

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAISO, CHILE



“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE
UTILIZACIÓN DE LUZ SOLAR PARA
ILUMINACIÓN DE CANCHA DEPORTIVA
TECHADA EN LA UTFSM (SEDE JMC)”

LUCAS IGNACIO TELLO HERNÁNDEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

PROFESOR GUÍA:
HENRIK HANSEN

PROFESOR CORREFERENTE:
SEBASTIÁN AMARO

AGOSTO DE 2016

RESUMEN

El trabajo consiste en el estudio técnico y económico a partir de la implementación de un sistema fotovoltaico para canchas deportivas de 987,47[m²], ubicado en la Universidad Santa María (Sede JMC), Viña del Mar, mediante la evaluación de 2 alternativas de iluminación, considerando el caso actual, correspondiente al alto consumo, mediante el empleo de ampollitas de 400[W], cuya alimentación se compone por: 14 focos de halógeno y 4 campanas colgantes, además de otro caso, a partir del uso de bombillas de ahorro (tipo LED), para las mismas luminarias, considerando 100[W] para focos de halógeno y 150[W] para campanas.

Asimismo, se establecen los principales parámetros de evaluación, a partir de la localización geográfica, considerando una temperatura ambiente promedio de 20[°C], 50[%] de humedad relativa y vientos de 4,5[m/s]. Además, se realiza el estudio de energía solar, considerando todos los puntos necesarios para el sistema fotovoltaico, obteniendo magnitudes equivalentes a: 13[h] de duración del día como parámetro crítico y una Hora Pico Solar (HPS) de 4,01[h] en el caso del mes de menor radiación, correspondiente a Junio.

Por otro lado, el trabajo comprende el estudio técnico del sistema fotovoltaico, considerando las especificaciones técnicas correspondiente de cada equipo, obteniendo una solución infactible para el caso de alto consumo, mientras que para luces LED, se genera un total de: 48 paneles, 10 baterías, 2 reguladores y 1 inversor, mediante un consumo diurno y nocturno de 28.756[Wh] y 11.060[Wh] respectivamente. Adicionalmente, la longitud de cable estimado corresponde a 1000[m], considerando una corriente de diseño, equivalente a 32,46[A].

Finalmente, el trabajo explica las consideraciones para el estudio económico en el caso LED, a partir de una inversión inicial de 25.763.182[pesos] y los movimientos de dinero de los ingresos y egresos, mediante la evaluación de un flujo de caja puro, generando índices correspondiente a una TIR de 9%, VAN de -2.518.767 [pesos] y un payback de 12[años], además de un proyecto con 50% de financiamiento, obteniendo índices de TIR de 13%, VAN de 3.132.553[pesos] y payback de 8[años].

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción..... 1

Objetivos.....3

CAPÍTULO 1: “CANCHAS DEPORTIVAS USM”

1.1 Historia de la Universidad Santa María.....5

1.2 Deporte y espacios de recreación.....9

1.3 Antecedentes generales del recinto polideportivo.....11

1.3.1 Características de ubicación.....11

1.3.2 Información de las canchas deportivas.....14

1.3.3 Análisis de situación.....21

1.4 Cálculos asociados a canchas deportivas USM.....22

1.4.1 Corriente alterna de la iluminación.....22

1.4.2 Demanda mensual de energía.....23

CAPITULO 2: “SISTEMA ENERGÉTICO SOLAR”

2.1 Luz solar: fuente energética de la vida.....25

2.1.1 Descripción.....25

2.1.2 Características de la luz solar.....27

2.1.2.1 Espectro electromagnético de la luz.....27

2.1.2.1.1 Rayos cósmicos.....28

2.1.2.1.2 Rayos gamma.....29

2.1.2.1.3 Rayos X.....29

2.1.2.1.4 Rayos UV.....29

2.1.2.1.5 Visible.....30

2.1.2.1.6 Infrarroja.....30

2.1.2.1.7 Microondas.....30

2.1.2.1.8 Radiofrecuencia.....31

2.1.2.2 Fenomenología de la luz.....32

2.1.2.2.1 Reflexión.....	32
2.1.2.2.2 Refracción.....	32
2.1.2.2.3 Dispersión.....	33
2.1.2.2.4 Absorción.....	33
2.1.2.2.5 Interferencia y difracción.....	34
2.1.2.2.6 Difusión.....	34
2.1.2.2.7 Polarización.....	35
2.2 Nociones principales sobre radiación.....	36
2.2.1 Radiación Solar.....	36
2.2.2 Irradiancia Solar (I).....	37
2.2.3 Irradiación Solar (E).....	38
2.2.4 Insolación (L).....	38
2.2.5 Hora Solar pico (HPS).....	38
2.2.6 Ángulos de medición solar.....	39
2.2.6.1 Latitud (ϕ).....	39
2.2.6.2 Longitud (λ).....	39
2.2.6.3 Ángulo de inclinación (α).....	39
2.2.6.4 Ángulo de declinación solar (δ).....	40
2.2.6.5 Ángulo azimut (Ψ).....	40
2.2.6.6. Altitud Solar (γ_s).....	40
2.3 Medición de la actividad solar.....	41
2.3.1 Piranómetro.....	41
2.3.2 Heliógrafo.....	42
2.3.3 Bolómetro.....	43
2.3.4 Actinógrafo.....	44
2.4 Usos de la energía solar.....	45
2.5 Cálculos asociados a estudio energético solar.....	46
2.5.1 Número de horas luz disponible.....	46
2.5.2. Ángulo de declinación solar (δ).....	47
2.5.3 Ángulo óptimo de inclinación (β).....	48
2.5.4 Radiación Global Diaria (G_{DIARIA}).....	49
2.5.5 Factor de irradiación (F.I.).....	50
2.5.6 Radiación global diaria corregida($G_{GLOBALCORREGIDA}$).....	52
2.5.7 Hora Pico Solar (HPS).....	53

CAPITULO 3 “ESTUDIO TÉCNICO”

3.1 Energías Renovables No Convencionales (ERNC).....55

3.1.1 Descripción y tipos de energía.....55

3.1.1.1 Solar.....55

3.1.1.2 Eólica.....56

3.1.1.3 Hidráulica.....57

3.1.1.4 Geotérmica.....58

3.1.1.5 Marina.....59

3.1.1.6 Biomasa.....60

3.1.2 Situación actual en el país.....61

3.1.3 Eficiencia energética y proyecciones.....63

3.2 Conceptos básicos.....65

3.3 Sistema fotovoltaico.....67

3.3.1 Descripción del sistema.....67

3.3.1.1 Módulo fotovoltaico.....68

3.3.1.2 Batería Solar.....76

3.3.1.3 Regulador de carga.....80

3.3.1.4 Inversor.....83

3.3.1.5 Cableado eléctrico.....86

3.3.2 Tipos de sistema fotovoltaico.....89

3.3.2.1 Sistema aislado.....89

3.3.2.2 Sistema conectado a la red.....90

3.3.2.3 Sistema híbrido.....90

3.3.2.4 Sistema mixto.....95

3.3.2.5 Sistema por bombeo solar.....91

3.3.3 Aplicaciones de uso cotidiano.....93

3.3.4 Ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos.....95

3.4 Cálculos asociados al estudio técnico.....97

3.4.1 Elección del tipo de sistema fotovoltaico.....97

3.4.2 Balance de energía del sistema fotovoltaico.....98

3.4.3 Estimación de cálculos del balance de energía.....99

3.4.1.3 Balance de carga.....103

3.4.4 Análisis de diseño de equipos.....104

3.4.4.1 Inversores.....104

3.4.4.2 Paneles fotovoltaicos.....104

3.4.4.3 Batería.....107

3.4.4.4 Regulador de carga.....108

3.4.5 Elección de equipos.....111

3.4.5.1 Inversor.....111

3.4.5.2 Panel Solar.....112

3.4.5.3 Regulador de carga.....113

3.4.5.4 Batería.....114

3.4.5.5 Luces tipo LED.....115

3.4.5.6 Cableado eléctrico.....116

3.4.6 Restricciones de problema.....117

3.4.7 Resultados.....118

3.4.7.1 Caso I: Sistema fotovoltaico para alto consumo.....118

3.4.7.1.1 Balance de energía.....118

3.4.7.1.2 Diseño de equipos.....119

3.4.7.2 Caso II: Sistema fotovoltaico para luces LED.....121

3.4.7.2.1 Balance de Energía.....121

3.4.7.2.2 Diseño de equipos.....122

3.4.7.2.3 Layout del sistema fotovoltaico tipo LED.....130

3.4.8 Mantenición de equipos.....131

3.4.9 Consideraciones generales.....134

CAPITULO 4 “ESTUDIO ECONÓMICO”

4.1. Energía eléctrica.....135

4.1.1 Mercado Chileno y mundial.....135

4.1.2 Precios de la energía.....138

4.2. Cálculos asociados al estudio económico.....140

4.2.1 Análisis de cálculos.....140

4.2.1.1 Indicadores financieros.....140

4.2.1.2 Items de flujo de caja.....141

4.2.1.2.1 Inversiones.....141

4.2.1.2.2 Ingresos.....142

4.2.1.2.3 Costos operacionales.....145

4.2.1.2.4 Costos no operacionales.....146

4.2.1.2.5 Depreciación.....147

4.2.1.2.6 Reinversión.....148

4.2.1.2.7 Crédito.....148

4.2.2 Resultados.....151

4.2.2.1 Criterios de evaluación económica.....151

4.2.2.2 Ítems de flujo de caja.....153

4.2.2.2.1 Inversiones.....153

4.2.2.2.2 Ingresos.....154

4.2.2.2.3 Costos operacionales.....158

4.2.2.2.4 Costos no operacionales.....158

4.2.2.2.5 Depreciación.....159

4.2.2.2.6 Reinversión de equipos.....161

4.2.2.2.7 Crédito.....163

4.2.2.3. Flujo de caja.....165

Conclusiones.....169

Bibliografía y referencias.....171

Anexo.....173

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1: “Canchas deportivas USM”

Tabla 1: Datos históricos para sitio -33,036293° S; -71,48792° O.....11

Tabla 2: Composición de espacios del complejo polideportivo.....16

Tabla 3: Horario de uso estimado para el gimnasio durante el año.....17

Tabla 4: Lux mínimo para recintos deportivos.....18

Tabla 5: Energía mensual (kWh) para la cancha deportiva.....24

Capítulo 2: “Sistema Energético Solar”

Tabla 6: Datos físico-químicos del sol.....26

Tabla 7: Horas asociados al movimiento del sol para la localización geográfica.....46

Tabla 8: Ángulo de declinación solar para día Juliano típico de cada mes.....48

Tabla 9: Ángulo óptimo de inclinación obtenido para meses del año.....49

Tabla 10: Radiación global diaria para cada mes del año.....50

Tabla 11: Factor de radiación para cada mes del año.....51

Tabla 12: Radiación global efectiva diaria para cada mes del año.....52

Tabla 13: Hora Pico Solar diaria para cada mes del año.....54

Capítulo 3: “Estudio técnico”

Tabla 14: Composición y valor de corrientes para luces de alto consumo.....118

Tabla 15: Composición y valor de corrientes para luces LED.....121

Tabla 16: Configuración de paneles para tejado Este (Caso LED).....124

Tabla 17: Configuración de paneles para tejado Oeste (Caso LED).....125

Tabla 18: Configuración de baterías (Caso LED).....127

Tabla 19: Configuración de reguladores (Caso LED).....129

Tabla 20: Corriente mínima de diseño para el cableado (Caso LED).....129

Tabla 21: Detalle de superficies del layout (caso LED).....130

Capítulo 4: “Estudio económico”

Tabla 22: Inversión total de activos tangibles.....153

Tabla 23: Costo anual por energía consumida para cancha deportiva.....154

Tabla 24: Costo anual por cargo fijo para cancha deportiva.....154

Tabla 25: Costo anual por potencia contratada para cancha deportiva.....155

Tabla 26: Costo anual por potencia max. leída para la cancha deportiva.....155

Tabla 27: Costo anual por uso troncal para la cancha deportiva.....156

Tabla 28: Depreciación de equipos para sistema fotovoltaico (caso LED).....160

Tabla 29: Valor libro de los equipos (caso LED).....160

Tabla 30: Calendario de reinversión de equipos (caso LED).....161

Tabla 31: Valores asociados al crédito de largo plazo (caso LED).....164

Anexo

Tabla A.1: Grilla de Lux para canchas deportivas con luces encendidas.....173

Tabla A.2: Grilla de Lux de canchas deportivas con luces apagadas.....173

Tabla A.3: Cantidad horas uso de iluminación para diferentes meses del año.....173

Tabla B.1: Radiación global horizontal diaria para meses del año (fuente: NASA).....174

Tabla D.1: Composición de la Tarifa AT-4.2 para Diciembre 2015.....181

Tabla D.2: Porcentaje de uso mensual de cada foco de iluminación.....181

Tabla D.3: Detalle de uso horario para distintos periodos del año.....182

Tabla D.4: Proyección de precios de commodites desde 2013-2025.....183

Tabla D.5: Flujo de caja puro (caso LED).....184

Tabla D.6: Flujo de caja financiado 50% (caso LED).....186

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1: “Canchas deportivas USM”

Figura 1: Cancha deportiva en gimnasio cerrado con iluminación natural.....10

Figura 2: Localización del recinto polideportivo.....11

Figura 3: Frecuencia de nubosidad del sitio escogido.....12

Figura 4: Potencial geotérmico en Chile.....13

Figura 5: Perspectiva general del gimnasio USM.....14

Figura 6: Planta de arquitectura para el recinto polideportivo.....15

Figura 7: Esquema de diferenciación entre lumen, candela y lux.....20

Capítulo 2: “Sistema energético solar”

Figura 8: Imagen espacial de actividad de radiación solar.....26

Figura 9: Espectro de bandas respecto a la radiación electromagnética.....28

Figura 10: Rayos-X y radiación infrarroja.....31

Figura 11: Dispersión (izquierda) y refracción (derecha) de la luz solar.....35

Figura 12: Composición de la Radiación Solar en la atmósfera terrestre.....36

Figura 13: Radiación solar en el mundo durante año 2010.....38

Figura 14: Representación del ángulo azimut, altura solar y ángulo declinación.....40

Figura 15: Piranómetro de medición solar portátil modelo LP02.....42

Figura 16: Heliómetro de medición solar “Campbell Stokes”.....43

Figura 17: Bolómetro para medición de radiación térmica.....43

Figura 18: Actinógrafo para medición de radiación solar.....44

Capítulo 3: “Estudio técnico”

Figura 19: Usos de ERNC dentro del mundo cotidiano.....60

Figura20: Contribución de energía total en [GWh], para el mes de mayo de 2015.....62

Figura21: Principales preocupaciones ciudadanas la energía.....64

Figura 22: Sistema fotovoltaico autónomo para uso cotidiano.....67

Figura 23: Juntura N-P creado dentro del panel fotovoltaico.....68

Figura 24: Panel monocristalino de 130[W] y policristalino de 255[W].....70

Figura 25: Curva de operación I-V para un panel fotovoltaico.....75

Figura 26: Funcionamiento básico de una batería de ciclo profundo.....76

Figura 27: Curva de tensión para regulador de carga Victron Energy.....81

Figura 28: Onda tipo cuadrada, modificada y sinusoidal para inversor.....83

Figura 29: Cableado eléctrica con cubierta THW.....88

Figura 30: Sistema fotovoltaico híbrido y conectado a la red.....92

Figura 31: Módulo fotovoltaico para bombeo y huerto solar	94
Figura 32: Diagrama de bloques propuesto para el sistema fotovoltaico aislado.....	98
Figura 33: Esquema del inversor “SUNNY BOY ISLAND 8.0h.....	111
Figura 34: Esquema del panel solar “PS-200MJ”	112
Figura 35: Esquema del regulador de carga “Steca-PR3030”	113
Figura 36: Esquema de la batería “VICTRON 12 VOLT DEEP CYCLE GEL”	114
Figura 37: Esquema de iluminaria “S. LIGHT PROYECTOR LED 100W”	115
Figura 38: Esquema de iluminaria “S. LIGHT CAMPANA LED 150W”	116
Figura 39: Esquema de iluminaria “S. MONOCONDUCTOR CALIBRE”	116
Figura 40: Diagrama de bloques para luces de alto consumo.....	118
Figura 41: Diagrama de bloques para luces LED.....	121
Figura 42: Layout del proceso para luces LED.....	130

