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son superficies compuestas por celdas que convierten la luz en electricidad. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que produce un campo eléctrico con la capacidad de mover cargas eléctricas y generar corriente (flujo de electrones).

Un panel fotovoltaico posee, celdas fotovoltaicas que en su gran mayoría están fabricadas de Silicio, dopadas con Boro y Fósforo, elementos que mediante el efecto

fotoeléctrico producen movimiento de cargas eléctricas negativas, por la diferencia de potencial que existe entre los dos extremos de una placa fotovoltaica, fenómeno que ocurre cuando algunos fotones, provenientes de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en éste y siendo absorbidos por los materiales semiconductores.

Los electrones, que se alojan en orbitales son golpeados por fotones que interaccionan entre sí y se liberan de los átomos a los que estaban originalmente confinados como el silicio y circulan a través del material para producir electricidad mediante el flujo de electrones desde el sector con mayor cantidad (lado n) hacia el sector con huecos los cuales son átomos con menor cantidad de electrones (lado p). Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones (huecos) fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

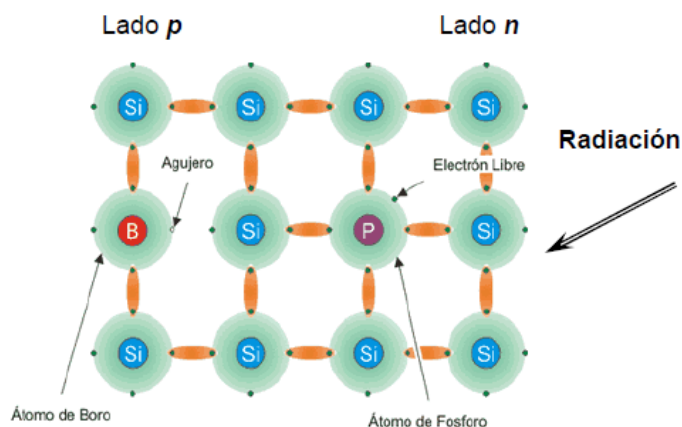


Figura 4.3 Composición de paneles fotovoltaicos

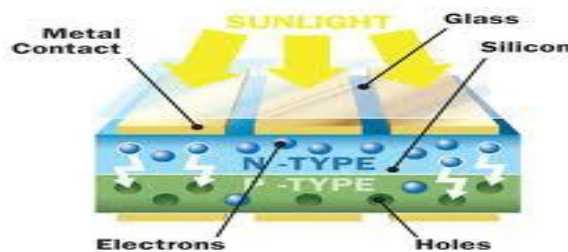


Figura 4.4 Movimiento de electrones en la capa fotovoltaica (Estudio Solar)

El rendimiento de los paneles fotovoltaicos es relativamente bajo, alrededor de un 25% o menos, esto es debido a que independiente de la intensidad de la energía de los fotones respecto de su longitud de onda, sólo un electrón puede ser liberado de cada átomo.

4.3.- Tipos de paneles FV

4.3.1.- Paneles de silicio mono cristalino: 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 mono cristalino creado a una temperatura cercana a 1400° C. La eficiencia de estas celdas ha llegado hasta un 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.



Figura 4.5 Panel mono cristalino (Estudio Solar)

4.3.2.- Paneles de silicio poli cristalino: Las láminas poli cristalinas 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 mono cristalino, pero son menos eficientes, debido a que el proceso deja imperfecciones en la superficie de la lámina. La eficiencia de conversión alcanza valores alrededor un 19,8% en laboratorio y de 14% en paneles comerciales. Las características del

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



Figura 4.6 Panel poli cristalino (Estudio Solar)

4.3.3.- Silicio Amorfo: es una tecnología de lámina delgada y se fabrica depositando silicio sobre un substrato de vidrio de un gas reactivo, tal como silano o hidruro de silicio (SiH_4). Además es posible aplicarlo como película sobre substratos 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. Este tipo de tecnología ofrece una serie de ventajas como: deposición y un ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en substratos o materiales de construcción baratos, los que incluso pueden ser flexibles, permiten producción en masa y conveniencia para grandes aplicaciones.

4.3.4.- Paneles Fotovoltaicos de película delgada (thin-film): se construyen en base a microestructuras CIGS (Cobre, Indio, Galio y 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.

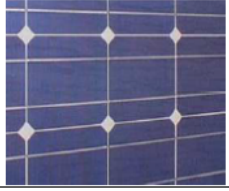

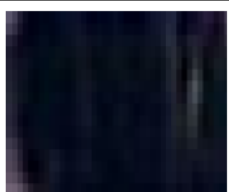
CELULA		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERISTICAS	FABRICACION
	MONOCRISTALINO	24%	15 - 18%	Son la más eficientes	Se obtiene de silicio puro (el mismo que utiliza la industria de chip electrónicos)
	POLICRISTALINO	19 - 20%	12 - 14%	Su rendimiento es algo inferior, pero su menor costo ha contribuido a aumentar su uso, cada vez más grande.	Se fabrica a partir de restos de silicio monocristalino
	AMORFO	16%	< 10%	Su rendimiento es bastante menor. Su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia : calculadoras, relojes, etc.	Se obtiene de silicio puro (el mismo que utiliza la industria de chip electrónicos)

Figura 4.7. Tabla comparativa de características (R. Sánchez)

4.4.- Funcionamiento de un panel solar FV

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. Esto genera una diferencia de potencial en la capa N con respecto a la P y si se conecta a una carga eléctrica o elemento de consumo entre los terminales del panel se iniciará una circulación de corriente continua.

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:

- Radiación de 1000 W/m²
- Temperatura de celda de 25° C (no corresponde a la temperatura ambiente).

Bajo estas condiciones es posible medir los siguientes parámetros:

4.4.1.- 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.

4.4.2.- 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.

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 está dada por el producto entre la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV. 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 como se ve en la figura 4.8. Mientras el panel opere fuera del punto de máxima potencia, la potencia de salida será significativamente más baja.

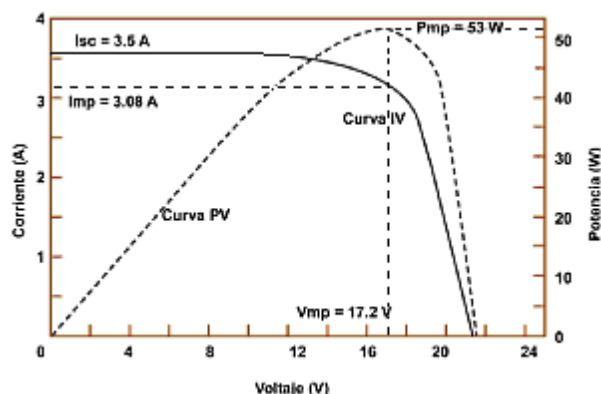


Figura 4.8. Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m^2 y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (R. Sánchez)

4.5.- Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico

4.5.1.- 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, donde el vértice sobre la curva, denominado Pmp, representa el valor de máxima potencia.

4.5.2.- Eficiencia o rendimiento en la conversión de energía de una celda FV: 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.

4.5.3.- Factor de forma (FF): 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).

Nomenclatura de variables utilizadas en sistemas FV	
Isc	Corriente de cortocircuito
Voc	Voltaje con circuito abierto
I _M	Corriente máxima (A)
V _M	Voltaje máximo (Volts)
P _M	Potencia máxima = I _M × V _M
FF	Factor de Forma = $\frac{P_M}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$
Eficiencia o rendimiento de una celda FV $\mu = \frac{P_M}{S \cdot G}$ S= Area de la celda (m ²) G= Irradiancia (W/m ²)	

Tabla 4.1. Resumen de nomenclaturas (R. Sánchez)

4.6.- Factores que afectan el rendimiento de un Panel Fotovoltaico

4.6.1.- 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 posea una cantidad de energía óptima ya que la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja.

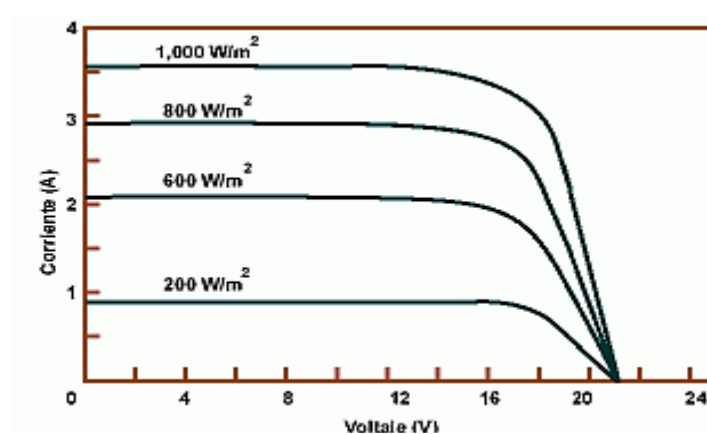


Figura 4.9. Incidencia de niveles de radiación en la corriente (R. Sánchez)

4.6.2.- 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.

4.6.3.- 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.

4.6.4.- 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.

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

Tabla 4.2. Inclinación y orientación (SEC)

4.6.5.- Efecto de la Temperatura: La temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico, es una temperatura interna de la célula fotovoltaica producto del movimiento de los electrones. 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 la cual es de 0,5% aproximadamente por cada grado sobre los 25°, en cambio, al disminuir la temperatura el voltaje tiende a aumentar, pero la corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregada.

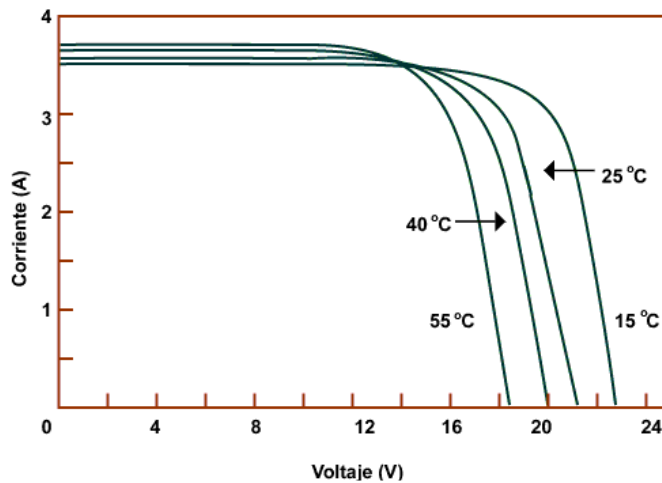


Figura 4.10. Incidencia de temperatura sobre la generación de energía (R. Sánchez)

4.7.- Tipos de instalaciones de paneles fotovoltaicos

4.7.1.- Instalaciones aisladas de la red eléctrica: Son utilizadas en sectores aislados, que no tienen acceso a la red eléctrica, por lo que resulta más factible además de implicar menos costos el uso de un sistema fotovoltaico que el acceso a la red eléctrica, generalmente son sectores rurales, iluminación de áreas aisladas, antenas de comunicaciones, balizas o boyas de señalización, bombeo de agua, etc. Estos sistemas van acompañados de bancos de baterías que permiten almacenar la energía que no se está utilizando.

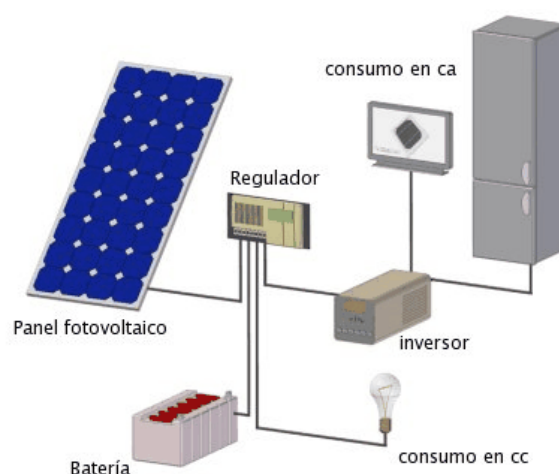


Figura 4.11. Instalación aislada de la red eléctrica (Estudio Solar)

4.7.2.- Instalaciones conectadas a la red eléctrica: Es una instalación la cual se encuentra permanentemente conectada a la red eléctrica de modo que pueda brindar apoyo a la demanda de energía eléctrica de la estructura donde se encuentre instalada y así poder ocupar en parte energía solar y el restante obtenerlo de la red eléctrica, esto permite generar un ahorro en el consumo. 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.



Figura 4.12. Instalación conectada a la red eléctrica (Estudio Solar)

4.8.- Equipos Necesarios para una Instalación Fotovoltaica

4.8.1.- Paneles fotovoltaicos: El panel solar es el encargado de transformar la energía proveniente del sol, en energía eléctrica. 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.

4.8.2.- 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.

4.8.3.- Baterías de ciclo profundo: Son las 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 de descarga 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.

4.8.4.- Inversor: También conocido como convertidor u ondulator, transforma la corriente continua de baja tensión generada por las placas fotovoltaicas y la acumulada en las baterías, a corriente alterna de una magnitud y frecuencia necesaria, en el caso de Chile, 220 Volts y 50 Hz de frecuencia, que sean capaces de interrumpir en un segundo muchas veces la corriente que recibe para simular el comportamiento de la corriente alterna y usar equipos hechos para este tipo de corriente.

Un inversor puede entregar alguno de los tres tipos de ondas, según sus características y funcionamiento requerido, por ello es que los inversores se dividen en estos tres tipos:

- **Inversores de onda cuadrada:** Son los inversores menos eficientes, además de generar ciertos fenómenos adversos (armónicos). Generalmente se utilizan para aplicaciones particulares y generalmente en electrodomésticos puramente resistivos.

No se recomienda su utilización en conjunto con equipos que posean motores (lavadoras, refrigerador, bombas).

- **Inversores de onda modificada:** Son inversores con mejores prestaciones, con una electrónica interna un poco más elaborada. La señal de salida, modula de mejor manera la forma de una onda senoidal no llegando a ser completamente perfecta. Los efectos perjudiciales en los electrodomésticos son menores pudiéndose utilizar en la mayoría de los electrodomésticos de un hogar.

- **Inversores de onda Sinusoidal pura:** Son el tipo de inversor de más alta prestación, con la electrónica interna más avanzada y eficiencias que superan el 90%. Siendo inversores de gama alta generalmente incorporan características extras, utilizadas para el performance total del sistema. Son imprescindibles en instalaciones donde existen motores o equipos que se deseen proteger de cualquier perturbación, puesto que entregan una forma de onda pura, no causando inconveniente alguno en los sistemas eléctricos.

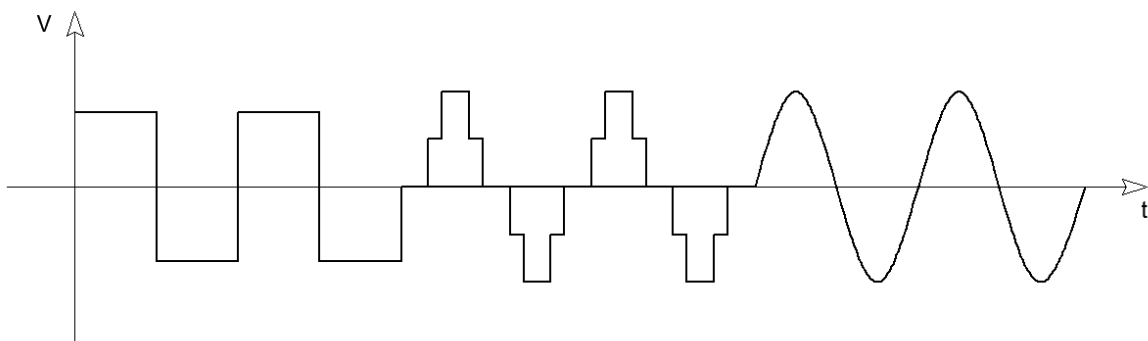


Figura 4.13 Tipos de onda en inversores (Estudio Solar)

Existen tres tecnologías diferentes de inversores que se pueden utilizar:

- **Inversor central:** Consta de un único inversor de alta capacidad y característica capaz de recibir, convertir y administrar toda la energía entregada por la instalación completa.
- **Inversor String:** Es un inversor de menor tamaño, magnitud y costo el cual se utiliza después de cada serie de módulos solares fotovoltaicos y que se une posteriormente con la energía de los demás inversores de cada serie.
- **Micro inversor:** es un inversor pequeño como su nombre lo indica que controla e invierte la energía entregada por cada módulo solar fotovoltaico.

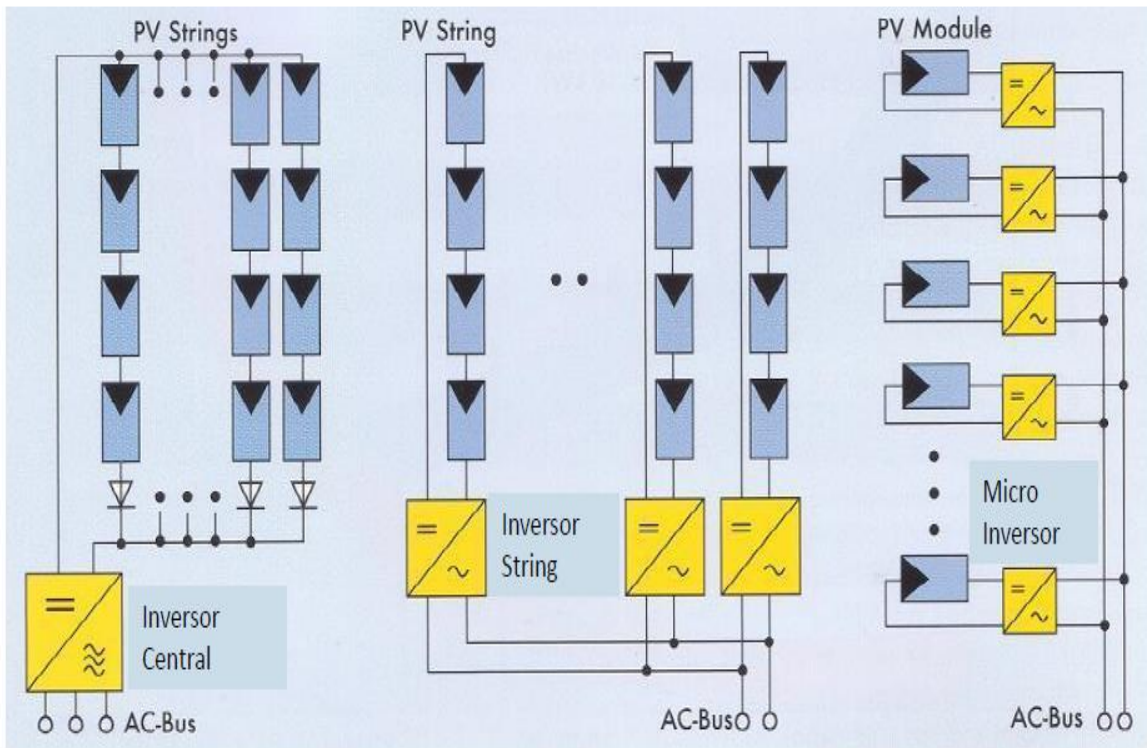


Figura 4.14. Tecnologías de inversores (SEC)

4.8.5.- Cables de conexión: Elemento indispensable en cualquier tipo de instalación de energía eléctrica que conduce la energía a los diferentes elementos que componen el sistema, todos los conductores pierden energía en forma de calor debido al efecto Joule (choque entre partículas eléctricas), esto hace que el conductor posea una resistencia eléctrica en función de la resistividad del material.

Además para determinar la sección transversal del conductor se requiere de la longitud estimada, la corriente que circula por este y la caída máxima de tensión la cual varía en función del voltaje que suministre la instalación a la cual el cable ha sido conectado, siendo un 3% si es una conexión de corriente alterna o 1,5% del voltaje si es una conexión de corriente continua

$$S = \frac{2 \cdot 0.0179 \cdot L \cdot I}{V_p} \quad (6.9)$$

Donde:

S = Sección transversal del conductor en (mm²)

L = Longitud estimada del conductor en (M)

I = Intensidad que circula por el conductor en (Amp)

V_p = Caída máxima de voltaje que depende si es AC (3%) y si es DC (1,5%)

2 = constante aplicada a conductores monofásicos

0.0179 = resistividad específica del cobre

4.8.6.- Protecciones

La red de suministro eléctrico es de características trifásicas, que posee tres fases denominadas, R, S y T con un potencial de 120 Volt cada una y un desfase de 120°, en la figura 4.13 se presenta una imagen de las ondas de corriente alterna.