Capítulo 4: “Estudio económico”

Figura 43: Generación de energía eléctrica en Chile y el mundo.....	136
Figura 44: Capacidad instalada dentro del SIG y SING (año 2015).....	137
Figura 45: Costos marginales eléctricos del SIC y SING desde 1999-2015.....	138
Figura 46: Índice de precios de combustibles fósiles (2005-2015).....	139
Figura 47: Tabla de tasas de descuento para proyectos.....	152
Figura 48: Composición de costos eléctricos anuales para la cancha deportiva.....	156
Figura 49: Proyección de ingresos desde el año 2015-2050.....	157
Figura 50: Proyección de costos no operacionales desde 2015-2050.....	159
Figura 51: Inflación histórica de Chile desde 1975-2015.....	161
Figura 52: Proyección de reinversión de los activos principales.....	162
Figura 53: Flujo de caja puro (caso LED).....	165
Figura 54: Flujo de caja 50% financiado (caso LED).....	166

Anexo

Figura C.1: Especificaciones técnicas del inversor Sunny Boy Island H.8.0.....	175
Figura C.2: Especificaciones técnicas del panel solar “PS-200MJ”	176
Figura C.3: Especificaciones técnicas del regulador solar “Steca PR-3030”	177
Figura C.4: Especificación técnica de la batería “Victron 12 volt deep cycle gel”	178
Figura C.5: Especificación técnica de iluminaria “S. light proyector led 100w”	179
Figura C.6: Especificación técnica de iluminaria “S. light campana led 150w”	179
Figura C.7: Esquema del cableado “S. CALIBRE AWG”	180

NOMENCLATURA

Abreviaciones:

AWG	American Wire Gauge (Calibre de Cable tipo Americano)
AM	Amplitud Moderada
BFD	Banda de Flotación Dinámica
ERNC	Energía Renovable No Convencional
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CGI	Compacted Graphite Iron (Grafíto Ferroso Compactado)
CORFO	Corporación del Fomento de la Producción
FM	Frecuencia Modulada
FPA	Fondo de protección ambiental
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HPS	Hora Pico Solar
IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
IGM	Instituto Geográfico Militar
LED	Light Emitting-Diode (Diodo Emisor de Luz)
PWM	Pulse Width Modulation
RMS	Root Mean Square (Raíz cuadrática)
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Norte Grande
TIR	Tasa Interna de Retorno
USM	Universidad Santa María
VAN	Valor Actual Neto
VRLA	Valve-Regulated Lead Acid (Ácido Plomo Regulado por Válvula)

Simbología y unidades:

[A]	: Ampere
[Ah]	: Ampere-hora
[Cd]	: Candela
[cm]	: Centímetro cuadrado
[h]	: Hora
[Hz]	: Hertz
[J]	: Joule
[K]	: Kelvin
[kWh]	: Kilowatt-hora
[lx]	: Lux
[MJ]	: Mega Joule
[m]	: Metro
[m ²]	: Metro cuadrado
[m/s]	: Metro por segundo
[mm]	: Milímetro
[mW]	: Miliwatt
[nm]	: Nanómetro
[s]	: Segundo
[USD]	: Dólar Americano
[V]	: Volt
[VA]	: Volt-Ampere
[°]	: Grado
[°C]	: Grado Celcius
[Ω-m]	: Ohmnio-metro
[%]	: Por ciento
[W]	: Watt
[Wh]	: Watt-hora

INTRODUCCIÓN

La iluminación es un factor importante en nuestra vida cotidiana, puesto que permite la ejecución de muchas labores donde se requiere de corriente eléctrica para la operación de procesos como: refrigeración de productos, utilización interior de algunos equipos industriales, calentamiento de alimentos, uso de salas para diversos fines como bailes, deportes, dormitorios, etc., por consiguiente, es importante racionalizar los recursos energéticos de manera eficiente.

Chile posee los precios por kilowatt-hora más altos de Latinoamérica, por ende, es importante ahorrar energía, ya que estos aumentan de manera paulatina año tras año y por ello, se requiere evaluar alternativas más sustentables de tal forma de generar una coexistencia entre el pilar social, ambiental y económico, con el fin de contribuir a una reducción eficiente de costos, y con ello, promover la utilización de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), para reducir externalidades negativas que influyen directamente en diversos procesos necesarios para mantener las necesidades energéticas para la vida cotidiana.

El Sol es una poderosa fuente de radiación que permite la captación directa de energía, mediante la implementación de sistemas que transforman las moléculas cinéticas de luz en flujo de electrones, teniendo como principal ventaja, la producción y transformación de manera limpia, debido a que no generan emisiones. Adicionalmente, se reduce la huella del carbono, principal indicador del efecto invernadero, y con ello, evitando anomalías de temperaturas que ocurren en los alrededores del sistema.

El trabajo busca alternativas asociadas al bajo consumo de iluminación mediante la instalación de paneles fotovoltaicos que mejoren la calidad de vida para los espacios recreacionales, y con ello, crear un lugar más seguro para realización de actividades, considerando todos los parámetros pertinentes para la ejecución.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Realizar la evaluación técnico-económica de la implementación de un sistema solar fotovoltaico, considerando iluminación actual y de ahorro, para la cancha techada del complejo polideportivo de la Universidad Santa María (Sede JMC).

Objetivos particulares:

- Obtener parámetros solares, técnicos y económicos a partir de la localización geográfica del proyector
- Analizar la tecnología disponible en el mercado y aplicable al proyecto
- Realizar la evaluación técnico económico del sistema propuesto
- Demostrar la utilidad de este tipo de energías en proyectos de pequeña o mediana escala, reduciendo la necesidad de utilizar fuentes contaminantes

CAPÍTULO 1: “CANCHAS DEPORTIVAS USM”

1.1 Historia de la Universidad Santa María

Las bases de fundación de la institución Santa María se sientan en París, durante el año 1920, a partir del testamento del Sr. Federico Santa María, considerando como principal objetivo, el progreso y ampliación cultural del país, acogiendo a todo tipo de personas, independiente del estatus social.

Un año después del deceso, el 27 de Abril de 1926, se crea la fundación y posterior casa de estudios, liderado por el albacea Agustín Edwards McClure, con el objetivo de formar ingenieros íntegros que permitan contribuir en una mejor sociedad a partir de las herramientas técnicas establecidas por la institución.

Durante el año 1928, se trazan las metas propuestas, por lo tanto, el legatario se traslada a Alemania, con el fin de reunir docentes de excelencia, con el fin de obtener los servicios del profesor Karl Laudien y con ello emprender la construcción de la Escuela de Artes y Oficios en conjunto al Colegio de Ingenieros “José Miguel Carrera”.

A partir del año 1929, se constituye el Consejo Directivo del Plantel, y con ello, se contratan los servicios de los arquitectos Josué Smith Solar y José Smith Miller para el diseño del conjunto de establecimientos de la casa de estudios, considerando los elementos básicos como: pabellones, talleres, laboratorios, pensionados, biblioteca, instalaciones deportivas y jardines, de tal manera de realizar el emplazamiento en el Cerro Placeres de Valparaíso.

Las dependencias de la casa de estudio se inauguran oficialmente el 20 de Diciembre de 1931, junto con el depósito de cenizas del Sr. Federico Santa María dentro de una urna de mármol ubicada en el frontis de la institución.

Durante el año 1932, el país se encuentra sumido en una gran crisis financiera, generando conflictos políticos y sociales por toda la región, sin embargo, pese a los factores adversos, se realiza la apertura oficial de la Escuela de Artes y Oficios, en conjunto al Colegio de Ingenieros “José Miguel Carrera”, y con ello, se da inicio a la

realización de actividades técnicas que contribuyan en el desarrollo de polos tecnológicos e industriales del país.

A mediados de los años 30, se establecen los derechos estipulados por el Decreto Supremo N° 3048, con el fin de obtener la calidad de Plantel de Educación Superior y con ello cambiar el nombre de la institución a “Universidad Técnica Federico Santa María”, liderando los avances de ciencia y tecnología en el país. Además, se comienza la consolidación dentro las áreas de ciencias, generando un gran prestigio dada a la formación ingenieril y aportes a la sociedad, participando en múltiples exposiciones con profesores, maquinarias, y alumnos con el fin de contribuir a la sociedad. Adicionalmente, se crea la Escuela Nocturna, Escuela de Aprendices, Escuela Técnica Superior, la Escuela Profesional de Contramaestres y el Colegio de Ingenieros.

Durante el año 1934, se crea la revista Scientia cuyo fin es aportar conocimiento y ser la voz principal en el quehacer universitario.

En el año 1937, se funda la radioemisora “Universidad Técnica Federico Santa María”, siendo, además la primera radio latina universitaria en contribuir con datos culturales para el país.

A partir de 1939, se crea la fundación de Ex alumnos (AEXA USM), con el fin de fortalecer los vínculos con la Universidad e intercambiar experiencias asociadas al rubro industrial una vez terminado el ciclo de educación superior.

Además, en el año 1941, se inaugura el Aula Magna, centro destinado a realización de actividades culturales ejercidas en la época.

Durante los años 50, se termina oficialmente la construcción de las edificaciones asociadas al proyecto del Sr. Federico Santa María, y con ello, permitiendo la generación de la Escuela de Graduados, con el fin de promover el perfeccionamiento de títulos. El primer grado de ingeniería se entrega a partir del año 1963.

A inicios de los años 60, comienza la integración del sexo femenino en todas las áreas referentes a política, campo laboral y educación, y con ello, la inserción de mujeres dentro del campus, obteniendo a la primera graduada durante el año 1963.

Durante los años 70, se da inicio al proceso de diversificación, y con ello, la creación de la Sede José Miguel Carrera, localizada en el sector “El Olivar”, con el objetivo de formar técnicos en diversas áreas de ingeniería abarcando: construcción, electrotecnia, alimentación, mecánica, diseño y química. Además durante el mismo periodo, se inicia la construcción de Escuela de Técnicos Universitarios (actualmente Sede Concepción), ubicada en la Región del Bio-Bio, gracias a los aportes del estado Belga en temas de financiamiento y asesoría, comenzando las actividades curriculares a partir del año 1971, mientras que la inauguración se realiza a partir del año siguiente con la asistencia del Presidente de la Republica, Sr. Salvador Allende, el embajador Belga en Chile, Franz Taelemans y el plantel las autoridades del plantel en una época marcada por la fuerte industrialización.

En 1974 se crea la Vicerrectoría de Investigación y Asistencia Técnica, dividida en la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y la Dirección de Servicios y Asistencia Técnica. La primera, destinada a impulsar la investigación dentro de la Universidad, mientras que la segunda, a coordinar las prácticas y proyectos de esta.

Durante los años 80, se celebra el cincuentenario, promoviendo el quehacer de universitarios para la comunidad, y con ello, la reestructuración académica y administrativa del campus, dividiéndose como: Facultad de Ciencias, Ingeniería y Administración, además de fortalecer lazos con establecimientos ubicados en Estados Unidos y Europa, contribuyendo al intercambio de información científica y técnica.

A partir de los 90 se inicia el nuevo periodo de expansión, creando un nuevo campus en Santiago, sector de El Golf (comuna de Las Condes), con carreras dentro del área de la administración e informática. Adicionalmente se establece otra sede en Rancagua, trasladándose durante el 2000 a su actual ubicación en la comuna de Vitacura, y reinaugurándose el segundo campus en 2009 con nuevas y mejores instalaciones. Asimismo, en el año 1996, comienza la apertura de un nuevo Campus en Guayaquil (Ecuador), siendo el primer plantel de educación superior Chileno en experimentar un proceso de internacionalización conforme a su plan de desarrollo estratégico. Finalmente, se crea la Oficina de Asuntos Internacionales (OAI), teniendo como finalidad, salvaguardar las relaciones académicas y de investigación de la Institución con la comunidad mundial.

En el año 2000, se establecen lazos con LAN Chile, y con ello, se da comienzo a labores de Academia de Ciencias Aeronáuticas (ACA), dentro del campus Vitacura académicas, con el fin de formar profesionales de primer nivel en el área.

En 2001 se crea el Instituto Internacional para la Innovación Empresarial (3IE), con el objetivo de contribuir a la productividad del país, mediante el emprendimiento y con ello, promover la competitividad para una sociedad de expansión acelerada, considerando los impactos sociales y económicos que atraviesa el mundo durante la última década. El incremento de la actividad científica se dispara, por lo que se realiza una considerable inyección económica para la institución.

Durante 2008, se inaugura el Edificio de Innovación Tecnológica con el fin de generar valor y reforzar vínculos con el sector de producción. Asimismo, un año después, se crea un nuevo campus en Santiago, específicamente en San Joaquín, contemplando las áreas de ingeniería más importantes como electricidad, mecánica, minas, química e informática.

Finalmente, desde año 2010 a la actualidad, se establecen las líneas de crecimiento para el proceso de enseñanza y aprendizaje, a partir de la creación de infraestructura moderna, que permite obtener la mayor cantidad de información posible para el enriquecimiento de materias, además de fortalecer todo tipo de habilidades para los alumnos dentro de la comunidad USM.

1.2 Deporte y espacios de recreación

•Deporte:

El deporte constituye todas las actividades físicas que generan distintos tipos de movimiento en el cuerpo debido a la contracción de los músculos esqueléticos y cuya ejecución realiza un gasto energético, de tal manera, de mejorar la calidad de vida de las personas, además de mantenerlas saludable.

Algunas actividades corresponden a: nadar, saltar, cantar, bailar, caminar, correr, etc. El fin de éstas corresponde a crear beneficios físicos y psicológicos mediante la estimulación mental, permitiendo mejorar aspectos relacionados con la concentración y rendimiento. Adicionalmente mejora la imagen física de las personas mediante la reducción de grasas, eliminación de toxinas, aumento de masa muscular, etc.

La realización de deporte presenta las siguientes consecuencias para la salud:

- Aumentar la autoestima
- Controlar la ansiedad y reducir la depresión
- Mejorar la musculatura del cuerpo
- Nivelar el ritmo cardíaco y respiratorio
- Incrementar el efecto cognitivo en las personas
- Estimular la respuesta inmune
- Reducir las probabilidades de contraer enfermedades asociadas a la obesidad

Por otro lado, inactividad física, produce efectos negativos en la salud humana como: creación psicológica de fatiga constante, aumento del almacenamiento de grasas saturadas y colesterol dentro del cuerpo, incrementando las probabilidades de contraer enfermedades cardiovasculares.

- Espacios de recreación:

Corresponden a todos los espacios limitados que se encuentran al aire libre o bajo techo, teniendo como objetivo central, la recreación de actividades mediante charlas, juegos, práctica de deportes, etc., y con ello, permitiendo la conservación del bienestar físico y psicológico de las personas, con el fin de reducir factores negativos que desestabilicen la energía interna.

Las canchas deportivas corresponden a lugares de recreación compuestos principalmente por espacios naturales o adaptados de manera delimitada, con el fin de realizar la práctica de actividades físicas y deportivas, y con ello, utilizar el tiempo de ocio para reducir los efectos negativos del diario vivir, por lo que es importante contar con una buena iluminación que permita realizar este tipo de actividades, reduciendo los riesgos de accidentes debido a la baja visibilidad.

La iluminación de espacios abiertos y cerrados constituye una gran importancia para el funcionamiento para todo tipo de áreas, donde se realice cualquier tipo de actividad, ya que, espacios que se encuentran correctamente iluminados, permiten la disminución de riesgos físicos, además de aumentar las probabilidades de estimular adecuadamente a deportistas.

Algunas ventajas de una buena iluminación constituyen: evitar la fatiga ocular, aumentar el bienestar psicológico, mejorar la utilización de espacios y facilitar la limpieza y mantenimiento.



Figura 1: Cancha deportiva en gimnasio cerrado con iluminación natural

1.3 Antecedentes generales del recinto polideportivo

1.3.1 Características de ubicación

El recinto polideportivo se encuentra dentro la Universidad Técnica Federico Santa María (Sede José Miguel Carrera), cuyas coordenadas corresponden a:
-33,036293°S -71,48792° O (Norte Magnético: +2°E)



Figura 2: Localización del recinto polideportivo (Fuente: Google Maps)

Además, las características ambientales se resumen en la tabla N°1.

Tabla 1: Datos históricos para sitio -33,036293° S; -71,48792° O (Fuente: NASA)

Mes	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Velocidad Viento [m/s]
Enero	19,9	44,0	4,5
Febrero	20,4	43,0	4,5
Marzo	19,4	44,0	4,2
Abril	16,1	47,7	4,1
Mayo	13,3	52,1	4,6
Junio	11,2	58,8	4,5
Julio	10,2	57,7	5,0
Agosto	11,0	54,0	4,7
Septiembre	12,3	51,4	4,6
Octubre	14,5	46,7	4,7
Noviembre	16,5	45,1	4,8
Diciembre	18,7	44,2	4,6
Anual	15,3	49,1	4,6

Acorde a la tabla, se estima una temperatura anual de 15,3[°], reduciendo el valor para meses de Otoño e Invierno, debido a diferentes actividades asociadas a la nubosidad, además de lluvias esporádicas y fuertes olas de frío durante el primer semestre del año.

La humedad relativa promedia aproximadamente un 50%, transformando al lugar, en un sitio con bajas temperaturas y alta sensibilidad de climatología, ya que, cambia constantemente desde un ambiente nublado a soleado de manera continuada.

Además, se estiman vientos de 4,6[m/s] durante el año, calificados principalmente como “suaves” acorde a la escala Beaufort, por consiguiente, existen bajos cambios de temperatura entre una zona a otra, lo que disminuye de manera gradual, el movimiento de nubes en el sitio escogido en el caso de generarse el flujo ventoso.

Por otro lado, la nubosidad se estima mediante el registro satelital, cuyo valor se descompone como fracción de tiempo cubierto para el mes, obteniendo una magnitud entre 0.25 a 0.4 para meses entre Junio y Agosto, sin embargo, existe una variación importante dentro de los últimos años por efectos climáticos globales, por consiguiente, es impredecible determinar la frecuencia mensual para cada mes del año, sin embargo, existe una mayor nubosidad histórica para meses entre Marzo hasta Agosto, en comparación al periodo comprendido entre Septiembre y Febrero.

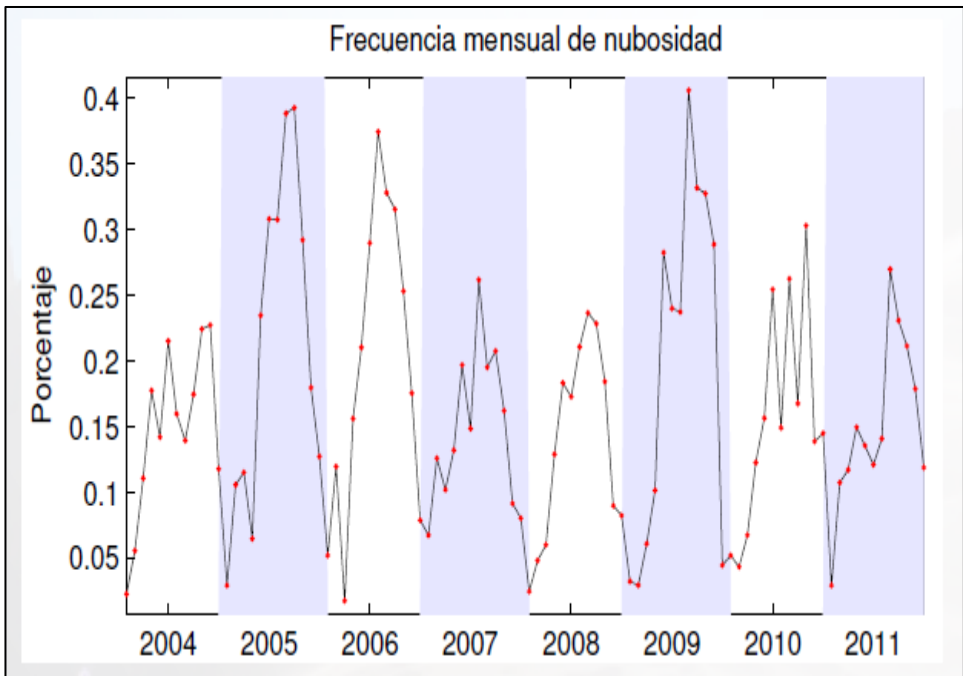


Figura 3: Frecuencia de nubosidad del sitio escogido (Fuente: Recurso Solar U. de Chile)

Asimismo, el potencial geotérmico en el país se cataloga como “alto”, ya que concentra aproximadamente un 20% de los volcanes activos situados en “el Cinturón de Fuego del Pacífico”, permitiendo un potencial que abarca desde 3.350 a 16.000[MW], y con ello, representando un 91% de la capacidad instalada de la matriz en la actualidad (año 2013), sin embargo, las investigaciones del tema son aún escasas.

Acorde a los estudios geológicos realizados en el país, la temperatura del subsuelo cerca de 3000[m] bajo tierra, corresponde a 150[°C], permitiendo la obtención de energía eléctrica para diversos fines, sin embargo, los costos de extracción son altos y generalmente se utilizan como atractivo turístico (baños termales), desplazando la posibilidad de usarse para la generación de electricidad.

A partir del año 2000, se crea la ley geotérmica, que promueve la exploración y explotación de recursos geotérmicos, a partir de condiciones ejercidas por la empresa privada, estableciendo la existencia de concesiones de exploración y explotación autorizadas por el Ministerio de Energía, obteniendo un total de 75 concesiones de exploración vigentes con una superficie abarcada de 3 millones de hectáreas.¹



Figura 4: Potencial geotérmico en Chile (Fuente: Energía Andina 2010)

Finalmente, las zonas de mayor interés para las concesiones, se concentran en la zona cordillerana, donde existe eventual actividad volcánica o fallas, por consiguiente, no hay suficiente evidencia respecto a la actividad térmica para la ubicación geográfica.

¹ <http://www.cega.ing.uchile.cl/cega/index.php/es/informacion-de-interes-/geotermia-en-chile>

1.3.2 Información de las canchas deportivas

- Descripción general

La Universidad Santa María cuenta con un amplio espacio para poder desarrollar actividades deportivas, lo que refleja un buen punto con respecto a la superficie para la realización de ejercicios físicos, sin embargo, requiere de mucha iluminación para que las personas puedan hacer deportes de manera adecuada, ya que, las dimensiones de las canchas de la institución son grandes (cancha de atletismo y tenis, gimnasio, etc.).

El gimnasio se encuentra ubicado dentro de la Universidad y representa un complejo importante, ya que se realizan todo tipo de actividades recreacionales deportivas como: fútbol, futsal, baloncesto, voleibol, karate, taekwondo, lucha, etc. que permiten a las personas complementar de mejor manera los estudios, mejorando el bienestar mental y reduciendo problemas físicos asociados a la alta carga laboral que existe durante la vida universitaria.

Finalmente, el terreno se encuentra emplazado en suelo tipo orgánico, rico en agua y dióxido de carbono, para una zona semihúmeda, por consiguiente, existe una alta cantidad de materia en descomposición, aumentando la presencia de humus con calcio y con ello, preservando la materia orgánica a bajas profundidades, lo que recae como terreno tipo “molisoles”.



Figura 5: Perspectiva general del gimnasio USM

- Caracterización de espacios del recinto

El recinto se compone por una cancha de deportiva para la realización de actividades física cuyas dimensiones corresponden a: 41,90[m] x 23,57[m], totalizando un valor de 987,47[m²], por lo que requieren de varios focos de iluminación, para poder realizar las actividades de manera óptima.

Además, es importante señalar que el lugar se compone principalmente por: gradas, pasillos, bodega, baños, camarines, vestuario, oficinas, pañol y un gimnasio (máquina y pesas), que se localiza en el segundo piso.

El detalle de planta del recinto, se observa en la figura N°6.

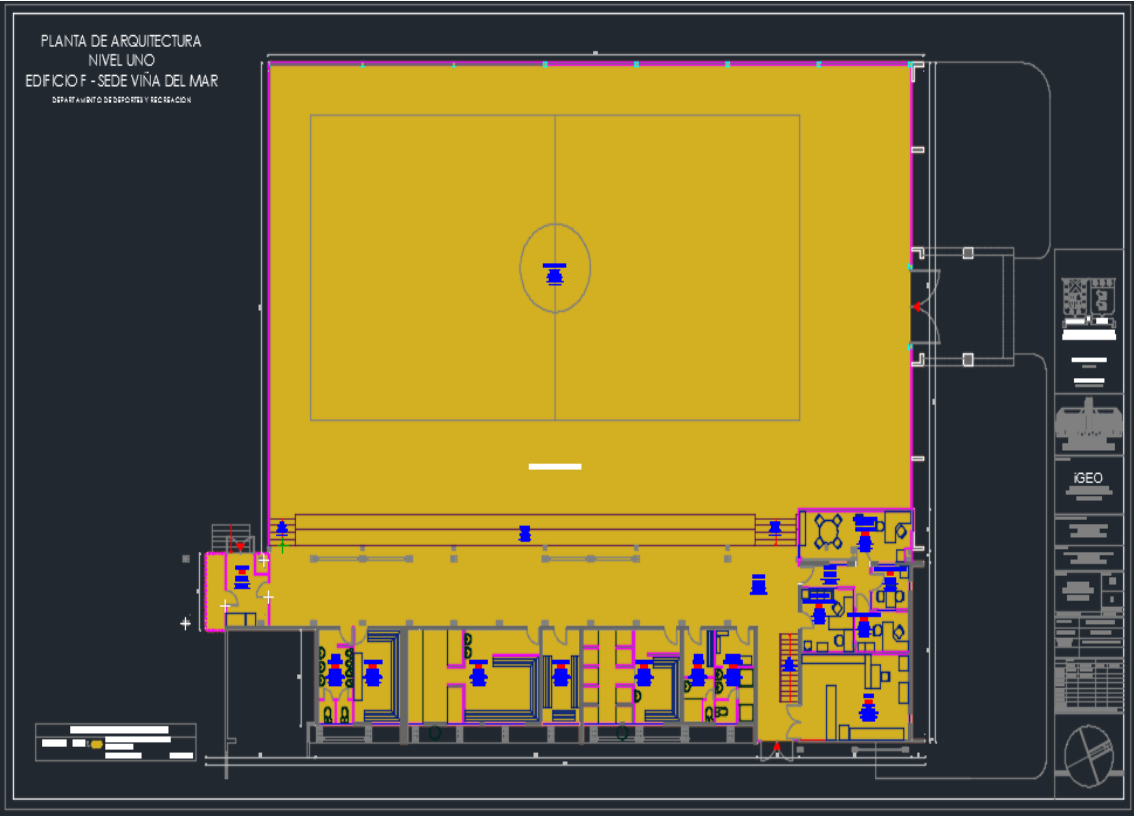


Figura 6: Planta de arquitectura para el recinto polideportivo (Fuente: Infraestructura USM)

Por otro lado, la composición del recinto se establece a partir de la tabla N°2.

Tabla 2: Composición de espacios del complejo polideportivo (Fuente: Elaboración propia)

Espacio	Área [m²]	[%] del total
Camarín Profesores	11,69	0,82
Camarín 1	14,88	1,04
Camarín 2	40,86	2,86
Camarín 3	29,16	2,04
Coordinador deportes y recreación	19,23	1,34
Baño Damas	9,56	0,67
Baño Varones	10,85	0,76
Bodega	14,42	1,01
Escape 1	2,48	0,17
Escape 2	4,39	0,31
Gradas 1	50,77	3,55
Gradas 2	3,85	0,27
Multicancha	987,47	69,02
Oficina profesores 1	5,38	0,38
Oficina profesores 2	7,53	0,53
Pañol	31,34	2,19
Pasillo 1	158,65	11,09
Pasillo 2	6,28	0,44
Reunión y atención de alumnos	9,91	0,69
Vestuario	12,08	0,84
Total	1430,78	100

La multicancha en conjunto con las gradas (número 1) para espectadores, superan el 70% del total del recinto polideportivo, representando una zona importante para la realización de actividades, ya que esta posee una superficie de alta magnitud, mientras que la observación de los espectadores depende de la luz de las canchas.

Finalmente, el exterior de del recinto (parte con techo inclinado), se compone por un frente y reverso cuyos valores corresponden a 25[m], mientras que los costados, poseen una magnitud de 42[m], generando un total de 1.050[m²]. Además, la altura de los costados, tiene un valor equivalente a 7 [m], mientras que el alto central del techo (simétrico con respecto a la distancia del ancho) es de 9[m], obteniendo un valor de pendiente de 9[°], para dos tejados denominados como “Este” (dirección SE, -70° respecto al E) y “Oeste” (dirección NO, -70° respecto al O).

- Horarios de uso

El recinto polideportivo utiliza un horario fijo para todos los días de la semana (Lunes a Viernes), considerando una jornada extensa que empieza desde temprano en la mañana hasta la noche, ya que existen muchas ramas deportivas y clases de educación física, generando un uso continuado para actividades recreacionales.

En el caso de día Sábado, se estima un uso levemente inferior en comparación a un día típico de semana, pues se realizan varias actividades extracurriculares que incluyen ramas deportivas, además de competencias nacionales o internacionales que se realizan dentro de la sede, considerando de manera adicional, la práctica de talleres cuya demanda requiere de varias horas para poder realizarlas.

Finalmente, para día Domingo, existen algunas actividades ocasionales que suelen practicarse de manera esporádica en horarios más acotados, por consiguiente, se realizan pocas veces durante el mes, salvo en el periodo final del año, donde existen talleres de manera más habitual.

El horario estimado para práctica de actividades se establece en la tabla N°3.

Tabla 3: Horario de uso estimado para el gimnasio durante el año (Fuente: Elaboración propia)

Día	Horario	Frecuencia
Lunes-Viernes	8:00-22:30	-Todas las semanas del año, a excepción de Enero donde se realizan actividades durante aproximadamente 20 días, mientras que en Febrero, se utiliza durante 1 semana
Sábado	8:00-21:00	-Todos los sábados del año, a excepción de Enero que se realizan actividades durante aproximadamente 3 o 4 días Sábado, mientras que Febrero considera 1 día
Domingo	11:00-16:00	-1 vez al mes desde Enero hasta Septiembre y todos los domingos para meses de Noviembre y Diciembre

A partir de la información proporcionada, se estima un uso aproximado de 4293 [h] anuales, para un sistema de iluminación que funciona de manera continua.

- Características eléctricas

- a) Lux

Los lux corresponden a la medida de luminiscencia que se define matemáticamente como la cantidad de lúmenes que circulan por cada metro de superficie, permitiendo la generación de un flujo de energía, por consiguiente, sus unidades corresponden a [lumen/m²].

El concepto es importante, ya que una buena calidad de luz permite una iluminación óptima para recintos deportivos, por consiguiente, se realizan actividades sin inconvenientes que entorpezcan el desarrollo de este, por lo que es trascendental corroborar el cumplimiento legislativo.

El gimnasio de la Universidad cuenta con un amplio espacio para poder desarrollar actividades deportivas, permitiendo el flujo luz natural incidente mediante 3 ventanas y 1 celosía, además de una contribución de múltiples focos de halógenos y campanas como sustento artificial, por lo tanto, el recinto debe respetar condiciones de iluminación establecidas por normativa Chilena de Electricidad (4/2003).

Tabla 4: Lux mínimo para recintos deportivos (Fuente: NCh N°4/2003)

Edificación	Lux mínimo [Lx]
Gimnasio	200
Oficina	400
Pasillo	100
Atención Administrativa	300

Por otro lado, las mediciones realizadas (Ver Tabla A.1 y A.2 del anexo para más información) dentro de la canchas para la verificación del cumplimiento de la normativa, señalan que el sector con iluminación completa (100%), arroja una luminiscencia aproximada de 245[lx], mientras que en completa oscuridad (0%), se obtiene un total de 143 [lx], lo que cumple con los estándares mínimos impuestos por la normativa Chilena, sin embargo, la percepción visual no refleja proporcionalidad respecto a los valores de lux señalados.