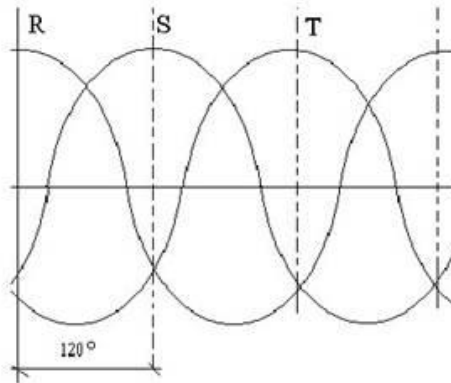


Figura 4.15 Ondas R, S, T de corriente alterna trifásica (Estudio Solar)

Para conectar un elemento adicional que transforme la corriente DC a AC (Inversor) y que suministre energía eléctrica esta debe hacerse en paralelo y debe contar con elementos de seguridad para proteger las instalaciones y equipos de los circuitos dentro de la estructura, los cuales son:

- Inversor
- Sincronizador
- Paneles

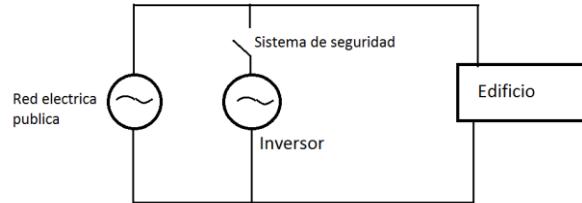


Figura 4.16 Esquema de conexión en paralelo (Elaboración Propia)

La función del sincronizador es evitar diferencias de ángulo de desfase (ángulo desfase debe ser 0) entre la red eléctrica común y la nueva fuente de generación (inversor) y además evitar las diferencias de amplitud de las señales sinusoidales de la corriente eléctrica, evitando así un corto circuito entre ambas corrientes. Este equipo es quien se encarga, una vez sincronizadas las señales, dar la partida y conexión a la red, así como de detener el sistema cuando la corriente eléctrica es insuficiente evitando el sobrecalentamiento del equipo.

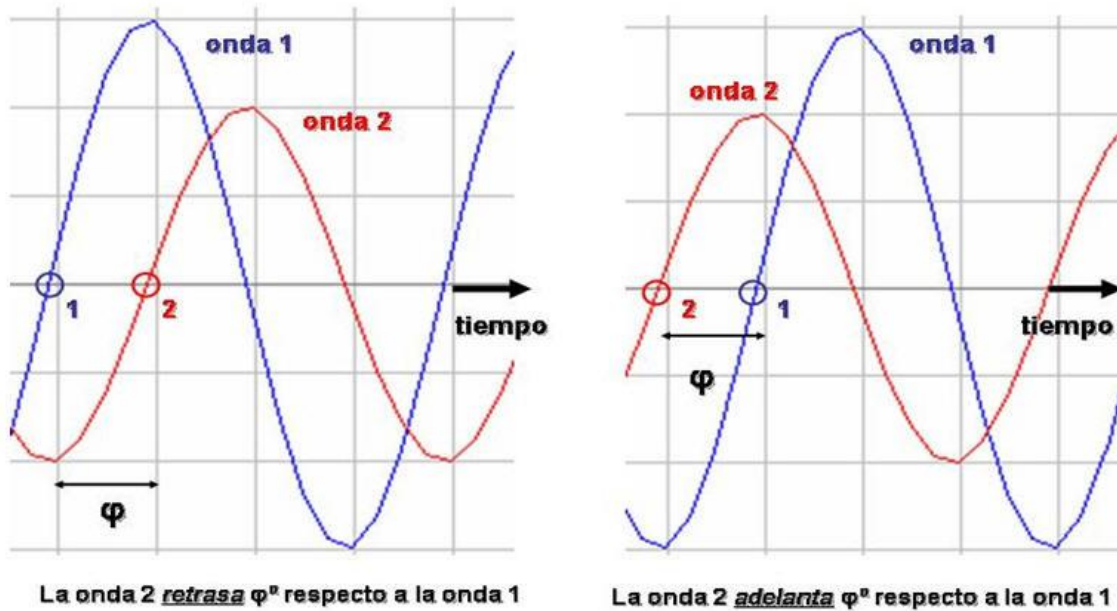


Figura 4.17 Onda desfasada por ángulo φ proveniente de un sistema FV (Estudio Solar)

Los sistemas de protección son los que resguardan a los equipos de los cortos que puedan dañar su sistema y además se debe considerar que este equipamiento debe estar lo más próximo al tablero de ingreso de energía eléctrica a la instalación.

4.9.- Tipos de conexiones de los módulos fotovoltaicos

Los sistemas de paneles fotovoltaicos, al igual que los circuitos convencionales, pueden conectarse en modalidad serie o paralelo, siendo la primera la alternativa quien incrementa la diferencia de potencial del conjunto de paneles, y el segundo incrementa la corriente del sistema. Todo con el objetivo de lograr una mejor distribución y servicio del sistema fotovoltaico.

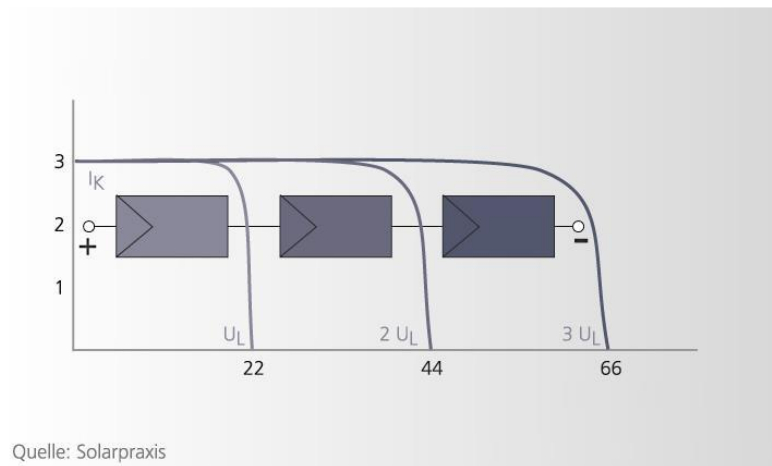


Figura 4.18 Esquema de conexión en serie (Procedimientos puesta servicio SEC)

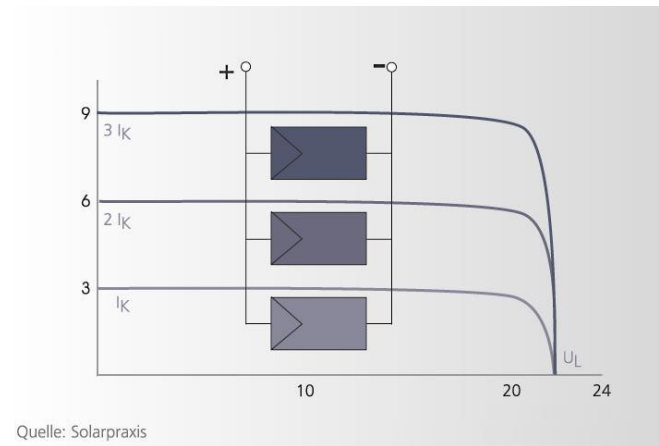


Figura 4.19 Esquema de conexión en paralelo (Procedimientos puesta servicio SEC)

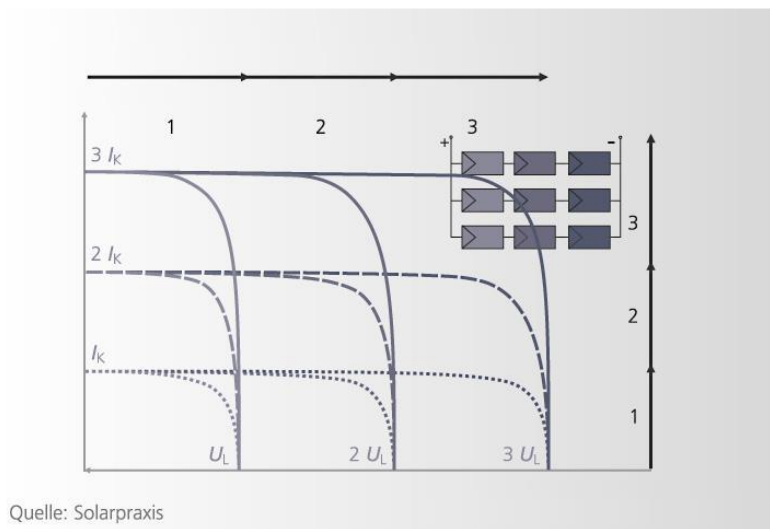


Figura 4.20 Esquema de conexión mixto (Procedimientos puesta servicio SEC)

CAPITULO V

Normativas y leyes

5.1.- Normativas de instalación para instalaciones fotovoltaicas

En Chile, el organismo encargado de regular y establecer las normas de instalación de sistemas eléctricos y/o gas es la SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES (SEC).

Este organismo es quien regula y verifica los requerimientos que se deben observar para el diseño, ejecución, inspección y mantención de las instalaciones eléctricas fotovoltaicas que puedan o no, ser conectadas a la red de CA, con el fin de entregar un servicio eficiente y de salvaguardar la seguridad de las personas que las operan o hacen uso de ellas, así como la integridad física y operacional de la red de distribución eléctrica.

Estas normativas son aplicables al diseño, ejecución, inspección y mantenimiento de las instalaciones eléctricas fotovoltaicas y se apoyan en las condiciones mínimas de seguridad establecidos para proyectos de baja tensión, las normativas a considerar son las siguientes:

-NCH Elec. 4/2003

-NCH Elec. 2/84

-NTCO EGBT

-RGR N°01/2014

-RGR N°02/2014

5.2.- Disposiciones generales

- Toda instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red deberá ejecutarse de acuerdo a un proyecto técnicamente concebido, el cual deberá asegurar que la instalación no presenta riesgos para operadores o usuarios, sea eficiente, proporcione un buen servicio, permita un fácil y adecuado mantenimiento y tenga la flexibilidad necesaria como para permitir modificaciones o ampliaciones con facilidad.

- El funcionamiento de las instalaciones de un sistema fotovoltaico no deberá provocar en la red; averías, disminuciones de las condiciones de seguridad, calidad, ni alteraciones superiores a las admitidas por la normativa vigente.
- En el caso de que la línea de distribución sea desconectada de la red, bien sea por trabajos de mantención requeridos por la empresa distribuidora o por haber actuado alguna protección de la línea, las instalaciones eléctricas de un sistema fotovoltaico no deben mantener tensión en la línea de distribución, ni dar origen a condiciones de riesgo de trabajo para el personal de mantenimiento y explotación de la red de distribución.
- Los equipos, elementos y accesorios eléctricos utilizados en la unidad de generación fotovoltaica deben ser diseñadas para soportar la tensión máxima generada por ella y ser adecuados para trabajar en corriente continua.
- Durante todo el período de explotación u operación de las instalaciones eléctricas, los propietarios u operadores deberán conservar los diferentes estudios y documentos técnicos utilizados en el diseño y construcción de las mismas así como las modificaciones realizadas, asimismo deben mantener los registros de auditorías realizadas, certificaciones e inspecciones de que hubiera sido objeto la instalación. Toda la información deberá estar a disposición de la Superintendencia para inspecciones.

5.3.- Condiciones de instalación

- La instalación de los equipos o unidades de generación deben permitir y facilitar el mantenimiento seguro de las instalaciones de la unidad de generación fotovoltaica.
- Para facilitar el mantenimiento y reparación de la unidad de generación fotovoltaica, se deben instalar los elementos de desconexión y seguridad

necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para inversores y todos los conductores no puestos a tierra y de todas las fuentes de energía.

Asimismo, para inversores String se acepta como medio de desconexión, el mismo medio que incluye un equipo inversor para estos fines.

- Los conductores a utilizar en la unidad deben ser seleccionados e instalados de modo que se elimine o reduzca el riesgo de falla a tierra o de cortocircuito.
- Todos los elementos y componentes de la instalación deben tener una placa informativa que identifique su pertenencia a una unidad de generación fotovoltaica.
- La unidad de generación fotovoltaica , deberá contar con las respectivas señaléticas de seguridad claramente visibles que indiquen lo sgte:

“PRECAUCION: PELIGRO DE DESCARGA ELECTRICA – NO TOCAR -
TERMINALES ENERGIZADOS EN POSICION ABIERTO – SISTEMA
FOTOVOLTAICO”

- Todos los equipos de la unidad deben estar rotulados con sus características.
- Se instalará una placa de identificación por parte del instalador al momento de montaje de la unidad de generación, ubicada en los medios de desconexión, en un sitio accesible, en el cual se especifique la capacidad de la fuente fotovoltaica y que indique:
 - a) La corriente de operación
 - b) La tensión de operación.
 - c) La tensión máxima del sistema.
 - d) Potencia máxima.
 - e) Corriente de cortocircuito.

- Las estructuras para el soporte e instalación de todos los paneles fotovoltaicos deberán ajustarse a las normas chilenas de instalación, para los efectos de viento, nieve y movimientos sísmicos.

5.4.- Condiciones generales de módulos fotovoltaicos

- Todo módulo fotovoltaico de la unidad debe estar certificado en conformidad a los protocolos de ensayo establecido por la superintendencia para tales efectos.
- Los cables o terminales de módulos fotovoltaicos deberán tener marcado su polaridad.
- Todo módulo debe tener una placa donde se indique la información técnica del equipo con los siguientes. Valores.
 - a) Tensión de circuito abierto.
 - b) Tensión de operación.
 - c) Tensión máxima admisible del sistema.
 - d) Corriente de operación.
 - e) Corriente de cortocircuito.
 - f) Potencia máxima.
- En los casos de que los módulos fotovoltaicos utilicen marcos laterales, estos deben ser de aluminio, acero inoxidable u otro material resistente a agentes agresivos del ambiente y/o corrosivos.
- No se podrán utilizar módulos fotovoltaicos de distintos modelos, ni orientaciones diferentes en un mismo String.

5.5.- Condiciones para arreglos y conexiones eléctricas.

- Los conectores entre módulos fotovoltaicos deberán ser a prueba de agua, tipo MC4 u equivalente, diseñados específicamente para dar cumplimiento con los requerimientos de la instalación, además deben estar instalados de modo que eviten el contacto accidental de las personas con partes en tensión.
- Los conectores deben ser capaces de interrumpir el paso de la corriente por el circuito sin causar riesgos.
- Todo arreglo de instalación o String de la unidad de generación fotovoltaico debe conectarse al inversor en forma independiente, donde cada String se conecta directamente al inversor en positivo y negativo sin conexiones intermedias.
- En caso de contar con conexiones String el arreglo fotovoltaico deberá contar con diodos de bloqueo o protecciones equivalentes que impiden que circule corriente inversa

5.6.- Condiciones de conductores y canalización

- Todos los conductores deberán ser canalizados en conformidad a los métodos establecidos en la norma Nch Elec. 4/2003.
- Los circuitos de los sistemas fotovoltaicos y los circuitos de salida fotovoltaicos deben ir de manera aislada o separada, no se instalarán en las mismas canalizaciones con otros circuitos de otros sistemas, al menos que los conductores de los otros sistemas estén separados por una barrera.
- Los conductores a utilizar en la unidad de generación fotovoltaica deberán ser conductores tipo fotovoltaicos, PV, PV1-F, Energyflex, Exzhellent Solar ZZ-F (AS), XZ1FA3Z-K (AS) o equivalente.

- Los conductores de la unidad de generación deberán tener una sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 %.
- Los alimentadores o conductores del lado de CA de la unidad de generación deberán tener una sección adecuada para evitar las caídas de tensión y calentamientos, para cualquier condición de trabajo. Los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión entre el punto de conexión a la red y la unidad de generación sea inferior del 3%.
- Los conductores para corriente continua se identificarán o marcarán de color rojo para el conductor positivo, negro para el conductor negativo y verde o verde/amarillo para el conductor de tierra de protección, para el cableado de corriente alterna deberá ajustarse a lo indicado en la norma NCh Elec. 4/2003.

5.7.- Condiciones para inversores.

- La instalación del inversor se deberá realizar según las especificaciones del fabricante, considerando la ventilación, el anclaje, la orientación, y el índice IP, entre otros aspectos. El inversor se deberá situar en un lugar con fácil acceso a personal técnico.
- No se podrá instalar un inversor en baños, cocinas o dormitorios, en recintos con riesgos de inundación y recintos con riesgos de explosión.
- La instalación del inversor deberá efectuarse, dejando un espacio mínimo de 15 cm a cada lado del inversor, en los casos que el fabricante especifique distancias mayores a las señaladas, deberán respetarse estas últimas. Los terminales del inversor deben permitir una fácil conexión de conductores o cables aislados.

- Los inversores denominados inversores String, deberán contar internamente o externamente con protecciones contra descargas eléctricas, protecciones de sobre tensión, y protecciones de sobre intensidad por cada String y deberán garantizar que no exista circulación de corriente inversa mayores a las admisibles por los módulos fotovoltaicos conectados a él.

5.8.- Condiciones de protecciones

- Las instalaciones de un sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución, estarán equipadas con un sistema de protección que garantice su desconexión en caso de una falla en la red o fallas internas en la instalación del propio generador, de manera que no perturben el correcto funcionamiento de las redes a las que estén conectadas, tanto en la explotación normal como durante el incidente.
- Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, en el lado de corriente alterna, deberán contar con una protección diferencial e interruptor general magnetotérmico bipolar que permita la desconexión del generador fotovoltaico de la red y las cargas locales, para el caso de las instalaciones monofásicas o tetrapolar para el caso de las instalaciones trifásicas, con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión.

5.9.- Condiciones de puesta a tierra

- El sistema de puesta a tierra utilizado deberá cumplir con los requerimientos de seguridad establecidos en la norma Nch Elec. 4/2003.

5.10.- Condiciones de interfaz con red

- La instalación fotovoltaica deberá conectarse en paralelo con la red y contribuir a abastecer el suministro de energía a la red. Si existe una carga local en el inmueble, ésta debe ser alimentada por cualquiera de las dos fuentes, por ambas simultáneamente u otro medio interno.
- La instalación fotovoltaica debe contar con un medio de desconexión que permita su separación de la red en caso de falla o para realizar labores de mantenimiento.
- Para garantizar la seguridad y flexibilidad en la operación del sistema fotovoltaico conectado a la red, se deben emplear dos interruptores de separación en la interfaz con la red, un interruptor general del sistema fotovoltaico indicado en el punto (Fig. 5.1 Int. 2) para aislar la instalación fotovoltaica de la red, y otro dispositivo de desconexión deberá ir ubicado en el empalme o punto de conexión a la red de distribución. (Fig. 5.1 Int. 1).

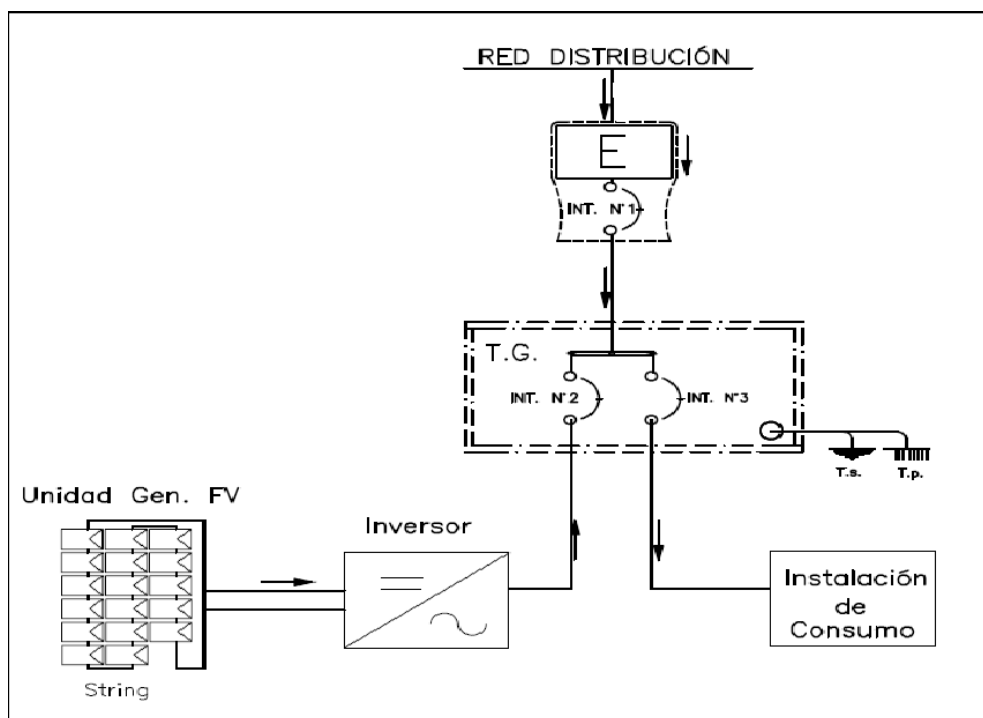


Figura 5.1 Localización de los interruptores de desconexión con la red (Nch Elec. 4/2003)

CAPITULO VI

Estudio técnico

6.1.- Tipo de instalación para la Universidad del Bío-Bío

Debido a que la Universidad del Bío-Bío se encuentra en un sector con acometidas de tendido eléctrico, no hace falta proponer una instalación aislada a la red, sino que se propone una instalación conectada a la red (On-grid) con la intención de ocupar energía eléctrica proveniente de paneles fotovoltaicos para disminuir el consumo energético de algunos departamentos de la Universidad el Bio-Bio.

6.2.- Posicionamiento de paneles fotovoltaicos en Deptos. de la Universidad del Bío-Bío

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 obtiene a su salida.

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 y sin objetos que se interpongan en la trayectoria de los rayos de luz solar.

Un panel solar fotovoltaico generará electricidad incluso en ausencia de luz solar directa, lo que significa que en días nublados también habrá generación de electricidad, pero las condiciones óptimas de operación implican la presencia de luz solar plena y un panel orientado idealmente perpendicular a los rayos provenientes del sol. Lo más recomendable para el funcionamiento de paneles fotovoltaicos en el hemisferio sur es que estos estén posicionados en dirección norte, y con cierto grado de inclinación dependiendo de la latitud del lugar, de modo que los rayos de radiación solar incidan perpendiculares sobre la superficie del panel y así aprovechar la mayor cantidad de horas de luz.

Para cumplir estos requisitos de instalación, de los paneles en la Universidad del Bío-Bío, se seleccionaron los techos de 3 edificios o departamentos de dicha institución que cuentan con superficies de techo orientadas de acuerdo al planteamiento del punto anterior, es decir cuentan con una orientación norte. Los paneles que se instalen sobre estas techumbres, con un poco de inclinación permitirían una buena incidencia solar.

Dichos edificios y/o departamentos son:

A1 Departamento de Arquitectura, Universidad del Bío-Bío

A2 Edificio de sala de clases Ingeniería Mecánica, Universidad del Bío-Bío

A3 Edificio Gantes, Universidad del Bío-Bío.



Figura 6.1. Planta Universidad del Bío-Bío, con áreas demarcadas (Google Earth)

6.3.- Condiciones y características de la ciudad de Concepción

La ciudad de Concepción, se encuentra ubicada en la Octava Región del Biobío, en los 36° 46' de latitud sur y 73° 03' de longitud oeste, a una altitud media de 12 metros sobre el nivel del mar promedio.

Los índices de radiación diarios y mensuales se aprecian en las figuras 6.2 y 6.3

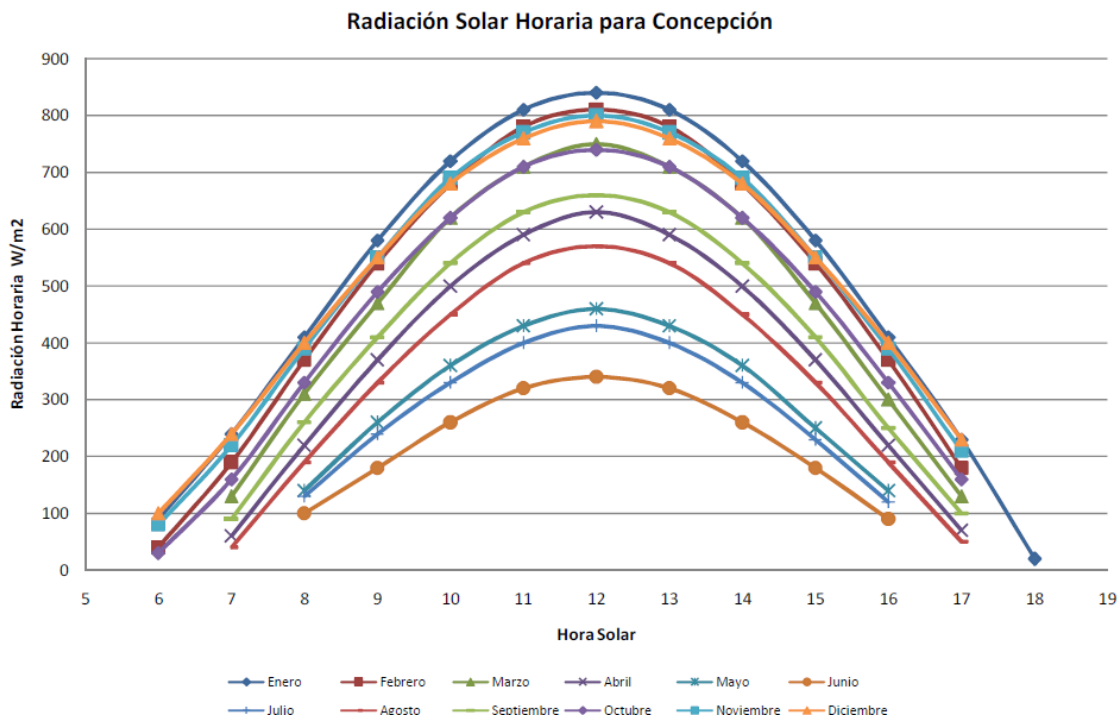


Figura 6.2. Radiación para la ciudad de Concepción (R. Sanchez)

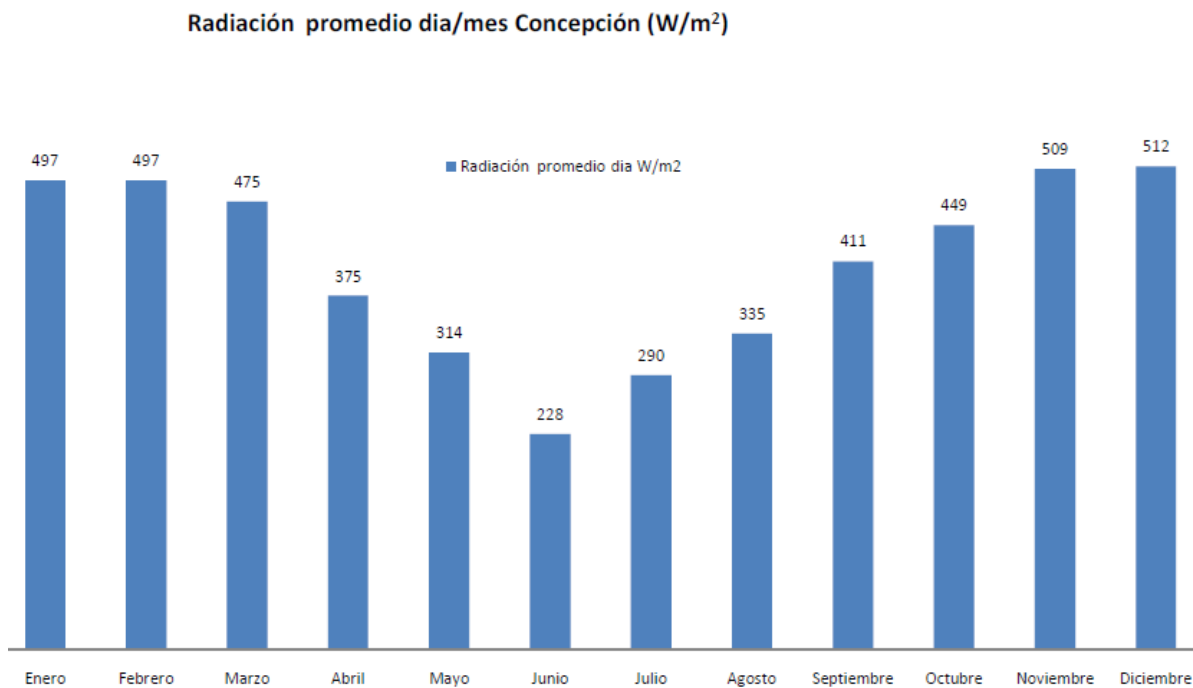


Figura 6.3. Radiación promedio por día (R. Sanchez)

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica, el cálculo de la potencia generada por los paneles y de la cantidad de paneles por edificio, es necesario estimar las “horas de sol equivalentes”, estas horas de sol equivalentes son el tiempo equivalente en que la radiación solar incide sobre la superficie de un panel de diseño de 1000 (W/m²) y pueden calcularse como la multiplicación de la radiación hora promedio del día por metro cuadrado sobre superficie, por metro cuadrado por kilowatt del panel de diseño.

$$1 \text{ HSe} = 1 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{kW}} \right) \times I_h \left(\frac{\text{kW h}}{\text{m}^2 \times \text{período}} \right) \quad (6.1)$$

Donde:

HSe es horas de sol equivalentes

I_h es radiación media

Entonces las horas de sol equivalentes son el mismo valor que la radiación solar medida en kWh/m².

Radiación media para superficie inclinada a 36° para la ciudad de concepcion													
Lat -36.46													
Lon -73.03	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual average
Tilt 36	7.40	7.02	6.37	5.29	3.86	3.41	3.86	4.46	5.73	6.29	6.87	7.13	5.63

Tabla 6.1. Radiación solar mensual en una superficie inclinada para la ciudad de concepción (NASA)

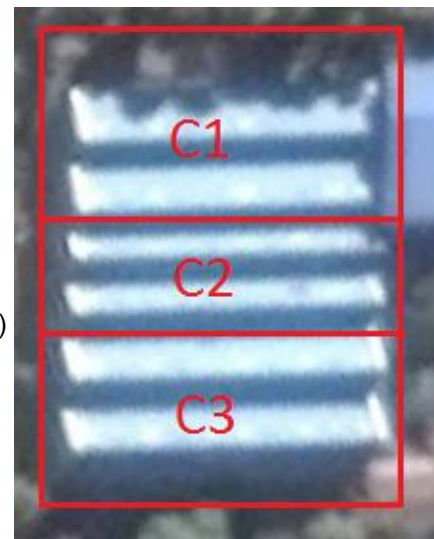
6.4.- Estudio de superficies de montaje

6.4.1.- Estudio de inclinación

Debido a que la inclinación de las superficies para una incidencia directa de la radiación tiene que ser 36°, es necesario instalar estructuras metálicas para compensar la inclinación de la techumbre del edificio en donde se ubicarán los paneles, por lo que con un estudio de planos de los edificios a considerar se determinó las siguientes inclinaciones requeridas para la estructura metálica.

- El edificio Gantes (A3) posee una inclinación de 7° (Ver anexo 1), lo que requiere una estructura metálica que tenga un grado de inclinación de 29° con respecto a la techumbre, para poder complementar y lograr los 36° requeridos.
- El edificio de Ingeniería Mecánica (A2) posee una techumbre dividida en 4 cerchas con 27° de inclinación cada una (Ver anexo 2), requiere una estructura metálica que tenga un nivel de inclinación de 9° respecto a la techumbre por cada cercha, para poder complementar así los 36° requeridos.
- El edificio del Departamento de Arquitectura (A1) posee una techumbre de 6 cerchas dividida en 3 tipos diferentes, donde cercha 1 (C1) posee 22° de inclinación cada una, cercha 2 (C2) posee 31° de inclinación cada una y cercha 3 (C3) posee 26° de inclinación cada una (Ver anexo 3), se necesita que las estructuras metálicas tenga un grado de inclinación de: 14° , 5° y 10° respectivamente con respecto a la techumbre de acuerdo a la cercha indicada y complementar la inclinación adecuada para lograr los 36° requeridos.

Figura 6.4. Planta edificio arquitectura
Universidad del Bío-Bío, con cerchas demarcadas (Google Earth)



6.4.2.- Estudio de dimensiones

- El edificio Gantes (A3) posee una dimensión efectiva de 82 metros de largo por 8,64 metros de ancho como cota alineada sobre la techumbre (Ver anexo 1).
- El edificio de Ingeniería Mecánica (A2) posee una dimensión efectiva de 23,97 metros de largo por 7,35 metros de ancho como cota alineada sobre la techumbre por cada una de sus cerchas (Ver anexo 2).
- El edificio del Departamento de Arquitectura (A3) posee una dimensión efectiva de 30,03 metros de largo del edificio y 7,35 metros de ancho como cota alineada para la techumbre sobre la cercha 1 (C1), 4,798 metros de ancho como cota alineada para la techumbre sobre la cercha 2 (C2), y 6,53 metros de ancho como cota alineada para la techumbre de la cercha 3 (C3), (Ver anexo 3).

6.5.- Selección de paneles

Para el desarrollo de los estudios de paneles se escogieron 2 alternativas de paneles de una misma marca que se evaluarán comparativamente en función de su potencia y características.

La empresa seleccionada (Opitra), distribuye para Chile paneles solares cuyo fabricante es König Sonne.

Alternativa N° 1

Panel Solar 250 W 30 V Certificado Marca Konig Sonne Policristalino 1,67 m²

Marca	Konig Sonne
Certificación	SEC N° 6960
Tipo de Módulo	POLICRISTALINO
Potencia máxima(Pmax)	250W
Tensión en Pmax(Vmp)	30.48V
Intensidad en Pmax(Imp)	8.24A
Tensión a circuito abierto(Voc)	36.8V
Intensidad de cortocircuito(Isc)	8.85A
Tensión máxima del sistema	IEC:1000V / UL:600V
Valor máximo del fusible en serie	10A
NOCT	45±2%/°C
En condiciones estándar (STC) Irradiancia 1000W/m ² , AM1.5, temperatura de la célula 25°C	
Características mecánicas	
Células solares	54(6×9) policristalino células 156mm
Cubierta frontal	3.2mm, vidrio templado de bajo contenido en hierro
Cubierta posterior	TPT
Encapsulante	EVA(Ethylene vinyl acetate)
Marco	Aluminio anodizado / plata / claro / silicona o cinta adhesiva
Diodos	6 Diodos de bypass reparables
Caja de conexiones	Clasificada IP65, certificación TUV
Connector	MC4 o conector compatible
Cable	Longitud: 1000mm / sección: 4.0 mm ²
Dimensión	1684×992×40mm
Peso	19Kgs
Carga máxima	Certificado 5400Pa

Alternativa N° 2

Panel Solar 200 W 24 V Certificado Marca Konig Sonne Policristalino 1,47 m²

Características eléctricas

Marca	Konig Sonne
Certificación	SEC N° 6960
Tipo de Módulo	POLICRISTALINO
Potencia máxima(Pmax)	200W
Tensión en Pmax(Vmp)	24.64V
Intensidad en Pmax(Imp)	8.18A
Tensión a circuito abierto(Voc)	29.93V
Intensidad de cortocircuito(Isc)	8.61A
Tensión máxima del sistema	IEC:1000V / UL:600V
Valor máximo del fusible en serie	10A
NOCT	45±2%/°C

En condiciones estándar (STC) Irradiancia 1000W/m², AM1.5, temperatura de la célula 25°C

Características mecánicas

Células solares	54(6×9) policristalino células 156mm
Cubierta frontal	3.2mm, vidrio templado de bajo contenido en hierro
Cubierta posterior	TPT
Encapsulante	EVA(Ethylene vinyl acetate)
Marco	Aluminio anodizado / plata / claro / silicona o cinta adhesiva
Diodos	6 Diodos de bypass reparables
Caja de conexiones	Clasificada IP65, certificación TUV
Connector	MC4 o conector compatible
Cable	Longitud: 1000mm / sección: 4.0 mm ²
Dimensión	1484×992×40mm
Peso	18Kgs
Carga máxima	Certificado 5400Pa

6.6.- Distribución de paneles por alternativa propuesta

Se debe tener en cuenta que la instalación de paneles es de forma escalonada para evitar alturas excesivas respecto de la techumbre y así evitar el riesgo de vibraciones y posibles desprendimientos de paneles debido a que la velocidad del viento en la zona es variable y puede alcanzar rachas de 40 (km/hr) en condiciones de mal tiempo.

Para estimar la cantidad de paneles en cada edificio es necesario calcular la sombra proyectada por cada módulo fotovoltaico debido a su inclinación y así evitar sombreado en la columna de paneles posterior.

6.6.1.- Alternativa 1

Paneles de 1684 x 992 (mm)

- Estudio para edificio Gantes

L del panel (L_p) = 1,684 (m)

Angulo de inclinación requerido de la estructura respecto al techo (α) = 29°

$\text{Cos}(\alpha) = L_{\text{estructura}} / L_p$

L estructura (L_e) = $L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1,472$ (m)

$\text{Sen}(\alpha) = \text{Altura de panel} / L_p$

Altura del panel (H_p) = $L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0,81$ (m)

L sombra (L_s) = $H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0,44$ (m)

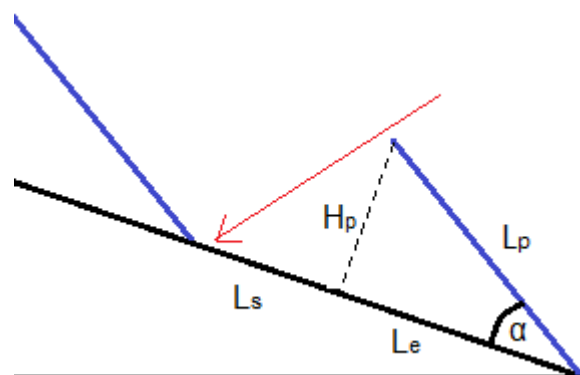


Figura 6.5 Geometría de cálculo

Se considera L_s total de 0,5 (m) y sirve como pasillo de circulación entre los paneles para efectos de mantención aprovechando la sombra del panel anterior.

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,972 (m).

Filas de paneles (F_p) = Ancho de techo / $L_t = 8,64 / 1,972 = 4,38$

Es decir $F_p = 4$

Cantidad de paneles por fila = Largo techo / Ancho del panel = $82,05 / 0,992 = 82,6$ lo que representa un total de 82 paneles por cada fila. Como la división es un número primo (41) genera un problema para su conexión ya que el Nro. de paneles tiene que estar en un número no primo, esto conlleva a que el Nro. de paneles sería 80 y con un total de 320 paneles sobre la techumbre.

- Estudio para edificio sala de clases Ingeniería Mecánica

Ya que este edificio se divide en 4 cerchas iguales, el cálculo se realizará para una sola cercha considerando que no permite vías de mantención a lo largo debido a su inclinación (27°) se dejara un espacio para mantención de 0,5 m cada 3 paneles en cada fila.

$$L_p = 1,684 \text{ (m)}$$

$$\text{Angulo de panel respecto al techo } \alpha = 7^\circ$$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.67 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.20 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0.024 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,694 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 7,35 / 1,694 = 4,33$$

Es decir $F_p = 4$

Debido a que se considerarán 0,5 (m) por cada 3 paneles, la longitud de cada serie será de 3 (m) más los 0,5 (m) de espacio será un total de 3,476 (m) lo que aproximadamente serán 3,5 (m), por lo que la cantidad de series de paneles por fila será = Largo techo / Ancho serie = $23,97 / 3,5 = 6,84$ lo que representa un total de 6 series de 3 paneles cada una más un adicional de 2 paneles al final de cada fila, lo que es un total de 20 paneles por fila y un total de 80 paneles por cercha.

Estos resultados se replicarán para cada una de las cerchas del edificio, por lo cual da un total de 320 paneles para el edificio.

- Estudio para edificio de Arquitectura

Este edificio se divide en 3 tipos de cerchas diferentes por lo que el estudio se realizará por cada tipo de cercha sin embargo el largo del edificio es el mismo para las 3 cerchas que es 30,03 (m). Se consideran las mismas condiciones que para el edificio anterior (mecánica), dejando así un espacio de 0,5 (m) cada 3 paneles en una fila para efectos de mantención y limpieza, debido a temas de seguridad por la inclinación de las cerchas.

Debido a que se considerarán 0,5 (m) cada 3 paneles, la longitud de cada serie de 3, más los 0,5 de espacio será un total de 3,476 (m) lo que aproximadamente serán 3,5 (m), por lo que la cantidad de series de paneles por fila será = Largo techo / Ancho serie = $30,3 / 3,5 = 8,65$ lo que representa un total de 8 series de 3 paneles cada una, más un adicional de 2 paneles al final de la fila, lo que es un total de 26 paneles por fila.

o Estudio para tipo de cercha 1 (C1)

$$L_p = 1,684 \text{ (m)}$$

$$\text{Angulo de panel respecto al techo } \alpha = 14^\circ$$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.63 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.407 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0.101 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir es 1,734 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 7,35 / 1,734 = 4,23$$

Es decir $F_p = 4$

Lo cual hace un total de 104 paneles por cercha para las cercha (C1)

○ Estudio para tipo de cercha 2 (C2)

$$L_p = 1,684 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 5^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.677 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.146 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0.012 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,689 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 4.798 / 1,689 = 2,84$$

Es decir $F_p = 2$

Lo cual hace un total de 52 paneles por cercha para las cercha (C2)

○ Estudio para tipo de cercha 3 (C3)

$$L_p = 1,684 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 10^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1,658 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.292 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0,051 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,709 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 6,53 / 1,709 = 3,82$$

Es decir $F_p = 3$

Lo cual hace un total de 78 paneles por cercha para las cercha (C3)

Estos resultados dan un total de 468 paneles para el edificio de Arquitectura.

6.6.2.- Alternativa 2

Las dimensiones de este panel son de 1484 x 992 (mm), como el ancho del panel es el mismo que en el caso anterior, se recalculará solo la cantidad de filas de paneles, ya que esta es la dimensión que varía y el espaciamiento lateral sigue siendo el mismo.