Además, es importante mencionar que los datos analizados (como medida de verificación) se realizaron durante Diciembre por la tarde alrededor de las 16:00 para un día nublado, por consiguiente, exista una buena consistencia, ya que se considera el caso más crítico de iluminación.

b) Luminancia

Se define como la intensidad de luz medible con respecto a la superficie proyectada por la fuente, por consiguiente, las unidades se expresan como $[Cd/m^2]$, diferenciándose del concepto de “luminiscencia”, puesto que el primero alude principalmente al nivel de iluminación, mientras que el segundo representa la intensidad. La medición es experimental, por consiguiente, requiere de mayor información para la obtención del valor.

c) Eficiencia lumínica

Representa la cantidad de luz efectivamente utilizada para la iluminación de canchas, en comparación a lo disipado en forma de radiación (principalmente calor), por consiguiente, las unidades corresponden a $[lumen/W]$, estableciendo un rango promedio de 80-90 $[lm/W]$ en el caso de focos de 400[W], mientras que luces tipo LED, se estima una fluctuación de 95-100 $[lm/W]$.²

d) Potencia y corriente

La potencia se define como la cantidad de energía eléctrica por unidad de tiempo y las unidades corresponden a $[J/s]$, obteniendo una unidad equivalente a $[W]$ para equipos con funcionamiento en continuo o $[Volt-Ampere]$ en el caso de régimen alterno, constituyendo uno de los factores principales de medición, en relación al uso de iluminación (en conjunto a la energía), ya que los costos totales se condicionan por estos 2 factores, además de otros precios asociados al cargo, cuyo valor final se traduce en una tarifa mensual para la Universidad.

² www.obralux.com/pdf/luminotecnica.pdf

Las luces utilizadas del gimnasio corresponden a tipo AC (corriente alterna), por consiguiente, la potencia de salida se expresa como [VA]. Adicionalmente se trabaja con una frecuencia de salida de 50[Hz] y 220[V], acorde a la normativa Europea aplicada en Chile.

Las luminarias de las canchas del gimnasio se componen por 14 focos de halógeno ubicadas a una altura aproximada de 7[metros] en cada costado del gimnasio y 4 campanas colgantes, situadas en el centro del gimnasio a 9 [metros] respecto al suelo. Además, cada foco genera 400[W] de potencia activa (especificación técnica).

La potencia total generada corresponde a 7.200[W] de potencia activa, lo que se considera como “alto”, ya que no son iluminaciones de bajo ahorro como tipo LED (5-200[W]) o tubos fluorescentes (100-200[W]) que permitan la reducción en los gastos mensuales, lo que se hace necesario el uso de tecnologías que mermen la brecha de consumo respecto a la implementación de tecnología limpias.

Finalmente, la corriente continua (en forma activa) se estima en 32,73[A], acorde a lo establecido con anterioridad, sin embargo, para la obtención en forma alterna, se requiere de datos experimentales para la estimación. Los cálculos se obtienen a partir de lo estipulado en el punto 1.4.1.

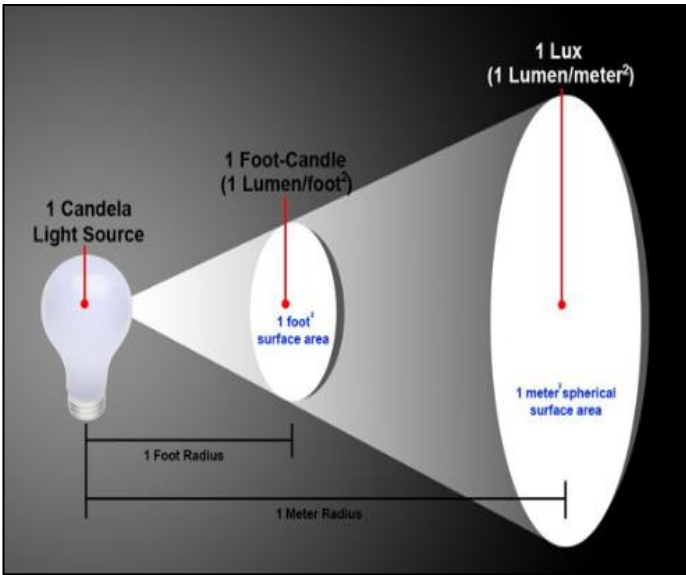


Figura 7: Esquema de diferenciación entre lumen, candela y lux

1.3.3 Análisis de situación

- Situación actual:

Las canchas deportivas consumen mucha energía eléctrica, acorde a las observaciones realizadas por el cuerpo docente del gimnasio, totalizando cerca de 300.000 [pesos] mensuales por concepto de uso de la multicancha, y con ello, incrementando el valor para meses más fríos ,ya que el espacio reduce la cantidad de luz natural y artificial dentro del lugar, obligando a utilizar la energía eléctrica para horas fuera de uso, por lo tanto, se acrecientan los costos anuales de manera paulatina, ya que estos ascienden año tras año acorde a los precios establecidos por la compañía de electricidad, correspondiente a Chilquinta, generando aumentos en el valor de la energía en cerca de un 2% por año, mientras que la potencia, sube en aproximadamente 1,5% (valores de tarifa obtenidos desde 2014-actualidad). Adicionalmente, es importante señalar que los costos pueden reducirse a futuro, sin embargo, el valor depende completamente de la fluctuación de precios de combustibles, cuya proyección señala en gran medida, que se prevén aumentos para el futuro (Ver Banco Mundial).

- Situación sin proyecto:

Sin alternativas claras para sustituir o reducir costos asociados a la red eléctrica, se espera que los consumos sigan aumentando durante los próximos años, ya que la compañía eléctrica acrecienta los costos durante todo el año, a excepción de meses veraniegos, resultando irrelevante para la reducción, puesto que durante Enero y Febrero, cesan las actividades dentro del complejo polideportivo. Además, es importante señalar que la cantidad de energía pueda aumentar drásticamente en caso de crisis energética, dada la volatilidad y dependencia del país respecto a los combustibles fósiles.

- Situación con proyecto:

El proyecto propone la implementación de un sistema fotovoltaico a partir de la evaluación de 2 tipos de tecnología con respecto a la iluminación, considerando el alto consumo y LED. El trabajo permite la generación eléctrica de manera independiente a la red, salvando la cantidad de energía que se utiliza durante el año, y con ello, logrando una importante ventaja respecto al consumo, ya que es posible un eventual ahorro sobre 2.000.000 [pesos] anuales, considerando el excesivo uso de energía para el recinto.

1.4 Cálculos asociados a canchas deportivas USM

1.4.1 Corriente alterna de la iluminación

La corriente alterna del sistema de luces corresponde a la suma de fluctuaciones entre valores positivos y negativos que genera la curva sinusoidal del foco. Para la obtención de la magnitud, es importante determinar la potencia aparente (sobredimensionada) de cada luminaria y sumar cada una. Adicionalmente se considera el voltaje de red, establecido por normativa Chilena y el factor de potencia estimada de cada foco de iluminación.

La corriente alterna (en [A]) se establece en la ecuación N°1.

$$I_{AC} = \frac{\sum(P_{foco} / \cos\phi * N_{foco} * FS)}{V_{efectivo}} = \frac{P_{aparente} * FS}{V_{efectivo}} \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

P_{foco} : Potencia de cada foco [W]

N_{foco} : Número de focos [—]

FS: Factor de seguridad [—]

$V_{efectivo}$: Voltaje efectivo del sistema [V]

$P_{aparente}$: Potencia aparente del sistema [VA]

$\cos\phi$: factor de potencia del sistema [—]

La potencia activa de cada foco es de 400[W], lo que representa un alto consumo (sin considera la magnitud de pérdidas) para luces de halógenos y campanas.

El valor experimental del factor de potencia establecido por el laboratorio de electricidad de la USM, indica que todos los focos presentan un comportamiento que ronda en 0,7 unidades, por consiguiente, la corriente se encuentra 45,57[°] desfasada respecto al voltaje, totalizando un valor unitario de 571[W], y con ello, obteniendo un valor global de 600[W] considerando el sobredimensionamiento de 5% dada a las características de las iluminaciones, por lo tanto, se desprende que energía de alimentación del sistema de luces es de 10.800[W].

Por otro lado, el voltaje efectivo corresponde al valor asociado a la red eléctrica, cuya magnitud corresponde a 220[V], acorde a la Normativa Eléctrica Chilena.

La corriente alterna se estima mediante:

$$I_{AC} = \frac{18 * (400/0,7)}{220} = 49,09[A]$$

El valor del sistema equivale a 49,09[A] (sin sobredimensionamiento), lo que indica que cada iluminación posee un valor de corriente de aproximadamente 2,73[A].

1.4.2 Demanda mensual de energía

Corresponde a la cantidad de energía consumida durante cada mes del año. El valor depende del uso de tiempo establecido por el usuario (por estaciones, por ejemplo) y la potencia aparente de cada foco.

El cálculo de la energía mensual (en [kWh]) se establece en la Ecuación N°2.

$$E_{\text{mensual}} = \frac{\sum((P_1 * t_1 + P_2 * t_2))}{1000} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

P_1 : potencia de consumo asociado al total de los focos de halógeno [W]

P_2 : potencia de consumo asociado al total de las campanas [W]

t_1 : tiempo de consumo mensual asociado a los focos de halógeno [h]

t_2 : tiempo de consumo mensual asociado a los focos de halógeno [h]

La demanda fluctúa significativamente acorde al mes de realización de actividades y la estacionalidad, por consiguiente, es esperable un mayor uso de la iluminación durante meses de otoño e invierno en comparación a primavera y verano, lo que se refleja en una tarifa de consumo mayor para los primeros casos.

La cantidad de horas de uso de iluminación para focos de halógeno y campanas colgantes dentro de cada día para el periodo del año (Ver Anexo A.3) se estima en 18[h] entre Diciembre y Febrero, considerando aproximadamente un 50% de consumo menor en comparación al periodo entre Marzo y Mayo, debido a la cantidad de energía solar que atraviesa por la ventana y la celosía.

Durante meses de Marzo a Mayo, se estima un tiempo de consumo de 35[h] considerando un uso de 15[h] para cada día de la semana, aumentando la cantidad de energía en comparación a los meses veraniegos.

Para meses de Junio a Agosto, se estima un total de 49[h], siendo la cantidad más alta del año, ya que existe una visibilidad más baja para el recinto, debido a la gran nubosidad que existe para aquellos meses, además de lluvias esporádicas para el periodo.

Finalmente, el tiempo de consumo se reduce a 28[h], para meses entre Septiembre y Diciembre, ya que se prevén buenas condiciones climatológicas, obteniendo una radiación solar óptima y una ausencia de nubes importantes, por consiguiente, el filtro de luz permite una buena visibilidad para realización de actividades, reduciendo la necesidad de utilizar electricidad.

El consumo energético mensual estimado para el año 2015, acorde a criterios mencionados, se establece en la tabla N°5.

Tabla 5: Energía mensual (kWh) para la cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Consumo Energético [kWh]
Enero	1122
Febrero	353
Marzo	2268
Abril	2167
Mayo	2183
Junio	2705
Julio	2700
Agosto	2808
Septiembre	1635
Octubre	1694
Noviembre	1697
Diciembre	1482
TOTAL	22814

Durante meses de Enero y Febrero, existe un consumo más racionalizado de energía debido a la ausencia de actividades extra programáticas por efecto de las vacaciones, reduciendo los gastos para dicho periodo, mientras que de Junio a Agosto existe un aumento en cuanto al uso de energía, principalmente por meses más fríos, ya que reducen la visibilidad del recinto, obligando a un uso continuado.

CAPÍTULO 2: “SISTEMA ENERGÉTICO SOLAR”

2.1 Luz solar: fuente energética de la vida

2.1.1 Descripción

El sol representa una gran estrella, rica en energía renovable que se encuentra inmersa dentro de una galaxia llena de estrellas, que en su conjunto forman la vía láctea, generando un desplazamiento que se realiza alrededor de la espiral de materia.

Este astro corresponde a una esfera gigante de gas caliente que gira constantemente a partir de su eje y posee un gran brillo, permitiendo la radiación de energía a través del espacio y posterior descomposición mediante ionizaciones, y con ello, contribuyendo a la conservación de la vida en la Tierra que se encuentran dentro de la órbita, generando un equilibrio respecto a los ciclos biogeoquímicos, además de participar como activador de múltiples reacciones químicas como descomposición o síntesis que generan los medios para la subsistencia de los seres vivos en el planeta. Adicionalmente toda la energía que recibe la vegetación, océanos, suelos, etc. provienen de la fuente solar, lo que significa que la radiación es fundamental para la obtención de nutrientes y productos vegetales.

Se compone principalmente por una corona externa de gases calientes que reaccionan continuamente dentro de un gran espesor, una cromósfera donde se generan principalmente las lengüetas de fuego asociados a la radiación, alcanzando una distancia mayor a 2.000.000 [km], una fotósfera conformada por masa solar incandescente generando manchas solares, una zona radioactiva donde se genera el transporte de energía en forma de fotones que escapan al espacio y cuya absorción se realiza periódicamente y un núcleo en el cual se tiene lugar, la fusión nuclear.

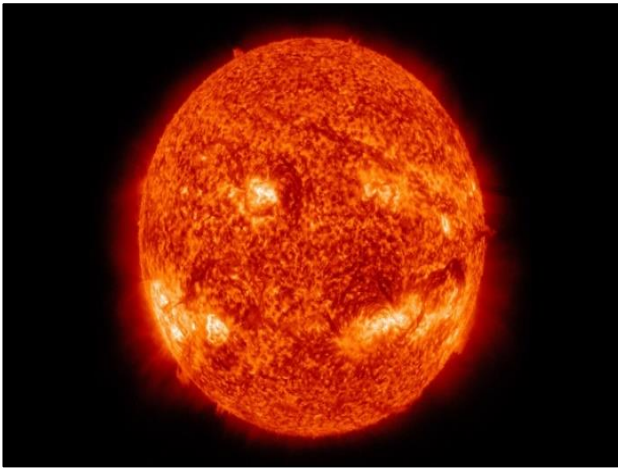


Figura 8: Imagen espacial de actividad de radiación solar

Los datos del sol³, se resumen en la Tabla N°6.

Tabla 6: Datos físico-químicos del sol (Fuente: Planetmad)

Dato	Valor y unidad
Edad aproximada	5000 millones año
Masa	1,98*10 ³⁰ [kg]
Volumen	1,41*10 ¹⁸ [km ³]
Diámetro ecuatorial	1.392.000 [km]
Distancia a la Tierra	149.600.000 [km]
Periodo de rotación ecuatorial	25 [días terrestre]
Periodo de rotación polar	35 [días terrestre]
Temperatura	Fotósfera: 5000 [°C] Núcleo: 15.000.000[°C]
Composición química	Hidrógeno: 73,5[%] Helio: 25,5[%] Otros: 1[%]

³ <http://www.planetmad.es/saber/sol.html>

2.1.2 Características de la luz solar

Representa la forma primaria de energía radiante que se manifiesta como una radiación electromagnética y produce una sensación neuro-biológica, que permite a las personas distinguir entre lo que representa la luz y oscuridad, mediante un proceso de transferencia de energía entre cuerpos denominado radiación.

Ésta posee una alta versatilidad que permite ser cuantificada a partir de las características físicas como: longitud de onda, frecuencia, amplitud, velocidad de propagación y otras asociadas, permitiendo clasificar cada tipo de onda, dentro del espectro electromagnético.

Algunos datos generales corresponden a:

- La clasificación acorde al uso corresponde a: natural (fuego) o artificial (bombillas)
- Permite la generación del espectro electromagnético dada sus características
- La velocidad de la luz en el vacío es de aproximadamente $3 \cdot 10^8$ [m/s]
- Presenta una fenomenología versátil como: propagación, polarización, difracción, etc. y además de poder utilizarse en diversas aplicaciones científicas

2.1.2.1 Espectro electromagnético de la luz

Representa la distribución de energía de las ondas electromagnéticas, aludiendo principalmente a la radiación que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción). Su extensión se realiza a partir de longitudes de onda corta (380nm) tal como rayos gamma, pasando por varios tipos de radiación, hasta alcanzar su longitud máxima (780nm), equivalente a la onda de radio.

A partir de las características de radiación del espectro, se define como:

- Espectro de absorción: Ocurre cuando el sólido incandescente, se encuentra rodeado por un gas a baja temperatura, generando un espectro discontinuo, donde cada marca negra, indica presencia de líneas de absorción, respecto a la banda, ya que el gas absorbe de la luz, los mismos colores que irradia, lo que genera una selectividad con respecto a la longitud de onda.

-Espectro de emisión: Ocurre cuando un cuerpo presente en fase de gas, se le suministra energía calorífica, permitiendo la estimulación de los átomos y con ello, emiten radiación en ciertas frecuencias del visible, formando su espectro de emisión.