- Estudio para edificio Gantes

$$L_p = 1,484 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 29^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.297 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.71 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0.39 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,687 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 8,64 / 1,687 = 5.12$$

Es decir $F_p = 5$

Esto representa un total de 400 paneles en el edificio.

- Estudio para edificio sala de clases Ingeniería Mecánica

$$L_p = 1,484 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 7^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.472 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0,179 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0,021 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,493 (m)

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 7,35 / 1,493 = 4,92$$

Debido a que lo que faltaría para completar la quinta fila serían aproximadamente 10 cm es factible dejar la quinta hilera ya que el riesgo con el viento es menor, por lo tanto la cantidad de filas $F_p = 5$

Así la cantidad de paneles por cercha es 100, el total de paneles del edificio sería 400 paneles.

- Estudio para edificio de Arquitectura.
 - o Estudio para tipo de cercha 1 (C1)

$$L_p = 1,484 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 14^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.439 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.359 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0.089 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,528 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 7,35 / 1,528 = 4,81$$

Es decir $F_p = 4$

Lo cual hace un total de 104 paneles por cercha para las cercha (C1)

- o Estudio para tipo de cercha 2 (C2)

$$L_p = 1,484 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 5^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1.478 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0.129 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0.011 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,489 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 4.798 / 1,489 = 3,22$$

Es decir $F_p = 3$

Lo cual hace un total de 78 paneles por cercha para las cercha (C2)

- Estudio para tipo de cercha 3 (C3)

$$L_p = 1,484 \text{ (m)}$$

Angulo de panel respecto al techo $\alpha = 10^\circ$

$$L_e = L_p \times \text{Cos}(\alpha) = 1,461 \text{ (m)}$$

$$H_p = L_p \times \text{Sen}(\alpha) = 0,257 \text{ (m)}$$

$$L_s = H_p \times \text{Tan}(\alpha) = 0,045 \text{ (m)}$$

En base a esta información se tiene que la longitud sobre el techo (L_t) requerida por cada panel es igual a la suma de $L_e + L_s$, es decir sería 1,709 (m).

$$F_p = \text{Ancho de techo} / L_t = 6,53 / 1,506 = 4,33$$

Es decir $F_p = 4$

Lo cual hace un total de 104 paneles por cercha para las cercha (C3)

Estos resultados dan un total de 572 paneles para el edificio de Arquitectura.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Edificio Gantes	320	400
Edificio Ex Mecánica	320	400
Edificio Arquitectura	468	572

Tabla 6.2 Tabla resumen de distribución de paneles según alternativa / edificio

6.7.- Estudio de generación por instalación de cada alternativa

El estudio de generación permite establecer la energía generada por la instalación fotovoltaica y el costo cubierto por ella misma. Para la determinación de estas variables es necesario establecer en primera instancia la radiación para superficie inclinada, información suministrada por la NASA cuyos valores están reflejados en la tabla 6.1.

La energía producida por panel en un día es:

$$E. \text{ diaria por panel} = H_{Se} \times \text{Potencia Panel} \quad [\text{Wh/día}] \quad (6.2)$$

Donde:

H_{se} = Hora solar equivalente

La energía producida por la instalación en el día:

$$E. \text{ diaria de la Inst.} = \text{Nro. de paneles} \times E. \text{ diaria panel} \quad [\text{Wh/día}] \quad (6.3)$$

Con esta información se obtiene:

$$E. \text{ mensual Inst.} = (E. \text{ diaria Inst.} \times \text{Nro. días mes}) / 1000 \quad [\text{kWh/mes}] \quad (6.4)$$

La energía teórica producida por la instalación se determina a partir de la potencia instalada:

$$\text{Potencia instalada} = \text{Potencia panel} \times \text{Nro. paneles} \quad [\text{W}] \quad \mathbf{(6.5)}$$

$$\text{Prod. Teórica mes} = (\text{Pot. instalada} \times \text{Nro. días} \times 24) / 1000 \quad [\text{kWh/mes}] \quad \mathbf{(6.6)}$$

El rendimiento o factor de operación de la instalación se obtiene del cuociente entre la energía producida mensual por la instalación (6.4) y la producción teórica mensual (6.6).

$$\eta = \frac{\text{Energía producida por instalación}}{\text{Producción teórica mes para la potencia instalada}} \quad \mathbf{(6.7)}$$

Donde:

η = Rendimiento o factor de operación

El costo cubierto por la instalación se determina como el producto de la energía mensual de la instalación y el costo del kWh de suministro por la red eléctrica.

$$\text{Costo cubierto Inst.} = \text{E. mensual Inst.} \times \text{Costo EE} \quad \mathbf{(6.8)}$$

Debido a que la Universidad del Bio Bio entra en receso por el mes de febrero, dicho mes el sistema fotovoltaico no será usado, y en este mes se realizaría la mantención de las instalaciones, por lo cual el cálculo de la generación se hará sin considerar el mes de febrero.

6.7.1.- Alternativa 1

Panel FV	Opitra Poli cristalino	
Modelo	250 Konig sonne Poli	
V=	30,48	Volt
I=	8,24	A
Voltaje del circuito	12	Volts
Potencia panel	250	W
Dimensión Panel	1,67	m ²
Costo EE	125	\$/kW h

Tabla 6.3. Parámetros de operación alternativa 1 (Opitra)

- Edificio Gantes, 320 paneles, 534,4 m² de panel

		Radiacion Superficie inclinada	Hora solar equivalente Hse	Energia producida por panel	Energia producida por instalacion	Energia producida por instalacion	Potencia instalada	Produccion teorica mes	Factor operación	Costo cubierto
	dias/mes	Kwh/m2 dia	Horas/dia	Wh/dia	Wh/dia	Kwh/mes	W	Kwh/mes	%	\$/mes
Enero	31	7,4	7,4	1.850,0	592.000	18.352,0	80.000	59.520	30,8%	2.294.000,00
Febrero	0	7,02	7,02	1.755,0	561.600	0,0	80.000	0	0,0%	0,00
Marzo	31	6,37	6,37	1.592,5	509.600	15.797,6	80.000	59.520	26,5%	1.974.700,00
Abril	30	5,29	5,29	1.322,5	423.200	12.696,0	80.000	57.600	22,0%	1.587.000,00
Mayo	31	3,86	3,86	965,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Junio	30	3,41	3,41	852,5	272.800	8.184,0	80.000	57.600	14,2%	1.023.000,00
Julio	31	3,86	3,86	965,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Agosto	31	4,46	4,46	1.115,0	356.800	11.060,8	80.000	59.520	18,6%	1.382.600,00
Septiembre	30	5,73	5,73	1.432,5	458.400	13.752,0	80.000	57.600	23,9%	1.719.000,00
Octubre	31	6,29	6,29	1.572,5	503.200	15.599,2	80.000	59.520	26,2%	1.949.900,00
Noviembre	30	6,87	6,87	1.717,5	549.600	16.488,0	80.000	57.600	28,6%	2.061.000,00
Diciembre	31	7,13	7,13	1.782,5	570.400	17.682,4	80.000	59.520	29,7%	2.210.300,00
					451.267	148.757,6		647.040	21,1%	18.594.700,00

Tabla 6.4. Estudio generación Edif. Gantes Alt. 1 (Elaboración propia)

- Edificio sala de clases Ingeniería Mecánica, 320 paneles 534,4 m² de panel

		Radiacion Superficie inclinada	Hora solar equivalente Hse	Energia producida por panel	Energia producida por instalacion	Energia producida por instalacion	Potencia instalada	Produccion teorica mes	Factor operación	Costo cubierto
	dias/mes	Kwh/m2 dia	Horas/dia	Wh/dia	Wh/dia	Kwh/mes	W	Kwh/mes	%	\$/mes
Enero	31	7,4	7,4	1.850,0	592.000	18.352,0	80.000	59.520	30,8%	2.294.000,00
Febrero	0	7,02	7,02	1.755,0	561.600	0,0	80.000	0	0,0%	0,00
Marzo	31	6,37	6,37	1.592,5	509.600	15.797,6	80.000	59.520	26,5%	1.974.700,00
Abril	30	5,29	5,29	1.322,5	423.200	12.696,0	80.000	57.600	22,0%	1.587.000,00
Mayo	31	3,86	3,86	965,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Junio	30	3,41	3,41	852,5	272.800	8.184,0	80.000	57.600	14,2%	1.023.000,00
Julio	31	3,86	3,86	965,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Agosto	31	4,46	4,46	1.115,0	356.800	11.060,8	80.000	59.520	18,6%	1.382.600,00
Septiembre	30	5,73	5,73	1.432,5	458.400	13.752,0	80.000	57.600	23,9%	1.719.000,00
Octubre	31	6,29	6,29	1.572,5	503.200	15.599,2	80.000	59.520	26,2%	1.949.900,00
Noviembre	30	6,87	6,87	1.717,5	549.600	16.488,0	80.000	57.600	28,6%	2.061.000,00
Diciembre	31	7,13	7,13	1.782,5	570.400	17.682,4	80.000	59.520	29,7%	2.210.300,00
					451.267	148.757,6		647.040	21,1%	18.594.700,00

Tabla 6.5. Estudio generación Edif. Ex Mecánica Alt. 1 (Elaboración propia)

- Edificio Arquitectura, 468 paneles, 781,56 m² de panel

		Radiacion Superficie inclinada	Hora solar equivalente Hse	Energia producida por panel	Energia producida por instalacion	Energia producida por instalacion	Potencia instalada	Produccion teorica mes	Factor operación	Costo cubierto
	dias/mes	Kwh/m2 dia	Horas/dia	Wh/dia	Wh/dia	Kwh/mes	W	Kwh/mes	%	\$/mes
Enero	31	7,4	7,4	1.850,0	865.800	26.839,8	117.000	87.048	30,8%	3.354.975,00
Febrero	0	7,02	7,02	1.755,0	821.340	0,0	117.000	0	0,0%	0,00
Marzo	31	6,37	6,37	1.592,5	745.290	23.104,0	117.000	87.048	26,5%	2.887.998,75
Abril	30	5,29	5,29	1.322,5	618.930	18.567,9	117.000	84.240	22,0%	2.320.987,50
Mayo	31	3,86	3,86	965,0	451.620	14.000,2	117.000	87.048	16,1%	1.750.027,50
Junio	30	3,41	3,41	852,5	398.970	11.969,1	117.000	84.240	14,2%	1.496.137,50
Julio	31	3,86	3,86	965,0	451.620	14.000,2	117.000	87.048	16,1%	1.750.027,50
Agosto	31	4,46	4,46	1.115,0	521.820	16.176,4	117.000	87.048	18,6%	2.022.052,50
Septiembre	30	5,73	5,73	1.432,5	670.410	20.112,3	117.000	84.240	23,9%	2.514.037,50
Octubre	31	6,29	6,29	1.572,5	735.930	22.813,8	117.000	87.048	26,2%	2.851.728,75
Noviembre	30	6,87	6,87	1.717,5	803.790	24.113,7	117.000	84.240	28,6%	3.014.212,50
Diciembre	31	7,13	7,13	1.782,5	834.210	25.860,5	117.000	87.048	29,7%	3.232.563,75
					659.978	217.558,0		946.296	21,1%	27.194.748,75

Tabla 6.6. Estudio generación Edif. Arquitectura Alt. 1 (Elaboración propia)

6.7.2.- Alternativa 2

Panel FV	Opitra Poli cristalino	
Modelo	200 Konig sonne Poli	
V=	24,64	Volt
I=	8,18	A
Voltaje del circuito	12	Volts
Potencia panel	200	W
Dimensión Panel	1,47	m ²
Costo EE	125	\$/kW h

Tabla 6.7. Parámetros de operación alternativa 2 (Opitra)

- Edificio Gantes, 400 paneles, 588 m² de panel

		Radiacion Superficie inclinada	Hora solar equivalente Hse	Energia producida por panel	Energia producida por instalacion	Energia producida por instalacion	Potencia instalada	Produccion teorica mes	Factor operación	Costo cubierto
	dias/mes	Kwh/m2 dia	Horas/dia	Wh/dia	Wh/dia	Kwh/mes	W	Kwh/mes	%	\$/mes
Enero	31	7,4	7,4	1.480,0	592.000	18.352,0	80.000	59.520	30,8%	2.294.000,00
Febrero	0	7,02	7,02	1.404,0	561.600	0,0	80.000	0	0,0%	0,00
Marzo	31	6,37	6,37	1.274,0	509.600	15.797,6	80.000	59.520	26,5%	1.974.700,00
Abril	30	5,29	5,29	1.058,0	423.200	12.696,0	80.000	57.600	22,0%	1.587.000,00
Mayo	31	3,86	3,86	772,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Junio	30	3,41	3,41	682,0	272.800	8.184,0	80.000	57.600	14,2%	1.023.000,00
Julio	31	3,86	3,86	772,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Agosto	31	4,46	4,46	892,0	356.800	11.060,8	80.000	59.520	18,6%	1.382.600,00
Septiembre	30	5,73	5,73	1.146,0	458.400	13.752,0	80.000	57.600	23,9%	1.719.000,00
Octubre	31	6,29	6,29	1.258,0	503.200	15.599,2	80.000	59.520	26,2%	1.949.900,00
Noviembre	30	6,87	6,87	1.374,0	549.600	16.488,0	80.000	57.600	28,6%	2.061.000,00
Diciembre	31	7,13	7,13	1.426,0	570.400	17.682,4	80.000	59.520	29,7%	2.210.300,00
					451.267	148.757,6		647.040	21,1%	18.594.700,00

Tabla 6.8. Estudio generación Edif. Gantes Alt. 2 (Elaboración propia)

- Edificio sala de clases Ingeniería Mecánica, 400 paneles, 588 m² de panel

		Radiación Superficie inclinada	Hora solar equivalente Hse	Energía producida por panel	Energía producida por instalación	Energía producida por instalación	Potencia instalada	Producción teórica mes	Factor operación	Costo cubierto
	días/mes	Kwh/m2 día	Horas/día	Wh/día	Wh/día	Kwh/mes	W	Kwh/mes	%	\$/mes
Enero	31	7,4	7,4	1.480,0	592.000	18.352,0	80.000	59.520	30,8%	2.294.000,00
Febrero	0	7,02	7,02	1.404,0	561.600	0,0	80.000	0	0,0%	0,00
Marzo	31	6,37	6,37	1.274,0	509.600	15.797,6	80.000	59.520	26,5%	1.974.700,00
Abril	30	5,29	5,29	1.058,0	423.200	12.696,0	80.000	57.600	22,0%	1.587.000,00
Mayo	31	3,86	3,86	772,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Junio	30	3,41	3,41	682,0	272.800	8.184,0	80.000	57.600	14,2%	1.023.000,00
Julio	31	3,86	3,86	772,0	308.800	9.572,8	80.000	59.520	16,1%	1.196.600,00
Agosto	31	4,46	4,46	892,0	356.800	11.060,8	80.000	59.520	18,6%	1.382.600,00
Septiembre	30	5,73	5,73	1.146,0	458.400	13.752,0	80.000	57.600	23,9%	1.719.000,00
Octubre	31	6,29	6,29	1.258,0	503.200	15.599,2	80.000	59.520	26,2%	1.949.900,00
Noviembre	30	6,87	6,87	1.374,0	549.600	16.488,0	80.000	57.600	28,6%	2.061.000,00
Diciembre	31	7,13	7,13	1.426,0	570.400	17.682,4	80.000	59.520	29,7%	2.210.300,00
					451.267	148.757,6		647.040	21,1%	18.594.700,00

Tabla 6.9. Estudio generación Edif. Ex Mecánica Alt. 2 (Elaboración propia)

- Edificio Arquitectura, 572 paneles, 840 m² de panel

		Radiación Superficie inclinada	Hora solar equivalente Hse	Energía producida por panel	Energía producida por instalación	Energía producida por instalación	Potencia instalada	Producción teórica mes	Factor operación	Costo cubierto
	días/mes	Kwh/m2 día	Horas/día	Wh/día	Wh/día	Kwh/mes	W	Kwh/mes	%	\$/mes
Enero	31	7,4	7,4	1.480,0	846.560	26.243,4	114.400	85.114	30,8%	3.280.420,00
Febrero	0	7,02	7,02	1.404,0	803.088	0,0	114.400	0	0,0%	0,00
Marzo	31	6,37	6,37	1.274,0	728.728	22.590,6	114.400	85.114	26,5%	2.823.821,00
Abril	30	5,29	5,29	1.058,0	605.176	18.155,3	114.400	82.368	22,0%	2.269.410,00
Mayo	31	3,86	3,86	772,0	441.584	13.689,1	114.400	85.114	16,1%	1.711.138,00
Junio	30	3,41	3,41	682,0	390.104	11.703,1	114.400	82.368	14,2%	1.462.890,00
Julio	31	3,86	3,86	772,0	441.584	13.689,1	114.400	85.114	16,1%	1.711.138,00
Agosto	31	4,46	4,46	892,0	510.224	15.816,9	114.400	85.114	18,6%	1.977.118,00
Septiembre	30	5,73	5,73	1.146,0	655.512	19.665,4	114.400	82.368	23,9%	2.458.170,00
Octubre	31	6,29	6,29	1.258,0	719.576	22.306,9	114.400	85.114	26,2%	2.788.357,00
Noviembre	30	6,87	6,87	1.374,0	785.928	23.577,8	114.400	82.368	28,6%	2.947.230,00
Diciembre	31	7,13	7,13	1.426,0	815.672	25.285,8	114.400	85.114	29,7%	3.160.729,00
					645.311	212.723,4		925.267	21,1%	26.590.421,00

Tabla 6.10. Estudio generación Edif. Arquitectura Alt. 2 (Elaboración propia)

6.8.- Conexión a la red

Para la instalación de los sistemas en ON-GRID (Conectado a la red), se requiere de la determinación del Voltaje de máxima potencia (V_{mp}) e Intensidad de corriente de máxima potencia (I_{mp}), para seleccionar un inversor adecuado a la instalación, uno de los puntos a considerar para la selección del inversor, será que esté equipado con un dispositivo electrónico de seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles para así obtener la máxima eficiencia energética del generador, por lo tanto se considerará que en condiciones normales de funcionamiento, se entregará la máxima potencia.

La tensión normal de funcionamiento o tensión de máxima potencia del generador fotovoltaico se obtiene conociendo la disposición de conexión de los paneles, en serie a la cual se deberá conectar el inversor en condiciones normales, la que se obtiene de multiplicar la tensión de punto de máxima potencia (V_{mp}) de cada panel por el número de paneles de cada ramal del generador.

La corriente que suministra el generador fotovoltaico cuando proporciona la máxima potencia vendrá dada al multiplicar la corriente de punto de máxima potencia (I_{mp}) de cada panel por el número de series de paneles en paralelo.

Para modelos de evaluación se realizará una evaluación con inversores únicos centrales lo que será denominado alternativa (a), y otra evaluación con inversores más pequeños conectados paralelamente entre ellos lo que será denominado alternativa (b).

Entre las alternativas de solución, se plantea una alternativa con un inversor central alternativa (a) el cual se conecta directamente a cada fase de la red y su neutro, en el caso de la alternativa (b) se plantea varios inversores en paralelo para lo cual se deben conectar siguiendo una alternancia en sus conexiones a la red trifásica como se aprecia en la figura 6.6.

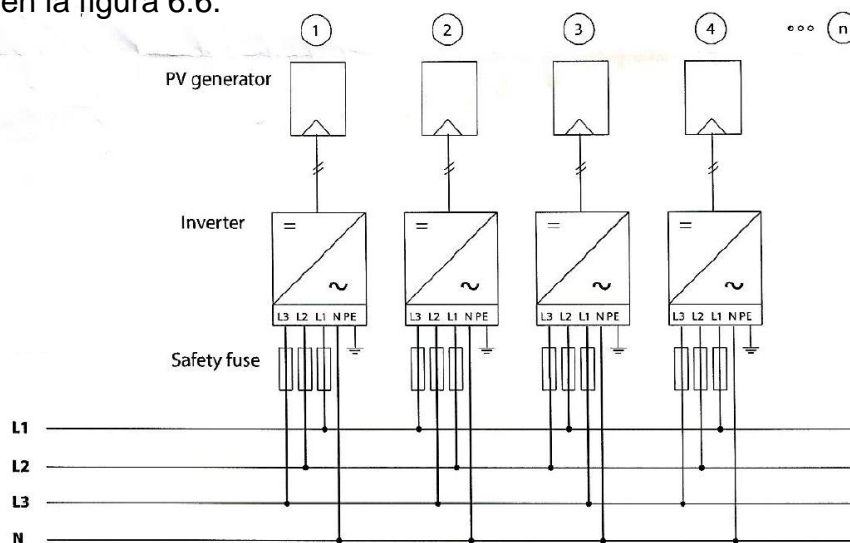


Figura 6.6. Conexión trifásica de inversores en paralelo (KAKO NEW ENERGY)

6.8.1.- Tensión y corriente para alternativa 1. (a)

- Edificio Gantes, 320 paneles de 250 (W)

Se conectarán 16 paneles en serie, lo que conlleva que en cada fila existan 5 conexiones en serie de 16 paneles, así existiendo 4 filas, un total de 20 series conectadas en paralelo entre las 4 filas, se obtiene la distribución de los 320 paneles.

$$V_{mp} = 16 \times 30,48 = 487,68 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 20 \times 8,24 = 164,8 \text{ (Amp)}$$

- Edificio ex Mecanica, 320 paneles de 250 (W)

Se conectarán 16 paneles en serie, de modo que queden agrupados en las 4 filas equitativamente en cada una de las 4 cerchas, así existiendo 4 filas por cercha, un total de 20 series conectadas en paralelo entre las 16 filas, se obtiene la distribución de los 320 paneles.

$$V_{mp} = 16 \times 30,48 = 487,68 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 20 \times 8,24 = 164,8 \text{ (Amp)}$$

- Edificio Arquitectura, 468 paneles de 250 (W)

Se conectarán 13 paneles en serie, lo que conlleva que en cada fila de cada cercha existan 2 conexiones en serie, así del total de 18 filas del edificio existirán 36 paralelos.

$$V_{mp} = 13 \times 30,48 = 396,94 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} C1 = 16 \times 8,24 = 131,84 \text{ (Amp)}$$

$$I_{mp} C2 = 8 \times 8,24 = 65,92 \text{ (Amp)}$$

$$I_{mp} C3 = 12 \times 8,24 = 98,88 \text{ (Amp)}$$

$$I_{mp} \text{ Total} = 296,64 \text{ (Amp)}$$

6.8.2.- Tensión y corriente para alternativa 2. (a)

- Edificio Gantes, 400 paneles de 200 (W)

Se conectarán 20 paneles en serie, lo que conlleva que en cada fila existan 4 conexiones en serie de 20 paneles, así existiendo 5 filas, un total de 20 series conectadas en paralelo entre las 5 filas, se obtiene la distribución de los 400 paneles.

$$V_{mp} = 20 \times 26,64 = 532,8 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 20 \times 8,18 = 163,6 \text{ (Amp)}$$

- Edificio ex Mecánica, 400 paneles de 200 (W)

Se conectarán 20 paneles en serie, lo que conlleva que cada fila de cada cercha esté conectada en serie, así existiendo 5 filas por cercha, un total de 20 series conectadas en paralelo entre las 20 filas, se obtiene la distribución de los 400 paneles.

$$V_{mp} = 20 \times 26,64 = 532,8 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 20 \times 8,18 = 163,6 \text{ (Amp)}$$

- Edificio Arquitectura, 572 paneles de 200 (W)

Se conectarán 13 paneles en serie, lo que conlleva que en cada fila de cada cercha existan 2 conexiones en serie, así del total de 22 filas del edificio existirán 44 paralelos.

$$V_{mp} = 13 \times 26,64 = 346,32 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} \text{ C1} = 16 \times 8,18 = 130,88 \text{ (Amp)}$$

$$I_{mp} \text{ C2} = 12 \times 8,18 = 98,16 \text{ (Amp)}$$

$$I_{mp} \text{ C3} = 16 \times 8,18 = 130,88 \text{ (Amp)}$$

$$I_{mp} \text{ Total} = 359,92 \text{ (Amp)}$$

6.8.3.- Inversores según alternativa (a)

La empresa ATERSA SIEL-SOLEIL cuenta con inversores trifásicos, totalmente equipados con las tecnologías necesarias (Sincronizador, sistemas de protección magneto-térmicos y fusibles de seguridad) para la seguridad operativa de conexión en paralelo, listos para una directa instalación hacia el panel eléctrico.

Para la alternativa 1. (a) en el edificio Gantes y sala de clases Ingeniería Mecánica se seleccionó un inversor ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 70 Código 3009537 de características:

Especificaciones eléctricas	
1.- Conexión a la red	
Potencia Nominal de la instalación (kW)	70
Conexión	Trifásica y Neutro
2.- Generador fotovoltaico	
Potencia mínima/máxima paneles (kWp)	65-88
Rango de tensión PMP	330-600
Tensión máxima de entrada a módulos	700Vdc a 0°
Tensión mínima de arranque (V)	400
Corriente máxima de entrada (A)	267
Número de entradas DC	1
3.- Inversor AC	
Potencia AC, Pn (kW)	70
Tensión de red nominal AC, Vn (V)	400
Corriente nominal (A)	103,9
Corriente máxima (A)	115,1
Tensión de funcionamiento	Vn +/- 10%
Frecuencia de funcionamiento	50Hz +/- 0,3Hz
Protección contra funcionamiento en isla	SI
4.- Otros datos	
Consumo aprox. En vacío (W)	56
THD de la intensidad AC	< 3%
Control del sistema	Analógico/ Digital
Contactador electromecánico de desconexión	SI
Sistema de aislamiento	Transformador
Protección del interface de comunicaciones	SI
Rendimiento máximo (%)	95,5
Normativas	RD 1663/ 2000, CEI 11-10, LVD, EMC, CE DK5950 y DK5940
Especificaciones Físicas	
Sistema de Refrigeración	Convección natural + Ventilación forzada
Rango de temperatura de trabajo	-5° C a 40° C
Rango de temperatura de almacenamiento	-20° C a 50° C
Humedad relativa máxima	95%
Nivel db (A)	64
Dimensiones (mm) (LxWxH)	1100x800x1400
Peso (Kg)	750
Índice de protección	IP21
Material envolvente	Convección natural + Ventilación forzada

Tabla 6.11. Propiedades inversor ARTESA 70 KW

Para la alternativa 1. (a) en el edificio de Arquitectura se seleccionó un inversor ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 100 Código 3009514 de características:

Especificaciones eléctricas	
1.- Conexión a la red	
Potencia Nominal de la instalación (kW)	100
Conexión	Trifásica y Neutro
2.- Generador fotovoltaico	
Potencia mínima/máxima paneles (kWp)	80-125
Rango de tensión PMP	330-600
Tensión máxima de entrada a módulos	700Vdc a 0°
Tensión mínima de arranque (V)	400
Corriente máxima de entrada (A)	424
Número de entradas DC	1
3.- Inversor AC	
Potencia AC, Pn (kW)	100
Tensión de red nominal AC, Vn (V)	400
Corriente nominal (A)	144,3
Corriente máxima (A)	203
Tensión de funcionamiento	Vn +/- 10%
Frecuencia de funcionamiento	50Hz +/- 0,3Hz
Protección contra funcionamiento en isla	SI
4.- Otros datos	
Consumo aprox. En vacío (W)	56
THD de la intensidad AC	< 3%
Control del sistema	Analógico/ Digital
Contactador electromecánico de desconexión	SI
Sistema de aislamiento	Transformador
Protección del interface de comunicaciones	SI
Rendimiento máximo (%)	96,3
Normativas	RD 1663/ 2000, CEI 11-10, LVD, EMC, CE DK5950 y DK5940
Especificaciones Físicas	
Sistema de Refrigeración	Convección natural + Ventilación forzada
Rango de temperatura de trabajo	-5° C a 40° C
Rango de temperatura de almacenamiento	-20° C a 50° C
Humedad relativa máxima	95%
Nivel db (A)	64
Dimensiones (mm) (LxWxH)	1100x800x1400
Peso (Kg)	980
Índice de protección	IP21
Material envolvente	Convección natural + Ventilación forzada

Tabla 6.12. Propiedades inversor ARTESA 100 KW

Para la alternativa 2. (a) en el edificio Gantes y sala de clases Ingeniería Mecánica se seleccionó un inversor ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 70 Código 3009537 de características:

Especificaciones eléctricas	
1-. Conexión a la red	
Potencia Nominal de la instalación (kW)	70
Conexión	Trifásica y Neutro
2-. Generador fotovoltaico	
Potencia mínima/máxima paneles (kWp)	65-88
Rango de tensión PMP	330-600
Tensión máxima de entrada a módulos	700Vdc a 0°
Tensión mínima de arranque (V)	400
Corriente máxima de entrada (A)	267
Número de entradas DC	1
3-. Inversor AC	
Potencia AC, Pn (kW)	70
Tensión de red nominal AC, Vn (V)	400
Corriente nominal (A)	103,9
Corriente máxima (A)	115,1
Tensión de funcionamiento	Vn +/- 10%
Frecuencia de funcionamiento	50Hz +/- 0,3Hz
Protección contra funcionamiento en isla	SI
4-. Otros datos	
Consumo aprox. En vacío (W)	56
THD de la intensidad AC	< 3%
Control del sistema	Analógico/ Digital
Contactador electromecánico de desconexión	SI
Sistema de aislamiento	Transformador
Protección del interface de comunicaciones	SI
Rendimiento máximo (%)	95,5
Normativas	RD 1663/ 2000, CEI 11-10, LVD, EMC, CE DK5950 y DK5940
Especificaciones Físicas	
Sistema de Refrigeración	Convección natural + Ventilación forzada
Rango de temperatura de trabajo	-5° C a 40° C
Rango de temperatura de almacenamiento	-20° C a 50° C
Humedad relativa máxima	95%
Nivel db (A)	64
Dimensiones (mm) (LxWxH)	1100x800x1400
Peso (Kg)	750
Índice de protección	IP21
Material envolvente	Convección natural + Ventilación forzada

Tabla 6.13. Propiedades inversor ARTESA 70 KW

Para la alternativa 2. (a) en el edificio de se seleccionó un inversor ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 100 Código 3009514 de características:

Especificaciones eléctricas	
1-. Conexión a la red	
Potencia Nominal de la instalación (kW)	100
Conexión	Trifásica y Neutro
2-. Generador fotovoltaico	
Potencia mínima/máxima paneles (kWp)	80-125
Rango de tensión PMP	330-600
Tensión máxima de entrada a módulos	700Vdc a 0°
Tensión mínima de arranque (V)	400
Corriente máxima de entrada (A)	424
Número de entradas DC	1
3-. Inversor AC	
Potencia AC, Pn (kW)	100
Tensión de red nominal AC, Vn (V)	400
Corriente nominal (A)	144,3
Corriente máxima (A)	203
Tensión de funcionamiento	Vn +/- 10%
Frecuencia de funcionamiento	50Hz +/- 0,3Hz
Protección contra funcionamiento en isla	SI
4-. Otros datos	
Consumo aprox. En vacío (W)	56
THD de la intensidad AC	< 3%
Control del sistema	Analógico/ Digital
Contactador electromecánico de desconexión	SI
Sistema de aislamiento	Transformador
Protección del interface de comunicaciones	SI
Rendimiento máximo (%)	96,3
Normativas	RD 1663/ 2000, CEI 11-10, LVD, EMC, CE DK5950 y DK5940
Especificaciones Físicas	
Sistema de Refrigeración	Convección natural + Ventilación forzada
Rango de temperatura de trabajo	-5° C a 40° C
Rango de temperatura de almacenamiento	-20° C a 50° C
Humedad relativa máxima	95%
Nivel db (A)	64
Dimensiones (mm) (LxWxH)	1100x800x1400
Peso (Kg)	980
Índice de protección	IP21
Material envolvente	Convección natural + Ventilación forzada

Tabla 6.14. Propiedades inversor ARTESA 100 KW

6.8.4.- Tensión y corriente para alternativa 1. (b)

En esta alternativa se instalarán varios inversores de menor potencia, en cada edificio de manera que los String se subdividan equitativamente con el objetivo de disminuir la intensidad de llegada al inversor y así evitar la sobresaturación de paralelos a un inversor, que conlleva a un aumento de intensidad eléctrica. Luego los inversores se conectarán paralelamente a la red eléctrica trifásica teniendo a uno de ellos como inversor maestro y los demás como esclavos de este.

- Edificio Gantes, 320 paneles de 250 (W)

Se conectarán 20 paneles en serie, lo que conlleva existan 4 conexiones en serie por cada fila, considerando que existen 4 filas de 80 paneles sobre este edificio. Esta alternativa plantea que se conectarán 2 series en paralelo para cada inversor para disminuir la intensidad eléctrica.

$$V_{mp} = 20 \times 30,48 = 609,6 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 2 \times 8,24 = 16,48 \text{ (Amp)}$$

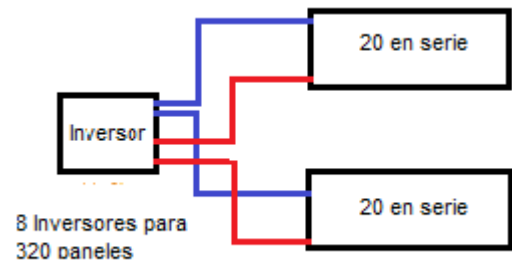


Figura 6.7 esquema de conexión inversor

- Edificio ex Mecánica, 320 paneles de 250 (W)

Se conectarán 20 paneles en serie, lo que conlleva que cada fila esté conectada en serie en cada cercha, considerando que existen 4 filas por cercha sobre este edificio. Esta alternativa plantea que se conectarán 2 series en paralelo para cada inversor para disminuir la intensidad eléctrica, el esquema de conexión es el mismo que la figura (6.7).

$$V_{mp} = 20 \times 30,48 = 609,6 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 2 \times 8,24 = 16,48 \text{ (Amp)}$$

- Edificio Arquitectura, 468 paneles de 250 (W)

Se conectarán 26 paneles en serie, lo que conlleva que cada fila esté conectada en serie en cada cercha, considerando que existen 3 tipos de cerchas diferentes conlleva a que las conexiones paralelos sean diferentes en cada cercha sobre este edificio. Esta alternativa plantea que se conectarán 2 series en paralelo para cada inversor para disminuir la intensidad eléctrica, el esquema de conexión es el mismo que presenta la figura (6.7), pero con 26 paneles por serie y 9 inversores para 468 paneles.

$$V_{mp} = 26 \times 30,48 = 792,48 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 2 \times 8,24 = 16,48 \text{ (Amp)}$$

En las cerchas tipo 1 hay 4 filas de paneles, por lo tanto se conectaran 2 paralelos, por cercha.

En las cerchas tipo 2 hay 2 filas de paneles, por lo tanto se conectara 1 paralelo por cercha.

En las cerchas tipo 3 hay 3 filas de paneles, por lo tanto se conectara 1 paralelo en cada cercha y de las filas sobrantes entre ellas se conformara otro paralelo

6.8.5.- Tensión y corriente para alternativa 2. (b)

- Edificio Gantes, 400 paneles de 200 (W)

Se conectarán 25 paneles en serie, de modo que queden agrupados en las 5 filas en forma equitativa, considerando que existen 5 filas de 80 paneles sobre este edificio. Esta alternativa plantea que se conectarán 2 series en paralelo para cada inversor para disminuir la intensidad eléctrica, el esquema de conexión es el mismo que la figura (6.7), pero con 25 paneles por serie para 400 paneles.

$$V_{mp} = 25 \times 26,64 = 666 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 2 \times 8,18 = 16,36 \text{ (Amp)}$$

- Edificio ex Mecanica, 400 paneles de 200 (W)

Se conectarán 25 paneles en serie, de modo que queden agrupados en las 5 filas en forma equitativa, considerando que existen 5 filas por cercha sobre este edificio. Esta alternativa plantea que se conectarán 2 series en paralelo para cada inversor para disminuir la intensidad eléctrica, el esquema de conexión es el mismo que la figura (6.7), pero con 25 paneles por serie para 400 paneles.

$$V_{mp} = 25 \times 26,64 = 666 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 2 \times 8,18 = 16,36 \text{ (Amp)}$$

- Edificio Arquitectura, 572 paneles de 200 (W)

Se conectarán 26 paneles en serie, lo que conlleva que cada fila esté conectada en serie en cada cercha, considerando que existen 3 tipos de cerchas diferentes conlleva a que las conexiones paralelos sean diferentes en cada cercha sobre este edificio. Esta alternativa plantea que se conectarán 2 series en paralelo para

cada inversor para disminuir la intensidad eléctrica, el esquema de conexión es el mismo que presenta la figura (6.7), pero con 26 paneles por serie y 11 inversores para 572 paneles.

$$V_{mp} = 26 \times 26,64 = 692,64 \text{ (Volt)}$$

$$I_{mp} = 2 \times 8,18 = 16,36 \text{ (Amp)}$$

En las cerchas tipo 1 hay 4 filas de paneles, por lo tanto se conectarán 2 paralelos, por cercha.

En las cerchas tipo 2 hay 3 filas de paneles, por lo tanto se conectará 1 paralelo en cada cercha y de las filas sobrantes entre ellas se conformará otro paralelo.

En las cerchas tipo 3 hay 4 filas de paneles, por lo tanto se conectará 2 paralelos, por cercha.

6.8.6.- Inversores según alternativa (b)

La empresa KACO NEW ENERGY cuenta con inversores trifásicos, de baja potencia que funcionan perfectamente conectados en paralelo entre varios de ellos, totalmente equipados con las tecnologías necesarias (Sincronizador, sistemas de protección y fusibles de seguridad) para la seguridad operativa de conexión en paralelo tanto de String de paneles como entre ellos mismos, funcionando uno de ellos como inversor maestro sincronizando a los demás de su conjunto para que funcionen como inversores esclavos.

Para la alternativa 1.(b) en el edificio Gantes y el edificio sala de clases Ingeniería Mecánica en que cada string se compone de 20 módulos FV, se seleccionaron 8 inversores (1 por cada 2 string) para cada edificio KACO POWADOR trifásico Modelo 10.0 TL3 de características:

Especificaciones eléctricas	
1-. Magnitudes de entrada	
Potencia máx. Recomendada del generador FV	10000 W
Rango MPP	200 V – 800 V
Tension inicial	250 V
Tension en vacío	1000 V
Corriente entrada máx.	2 x 18,6 A
Número de seguidores MPP	2
Potencia máx. / seguidor	9,2 kW
Numero de strings	2 x 2
2-. Magnitudes de salida	
Potencia nominal	9000 VA
Tension de la red	400 V / 230 V (3 / N / PE)
Corriente nominal	3 x 13,0 A
Frecuencia nominal	50 Hz
Cos phi	0,80 inductivo ... 0,80 capacitivo
Numero de fases de alimentación	3
3-. Datos eléctricos generales	
Grado de rendimiento máx.	98,0 %
Grado de rendimiento europ.	97,4 %
Consumo propio: desconexión nocturna	1,5 W
Concepto de circuito	Sin transformador
Vigilancia de la red	Específica de cada país
Especificaciones mecánicas	
Indicador	Pantalla grafica + LEDs
Elementos de manejo	Cruz de 4 posiciones + 2 teclas
Puertos e interfaces	Ethernet, USB, RS485, salida SO
Relé de aviso de fallos	Contacto de cierre libre de potencial 230 V / 1 A
Conexiones	CC: conector solar, CA: racor M40 y borne
Temperatura ambiente	-25 °C ... +60 °C
Refrigeración	Ventilador con regulación de temperatura
Tipo de protección	IP65
Emisión de ruidos	< 45 db (A) (sin ruido sin funcionamiento de ventiladores)
Seccionador de CC	Integrado
Carcasa	Fundición de aluminio
Al x An x Pro	690 x 420 x 200 mm
Peso	40 kg

Tabla 6.15. Propiedades inversor KACO 10 KW

Para la alternativa 1. (b) en el edificio de Arquitectura donde cada string se compone de 26 módulos FV, se seleccionaron 9 inversores (1 por cada 2 string) KACO POWADOR trifásico Modelo 14.0 TL3 de características:

Especificaciones eléctricas	
1-. Magnitudes de entrada	
Potencia máx. Recomendada del generador FV	14000 W
Rango MPP	200 V – 800 V
Tension inicial	250 V
Tension en vacío	1000 V
Corriente entrada máx.	2 x 18,6 A
Número de seguidores MPP	2
Potencia máx. / seguidor	12,8 kW
Numero de strings	2 x 2
2-. Magnitudes de salida	
Potencia nominal	12500 VA
Tension de la red	400 V / 230 V (3 / N / PE)
Corriente nominal	3 x 18,1 A
Frecuencia nominal	50 Hz
Cos phi	0,80 inductivo ... 0,80 capacitivo
Numero de fases de alimentación	3
3-. Datos eléctricos generales	
Grado de rendimiento máx.	98,0 %
Grado de rendimiento europ.	97,6 %
Consumo propio: desconexión nocturna	1,5 W
Concepto de circuito	Sin transformador
Vigilancia de la red	Específica de cada país
Especificaciones mecánicas	
Indicador	Pantalla grafica + LEDs
Elementos de manejo	Cruz de 4 posiciones + 2 teclas
Puertos e interfaces	Ethernet, USB, RS485, salida SO
Relé de aviso de fallos	Contacto de cierre libre de potencial 230 V / 1 A
Conexiones	CC: conector solar, CA: racor M40 y borne
Temperatura ambiente	-25 °C ... +60 °C
Refrigeración	Ventilador con regulación de temperatura
Tipo de protección	IP65
Emisión de ruidos	< 45 db (A) (sin ruido sin funcionamiento de ventiladores)
Seccionador de CC	Integrado
Carcasa	Fundición de aluminio
Al x An x Pro	690 x 420 x 200 mm
Peso	40 kg