Por otro lado, el espectro electromagnético, se divide en una gran banda continua, que clasifica radiaciones ionizantes y no ionizantes acorde a su longitud de onda, generando distintas aplicaciones tecnológicas.

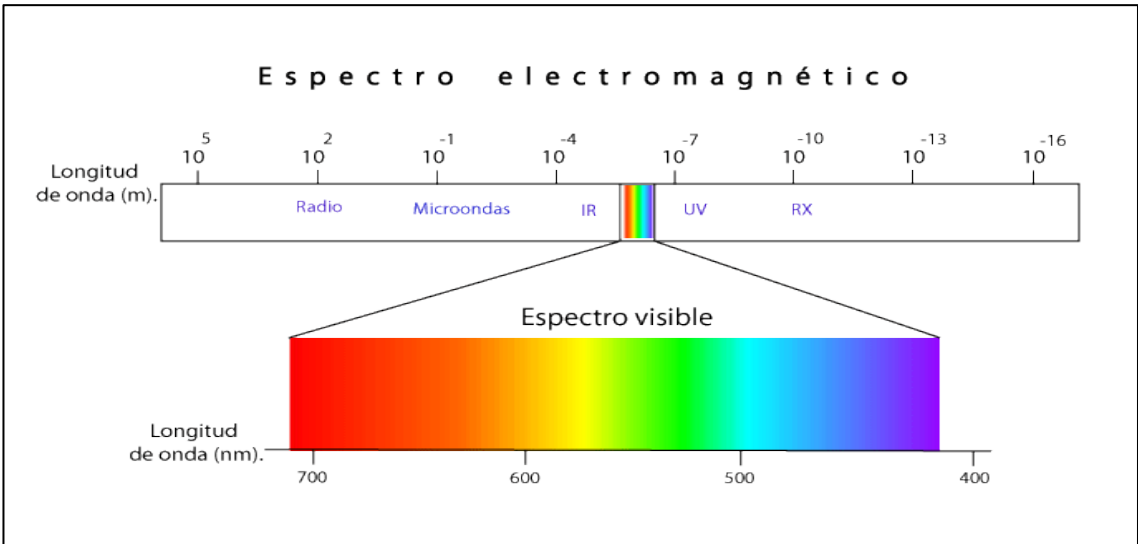


Figura 9: Espectro de bandas respecto a la radiación electromagnética

Una radiación ionizante es aquella que posee una alta cantidad de energía, permitiendo a los átomos ceder electrones y con ello, romper enlaces orgánicos.

Estas radiaciones se clasifican como:

2.1.2.1.1 Rayos cósmicos

Radiación cuya longitud de onda es menor a 10^{-12} [m], que se produce por las partículas bombardeadas mediante cuerpos espaciales (sol, estrellas, etc.) y que llegan directamente a la Tierra, generando principalmente protones y núcleos pesados, por lo que contienen una alta cantidad de energía, y con ello, superando a cualquier átomo dentro de los conocidos actualmente. Se utiliza ampliamente como estudio de energía en el universo además de tomografías de pirámides y volcanes.

2.1.2.1.2 Rayos gamma

Radiación cuya longitud de onda es de 10^{-12} [m] y que se generan por proceso en la transición de núcleos o de manera natural en el espacio, presentándose como destellos por efecto de explosiones de alta energía en galaxias que se encuentran a grandes distancias, por lo que acompañan a radiaciones alfa y beta. Se utilizan en estudios médicos como esterilización y radioterapias, además de ser poderosos bactericidas.

2.1.2.1.3 Rayos X

Radiación cuya longitud de onda es de 10^{-10} [m] y que se producen principalmente cuando se bombardea un objeto con electrones a alta velocidad, generando pérdidas en forma de calor y radiación de rayos X. Este tipo de emisiones no es monocromático y se compone de una gran variedad de longitudes de onda, siendo útil en varios campos como estudio de fósiles en ámbar, medición de contaminación en [ms], uso como adhesivo, etc.

Por otro lado, una radiación no ionizante, representan a átomos que no posee la cantidad de energía suficiente para ceder electrones, por consiguiente, no puede romper enlaces orgánicos.

Estas radiaciones se clasifican como:

2.1.2.1.4 Rayos UV

Radiación cuya longitud de onda es de 10^{-8} [m] y que se produce por bombeo de electrones, pasando de un estado excitado a otro basal, permitiendo la liberación de energía, afectando directamente a la salud de las personas, debido al alto nivel de penetración cutáneo por efecto de radiación tipo alfa, pudiendo crear enfermedades asociadas a la piel en el caso de exposiciones prolongadas. Se utiliza principalmente en microscopía fluorescente o bien para ser utilizado como control de plagas y curado de pinturas mediante lámparas tipo UV.

2.1.2.1.5 Visible

Radiación cuya longitud de onda, fluctúa entre 10^{-6} y 10^{-7} [m] y que se forman por vibraciones de campos eléctricos y magnéticos generando la región de visibilidad para el ser humano, y con ello, permitiendo el reconocimiento de objetos de todos colores como el cielo y mar dentro del espectro visible, dada las características ópticas de los humanos. Se utilizan principalmente como activador de vitamina D, además de auxiliar en el proceso de fotosíntesis mediante la activación de clorofila.

2.1.2.1.6 Infrarroja

Radiación cuya longitud de onda, fluctúa entre 10^{-4} y 10^{-6} [m], que se produce mediante enlaces químicos de compuestos que tienen cierto tipo de frecuencia en su vibración, produciendo un nivel de energía, cuya sintonía con los movimientos de la luz, se absorbe, estableciendo la generación de este tipo de emisión, caracterizándose principalmente porque todos los cuerpos con temperaturas superior a 0[K] son capaces de realizar este tipo de radiaciones. Se utilizan en calefacción, focos nocturnos y cámaras que registran patrones de temperatura.

2.1.2.1.7 Microondas

Radiación cuya longitud de onda fluctúa entre 10^{-2} y 10^{-4} [m] y que se forma principalmente por fotones a partir de elementos radioactivos o procesos de aniquilación de positrón-electrón. Se generan por actividades astrofísicas, por lo que pueden producir radiación tipo alfa y beta afectando severamente a los alimentos y, en consecuencia, a la salud humana. Es ampliamente utilizado en lanzamiento de misiles, diatermia, hornos y calentadores, además de ser material de investigación de meteorología.

2.1.2.1.8 Radiofrecuencia

Radiación cuya longitud de onda, fluctúa entre 10^4 y 10^{-2} [m] y que se producen libremente en el espacio hasta que parte de la emisión llega a la ionósfera, permitiendo absorción o reflexión, mientras que el resto incide directamente en la atmósfera. Se caracteriza por su bajo nivel energético y cuyos usos se realizan extensamente en comunicaciones, especialmente en radionavegación, televisión, radiodifusión AM y FM, además de soldadura.

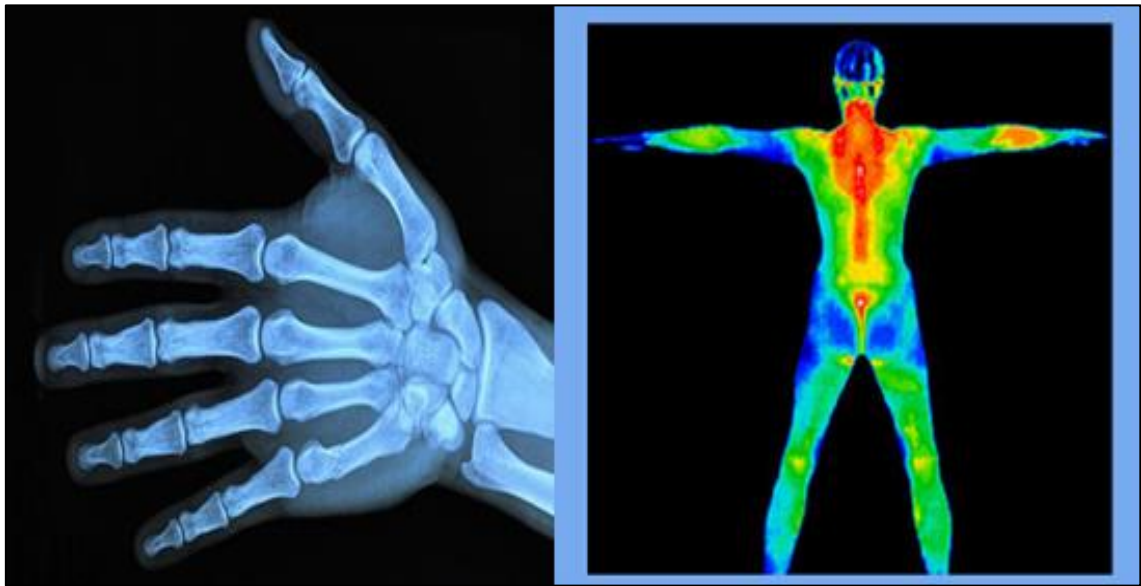


Figura 10: Rayos-X como (izquierda) y radiación infrarroja (derecha)

2.1.2.2 Fenomenología de la luz

La luz solar presenta diversos procesos de transformación durante el trayecto que va desde el sol a la Tierra, debido a la interacción de fotones o recombinación de partículas con el medio, generando una fenomenología variada respecto a luz, cambiando la dirección de radiación.

Los fenómenos más importantes corresponden a:

2.1.2.2.1 Reflexión

La luz incidente posee ondas electromagnéticas que no son capaces de absorber energía radiante en una superficie, por lo que se reflejan en el plano.

Se compone principalmente por un rayo incidente que llega a una superficie donde parte de éste se absorbe, mientras que el resto se refleja, produciendo un rayo reflejado. En superficies lisas, éste posee un ángulo similar al de incidencia, mientras que un plano rugoso, poseen distintas direcciones dada la rugosidad del área de impacto.

Una superficie especular se caracteriza porque un rayo incidente, produce uno reflejado, que en conjunto a la perpendicular de superficie límite, se encuentran en un mismo plano.

La luz que incide en una pirita, se refleja en distintas direcciones dada a la rugosidad, siendo perceptible para el ojo humano como forma de brillo.

2.1.2.2.2 Refracción

La luz pasa a través de un medio transparente a otro de distinta densidad, lo que genera un cambio de dirección en su haz debido a las diversas velocidades de propagación que poseen los distintos medios.

La lectura de este fenómeno se realiza mediante un índice de refracción, que establece la relación entre la velocidad de luz en el vacío con respecto a la velocidad de propagación a partir de cierta longitud de onda.

La incidencia de luz en agua, permite ver objetos sólidos “cortados” una vez ingresado en el medio acuoso, creando una ilusión para el espectador.

2.1.2.2.3 Dispersión

La luz que presenta cambios de velocidad con las distintas longitudes de onda del espectro, debido a la variación del índice de refracción, permitiendo una disminución para ondas de longitud larga (roja) y con ello una menor desviación respecto a las ondas de longitud corta (azul-violeta).

La luz incidente atraviesa un prisma, generando haces de colores que se desvían de su trayectoria original por efecto de las longitudes de onda de captación del material.

2.1.2.2.4 Absorción

La luz se transforma en otro tipo de energía, como calórica, química o eléctrica y ocurre principalmente cuando un rayo en un medio material como agua y aire, tienen pérdidas de energía por efecto de difusión y absorción.

El coeficiente de absorción relaciona las pérdidas de energía con el tipo de material, transparencia y opacidad, cambiando su magnitud para distintas longitudes de onda. A medida que incrementa la transparencia, la absorción disminuye, por lo tanto, no existen pérdidas significativas de energía. En algunos casos, los valores de materiales presentan magnitudes muy diferentes en relación al espectro visible, incidiendo en características físicas como tonalidad de color.

Los colores, son ejemplo de absorción, considerando al negro como un cuerpo que absorbe todas las longitudes de onda, mientras que el blanco, no realiza ninguna.

2.1.2.2.5 Interferencia y difracción

La interferencia ocurre cuando 2 fuentes luminosas, proyectan la luz en una pantalla, donde se irradian longitudes de onda similares y la relación de fases es constante, generando una suma de combinaciones de onda en fase, o bien, se encuentran desfasadas, y con ello, anularse entre sí, generando patrones de bandas luminosas y oscuras en la pantalla.

Las manchas de aceite flotan sobre el agua, formando un espectro de colores al entrar en contacto con la luz visible, debido a las distintas longitudes de onda de la luz en desfase.

Por otro lado, la difracción es el producto de una interferencia, producidas por ondas secundarias que generan el haz de luz al ser introducidos en una rendija, generando una curvatura de rayos luminosos, y con ello, la producción de circunferencias concéntricas y alternadas de luz y sombra, cuyos efectos son cuantificables a partir del uso de microscopios.

El contacto de luz solar con la atmósfera, permite concentrar los rayos y distribuirlos de manera homogénea por todo el planeta, ya que la capa actúa como un filtro (rendija).

2.1.2.2.6 Difusión

La luz incide sobre una superficie compuesta de diversos tipos de materiales cuyas características físicas, permiten la generación de distintos tipos de longitud de onda. Este fenómeno ocurre cuando el haz luminoso incidente presenta una longitud de onda mayor a la superficie que atraviesa, generando una distribución multidireccional a partir del punto de incidencia, obteniendo muchas reflexiones y refracciones en superficies no homogéneas.

La niebla se forma cuando gran parte de la luz pasa a través de un medio difusor, que dispersa parte de la masa, sin crear un cambio de tonalidad debido a la baja absorción.

2.1.2.2.7 Polarización

El haz luminoso se descompone principalmente mediante un campo eléctrico y otro magnético, perpendicular a su dirección de propagación. La luz emite ondas que se polarizan en distintas direcciones de manera aleatoria, transmitiendo una onda orientada bajo cierta dirección.

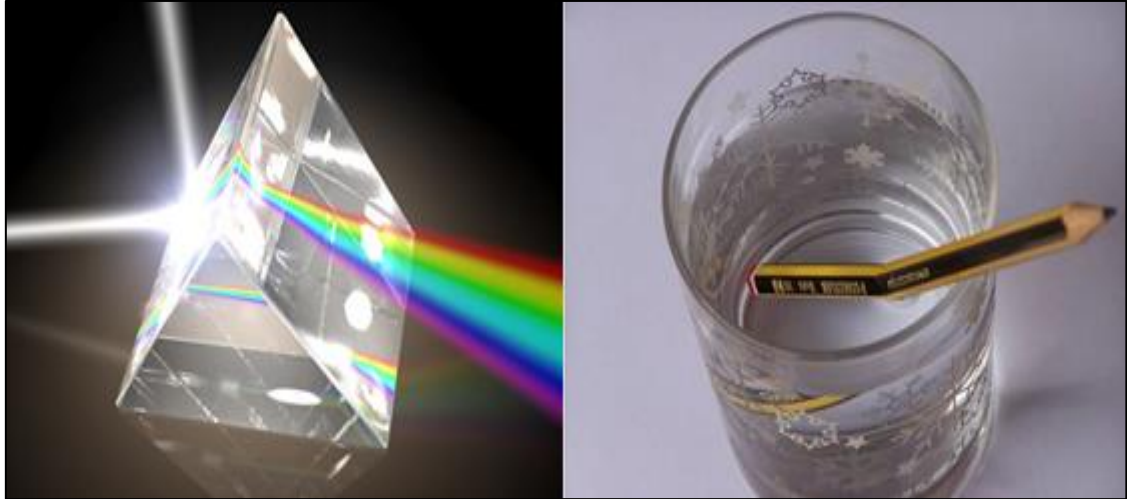


Figura 11: Dispersión (izquierda) y refracción (derecha) de la luz solar

2.2 Nociones principales sobre radiación

Las nociones básicas del estudio solar son importantes para entender el significado de los fenómenos que ocurren en el espacio, además de la incidencia que generan en la radiación terrestre y como afectan principalmente a la implementación de sistemas fotovoltaicos.

Los conceptos más importantes se establecen como:

2.2.1 Radiación Solar

Corresponde al total de emisiones lumínicas generadas por el sol en forma de energía que se descomponen a medida que se aproxima a la Tierra y cuya función principal es de preservar el equilibrio del ecosistema, aportando fundamentalmente en los ciclos biogeoquímicos o en reacciones químicas que afecten a los seres vivos.

El flujo de luz viaja a través del espacio y se segrega principalmente como radiación Ultravioleta (UV), infrarrojo (IR) y visible (VIS) hasta llegar a la atmósfera, donde parte de ella se refleja por acción de componentes químicos de la capa, mientras que el resto incide parcialmente hasta llegar a la parte superficial del planeta.

Dada las características físicas del sol, se asume un área y potencia constante, generando una radiación desde el Sol a la Tierra equivalente a $1367 \text{ [W/m}^2\text{]}$, sin embargo, en zonas más áridas, su valor aumenta, debido a la ausencia de nubes o partículas, mientras que zonas gélidas o nubladas, el este número decae, pues existe obstrucción para la luz que incide sobre alguna zona geográfica.



Figura 12: Composición de la Radiación Solar en la atmósfera terrestre

Según la dirección de flujo, la radiación solar se distingue como:

- Radiación Directa (Q)

Cantidad de energía que incide directamente en una superficie, sin cambiar la trayectoria lineal desde la emisión de la fuente solar. Para el caso de superficies inclinadas ésta recibe el nombre de radiación directa normal y su valor varía acorde al ángulo de inclinación.

- Radiación Difusa (q)

Cantidad de radiación que no proviene directamente del sol y que ha sufrido transformaciones energéticas por efecto de nubes, partículas, humedad o cualquier obstrucción, generando diferentes direcciones de incidencia sobre distintos tipos de superficies. Durante días claros, esta radiación es producida principalmente por dispersión y reflexión de moléculas de aire, afectando a longitudes de onda corta, mientras que en días nublados ésta se origina principalmente por la reflexión y dispersión de aerosoles y vapores de alta densidad afectando al conjunto radiaciones de espectro electromagnético visible.

- Radiación Global (G)

Cantidad de energía total que proviene de la radiación directa y difusa que permite optimizar su flujo a partir del valor obtenido por el ángulo de inclinación.

Esta radiación se mide a partir de un piranómetro o actinógrafo, permitiendo obtener datos globales para zonas específicas.

2.2.2 Irradiancia Solar (I)

Representa la cantidad de potencia total de toda la radiación electromagnética del sol, que incide en la superficie y que se expresa en unidades de $[W/m^2]$. Este valor se obtiene a partir de métodos gráficos o tablas y suele utilizarse para estimar la constante solar.

2.2.3 Irradiación Solar (E)

Representa la densidad de energía incidente del sol que llega a la superficie y se expresa en unidades de $[Wh/m^2]$. Este valor se obtiene a partir de métodos gráficos o tablas además de softwares modernos, que permiten el registro de radiación en mapas solares, con el fin de analizar el comportamiento de una región específica.

2.2.4 Insolación (L)

Representa la cantidad de energía incidente forma de radiación directa y difusa (en $[kWh]$) para una localización puntual (ejemplo, alguna coordenada mediante latitud y longitud para medición diurna o anual) considerando $1[m^2]$ de base, para cierto ángulo de inclinación entre el captador solar y la horizontal.

Es importante no confundir este concepto con irradiación solar, cuyos valores se también se obtienen mediante el promedio de mediciones históricas, sin embargo, la insolación es puntual, mientras que la radiación afecta principalmente a una región.

2.2.5 Hora Solar pico (HPS)

Representa la cantidad de horas efectivas entre el amanecer y atardecer donde el sol irradia una potencia equivalente a $1000[W/m^2]$, siendo fuente principal de diseño para captadores solares.

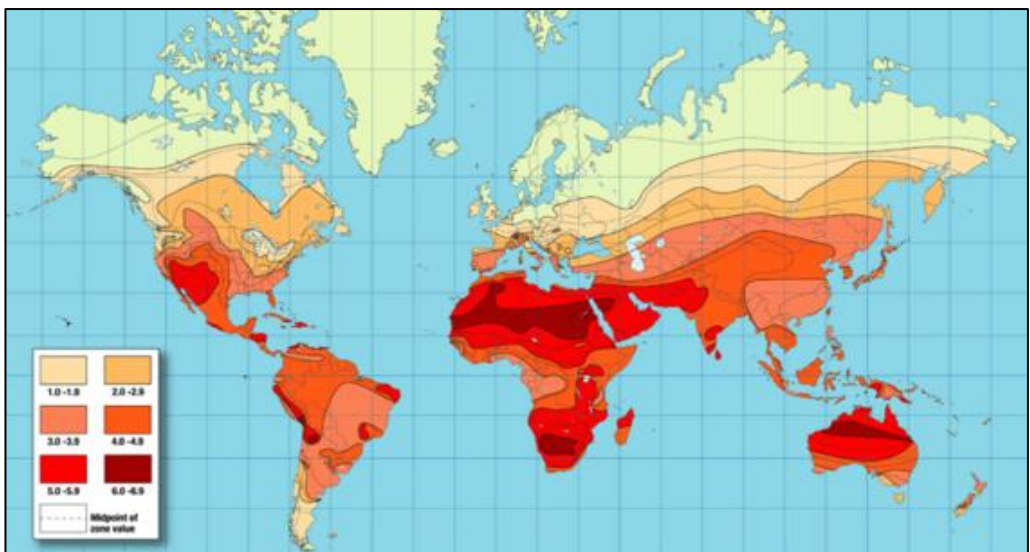


Figura 13: Radiación solar en el mundo durante año 2010 (Fuente: Florida Solar Energy Centre)

2.2.6 Ángulos de medición solar

Corresponde a los ángulos espaciales más importante para la determinación de parámetros solares como: Radiación global y Hora Pico Solar (HPS). Sus valores cambian acorde a la ubicación y estación del año.

Los ángulos más importantes corresponden a:

2.2.6.1 Latitud (ϕ)

Representa el arco del Meridiano contado desde el Ecuador hasta el paralelo del punto de interés, cuyo valor fluctúa entre 0° y 90° considerado como positivo para el Hemisferio Norte (+), mientras que es negativo para el Hemisferio Sur (-).

2.2.6.2 Longitud (λ)

Corresponde al arco del Ecuador contado desde el Meridiano de Greenwich hasta el meridiano del sitio de interés, cuyo valor fluctúa entre 0° y 180° .

Los puntos sesgados a la izquierda del Meridiano de Greenwich dirección Norte son de tipo “Oeste” (-), mientras que, en caso contrario, representa el “Este” (+). En el caso de ubicarse en el mismo meridiano, éste posee la misma longitud de arco.

2.2.6.3 Ángulo de inclinación (α)

Ángulo de formación que existe entre la horizontal y la superficie colectora del panel solar cuyo valor fluctúa entre 0° y 90° . Cada grado de inclinación genera una radiación global diferente, por consiguiente, los captadores solares se disponen de tal manera de maximizar el flujo de energía.

2.2.6.4 Ángulo de declinación solar (δ)

Ángulo que existe entre el plano ecuatorial de la Tierra con la línea situada en el plano elíptico formado por la unión del centro entre el Sol y la Tierra. El valor de éste parámetro cambia durante todo el año alcanzando un valor de $+23,5[^\circ]$ cuando se presenta el solsticio de invierno (20-21 de Junio), mientras que se obtiene un ángulo equivalente a $-23,5[^\circ]$ en el caso de invierno (21-22 de Diciembre). Finalmente, el valor es de $0[^\circ]$ para equinoccios de otoño (20-21 de Marzo) y primavera (21-22 de Septiembre).

2.2.6.5 Ángulo azimut (Ψ)

Representa el rumbo o dirección, correspondiente al ángulo horizontal de un cuerpo que se desplaza a partir de un meridiano de referencia (usualmente en dirección Norte) y cuyo valor fluctúa entre $0[^\circ]$ a $360[^\circ]$. En el caso de captadores perfectamente orientados hacia el Norte, el valor del azimut equivale a $0[^\circ]$, optimizando la radiación captada.

2.2.6.6 Altitud Solar (γ_s)

Ángulo de elevación solar que mide la altura del astro respecto a un plano horizontal. Éste se forma a partir de la unión entre la línea que conecta el sol con el espectador y aquella que une la proyección de la trayectoria solar y dicho punto de observación.

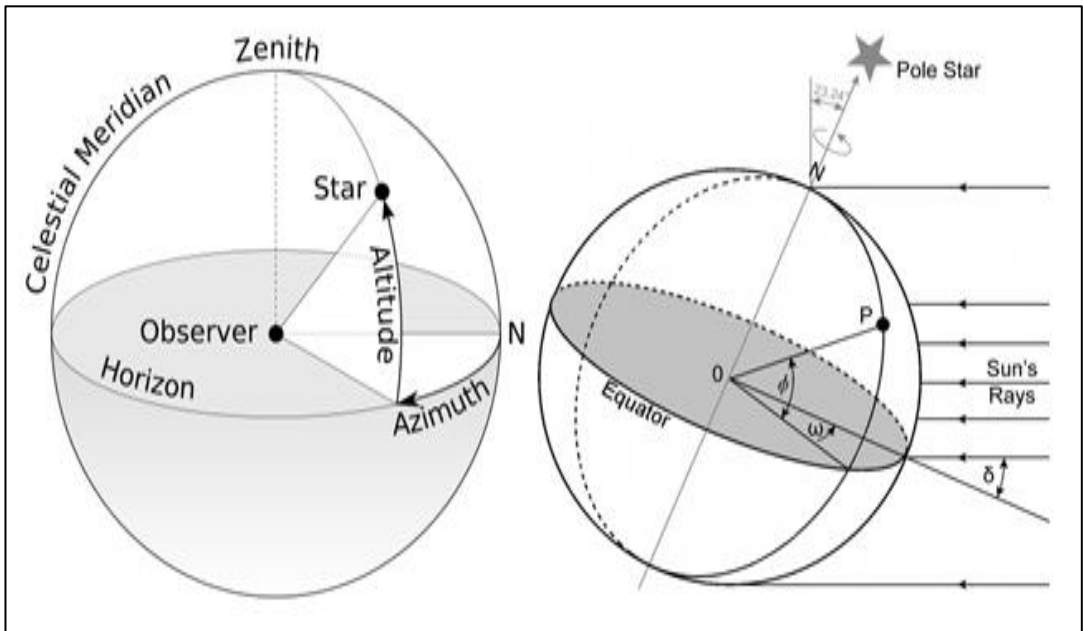


Figura 14: Representación del ángulo azimut, altura solar (izquierda) y ángulo declinación (derecha)

2.3 Medición de la actividad solar

Las actividades solares se refieren principalmente a radiación incidente que llegan a la superficie de manera directa, difusa, reflejada, etc. una vez que atraviesan la atmósfera y por consiguiente, se consideran como cuantificables, ya que pueden ser medidas a partir de equipos modernos que permiten registrar la información y con ello mantener datos confiables dentro las mediciones realizadas.

Los equipos más importantes en la medición de actividad solar corresponden a:

2.3.1 Piranómetro

Equipo de medición solar que permite el registro de radiación global incidente en una superficie. El aparato se compone principalmente de cúpulas que permiten un filtro de la radiación infrarroja y onda corta, además de macropartículas emanadas desde la fuente solar, evitando contacto con el objeto receptor y con ello, una lectura defectuosa que afecte al equipo. El objeto se compone de una termopila con una unión caliente de alta absortividad para reducir la cantidad luz residual en él. Adicionalmente consta de un elemento cilíndrico blindado por un disco de guarda con el fin de reducir el flujo de radiación, además de alojar el circuito que permite actuar como atractor de calor para la unión fría de la termopila. Finalmente posee un desecante que evita la condensación interior y mejora la nivelación de burbujas.

El funcionamiento se realiza por detección termoeléctrica donde la superficie principal actúa como una “cuerpo negro” y, por lo tanto, absorbe la radiación para ondas de longitud específica donde una vez obtenida la temperatura incrementada, se procede a medir en termopares conectadas en serie o paralelo para la termocúpula que se detecta mediante un sensor y se genera un voltaje que es proporcional a la radiación solar incidente y se procede a medir.



Figura 15: Piranómetro de medición solar portátil modelo LP02

2.3.2 Heliógrafo

Equipo de medición solar que registra la intensidad lumínica a partir de una serie de transcripciones mediante intervalos de tiempos periódicos hasta alcanzar una intensidad suficiente para generar distintas sombras, de tal manera de obtener el número de horas de sol efectivos durante el día. El instrumento consta de una esfera de cristal que converge en distintas direcciones, un foco sobre la banda de registro de cartulina que se dispone curvada concéntricamente con la esfera adherida al soporte de tal manera que la luz se concentra en el lente y quema la cartulina tal que esta se marca por exceso de calor, formando una hendidura que indica el amanecer y atardecer, mientras que se interrumpe al existir nubosidad.

Adicionalmente, existen dos tipos de heliómetros correspondiente a: anteojo cromático, utilizado para la medición de distancia entre estrellas y Campbell-Stokes, cuyo fin es medir el tiempo de insolación, tomando los mismos principios de convergencia que un heliómetro corriente, sin embargo, al concentrarse la luz, se quema la cartulina registradora, indicando directamente la cantidad de horas de día de sol.



Figura 16: Heliómetro de medición solar “Campbell Stokes”

2.3.3 Bolómetro

Equipo utilizado principalmente en la determinación de radiaciones electromagnéticas para todo tipo de longitud de onda, mediante un detector que genera aumentos súbitos de temperatura, produciendo cambios en la resistencia del circuito, por consiguiente, el sensor registra todo tipo de radiaciones. Se compone principalmente de dos cámaras, equipadas con bandas de platino que forman un puente de Wheatstone, con el fin de generar un circuito que permita la obtención de una resistencia que se conecta en conjunto con la batería y galvanómetro. Estas bandas se disponen de tal manera de que una de ellas queda directamente expuesta a la radiación, mientras que la otra, permanece inactiva, por consiguiente, se incrementa la temperatura de la primera banda (expuesta), obteniendo un cambio en su resistencia y con ello se determina la radiación mediante un sensor de temperatura.



Figura 17: Bolómetro para medición de radiación térmica

2.3.4 Actinógrafo

Equipo que registra la radiación global a partir de la conversión termomecánica, cuya protección se realiza mediante una cúpula aislante (vidrio por lo general). Se compone principalmente por dos superficies bimetálicas donde una de ellas actúa como un “cuerpo negro” para ondas electromagnéticas, mientras que la otra como un reflector, y con ello, crea un incremento de temperatura que forma una curvatura en la placa negra, transmitiendo información del suceso a un tambor, mediante un reloj para la descripción de valores de radiación global.

Es importante señalar que estos instrumentos siempre utilizan superficies bimetálicas para incrementar la temperatura, en comparación al piranómetro que utiliza una termopila, generando una calibración de que fluctúa entre un 8-10%.

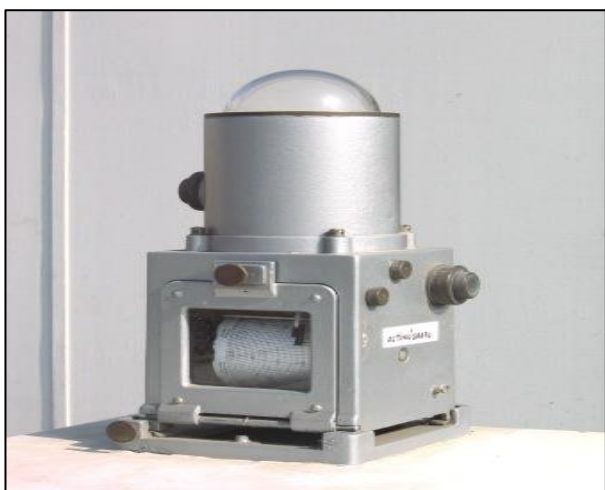


Figura 18: Actinógrafo para medición de radiación solar

2.4 Usos de la energía solar

La energía lumínica posee múltiples usos, asociados al tipo de actividad que se requiera, clasificándose principalmente como activo o pasivo.

Un sistema pasivo es aquel en que la energía solar se almacena de forma natural, sin la utilización de elementos mecánicos de forzado, por consiguiente, la circulación de flujo luminoso es aleatoria, tomando una cantidad de energía limitada para diversos presentes en la naturaleza. Se compone principalmente por el efecto acristalamiento, que retiene el calor mediante un efecto invernadero y una masa térmica para almacenar energía.

El objetivo principal, corresponde a la preservación y subsistencia del medioambiente ayudando principalmente en reacciones de síntesis o descomposición de elementos químicos de tal manera de obtener una transformación de sustancias para beneficio de un ecosistema o la generación de nutrientes.