Tabla 6.16. Propiedades inversor KACO 14 KW

Para la alternativa 2.(b) en el edificio Gantes y el edificio Sala de clases Ingeniería Mecánica en que cada string se compone de 25 módulos FV, se seleccionaron 8 inversores (1 por cada 2 string) para cada edificio KACO POWADOR trifásico Modelo 10.0 TL3 de características:

Especificaciones eléctricas	
1-. Magnitudes de entrada	
Potencia máx. Recomendada del generador FV	10000 W
Rango MPP	200 V – 800 V
Tension inicial	250 V
Tension en vacío	1000 V
Corriente entrada máx.	2 x 18,6 A
Número de seguidores MPP	2
Potencia máx. / seguidor	9,2 kW
Numero de strings	2 x 2
2-. Magnitudes de salida	
Potencia nominal	9000 VA
Tension de la red	400 V / 230 V (3 / N / PE)
Corriente nominal	3 x 13,0 A
Frecuencia nominal	50 Hz
Cos phi	0,80 inductivo ... 0,80 capacitivo
Numero de fases de alimentación	3
3-. Datos eléctricos generales	
Grado de rendimiento máx.	98,0 %
Grado de rendimiento europ.	97,4 %
Consumo propio: desconexión nocturna	1,5 W
Concepto de circuito	Sin transformador
Vigilancia de la red	Específica de cada país
Especificaciones mecánicas	
Indicador	Pantalla grafica + LEDs
Elementos de manejo	Cruz de 4 posiciones + 2 teclas
Puertos e interfaces	Ethernet, USB, RS485, salida SO
Relé de aviso de fallos	Contacto de cierre libre de potencial 230 V / 1 A
Conexiones	CC: conector solar, CA: racor M40 y borne
Temperatura ambiente	-25 °C ... +60 °C
Refrigeración	Ventilador con regulación de temperatura
Tipo de protección	IP65
Emisión de ruidos	< 45 db (A) (sin ruido sin funcionamiento de ventiladores)
Seccionador de CC	Integrado
Carcasa	Fundición de aluminio
Al x An x Pro	690 x 420 x 200 mm
Peso	40 kg

Tabla 6.17. Propiedades inversor KACO 10 KW

Para la alternativa 2.(b) en el edificio de Arquitectura donde cada string se compone de 26 módulos FV, se seleccionaron 11 inversores (1 por cada 2 string) KACO POWADOR trifásico Modelo 14.0 TL3 de características:

Especificaciones eléctricas	
1-. Magnitudes de entrada	
Potencia máx. Recomendada del generador FV	14000 W
Rango MPP	200 V – 800 V
Tension inicial	250 V
Tension en vacío	1000 V
Corriente entrada máx.	2 x 18,6 A
Número de seguidores MPP	2
Potencia máx. / seguidor	12,8 kW
Numero de strings	2 x 2
2-. Magnitudes de salida	
Potencia nominal	12500 VA
Tension de la red	400 V / 230 V (3 / N / PE)
Corriente nominal	3 x 18,1 A
Frecuencia nominal	50 Hz
Cos phi	0,80 inductivo ... 0,80 capacitivo
Numero de fases de alimentación	3
3-. Datos eléctricos generales	
Grado de rendimiento máx.	98,0 %
Grado de rendimiento europ.	97,6 %
Consumo propio: desconexión nocturna	1,5 W
Concepto de circuito	Sin transformador
Vigilancia de la red	Específica de cada país
Especificaciones mecánicas	
Indicador	Pantalla grafica + LEDs
Elementos de manejo	Cruz de 4 posiciones + 2 teclas
Puertos e interfaces	Ethernet, USB, RS485, salida SO
Relé de aviso de fallos	Contacto de cierre libre de potencial 230 V / 1 A
Conexiones	CC: conector solar, CA: racor M40 y borne
Temperatura ambiente	-25 °C ... +60 °C
Refrigeración	Ventilador con regulación de temperatura
Tipo de protección	IP65
Emisión de ruidos	< 45 db (A) (sin ruido sin funcionamiento de ventiladores)
Seccionador de CC	Integrado
Carcasa	Fundición de aluminio
Al x An x Pro	690 x 420 x 200 mm
Peso	40 kg

Tabla 6.18. Propiedades inversor KACO 14 KW

6.9.- Protecciones

Toda instalación de circuitos independiente de su naturaleza, debe llevar mecanismos de protección y/o seguridad, para evitar daños y mala operación de los sistemas y equipos en estos. En las líneas de corriente continua (paneles FV-inversores) se encuentran protecciones o diodos de Bypass, protecciones magnetotérmicas, disyuntor bipolar y disipador de sobretensiones. En las líneas de corriente alterna (Inversores – tablero de distribución) se encuentran protecciones magnetotérmicas e interruptor diferencial.

6.9.1.- Protecciones de rendimiento (diodo de Bypass)

Las protecciones de rendimiento, son protecciones que protegen el panel FV de un mal rendimiento ya sea porque las células de estos paneles fallen por daños de impacto, sobrecalentamiento por mala fábrica o sombra focalizada de celda.

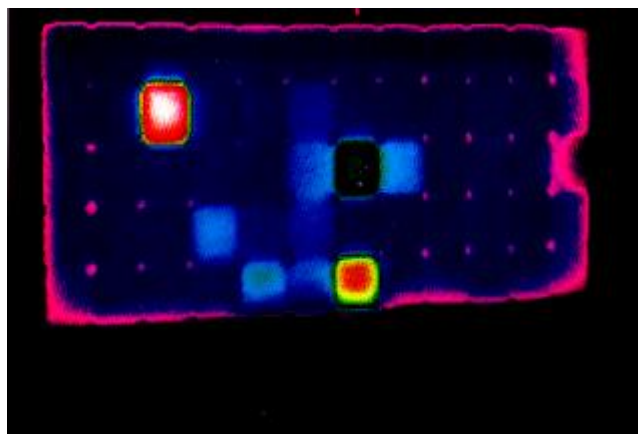


Figura 6.8 Panel FV con fallas (Estudio solar)

Estas fallas incurren en que el panel baje su rendimiento en un 75 % aprox. si el panel no está protegido con diodos de bypass, a su vez este panel al bajar su rendimiento y estar conectado en serie con otros paneles, condiciona a que todos los paneles conectados en serie a este, se adecuen al rendimiento del panel dañado, disminuyendo el rendimiento del String completo y a su vez el rendimiento del inversor el cual se tiene que adecuar al rendimiento del menor String. Las sombras focalizadas es el aspecto más recurrente en baja de rendimiento por un

panel, por suciedad focalizada, sea por fecas de aves u hojas que caen y se posan sobre los paneles. Estas pueden ser evitadas con una buena limpieza de la instalación 1 vez por semana, para así mantenerla en óptimas condiciones.

Estas protecciones o diodos de bypass, tienen como objetivo evitar que el rendimiento del panel caiga un 75% y solo caiga un 15% en caso de alguna sombra focalizada ya que están divididos en cada panel por cierto conjunto de célula FV, además de evitar condicionar al String a ese rendimiento y al inversor, por ende el diodo hace un puente al panel, y solo condiciona la caída en el panel que lleva la sombra.

Los paneles escogidos de la marca KONNIG SONNE, vienen cada uno con 6 diodos de bypass incorporados en cada caja de conexión de cada panel, así no es necesario una instalación adicional de estos ya que vienen incluidos dentro del panel.

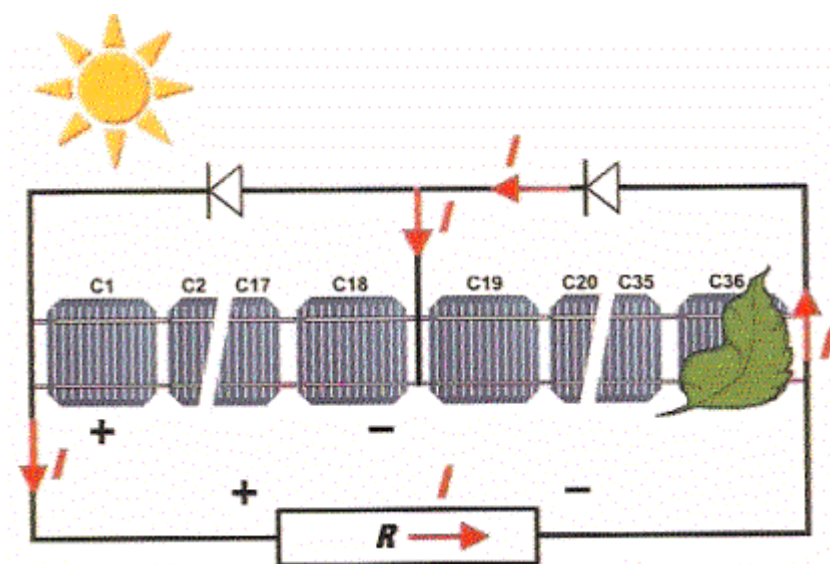


Figura 6.9 Funcionamiento diodo de bypass (Estudio Solar)

6.9.2.- Protecciones eléctricas

Dentro de las instalaciones eléctricas para paneles FV, se debe considerar protecciones para corriente continua (DC) definido como panel eléctrico auxiliar cuando exista más de un paralelo con el fin de proteger cada String, y protecciones para corriente alterna (AC) cuyo objetivo es proteger equipos como el inversor de un posible cortocircuito o sobretensiones.

La figura 6.9 esquematiza las protecciones tanto en el lado de corriente continua como en el de corriente alterna.

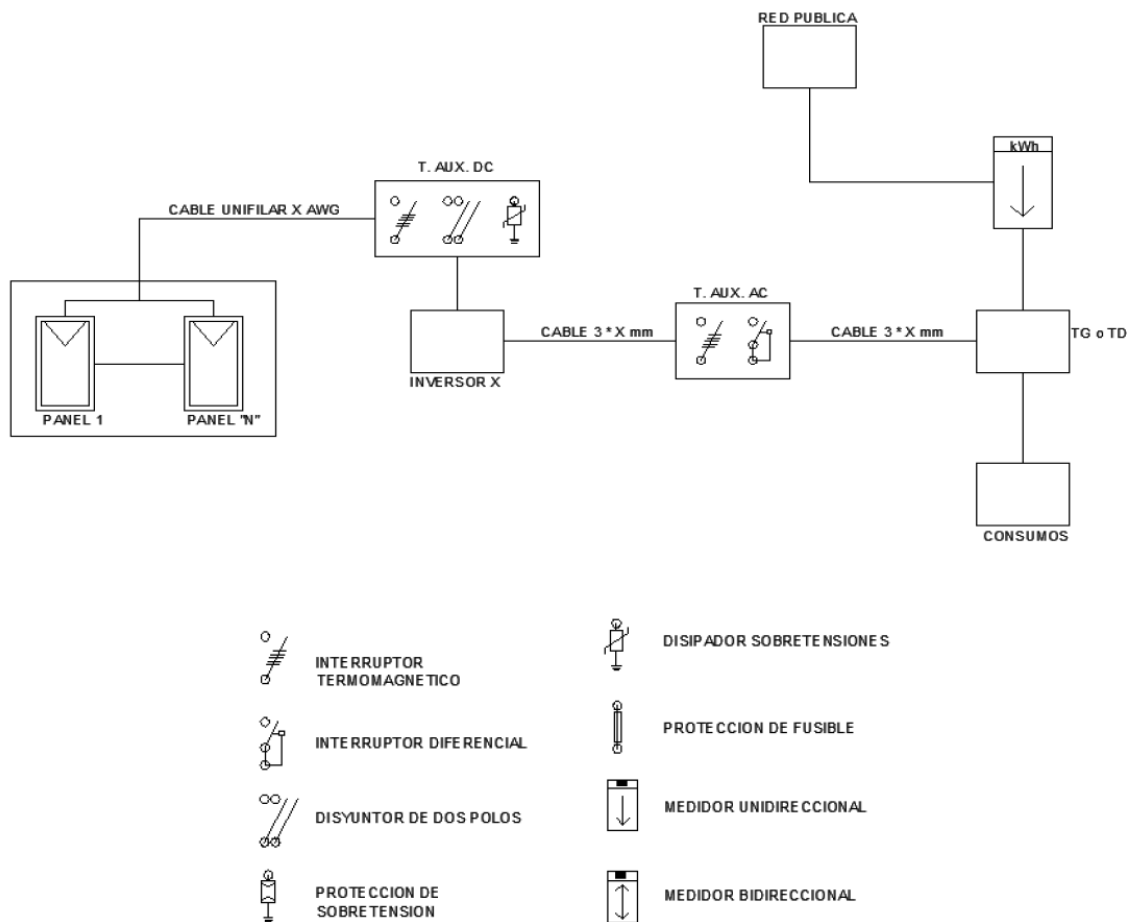


Figura 6.10 Esquema de protecciones eléctricas (Estudio solar)

6.9.2.1.- Protecciones eléctricas en DC

Las protecciones eléctricas ocupadas en el sector de corriente de continua, es decir, antes del inversor, protegen a los paneles fotovoltaicos de sobretensiones y cortocircuitos, el objetivo es que estos no sufran daños y haya que reemplazarlos posteriormente.

En este caso se crea un tablero auxiliar debido a que existe más de un String, por ende cada String debe llevar cada una de las protecciones. Las protecciones en DC deben ser seleccionadas mediante la intensidad que circula por ellas, la norma establece que las protecciones no pueden ser menores a 1,25 veces la intensidad del String, por ende las protecciones no pueden ser menores a 10,3 Amp.

- **Interruptor Magnetotérmico**

Corresponde a una protección eléctrica que posee funcionamientos tanto térmicos, protegiendo de una sobrecarga, como funcionamientos magnéticos que protegen de un cortocircuito. La empresa SCHNEIDER ELECTRIC cuenta con protecciones magnetotérmicas bipolares de diferentes amperajes, por ende se escogió una protección de código MGN 61651 de 16 A con las siguientes características.

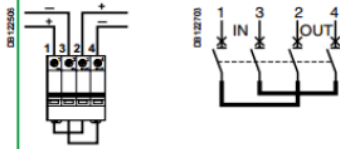
Main characteristics			
Operating voltage (Ue)	650 V DC		
Rated insulation voltage (Ui)	1,000 V DC		
Breaking capacity (Icu)	1.5 kA		
Impulse voltage (Uimp)	6 kV		
Electrical connection	By the top for In and Out		
Number of poles	2P		
Curve	C		
Number of modules of 9 mm	8		
Diagrams			
Standards	IEC 60947-2 EN 60947-2		
Rating (A)	Catalogue numbers		
10	MGN61650		
16	MGN61651		
20	MGN61652		
Additional characteristics			
Rating (A)	Voltage drop (mV)	Impedance (mΩ)	Power loss (W)
10 A	689	68.9	6.89
16 A	656	41	10.496
20 A	594	29.7	11.88

Tabla 6.19 Interruptor magnetotérmico DC (SCHNEIDER ELECTRIC)

- **Disyuntor de dos polos**

Esta protección es también denominada como breaker que actúa cuando detecta una intensidad elevada por corto circuito, automáticamente cae dicho protector cortando el paso de corriente para evitar daños en equipos.

La empresa SCHNEIDER ELECTRIC cuenta con disyuntores bipolares de diferentes amperajes, por ende se escogió un disyuntor de código A9N61690 de 20 A con las siguientes características.

Main characteristics			
Operating voltage (Ue)	20 A: 1000 V CC		
	32 A: 800 V CC		
	50 A: 700 V CC		
Rated insulation voltage (Ui)	1,000 V DC		
Rated operational current (Ie)	50 A		
Impulse voltage (Uimp)	6 kV		
Permissible rated short-time withstand current (Icw)	600 A		
Rated short-circuit closing current (Icm)	1 kA		
Electrical connection	By the top for In and Out		
Number of poles	2P		
Number of modules of 9 mm	8		
Diagrams			
Standards	IEC 60947-3 EN 60947-3		
Catalogue number	A9N61690		
Auxiliaries	See modules CA907008 and CA907013		
Additional characteristics			
Rating (A)	Voltage drop (mV)	Impedance (mΩ)	Power loss (W)
20 A	100	5.02	2
32 A	151	5.02	5.14
50 A	251	5.02	12.55

Tabla 6.20 Disyuntor de dos polos DC (SCHNEIDER ELECTRIC)

- **Disipador de sobretensiones**

Esta protección, protege de descargas atmosféricas de rayos que pudieran eventualmente caer sobre la instalación y cortes del conductor neutro y defectos de conexión. La empresa SCHNEIDER ELECTRIC cuenta con disipadores de sobre tensiones de 600V y 1000V, debido a que en la alternativa 2.(b) el voltaje es de 792,48 V se escogió un disipador de 1000 PV de código iPRD 40r -1000PV.

6.9.2.2.- Protecciones eléctricas en AC

Las protecciones eléctricas ocupadas en el sector de corriente de alterna, es decir, después del inversor, protegen a los inversores de cortocircuitos y sobretensiones, el objetivo es que estos inversores no sufran daños debido al paso de corriente desde la red eléctrica.

Estas protecciones serán diferentes de acuerdo a la alternativa de instalación de inversores, ya sea central (a) o varios en paralelo (b), y serán seleccionadas bajo la intensidad de los inversores.

- **Interruptor magnetotérmico**

Al igual que en el caso de DC en este sector se instala una protección magnetotérmica que proteja el inversor tanto de una sobrecarga con la parte térmica y de un cortocircuito con la parte magnética, a diferencia del de lado DC este es seleccionado por la intensidad que sale del inversor hacia el tablero de conexión.

Para el caso de la alternativa (a) inversor central, se seleccionó una protección magnetotérmica LEGRAND DPX 400 – tetrapolar, 250 A 36 KA Icu.

Para el caso de la alternativa (b) inversores en paralelo se seleccionó una protección magnetotérmica EC-320 EUROLUZ, 3P 20 A curva C 10 KA Icu, se utilizará una protección por cada inversor.

- **Interruptor diferencial**

Este interruptor es un dispositivo electromecánico que protege tanto a los equipos como al usuario debido a fallo directo o indirecto en los cables o conectores que puedan provocar un cortocircuito.

Para el caso de la alternativa (a) inversor central, se seleccionó un DIFERENCIAL AUT. METASOL 3x250A 37KA Icu ABS203c.

Para el caso de la alternativa (b) inversores en paralelo, se seleccionó un DIFERENCIAL TETRAPOLAR SURSUM 4x25A 300mA, se utilizará un diferencial por cada inversor.

6.10. Cableado de conexión

El diámetro del cable a utilizar en una instalación eléctrica es parte fundamental de ella ya que debe ser un cable de diámetro suficiente capaz de soportar la intensidad que circula por él.

Como se vio anteriormente la sección transversal del cable se calcula mediante la fórmula (6.9)

$$S = \frac{2 \cdot 0.0179 \cdot L \cdot I}{V_p} \quad (6.9)$$

Donde:

S = Sección transversal del conductor en (mm²)

L= Longitud estimada del conductor en (M)

I = Intensidad que circula por el conductor en (Amp)

V_p = Caída máxima de voltaje que depende si es AC (3%) y si es DC (1,5%)

2 = constante aplicada a conductores monofásicos

0.0179 = resistividad específica del cobre

La longitud de los conductores depende de la ubicación de los equipos de inversión y sistemas de protección, y estos a su vez de la ubicación de los paneles. Por ello es que la distribución de equipos será la siguiente:

- Edificio Gantes (Imagen referencial ver anexo 6):
 - Paneles → Techumbre de estructura
 - Tablero Aux. protecciones paneles → Techumbre posterior estructura
 - Inversores → Sala eléctrica principal edificio Gantes
 - Tablero Aux. protecciones inversor → Sala eléctrica principal edificio Gantes
- Edificio Sala de clases mecánica (Imagen referencial ver anexo 7):
 - Paneles → Techumbre de estructura
 - Tablero Aux. protecciones paneles → Costado posterior de la última cercha en el lado sur del edificio
 - Inversores → Sala donde se encuentra el tablero general eléctrico del edificio
 - Tablero Aux. protecciones inversor → Sala donde se encuentra el tablero general eléctrico del edificio

Para el caso particular del edificio de arquitectura se requerirá la implementación de un gabinete metálico externo a la estructura que contenga el inversor ya sea central o varios en paralelo, además de otro gabinete adyacente con el tablero auxiliar de protecciones para este, dichos gabinetes se encontraran en la esquina nor-oeste del edificio frente a Avda. los plátanos .