Otro ejemplo, es la arquitectura bioclimática cuyo fin, es aprovechar al máximo, las condiciones climáticas presentes en la zona, debido al diseño sustentable en instalaciones y revestimientos, permitiendo una reducción sustancial de la huella del carbono, así como, la obtención de calefacción y refrigeración dentro del inmueble.

Un sistema activo es aquel que utiliza un dispositivo denominado como “colector” para captar la energía solar, generando una conversión de energía lumínica en eléctrica de tal forma de maximizar la radiación presente en el lugar, a partir del efecto fotovoltaico. Adicionalmente, estos sistemas pueden integrarse en la transmisión de fluidos, de tal manera de generar una conversión tipo térmica (baja, media o alta temperatura) para la obtención de energía eléctrica.

El objetivo central es permitir una importante reducción de electricidad, mediante la implementación de un sistema colector que reemplace las funciones de la red. Existen múltiples ejemplos respecto a su aplicación, considerando las necesidades cotidianas como: uso de energía en recintos deportivos, hogares, edificios administrativos, aeropuertos, redes satelitales, comunidades aisladas, etc.

2.5 Cálculos asociados al estudio energético solar

2.5.1. Número de horas luz disponible

Chile continental se encuentra ubicado dentro del Huso 19, por consiguiente, se establecen horarios de Invierno (GMT-4) y Verano (GMT-3) con el fin de racionalizar la energía para los meses del año, por lo tanto, es importante determinar la cantidad de luz efectiva por el cual funcionan los equipos del sistema fotovoltaicos y principales consecuencias existentes al operar en un horario y otro.

Acorde a los datos obtenidos por el IGM (Instituto Geográfico Militar), se establecen los valores para la salida, cenit y puesta del sol para el horario de invierno cuyo comienzo corresponde al 14 de Mayo hasta 13 de Agosto, además del horario de verano comprendido desde el 13 de Agosto hasta 14 de Mayo.

El valor de los parámetros principales asociados al movimiento del sol, se resume en la tabla N°7.

Tabla 7: Horas asociados al movimiento del sol para la localización geográfica (Fuente: IGM)

Item/Horario	Verano (GMT-3)		Invierno (GMT-4)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Salida del sol	6:31:26	8:30:20	7:26:38	7:50:57
Cenit del sol	13:30:46	14:01:35	12:43:40	12:53:37
Puesta del sol	18:56:49	20:59:51	17:47:01	18:17:35
Horas de luz	10:26:18	14:20:06	9:57:54	10:50:57

De la información obtenida, se desprende que el horario de amanecer es amplio para el verano y estrecho en el caso de invierno, sin embargo, las actividades del gimnasio siempre comienzan a las 8:00, por consiguiente, no hay compensación por efecto de energía.

En el caso del cenit, es importante señalar que, es más relevante considerar el caso de verano, ya que el sol encuentra su máximo punto hasta las 2, sin embargo, para meses entre Enero a Mayo, el sol ilumina en su totalidad ambos tejados, por consiguiente, durante invierno, no existen inconvenientes respecto a la proyección de los rayos solares, estableciendo como punto de inflexión, un tiempo equivalente a 13:30 [h].

Además, en el caso de anochecer, el mínimo corresponde a 17:47:01, sin embargo, para efectos prácticos de análisis, se considera las 17:30 como tiempo más cercano, lo que es importante compensar energía en caso de ser necesario.

Por lo tanto, para diseño crítico de sistemas fotovoltaicos, se establece un periodo diurno comprendido entre las 8:00-21:00, considerando un total aproximado de 13[h] de luz y un cenit solar a las 13:30 [h], en caso de compensar energía.

Finalmente, en el caso de un diseño sin sobresaltos, se establece horario entre las 8:00-19:00, manteniendo el cenit constante, lo que admite un total de 11[h] (se garantiza la energía de compensación o requerimiento para el sistema en comparación con el caso anterior).

2.5.2. Ángulo de declinación solar (δ)

Representa el ángulo formado entre el eje solar y el disco elíptico de la Tierra para la latitud señalada del lugar y depende principalmente del día del año al que se trabaje. No existe algún tipo de excepción para el trabajo, por consiguiente, se establecen los valores para todo el año, sin embargo, los resultados se expresan acorde al día típico Juliano, que presume que las magnitudes se encuentran relativamente cercano al promedio del mes (no necesariamente el día intermedio).

El cálculo de declinación solar para cada día del año (en $^{\circ}$), se presenta en la ecuación N°3.

$$\delta = 23,45 * \text{sen} \left(360 * \frac{284 + d_n}{365} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

δ : Declinación solar $^{\circ}$

d_n : Día Juliano del año [día] (1 hasta 365)

El ángulo de declinación obtenido para cada mes, se resume en la tabla N°8.

Tabla 8: Ángulo de declinación solar para día Juliano típico de cada mes (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Día típico Juliano [día]	Ángulo declinación [°]
Enero	15	-21,3
Febrero	47	-13,34
Marzo	75	-2,49
Abril	105	9,34
Mayo	135	18,74
Junio	162	23,07
Julio	198	21,23
Agosto	228	13,54
Septiembre	258	2,33
Octubre	288	-9,49
Noviembre	318	-18,84
Diciembre	344	-23,03

Los valores fluctúan principalmente entre -23,45[°] para los meses de Enero y Diciembre, mientras que alcanza un máximo de 23,45[°] para días 21 y 22 de Junio, coincidiendo con el solsticio de Invierno.

2.5.3 Ángulo óptimo de inclinación (β)

Éste parámetro indica el ángulo en que debe estar localizado el colector de tal manera de retener la mayor cantidad de energía posible, considerando una orientación Norte para el Hemisferio Sur.

Existen múltiples criterios para la determinación del ángulo óptimo, sin embargo, para zonas más cálidas se recomiendan valores que fluctúen entre 30-45[°], mientras que para más gélidas (nevazones), sea cercano a 90[°].

El cálculo de ángulo óptimo para cada mes del año (en [°]), se presenta en la ecuación N°4.

$$\beta = \delta + \phi \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

δ : Declinación solar [°]

ϕ : Latitud del sitio [°]

El ángulo óptimo de inclinación para cada mes se resume en la tabla N° 9.

Tabla 9: Ángulo óptimo de inclinación obtenido para meses del año (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Ángulo óptimo de inclinación [°]
Enero	12
Febrero	20
Marzo	31
Abril	42
Mayo	52
Junio	56
Julio	54
Agosto	47
Septiembre	35
Octubre	24
Noviembre	14
Diciembre	10
Anual	33,08

Se presentan ángulos de mayor magnitud para meses más calurosos, indicando que la captación de energía solar requiere de menores inclinaciones, por efecto de reflexión.

2.5.4 Radiación Global Diaria (G_{DIARIA})

Representa la cantidad total de radiación directa y difusa en una superficie, por lo que para estimar la magnitud, es importante considerar el valor experimental de radiación global horizontal diaria ($G_{DIARIA\ HORIZONTAL}$) (Ver Anexo B) y el ángulo óptimo calculado previamente.

La radiación global diaria para cada mes del año (en [kWh/m²]), se obtiene a partir de la ecuación N°5.

$$G_{DIARIA} = \frac{G_{DIARIA\ HORIZONTAL}}{1 - 4,46 * 10^{-4} * \beta - 1,19 * 10^{-4} * \beta^2} \quad (Ec. 5)$$

Dónde:

$G_{DIARIA\ HORIZONTAL}$: Radiación global horizontal $\left[\frac{kWh}{m^2}\right] d$

β : Ángulo de inclinación óptima [°]

La radiación global diaria para cada mes se resume en la tabla N° 10.

Tabla 10: Radiación global diaria para cada mes del año (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Radiación global diaria [kWh/m²]d
Enero	8,02
Febrero	7,09
Marzo	6,34
Abril	5,51
Mayo	4,43
Junio	4,09
Julio	4,34
Agosto	5,03
Septiembre	5,97
Octubre	6,91
Noviembre	7,73
Diciembre	8,21
Anual	6,14

La radiación presente en el sitio indica que la cantidad de energía incidente es mayor para meses de primavera y verano, debido a las altas temperaturas presentes para la zona, obteniendo una mejor captación de luz solar debido a nubosidades relativamente bajas o ausentes, mientras que, en meses de invierno se aprecia valores más pequeños, debido a la alta humedad presente del ambiente, por efectos de lluvias, además de altas nubosidades cuyos valores rondan las 0,4 unidades. Finalmente, la radiación mínima obtenida es de 4,09[kWh/m²]d para el mes de Junio, lo que indica eventualmente, que las bajas temperaturas rondan dicho mes.

2.5.5 Factor de irradiación (F.I.)

Representa la cantidad de energía que efectivamente incide en la superficie captadora considerando factores ambientales asociados a construcción, humedad y temperatura, vientos, inclinación, etc. Este valor representa un ajuste de radiación global simulando un caso real en relación al comportamiento del sistema fotovoltaico.

El cálculo del factor de irradiación para cada mes del año (en [kWh/m²]), se obtiene a partir de la ecuación N°6.

$$F.I. = 1 - (1,2 * 10^{-4} * (\alpha - \beta)^2 + 3,5 * 10^{-5} * \bar{\Psi}^2) \qquad (Ec. 6)$$

Dónde:

- α : Inclinación de la superficie respecto a la horizontal [°]
- β : Ángulo óptimo del panel solar [°]
- Ψ : Ángulo azimut ponderado para la orientación del sitio [°]

Es importante considerar que la inclinación del techo es de 9[°], lo que reduce drásticamente la captación de energía solar debido a que se aleja del valor óptimo, sin embargo, dado que el modelo asume el panel es paralelo a la superficie de incidencia, es posible la simulación de un colector con ángulo equivalente a 45[°], respecto a la horizontal.

Por otro lado, el ángulo azimut mide la proyección del sol en el plano elíptico a partir de la dirección Norte, por lo que presenta una variación continua a lo largo del día. Es importante señalar que el criterio de uso del valor, corresponde a la orientación del panel respecto al Norte magnético, por consiguiente, existen 2 ángulos azimut para el caso debido a la proyección en cada tejado, obteniendo un valor equivalente de 290[°] y 110[°] para el tejado Este y Oeste respectivamente. Considerando el azimut más crítico, se obtiene una magnitud final de 290[°].

El factor de irradiación para cada mes se resume en la tabla N° 10.

Tabla 11: Factor de radiación para cada mes del año (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Factor de irradiación [-]
Enero	0,86
Febrero	0,92
Marzo	0,97
Abril	0,99
Mayo	0,99
Junio	0,98
Julio	0,98
Agosto	0,99
Septiembre	0,98
Octubre	0,94
Noviembre	0,88
Diciembre	0,85
Anual	0,94

El factor de irradiación señala que, para meses más calurosos, existe un ajuste menor, principalmente por efecto de reflexión en la superficie, puesto que ésta, no apunta hacia el Norte, además de segregarse en 2 direcciones opuestas, mientras que en meses más fríos como Junio, Julio o Agosto, el flujo solar incide en los paneles de manera directa y difusa, por lo tanto, las pérdidas son menores.

2.5.6 Radiación global diaria corregida_($G_{GLOBALCORREGIDA}$)

Este valor indica la radiación efectiva que existe en dentro de la zona para todo el año, por consiguiente, corresponde a un concepto real ya que considera todos los factores climáticos incidentes para las coordenadas seleccionadas.

El cálculo de la radiación global corregida para cada mes del año (en [kWh/m²]), se obtiene a partir de la ecuación N°7.

$$G_{GLOBALCORREGIDA} = F.I * G_{DIARIA} \qquad (Ec. 7)$$

Dónde:

F. I: Factor de irradiación [-]
 G_D : Radiación global diaria (kWh/m²)d

La radiación global corregida para cada mes se resume en la tabla N° 12.

Tabla 12: Radiación global efectiva diaria para cada mes del año (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Radiación global diaria corregida [kWh/m2]d
Enero	6,9
Febrero	6,52
Marzo	6,15
Abril	5,45
Mayo	4,39
Junio	4,01
Julio	4,25
Agosto	4,98
Septiembre	5,85
Octubre	6,5
Noviembre	6,8
Diciembre	6,98
Anual	5,73

La radiación diaria global corregida cumple con el comportamiento típico que existe en la zona, conservando las altas radiaciones para meses de verano, mientras que, en invierno, se reduce drásticamente influyendo en el flujo de captación de colectores.

El valor más pequeño corresponde a junio, obteniendo una magnitud de 4,01[kWh/m²]d, siendo el caso más crítico en lo que respecta a la utilización de luz solar para iluminación eléctrica, ya que la climatología puede aumentar el tiempo de almacenamiento, considerando la inestabilidad meteorológica.

Además, se establece un valor máximo de 6,98[kWh/m²]d, cuyo contraste con respecto a zonas de regiones como Antofagasta (máximo sobre 8,0[kWh/m²]d), establece que, durante verano, la radiación en Viña del Mar genere daños físicos menores en comparación al Norte, ya que, los índices UV del sector no superan el estado “crítico” establecido por los solmáforos.

2.5.7 Hora Pico Solar (HPS)

Indica la cantidad de horas efectivas en que el sol irradia con una potencia de 1000[W/m²], representando un factor importante para la determinación de captadores y baterías solares por efecto de acumulación de energía.

El cálculo de la Hora Pico Solar para cada mes del año (en [h]), se obtiene a partir de la ecuación N°8.

$$HPS = \frac{G_{GLOBALDIARIA}}{K} \quad (Ec. 8)$$

Dónde:

$G_{GLOBALDIARIA}$: Radiación global diaria (kWh/m²)d

K: Constante equivalente a 1 [kW/m²]

La Hora Pico Solar (HPS) para cada mes se resume en la tabla N° 13.

Tabla 13: Hora Pico Solar diaria para cada mes del año (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Hora Pico Solar (h)
Enero	6,9
Febrero	6,52
Marzo	6,15
Abril	5,45
Mayo	4,39
Junio	4,01
Julio	4,25
Agosto	4,98
Septiembre	5,85
Octubre	6,5
Noviembre	6,8
Diciembre	6,98
Anual	5,73

Junio corresponde al mes de menor HPS cuyo valor es de 4,01[h], indicando que la mínima captación de energía se realiza durante este periodo, lo que es importante considerar como factor de diseño para el sistema fotovoltaico.

Por otro lado, Enero corresponde al mes de mayor HPS cuyo valor es de 6,9[h], indicando que la máxima captación de energía se realiza durante este periodo, mostrando consistencia del modelo ya que las horas son proporcionales a la radiación, indicando que, para meses más fríos, existe una menor radiación incidente y viceversa.

Finalmente, el valor para diseño crítico (proceso es dependiente de muchos factores o bien posee partes irreversibles) es de 4,01[h], mientras que para un caso sin sobresaltos es de 6,9[h] (proceso se puede reciclar, no depende de muchos factores, etc.).

CAPÍTULO 3: “ESTUDIO TÉCNICO”

3.1 Energías Renovables No Convencionales (ERNC)

3.1.1 Descripción y tipos de energía

Energías que nacen directamente desde fuentes naturales tal como el sol, viento, mareas, tierra, etc. y que pueden usarse de manera natural o para fines cotidianos, caracterizándose principalmente por el bajo impacto ambiental que producen ya que no generan ruidos, no contaminan significativamente el medio ambiente, por lo tanto, se reducen externalidades negativas como: calentamiento global, efecto invernadero, cambio climático, etc. ya que contribuyen a la generación de un ecosistema más sustentable.

Estas energías se dividen como:

3.1.1.1 Solar

Corresponde principalmente a toda la energía (radiación disponible) del sol que llega a la superficie de la Tierra y se determina como irradiancia, de la cual su valor depende principalmente de la hora local, inclinación de la superficie y nubosidad presente. Esta energía puede utilizarse para la generación de vapor o electricidad, a partir de una serie de equipos que permitan la captación de luz y posterior transformación en energía eléctrica.

Los equipos principales corresponden a:

- Colectores solares: Utilizan la radiación solar de manera directa con el fin de obtener agua caliente para usos sanitarios y aplicaciones industriales.
- Concentrador solar de potencia: Captan la energía solar de tal manera de generar vapor caliente que permita el accionamiento de una turbina eléctrica.
- Paneles fotovoltaicos: Usan la radiación solar para transformarla en electricidad mediante la activación de células solares y con ello, utilizarla en aplicaciones domésticas o industriales.