- Edificio Arquitectura (Imagen referencial ver anexo 8):
 - Paneles → Techumbre de estructura
 - Tablero Aux. protecciones paneles → Borde externo norte superior de la estructura del edificio, bajo la cercha y sobre el gabinete del inversor
 - Inversores → Gabinete metálico externo al edificio
 - Tablero Aux. protecciones inversor → Gabinete metálico externo al edificio a un costado del gabinete del inversor

6.10.1.- Cálculo de secciones transversales de cables

Conociendo la ubicación de los equipos, además de las medidas de los edificios y las distancias a cada punto de conexión es posible determinar las secciones de cables a utilizar en cada caso con la ecuación (6.9), estos cálculos se dividen en dos sectores por cada edificio y alternativa, uno en AC que comprende una longitud estimada de cables desde el o los inversores trifásicos hasta el tablero general eléctrico donde se procederá a la conexión (Longitud estimada = L (Inversores → Tablero protecciones AC) + L (Tablero protecciones AC → Tablero general eléctrico)).

Para la segunda parte el sector DC, comprende una longitud estimada en la condición más crítica, entre el String más lejano y el inversor (Longitud estimada = L (String crítico → Tablero protecciones DC) + L (Tablero protecciones DC → Inversores)), esto aplica para la alternativa de inversores chicos en paralelo donde la conexión es directa desde el String. Para el caso del inversor central es necesario llegar con cada String a una regleta de distribución por cada uno de los polos para que de esta forma entrar con un cable único por polo al inversor central, por ello es que en esta alternativa existe un doble cálculo en el mismo sector ya que comprende en gran parte el cable del String y posteriormente un sector de cable único MCM.

Para efectos de seguridad en la sección transversal del conductor, a las longitudes estimadas presentes en los planos CAD encontrados en anexo 1, anexo 2 y anexo 3, al valor total de longitud crítica del String más lejano al inversor, y a la longitud estimada del inversor al punto de conexión se le aplicará un 10% adicional, para así poder evitar tensiones del cable provocadas por curvas u otros elementos en la trayectoria del conductor.

Ejemplo de cálculo para tramo DC en alternativa 1. (a) (inversor central y paneles de 250 [W])

Para determinar la sección nominal a utilizar es necesario, calcular mediante la fórmula (6.9) la sección mínima del conductor según las características necesarias y posteriormente mediante tablas, elegir la sección normalizada mayor o igual a la obtenida con estos cálculos, se utilizara la alternativa 1.(a) en el tramo DC para el edificio gantes y los datos son los siguientes:

- Voltaje: 487,68 (Volt)
- Intensidad String: 8,24 (Amp)
- Intensidad total de entrada al inversor (Tramo MCM): 164,8 (Amp)
- Longitud Estimada de Anexo 1 + 10% adicional: 102,85 (m) String crítico y 36,85 Tramo MCM.

Con estos datos se calcula la sección transversal del tramo String crítico y el tramo MCM

$$S_{String} = \frac{2 * 0.0179 * 102.85 * 8.24}{7.31} = 4.15 \text{ mm}^2$$

$$S_{MCM} = \frac{2 * 0.0179 * 36.85 * 164.8}{7.31} = 29.72 \text{ mm}^2$$

Obtenidos estos datos se especifica que el tramo DC para el String ocupará una sección normalizada de 6 mm² de conductor fotovoltaico, mientras que el tramo DC MCM ocupara una sección AWG o MCM 2 (Anexo 6) correspondiente a 33,6 mm².

- **Tabla de resultados Alternativa 1.(a) (Inversor central y paneles de 250[W])**

Tipo de alternativa 1.(a)							
Edificio y tramo	Voltaje (Volt)	Vp Caída de voltaje (Volt)	Intensidad (Amp)	Longitud estimada (m)	Longitud con 10% (m)	Seccion Transveral (mm2)	Seccion Comercial (mm2)
Gantes tramo DC	487,68	7,3152	8,24	93,5	102,85	4,15	C. Solar MC4 6 mm2
Gantes tramo DC MCM	487,68	7,3152	164,8	33,5	36,85	29,72	C. ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2
Gantes tramo AC MCM	220	6,6	115,1	2	2,2	1,37	C. ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2
Mecanica tramo DC	487,68	7,3152	8,24	71,09	78,199	3,15	C. Solar MC4 4 mm2
Mecanica tramo DC MCM	487,68	7,3152	164,8	5,4	5,94	4,79	C. ARAFLEX RV-K1 x 6 mm2
Mecanica tramo AC MCM	220	6,6	115,1	1,5	1,65	1,03	C. ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2
Arquitectura tramo DC	396,94	5,9541	8,24	71,25	78,375	3,88	C. Solar MC4 4 mm2
Arquitectura tramo DC MCM	396,94	5,9541	296,64	4,3	4,73	8,44	C. ARAFLEX RV-K1 x 16 mm2
Arquitectura tramo AC MCM	220	6,6	203	68,05	74,855	82,42	C. ARAFLEX RV-K1 x 95 mm2

Tabla 6.21 Resultados secciones alternativa 1.(a) (Elaboración propia)

- **Tabla de resultados Alternativa 2.(a) (Inversor central y paneles de 200[W])**

Tipo de alternativa 2.(a)							
Edificio y tramo	Voltaje (Volt)	Vp Caída de voltaje (Volt)	Intensidad (Amp)	Longitud estimada (m)	Longitud con 10% (m)	Seccion Transveral (mm2)	Seccion Comercial (mm2)
Gantes tramo DC	533,28	7,9992	8,18	93,5	102,85	3,77	C. Solar MC4 4 mm2
Gantes tramo DC MCM	533,28	7,9992	163,6	33,5	36,85	26,98	C. ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2
Gantes tramo AC MCM	220	6,6	115,1	2	2,2	1,37	C. ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2
Mecanica tramo DC	533,28	7,9992	8,18	71,09	78,199	2,86	C. Solar MC4 4 mm2
Mecanica tramo DC MCM	533,28	7,9992	163,6	5,4	5,94	4,35	C. ARAFLEX RV-K1 x 6 mm2
Mecanica tramo AC MCM	220	6,6	115,1	1,5	1,65	1,03	C. ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2
Arquitectura tramo DC	346,32	5,1948	8,18	71,25	78,375	4,42	C. Solar MC4 6 mm2
Arquitectura tramo DC MCM	346,32	5,1948	359,92	4,3	4,73	11,73	C. ARAFLEX RV-K1 x 16 mm2
Arquitectura tramo AC MCM	220	6,6	203	68,05	74,855	82,42	C. ARAFLEX RV-K1 x 95 mm2

Tabla 6.22 Resultados secciones alternativa 2.(a) (Elaboración propia)

- **Tabla de resultados Alternativa 1.(b) (Inversores pequeños y paneles de 250[W])**

Tipo de alternativa 1.(b)							
Edificio y tramo	Voltaje (Volt)	Vp Caída de voltaje (Volt)	Intensidad (Amp)	Longitud estimada (m)	Longitud con 10% (m)	Seccion Transveral (mm2)	Seccion Comercial (mm2)
Gantes tramo DC	609,6	9,144	8,24	127	139,7	4,51	C. Solar MC4 6 mm2
Gantes tramo AC	230	6,9	13	2	2,2	0,15	C. ARAFLEX RV-K1 x 1,5mm2
Mecanica tramo DC	609,6	9,144	8,24	76,49	84,139	2,71	C. Solar MC4 4 mm2
Mecanica tramo AC	230	6,9	13	1,5	1,65	0,11	C. ARAFLEX RV-K1 x 1,5mm2
Arquitectura tramo DC	792,48	11,8872	8,24	75,55	83,105	2,06	C. Solar MC4 4 mm2
Arquitectura tramo AC	230	6,9	18,1	68,05	74,855	7,03	C. ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2

Tabla 6.23 Resultados secciones alternativa 1.(b) (Elaboración propia)

- **Tabla de resultados Alternativa 2.(b) (Inversores pequeños y paneles de 200[W])**

Tipo de alternativa 2.(b)							
Edificio y tramo	Voltaje (Volt)	Vp Caída de voltaje (Volt)	Intensidad (Amp)	Longitud estimada (m)	Longitud con 10% (m)	Seccion Transversal (mm2)	Seccion Comercial (mm2)
Gantes tramo DC	666	9,99	8,18	127	139,7	4,10	C. Solar MC4 6 mm2
Gantes tramo AC	230	6,9	13	2	2,2	0,15	C. ARAFLEX RV-K1 x 1.5mm2
Mecanica tramo DC	666	9,99	8,18	76,49	84,139	2,47	C. Solar MC4 4 mm2
Mecanica tramo AC	230	6,9	13	1,5	1,65	0,11	C. ARAFLEX RV-K1 x 1.5mm2
Arquitectura tramo DC	692,48	10,3872	8,18	75,55	83,105	2,34	C. Solar MC4 4 mm2
Arquitectura tramo AC	230	6,9	18,1	68,05	74,855	7,03	C. ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2

Tabla 6.24 Resultados secciones alternativa 2.(b) (Elaboración propia)

6.11.- Tierra de servicio para instalación

Todo inversor es conectado además de sus tres fases, con un cuarto cable el cual es el cable de tierra de servicio o neutro, este cable es conectado a barras de cobre (Barras cooper) ubicadas a 1,5 metros de distancia mínima en el exterior de las estructuras y enterradas a 1,8 metros de profundidad mínima. La sección transversal se fija de acuerdo a la norma Nch 4/2003, la tabla 6.25 muestra las secciones a utilizar dependiendo de la sección de cada fase.

Sección nominal del conductor de acometida [mm ²]	Sección nominal del conductor de tierra de servicio [mm ²]
hasta 6	4
entre 10 y 25	10
entre 35 y 70	16
entre 95 y 120	35
entre 150 y 240	50
entre 300 y 400	70

Tabla 6.25 Secciones nominales para conductores de puesta a tierra de servicio (Nch 4/2003)

Para el caso de inversores en paralelo, existirá una barra cooper por cada inversor, estas serán enterradas cada una a 0,5 metros de distancia de otra.

6.12.- Mantenimiento de las instalaciones

La mantención del sistema fotovoltaico está asociada fundamentalmente a la limpieza de las superficies de los paneles, es decir se requiere que la superficie de estos esté libres de manchas, hojas, suciedades focalizadas, etc. Ya que de esto depende la capacidad productiva de la instalación. Mantener las superficies limpias implica una actividad que debe ser realizada como mínimo una vez al mes.

6.13.- Cubicación según alternativa

- **Cubicación Alternativa 1.(a) (Inversor central y paneles de 250[W])**

Cubicacion alternativa 1.(a)		
Equipo	Modelo	Cantidad
Paneles	Panel Solar 250w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.108
Inversores	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 70 Código 3009537	2
	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 100 Código 3009514	1
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	200
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	36
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	76
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	76
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	76
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica Legrand DPX 400, Tetrapolar 250 Amp 36 KA Icu	3
	Interruptor Diferencial Aut. Metasol 3 x 250 Amp 37 KA Icu ABS203c	3
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	105
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	260
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	74
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 6 mm2 (mts)	12
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 16 mm2 (mts)	10
Conectores	Conectores certificados MC4	76
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2 (mts)	11
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 95 mm2 (mts)	214
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	14
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	3
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	3
Regleta Distribucion	Repartidor Legrand 250/400 Amp 1000 V 44 entradas-2 salidas Cod. 0 373 08	6

Tabla 6.26 Cubicación alternativa 1.(a) (Elaboración propia)

• **Cubicación Alternativa 2.(a) (Inversor central y paneles de 200[W])**

Cubicacion alternativa 2.(a)		
Equipo	Modelo	Cantidad
Paneles	Panel Solar 200w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.372
Inversores	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 70 Código 3009537	2
	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 100 Código 3009514	1
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	248
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	44
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	84
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	84
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	84
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica Legrand DPX 400, Tetrapolar 250 Amp 36 KA Icu	3
	Interruptor Diferencial Aut. Metasol 3 x 250 Amp 37 KA Icu ABS203c	3
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	210
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	215
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	74
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 6 mm2 (mts)	12
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 16 mm2 (mts)	10
Conectores	Conectores certificados MC4	84
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2 (mts)	11
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 95 mm2 (mts)	214
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	14
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	3
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	3
Regleta Distribucion	Repartidor Legrand 250/400 Amp 1000 V 44 entradas-2 salidas Cod. 0 373 08	6

Tabla 6.27 Cubicación alternativa 2.(a) (Elaboración propia)

• **Cubicación Alternativa 1.(b) (Inversores pequeños y paneles de 250[W])**

Cubicacion alternativa 1.(b)		
Equipo	Modelo	Cantidad
Paneles	Panel Solar 250w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.108
Inversores	KACO POWADOR trifasico Modelo 10,0 TL3	16
	KACO POWADOR trifasico Modelo 14,0 TL3	9
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	200
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	36
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	50
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	50
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	50
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica EC-320 EUROLUZ 3P 20 Amp curva C 10 KA Icu	25
	Interruptor Diferencial TETRAPOLAR SURSUM 4x25 Amp 300mA	25
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	181
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	145
Conectores	Conectores certificados MC4	50
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 1,5 mm2 (mts)	96
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	2.025
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	112
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	18
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	25

Tabla 6.28 Cubicación alternativa 1.(b) (Elaboración propia)

- **Cubicación Alternativa 2.(b) (Inversores pequeños y paneles de 200[W])**

Cubicación alternativa 2.(b)		
Equipo	Modelo	Cantidad
Paneles	Panel Solar 200w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.372
Inversores	KACO POWADOR trifasico Modelo 10,0 TL3	16
	KACO POWADOR trifasico Modelo 14,0 TL3	11
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	248
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	44
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	54
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	54
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	54
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica EC-320 EUROLUZ 3P 20 Amp curva C 10 KA lcu	27
	Interruptor Diferencial TETRAPOLAR SURSUM 4x25 Amp 300mA	27
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	205
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	143
Conectores	Conectores certificados MC4	54
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 1,5 mm2 (mts)	96
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	2.475
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	112
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	26
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	27

Tabla 6.29 Cubicación alternativa 2.(b) (Elaboración propia)

CAPITULO VII

Estudio Económico

7.1.- Evaluación económica

Para realizar este tipo de estudio es necesario evaluar económicamente cada una de las alternativas en donde es necesario sumar cada uno de los costos de inversión por alternativa y a estas se les evaluará su rentabilidad de proyecto.

7.2.- Estudio inversión de alternativas

- Alternativa 1.(a)

Inversion Economica 1.(a)				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor Unit	Valor Total
			\$	\$
Paneles	Panel Solar 250w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.108	179.990,0	199.428.920,0
Inversores	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 70 Código 3009537	2	30.256.204,0	60.512.408,0
	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 100 Código 3009514	1	39.248.302,0	39.248.302,0
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	200	266.685,0	53.337.000,0
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	36	200.980,0	7.235.280,0
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	76	143.778,0	10.927.128,0
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	76	126.772,0	9.634.672,0
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	76	197.888,0	15.039.488,0
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica Legrand DPX 400, Tetrapolar 250 Amp 36 KA Icu	3	1.498.074,0	4.494.222,0
	Interruptor Diferencial Aut. Metasol 3 x 250 Amp 37 KA Icu ABS203c	3	122.046,0	366.138,0
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	105	22.990,0	2.413.950,0
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	260	29.990,0	7.797.400,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	74	4.097,0	303.178,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 6 mm2 (mts)	12	784,0	9.408,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 16 mm2 (mts)	10	1.903,0	19.030,0
Conectores	Conectores certificados MC4	76	3.590,0	272.840,0
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2 (mts)	11	375,0	4.125,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 95 mm2 (mts)	214	10.756,0	2.301.784,0
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	14	560,0	7.840,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	3	4.097,0	12.291,0
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	3	4.562,0	13.686,0
Regleta Distribucion	Repartidor Legrand 250/400 Amp 1000 V 44 entradas-2 salidas Cod. 0 373 08	6	313.700,0	1.882.200,0
Gabinetes y tableros metalicos	Tabl. Met. 1000x800x300mm IP65 ST6 1030	2	150.584,0	301.168,0
	Tabl. Met. 1200x800x300mm IP65 ST6 1230	1	178.671,0	178.671,0
	Tabl. Met. 800x600x250mm IP65 ST6 825	1	98.450,0	98.450,0
	Gabinete Met. Acero Inox. MAEFI 1600x1300x1000mm	1	1.290.000,0	1.290.000,0
Canalizaciones	Canaleta PVC 50 x 100 Compex Tira de 2 (m)	75	5.690,0	426.750,0
	Curva 90° plana 50 x 100 Compex	9	5.790,0	52.110,0
	Curva T plana 50 x 100 Compex	8	5.990,0	47.920,0
	Curva externa 50 x 100 Compex	15	4.890,0	73.350,0
Camaras tierra	Tubo PVC 110 mm x 1mt Duratec-Vinilit	1	1.503,0	1.503,0
	Tapa PVC presion 110 mm	3	620,0	1.860,0
Alza Hombre	Elevador de hombre GENIE Arriendo H. Sodimac (Diario)	21	30.000,0	630.000,0
Materiales electricos	Materiales Varios (Fiejes, Huinchas Aislantes, etc.)	1	80.000,0	80.000,0
Radier de gabinete metalico	Hormigon H15 1300x1000x200mm	1	35.840,0	35.840,0
SUBTOTAL				418.478.912,0
Costo de Instalacion (20% de equipos paneles e inversores)				59.837.926,0
TOTAL				478.316.838,0

Tabla 7.1 Tabla inversión alternativa 1. (a) (Elab. Propia)

Con esta inversión y un valor estimado del dólar del mes de julio del 2016 de \$ 660, se calcula que el costo del Watt producido en base a la potencia instalada de la alternativa es de 2,61 (US\$/Watt).

- Alternativa 2.(a)

Inversión Económica 2.(a)				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor Unit	Valor Total
			\$	\$
Paneles	Panel Solar 200w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.372	149.990,0	205.786.280,0
Inversores	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 70 Código 3009537	2	30.256.204,0	60.512.408,0
	ATERSA SIEL-SOLEIL trifásico Modelo 100 Código 3009514	1	39.248.302,0	39.248.302,0
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	248	266.685,0	66.137.880,0
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	44	200.980,0	8.843.120,0
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	84	143.778,0	12.077.352,0
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	84	126.772,0	10.648.848,0
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	84	197.888,0	16.622.592,0
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica Legrand DPX 400, Tetrapolar 250 Amp 36 KA Icu	3	1.498.074,0	4.494.222,0
	Interruptor Diferencial Aut. Metasol 3 x 250 Amp 37 KA Icu ABS203c	3	122.046,0	366.138,0
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	210	22.990,0	4.827.900,0
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	215	29.990,0	6.447.850,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	74	4.097,0	303.178,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 6 mm2 (mts)	12	784,0	9.408,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 16 mm2 (mts)	10	1.903,0	19.030,0
Conectores	Conectores certificados MC4	84	3.590,0	301.560,0
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 2,5 mm2 (mts)	11	375,0	4.125,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 95 mm2 (mts)	214	10.756,0	2.301.784,0
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	14	560,0	7.840,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 35 mm2 (mts)	3	4.097,0	12.291,0
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	3	4.562,0	13.686,0
Regleta Distribucion	Repartidor Legrand 250/400 Amp 1000 V 44 entradas-2 salidas Cod. 0 373 08	6	313.700,0	1.882.200,0
Gabinetes y tableros metalicos	Tabl. Met. 1000x800x300mm IP65 ST6 1030	2	150.584,0	301.168,0
	Tabl. Met. 1200x800x300mm IP65 ST6 1230	1	178.671,0	178.671,0
	Tabl. Met. 800x600x250mm IP65 ST6 825	1	98.450,0	98.450,0
	Gabinete Met. Acero Inox. MAEFI 1600x1300x1000mm	1	1.290.000,0	1.290.000,0
Canalizaciones	Canaleta PVC 50 x 100 Compex Tira de 2 (m)	75	5.690,0	426.750,0
	Curva 90° plana 50 x 100 Compex	9	5.790,0	52.110,0
	Curva T plana 50 x 100 Compex	8	5.990,0	47.920,0
	Curva externa 50 x 100 Compex	15	4.890,0	73.350,0
Camaras tierra	Tubo PVC 110 mm x 1mt Duratec-Vinilit	1	1.503,0	1.503,0
	Tapa PVC presion 110 mm	3	620,0	1.860,0
Alza Hombre	Elevador de hombre GENIE Arriendo H. Sodimac (Diario)	21	30.000,0	630.000,0
Materiales electricos	Materiales Varios (Flejes, Huinchas Aislantes, etc.)	1	80.000,0	80.000,0
Radier de gabinete metalico	Hormigon H15 1300x1000x200mm	1	35.840,0	35.840,0
SUBTOTAL				444.085.616,0
Costo de Instalacion (20% de equipos paneles e inversores)				61.109.398,0
TOTAL				505.195.014,0

Tabla 7.2 Tabla resumen inversión alternativa 2. (a) (Elab. Propia)

Con esta inversión se calcula que el costo del Watt producido en base a la potencia instalada de la alternativa es de 2,79 (US\$/Watt).

- Alternativa 1.(b)

Inversión Económica 1.(b)				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor Unit	Valor Total
			\$	\$
Paneles	Panel Solar 250w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.108	179.990,0	199.428.920,0
Inversores	KACO POWADOR trifasico Modelo 10,0 TL3	16	2.220.000,0	35.520.000,0
	KACO POWADOR trifasico Modelo 14,0 TL3	9	2.470.000,0	22.230.000,0
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	200	266.685,0	53.337.000,0
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	36	200.980,0	7.235.280,0
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	50	143.778,0	7.188.900,0
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	50	126.772,0	6.338.600,0
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	50	197.888,0	9.894.400,0
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica EC-320 EUROLUZ 3P 20 Amp curva C 10 KA Icu	25	14.976,0	374.400,0
	Interruptor Diferencial TETRAPOLAR SURSUM 4x25 Amp 300mA	25	37.744,0	943.600,0
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	181	22.990,0	4.161.190,0
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	145	29.990,0	4.348.550,0
Conectores	Conectores certificados MC4	50	3.590,0	179.500,0
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 1,5 mm2 (mts)	96	318,0	30.528,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	2.025	1.266,0	2.563.650,0
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	112	560,0	62.720,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	18	1.266,0	22.788,0
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	25	4.562,0	114.050,0
Gabinetes	Tabl. Met. 1000x800x300mm IP65 ST6 1030	2	150.584,0	301.168,0
	Tabl. Met. 1200x800x300mm IP65 ST6 1230	2	178.671,0	357.342,0
	Tabl. Met. 800x600x250mm IP65 ST6 825	1	98.450,0	98.450,0
Canalizaciones	Canaleta PVC 50 x 100 Compex Tira de 2 (m)	75	5.690,0	426.750,0
	Curva 90° plana 50 x 100 Compex	9	5.790,0	52.110,0
	Curva T plana 50 x 100 Compex	8	5.990,0	47.920,0
	Curva externa 50 x 100 Compex	15	4.890,0	73.350,0
Camaras tierra	Tubo PVC 110 mm x 1mt Duratec-Vinilit	5	1.503,0	7.515,0
	Tapa PVC presion 110 mm	25	620,0	15.500,0
Alza Hombre	Elevador de hombre GENIE Arriendo H. Sodimac (Diario)	21	30.000,0	630.000,0
Materiales electricos	Materiales Varios (Flejes, Huinchas Aislantes, etc.)	1	80.000,0	80.000,0
Radier de gabinete metalico	Hormigon H15 800x300x200mm	1	10.040,0	10.040,0
SUBTOTAL				356.074.221,0
Costo de Instalacion (20% de equipos paneles e inversores)				51.435.784,0
TOTAL				407.510.005,0

Tabla 7.3 Tabla resumen inversión alternativa 1. (b) (Elab. Propia)

Con esta inversión se calcula que el costo del Watt producido en base a la potencia instalada de la alternativa es de 2,22 (US\$/Watt).

- Alternativa 2.(b)

Inversion Economica 2.(b)				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor Unit	Valor Total
			\$	\$
Paneles	Panel Solar 200w 24v Certificado Marca Konig Sonne Policristalino	1.372	149.990,0	205.786.280,0
Inversores	KACO POWADOR trifasico Modelo 10,0 TL3	16	2.220.000,0	35.520.000,0
	KACO POWADOR trifasico Modelo 14,0 TL3	11	2.470.000,0	27.170.000,0
Estructuras soporte	Estructuras de soporte para 5 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	248	266.685,0	66.137.880,0
	Estructuras de soporte para 3 paneles 190 -260 (W) ECOSOLAR	44	200.980,0	8.843.120,0
Protecciones DC	Proteccion Magnetotermica Schneider Electric de 16 Amp MGN61651	54	143.778,0	7.764.012,0
	Disyuntor bipolar Schneider Electric de 20 Amp A9N61690	54	126.772,0	6.845.688,0
	Disipador Sobretensiones Schneider Electric 1000 V IPRD 40r-1000PV	54	197.888,0	10.685.952,0
Protecciones AC	Proteccion Magnetotermica EC-320 EUROLUZ 3P 20 Amp curva C 10 KA Icu	27	14.976,0	404.352,0
	Interruptor Diferencial TETRAPOLAR SURSUM 4x25 Amp 300mA	27	37.744,0	1.019.088,0
Cables DC	Cable Solar Certificado MC4 4 mm2 Rollo de 20 mts	205	22.990,0	4.712.950,0
	Cable Solar Certificado MC4 6 mm2 Rollo de 20 mts	143	29.990,0	4.288.570,0
Conectores	Conectores certificados MC4	54	3.590,0	193.860,0
Cables AC	Cable ARAFLEX RV-K1 x 1,5 mm2 (mts)	96	318,0	30.528,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	2.475	1.266,0	3.133.350,0
Aterramiento	Cable ARAFLEX RV-K1 x 4 mm2 (mts)	112	560,0	62.720,0
	Cable ARAFLEX RV-K1 x 10 mm2 (mts)	26	1.266,0	32.916,0
	Barra Cobrizadas 1/2" x 1.5MTS	27	4.562,0	123.174,0
Gabinetes	Tabl. Met. 1000x800x300mm IP65 ST6 1030	2	150.584,0	301.168,0
	Tabl. Met. 1200x800x300mm IP65 ST6 1230	2	178.671,0	357.342,0
	Tabl. Met. 800x600x250mm IP65 ST6 825	1	98.450,0	98.450,0
Canalizaciones	Canaleta PVC 50 x 100 Compex Tira de 2 (m)	75	5.690,0	426.750,0
	Curva 90° plana 50 x 100 Compex	9	5.790,0	52.110,0
	Curva T plana 50 x 100 Compex	8	5.990,0	47.920,0
	Curva externa 50 x 100 Compex	15	4.890,0	73.350,0
Camaras tierra	Tubo PVC 110 mm x 1mt Duratec-Vinilit	6	1.503,0	9.018,0
	Tapa PVC presion 110 mm	27	620,0	16.740,0
Alza Hombre	Elevador de hombre GENIE Arriendo H. Sodimac (Diario)	21	30.000,0	630.000,0
Materiales electricos	Materiales Varios (Flejes, Huinchas Aislantes, etc.)	1	80.000,0	80.000,0
Radier de gabinete metalico	Hormigon H15 800x300x200mm	1	10.040,0	10.040,0
SUBTOTAL				384.857.328,0
Costo de Instalacion (20% de equipos paneles e inversores)				53.695.256,0
TOTAL				438.552.584,0

Tabla 7.4 Tabla resumen inversión alternativa 2. (b) (Elab. Propia)

Con esta inversión se calcula que el costo del Watt producido en base a la potencia instalada de la alternativa es de 2,42 (US\$/Watt).

7.3.- Costo de mantención y limpieza de la instalación anual

Para efectos de costo, se consideró un costo de mantención y limpieza anual equivalente al 1% del costo de los equipos. Dicho costo considera una revisión y mantención de un profesional para todos los sistemas eléctricos en el mes de febrero y limpiezas de la instalación FV mensuales.

Alternativa 1.(a)		Alternativa 2.(a)	
Activo	Valor Total	Activo	Valor Total
Paneles Solares	\$ 199.428.920	Paneles Solares	\$ 205.786.280
Inversores	\$ 99.760.710	Inversores	\$ 99.760.710
Total activos equipos	\$ 299.189.630	Total activos equipos	\$ 305.546.990
Total limpieza y Mant.	\$ 2.991.896	Total limpieza y Mant.	\$ 3.055.470
Alternativa 1.(b)		Alternativa 2.(b)	
Activo	Valor Total	Activo	Valor Total
Paneles Solares	\$ 199.428.920	Paneles Solares	\$ 205.786.280
Inversores	\$ 57.750.000	Inversores	\$ 62.690.000
Total activos equipos	\$ 257.178.920	Total activos equipos	\$ 268.476.280
Total limpieza y Mant.	\$ 2.571.789	Total limpieza y Mant.	\$ 2.684.763

Tabla 7.5 Tabla costos mantención (Elab. Propia)

7.4.- Resumen de alternativas

Obtenidos los datos de inversión económica y costos de mantención de cada una de las alternativas junto con los de generación y el costo cubierto por esta misma, es posible realizar una comparación de cada una de ellas y poder determinar cuál de ellas es económicamente más rentable determinando así el periodo de recuperación de la inversión inicial.

	Alternativas			
	1.(a)	2.(a)	1.(b)	2.(b)
Generacion (kWh/año)	515.073,2	510.238,6	515.073,2	510.238,6
Inversion economica (\$)	478.316.838,0	505.195.014,0	407.510.005,0	438.552.584,0
Costo cubierto por generacion (\$/año)	64.384.148,8	63.779.821,0	64.384.148,8	63.779.821,0
Costo de mantencion y limpieza (\$/año)	2.991.896,0	3.055.470,0	2.571.798,0	2.684.763,0
Costo Watt instalado (US\$/Watt)	2,61	2,79	2,22	2,42
Recuperacion estimada de la inversion (años)	7,8	8,3	6,6	7,2

Tabla 7.6 Recuperación estimada de la inversión para las alternativas (Elab. Propia)

Como se aprecia en la tabla (7.6) la alternativa más rentable es la 1.(b) con una recuperación estimada de 6,6 años, dicha alternativa, compuesta de un total de 1850,36 m² de superficie de panel, en paneles de 250 W e inversores KACO de menor tamaño conectados en paralelo en cada edificio.

7.5.- Recuperación real de alternativa elegida

Debido a que el análisis de la tabla (7.6) es una recuperación estimada para determinar la mejor alternativa, es posible calcular la recuperación de inversión real de la alternativa ya que el costo de mantención y limpieza es variable, como este costo es anual, se incrementará en función del aumento del IPC. En revisión del IPC del año 2014 y año 2015 se estableció un criterio promedio equivalente de 4,5% anual.

Año	0	1	2	3
Venta Activos				
Inversión	\$ 407.510.005			
1 Costo cubierto generacion		\$ 64.384.149	\$ 64.384.149	\$ 64.384.149
2 Costos mantencion		\$ 2.571.798	\$ 2.687.529	\$ 2.808.468
3 Costo cubierto total		\$ 61.812.351	\$ 61.696.620	\$ 61.575.681
FCN	-\$ 407.510.005	-\$ 345.697.654	-\$ 284.001.034	-\$ 222.425.353

4	5	6	7	8
\$ 64.384.149	\$ 64.384.149	\$ 64.384.149	\$ 64.384.149	\$ 64.384.149
\$ 2.934.849	\$ 3.066.917	\$ 3.204.928	\$ 3.349.150	\$ 3.499.862
\$ 61.449.300	\$ 61.317.232	\$ 61.179.221	\$ 61.034.999	\$ 60.884.287
-\$ 160.976.053	-\$ 99.658.821	-\$ 38.479.601	\$ 22.555.398	\$ 83.439.685

Tabla 7.7 Recuperación real y flujo de caja al octavo año de alternativa elegida (1. (b)) (Elab. Propia)

Como se muestra en la tabla (7.7) el cálculo real de la recuperación, en el cual se incluye el aumento del IPC, sigue sin sobrepasar el séptimo año, siendo la recuperación real de la inversión de 6,63 años, lo que son aproximadamente 6 años y 7 meses y medio.

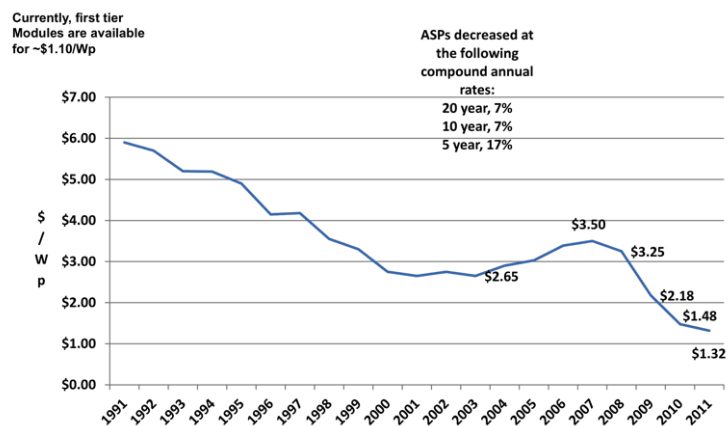
Conclusiones

1. Debido a que los proyectos fotovoltaicos cuentan con una vida útil de aproximadamente 25 años y una inversión elevada, es fundamental invertir en protecciones eléctricas adecuadas, que cumplan con las especificaciones requeridas a fin de proteger y evitar los daños y/o deterioro de los equipos principales de la instalación (inversor y paneles) y así evitar que la inversión se vea perjudicada al aumentar el costo del proyecto por una nueva inversión por el reemplazo de unidades dañadas, evitando gastos innecesarios.
2. El costo de las tecnologías por energías renovables es elevado y poseen un rendimiento bajo, en un futuro próximo con nuevas mejoras en tecnologías de esta área se espera que en pocos años estas se vean beneficiadas tras proyectos que permitan combinar generaciones mixtas permitiendo disminución de las inversiones y con mejores rendimientos.
3. En el mercado nacional de celdas fotovoltaicas, los proveedores se enfocan en el usuario final ofreciéndole componentes por separado para que éste los instale, sin asesoramiento técnico y con costos elevados y otros ofrecen los componentes y el servicio de instalación. En general cualquier proyecto de generación fotovoltaica es una alta inversión inicial, sin embargo debido a su larga vida útil y que su recuperación se prevé en un horizonte aproximado no mayor a 10 años es que se hace viable este tipo de proyectos.
4. 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 Concepción, si bien es cierto durante el verano cuenta con altos niveles de radiación, en la temporada de invierno esta radiación cae, siendo ésta la principal razón que desfavorece la generación por este tipo medio.

5. Todo proyecto de investigación relacionado con el estudio solar, debe ser evaluado con varias alternativas de generación, ya que no siempre la más sencilla de instalar es la más adecuada desde el punto de vista económico ya que los costos de algunos equipos como los inversores son un factor influyente en la decisión final del proyecto.

6. El proyecto demuestra que la recuperación de la alternativa seleccionada 1.(b) de inversión \$ 407.510.005 la que se logra en 6,6 años lo que es aproximadamente 6 años y 8 meses aproximadamente, corroborando así que la recuperación de la inversión necesaria no supera los 10 años. Cabe destacar que las otras alternativas propuestas, de mayor costo de inversión, tampoco superan los 10 años de recuperación.

7. La alternativa seleccionada 1.(b) tiene un costo de 2,22 (US\$/Watt) que se encuentra dentro de los rangos de costos aceptables el cual debe ser inferior a 3 (US\$/Watt) para las instalaciones de generación mediante paneles solares fotovoltaicos. Si bien este valor involucra a todo el proyecto de instalación (paneles, inversores, estructuras, etc.), este valor disminuye a 1,07 (US\$/Watt) si se considera solo el costo de paneles fotovoltaicos, que se ajusta a los estudios internacionales del costo del Watt fotovoltaico.

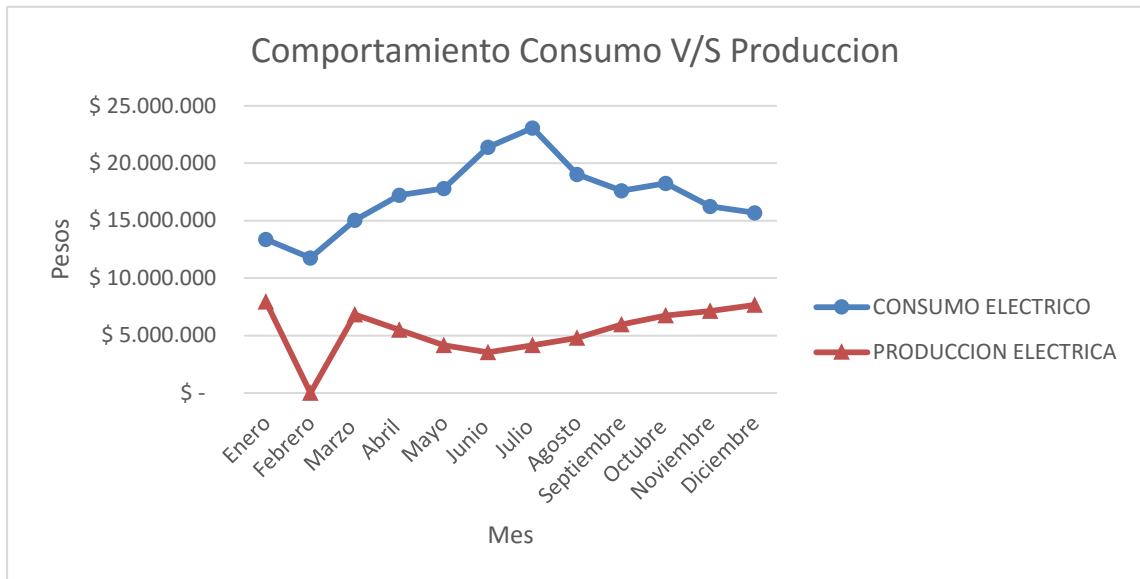


©2010 Navigant Consulting, Inc. PV Services Program



Navigant consulting Inc. PV service program

8. En la gráfica siguiente se aprecia que en los meses de verano la producción del sistema de generación aumenta a excepción del mes de febrero que es donde el sistema se detiene para mantención y en los meses de invierno, cuando el consumo se incrementa y se hace más necesario una generación adecuada esta disminuye debido a la baja radiación existente. Aun así este proyecto permite un ahorro aproximado al 31 % del gasto de consumo eléctrico de la universidad del Bío-Bío durante un año.



9. La contaminación visual que pudiese generar este proyecto en los ámbitos universitario es nulo debido a que la instalación está instalada en las azoteas de los edificios, por lo cual la única forma de visualizarlo es mediante una toma aérea.

Recomendaciones y Sugerencias

- a. Para el desarrollo de este tipo de proyectos es necesario contar con planos actualizados de las instalaciones eléctricas, la cual la Universidad del Bío-Bío, no posee. Es necesario para el beneficio de cualquier de actividad eléctrica que se desarrollen los planos de esta área.
- b. El personal que debe controlar la buena operación y servicio de los inversores deberá ser capacitado en el control y supervisión del manejo de los equipos que componen la instalación.
- c. Los entornos a los edificios en donde se prevé la instalación de paneles fotovoltaicos no deben tener objetos cercanos que generen sombras permanentes sobre los paneles.
- d. Los paneles deben instalarse dejando una pequeña apertura (10 cm aproximadamente) del borde inferior, a modo de que el agua de lluvias pueda escurrir libremente por la techumbre.

Bibliografía

- Blanco I. "Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial".
- García C. (2016). "Curso de dimensionamiento, instalación y mantención de sistemas fotovoltaico". Estudio Solar centro de capacitación de energías renovables.
- García C. (2016). "Aspectos básicos del montaje eléctrico".
- García J. "Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión". Ed. Paraninfo.
- Martínez F. y Tyutyundzhiev N. (2013). "Manual para mejorar la calidad y reducir el coste de los sistemas fotovoltaicos" Seventh Framework Programme
- Méndez J. y Cuervo R. "Energía Solar Fotovoltaica" Editorial FC, 7° edición.
- Norma chilena NCH Elec 4/2003
- Normativa de instalación baja tensión. SEC 2/2014
- Sánchez R. (2015). "Sistemas de captación solar." U. Bio-Bio
- Sánchez R. (2015). "Energía fotovoltaica." U. Bio-Bio
- SARMIENTO, P. (1995). "Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería".

Linkografía

- http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Estudios/Potencial_ER_en_Chile_A_C.pdf
- <http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>
- http://www.ajconsell.net/wms/ofo/imgdb/archivo_adj95275.pdf
- https://www.opitra.cl/21-paneles-fotovoltaicos?id_category=21&n=50
- <http://www.einspower.com/subpaginas/precios/solar.htm>
- http://www.ujaen.es/investiga/solar/documentacion_pv_in_bloom/Seminarios%20PV%20in%20Bloom.%20Diseno%20de%20SFCR.pdf
- <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/JoseAlbertoVillalobos-LaHora.pdf>
- <http://alcazaren.com/rs/node/748>
- <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/radiacion/Calculohorasolarhoraoficial.pdf>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/solar/tiempo/tiempo.html>
- http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/electricidad_normastecnicas/Norma4_2003.pdf
- <http://www.enersac.com/energia-solar-faq-cual-es-la-funcion-de-los-diodos-en-una-instalacion-fotovoltaica.php>
- <http://www.tuveras.com/aparamenta/magnetotermico.htm>

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Plano edificio Gantes

Anexo 2 Plano edificio sala de clases Mecanica

Anexo 3 Plano edificio Arquitectura

Anexo 4 Manual inversor Artesa Solei

Anexo 5 Manual inversor KACO POWADOR

Anexo 6 Imagen referencial Gantes

Anexo 7 Imagen referencial sala de clases Mecanica

Anexo 8 Imagen referencial Arquitectura

Anexo 9 Tabla conductores MCM

Anexo 10 Copia registros de consumo Universidad del Bio Bio 2014