La ventaja radica principalmente en su versatilidad en la Tierra, ya que todas las zonas geográficas reciben radiación, lo que representa un recurso inagotable para los seres humanos, obteniendo de manera sencilla, energía en forma de electricidad o calor.

La desventaja radica en no encontrarse disponible durante la noche, además de ocupar una gran superficie de captación, ya que se requieren de mucha energía para obtener una buena generación de electricidad, acorde a la demanda de la zona.

3.1.1.2 Eólica

Corresponde a una forma secundaria de energía solar y se caracteriza principalmente por la utilización de energía cinética del viento chocando constantemente contra las palas (o hélices) de un aerogenerador para la obtención de electricidad. La energía puede almacenarse en varios equipos de manera temporal, acorde a la necesidad de la localización y ser utilizados como suministro industrial o bien para aplicaciones granjeras.

La tecnología utilizada para la energía eólica corresponde a:

-On-Shore: Equipos que se encuentran emplazados en el suelo geográfico y alcanzan potencias de hasta 5[MW], obteniendo vientos inestables, pero instalaciones más accesibles.

-Off-Shore: Equipos que se encuentran emplazados en el mar y alcanzan potencias de hasta 11[MW], obteniendo vientos más estables en comparación al sistema On-Shore, pero instalaciones más costosas, debidos a las condiciones del terreno bajo el agua.

-Aplicaciones pequeñas: Equipos utilizados para aplicaciones de pequeña escala o doméstica, por ejemplo, para la generación de electricidad para una granja.

La ventaja radica en ser una fuente inagotable, ya que los vientos se producen por cambios de temperatura en la superficie que se da de manera natural en la Tierra, además ser multiescalable y compacto, ya que su implementación se puede realizar en todo tipo de terrenos geográficos.

La desventaja de estos sistemas es que son poco predecibles, ya que los vientos no siempre representan la misma magnitud ni dirección, por lo tanto, puede reducir su intensidad dentro de cualquier lapso de tiempo o generar un cambio de rumbo. Además, generan impacto en la visibilidad, ya que requieren de mucha altura para su funcionamiento.

3.1.1.3 Hidráulica

Corresponde a toda la energía cinética que se encuentra en el agua dulce, que puede estar contenida de manera horizontal o en caída libre y que se desarrolla principalmente por cauces naturales como ríos o lagos para la generación eléctrica. La energía, se obtiene a partir de la cinética del agua dentro de un embalse que pasa a través de un generador, permitiendo el accionamiento de una turbina, para la generación de electricidad.

La tecnología utilizada para la energía hidráulica corresponde a:

- Micro central: Centrales utilizadas para aplicaciones menores y que son fuentes de operación para proyectos autónomos, generando menos de 300[kW].
- Pequeña central de pasada: Centrales de pequeñas dimensiones que pueden operar dentro de un cauce de agua, obteniendo generaciones entre 2 y 20[MW].
- Central portátil: Equipos móviles, que pueden ser reinstalados fácilmente y generan entre 100 a 500[W].

La ventaja radica en que no utiliza grandes espacios para las instalaciones, debido a que trabaja en el cauce, además ser la tecnología más conocida, lo que permite ventajas operacionales.

La desventaja corresponde a los cambios estacionales, por consiguiente, se encuentra disponible para ciertos lugares, lo que se considera como recurso agotable. Adicionalmente puede encontrarse lejos de los puntos de consumo, lo que generan costos extras por su distribución.

3.1.1.4 Geotérmica

Corresponde a la energía en forma de calor que encuentran en el interior de la Tierra, como geiseres o volcanes y no depende de la actividad solar.

Se considera como gran escala por efecto de perforaciones y pequeña escala para aplicaciones cotidianas. El calor se obtiene mediante un pozo de producción que pasa a través de una turbina permitiendo la generación de electricidad para posteriormente ser transmitidas mediante torres de alta tensión con el fin de suministrar energía

La tecnología utilizada para la energía hidráulica corresponde a:

-Baja entalpía: Aplicaciones térmicas que utilizan fuentes de agua a bajas temperaturas o el calor del subsuelo que no supera los 100[°C].

-Media entalpía: Centrales de generación eléctrica que usan temperaturas entre 100 a 200 [°C] y vaporizan el fluido de trabajo.

-Alta entalpía: Centrales de generación eléctrica que utilizan temperaturas sobre 150[°C] para accionar turbinas y generar electricidad.

La ventaja radica en que no utiliza grandes espacios para las instalaciones, no depende de la meteorología, por lo tanto, radiaciones y vientos no representan incidencias. Además, se obtiene un buen factor de disponibilidad de planta.

La desventaja radica en los costos de inversión, lo que genera riesgos muy altos dentro para la economía de trabajo, además de emitir gases a la atmósfera.

3.1.1.5 Marina

Corresponde a la energía cinética, potencial o química del mar que se obtiene principalmente por efecto de mareas, salinidad, corrientes y gradiente.

La energía obtenida depende de la característica obtenida y puede variar acorde a la tecnología de implementación.

La tecnología utilizada para la energía hidráulica corresponde a:

-Undimotriz: Equipos que utilizan el movimiento de olas para línea costera o mar adentro, generando una alta divergencia tecnológica.

-Mareomotriz: Equipos que utilizan movimiento de mareas mediante embalses a partir de una potencia limitada, pero de mayor uso en el mar.

-Corrientes oceánicas: Equipos que utilizan el movimiento de corrientes oceánicas mediante la estabilización del movimiento del mar.

La ventaja radica en su alta versatilidad, ya que se encuentra en todo el planeta, por lo que representa un recurso inagotable y pueden utilizarse para múltiples usos y ser altamente escalables.

La desventaja corresponde a que compite con otros usos que se emplean en línea de costa y altamar, además de requerir de tecnología sofisticada y costosa.

3.1.1.6 Biomasa

Corresponde a toda la materia orgánica de origen animal o vegetal que se forma a partir de procesos de combustión o micro procesamiento para la obtención de electricidad.

La biomasa es versátil, por consiguiente, existen muchas maneras de obtener electricidad mediante inoculación de microorganismos, considerando un espacio eco-amigable, además de un impacto de huella de carbono neutro.

Las tecnologías de bioenergía más utilizadas para diversas aplicaciones corresponden a:

-Biodiesel: Producto sustituyente del diésel, producida por alcoholisis de grasas y aceite

-Bioetanol: Producido por la fermentación de azúcares constituida por remolacha y maíz

-Biogás: Combustión de metano por efectos de un proceso anaerobio

-Pellets: Compactación de biomasa con un bajo contenido de humedad

La ventaja radica en que no requiere de mucho espacio para la instalación y puede ser emplazada cerca de los centros de consumo

La desventaja corresponde a la alta cantidad de insumos que aseguren el abastecimiento y sustentabilidad para años prolongados, además de ser limitado, ya que no se encuentra presente dentro de todas las zonas del planeta.



Figura 19: Usos de ERNC dentro del mundo cotidiano

3.1.2 Situación actual en el país

Chile posee una geografía privilegiada, considerando que tiene un sistema de climas variables que permiten la implementación de diversas energías limpias, tal como, el uso solar para zonas nortinas (Norte grande y chico), alcanzando radiaciones sobre 8000[MJ/m²] para San Pedro de Atacama⁴, siendo ideales para la implementación de huertos solares, que pueden utilizarse para la generación de electricidad para esas zonas.

En el caso del viento, su intensidad se concentra en la parte litoral del sector territorial Chileno, alcanzando vientos de hasta 20[m/s], lo que puede utilizarse para pequeños sectores industriales y agrícolas mediante el uso de aerogeneradores. En el Sur, los vientos incrementan su intensidad, lo que lo convierten en un panorama ideal para la implementación de parques eólicos marinos, con el fin de complementar la matriz energética para el Sistema de Aysen y Magallanes.

La cantidad de energía geotérmica en Chile es alta, ya que cuenta con lugares óptimos para la realización de proyectos energéticos, sin embargo, su determinación para aplicaciones industriales se condiciona bajo razones turísticas. Adicionalmente cuenta con una amplia cadena volcánica que permite la generación de energía, sin embargo, las investigaciones siguen en curso con respecto al tema señalado.

Por otro lado, la generación de electricidad a partir de biomasa representa una buena alternativa de uso, ya que la concentración de orgánicos (alimentos) se realiza principalmente en el Sur de Chile, manteniendo buenas condiciones climáticas para la conservación de micro especies, considerando factores como: humedad, temperatura, pH, etc., y con ello, permitiendo un desarrollo óptimo de microorganismos que contribuyen en la transformación de biomasa en energía eléctrica.

Chile posee una fuente de Energías Renovables No Convencionales equivalente a 2267 [MW] (año 2015), liderada principalmente por eólica y solar, dada a las condiciones meteorológicas presentes en el país.

Los proyectos solares con resolución ambiental aprobada y en calificación, suman un total de 12.986 millones [US\$], mientras que las eólicas 7.774 millones [US\$], lo que se traduce como un incremento de más de 1000[MW] de ERNC para el año, del cual más de 800[MW] son de tipo Solar, aportando casi el 50% de la matriz de energías limpias,

⁴ Irradiancia Solar en territorios de la República de Chile (Año 2008)

acorde al reporte entregado por el Centro Nacional para la Innovación y Fomento de Energías Sustentables.

Actualmente, se publican nuevas resoluciones con calificación ambiental favorable dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en lo que respecta a proyectos de ERNC, destacando principalmente el proyecto “Planta Atacama II de Abengoa”, considerado uno de los más ambiciosos del país, estimando un año de termino inferior al 2020, cuya composición principal corresponde a 268,5[MW] solar fotovoltaico y 110[MW] de Concentración Solar de Potencia (CSP). Además, los proyectos en evaluación ascienden a 185[MW] para energía solar y 30[MW] para eólica.

La energía proveniente de centrales ERNC, acumulan más de 2771 [GWh] (9,42% respecto a la matriz nacional), para año 2015, doblando la inyección energética estipulada por la normativa dentro de la ley 20.257.

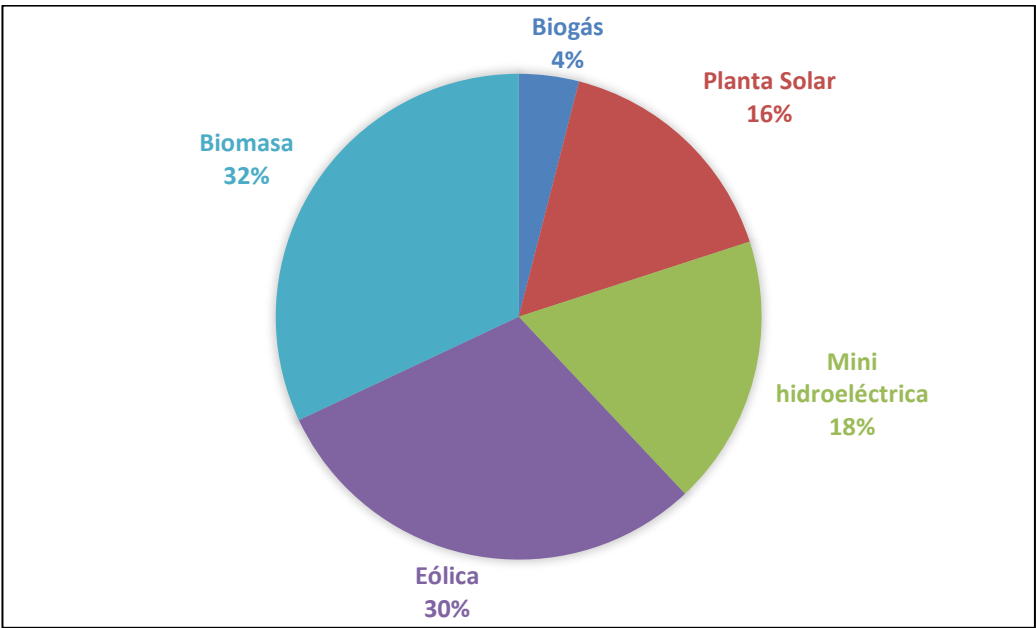


Figura 20: Contribución de energía total en [GWh], para el mes de mayo de 2015 (Fuente: IEA)

3.1.3 Eficiencia energética y proyecciones

Actualmente la Comunidad Internacional, busca equilibrar las mitigaciones de emisiones GEI con el fin de disminuir la magnitud del calentamiento global representa el problema mundial más importante con respecto al medioambiente, ya que genera un aumento generalizado de la temperatura del planeta, contribuyendo en problemas de sequías, incendios forestales, derretimiento de glaciares, además de destrucción de flora y fauna.

Según registros del IEA realizados en 2015, dentro del escenario “Business As Usual” (BAU) efectuados para el sector eléctrico, se espera un incremento global de temperatura cercana al 6[°C] para año 2050, produciendo graves consecuencias para el desarrollo económico y social, por lo tanto, se están estipulando las medidas necesarias para reducir las emisiones GEI, de tal manera, de acortar el incremento a 2[°C] y con ello, aumentar la participación de ERNC mediante la eficiencia energética.

El sector eléctrico en Chile es el de mayor impacto ambiental, dado el uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad, transporte y minería, doblando las emisiones desde 34 a 68 millones de toneladas, contribuyendo en un 75% del total de estas eminencias para el sector energético durante el año 2010, mientras que el subsector eleva su participación de estas 17 a 36% en igual periodo.

Por otro lado, el país posee una emisión per capita de 4,4[ton CO₂/pp] (el promedio mundial corresponde a 4,5[ton CO₂/pp]), sin embargo, se encuentra muy por debajo de países OCDE industrializados cuyo valor asciende a 9,9[ton CO₂/pp], por lo tanto, el país contribuye con un 0,25% de las emisiones globales. Adicionalmente, Chile es vulnerable a los efectos negativos para actividades pesqueras y forestales.

Por otro lado, el Gobierno, compromete la reducción de emisiones en CO₂ por unidad de PIB, en un 30% para el año 2030, apoyado fuertemente por el futuro crecimiento económico del país, con el fin de que obtener herramientas para enfrentar los problemas medioambientales a partir de un plan de acción de estrategia nacional de energía que cambie las políticas actuales, considerando 3 pilares fundamentales en relación a prioridades ciudadanas sobre la energía correspondiente a: inclusión y competitividad, confiabilidad y sostenibilidad.

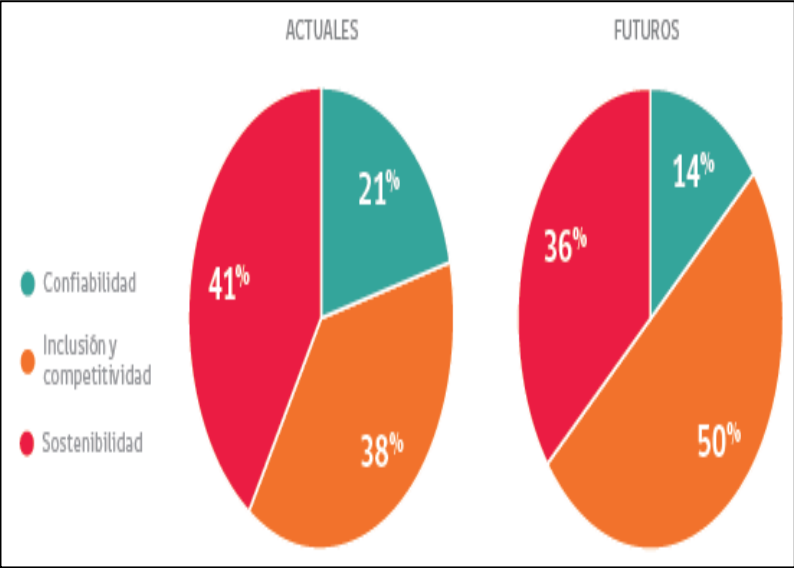


Figura 21: Principales preocupaciones ciudadanas la energía (Fuente IEA)

El país basa los 3 pilares, acorde a la visión política del WEC (World Energy Council) en relación a la energía sustentable, tomando en consideración los siguientes elementos: Seguridad energética, equidad energética y sustentabilidad ambiental.

El índice Trilemma ubica a Chile dentro del ranking general como 53 dentro de 129 países, considerando la seguridad energética como el punto más bajo (89).

Por consiguiente, para cumplir con estos factores, se proponen pilares que permiten crear objetivos para la definición de planes de acción y metas a largo plazo, considerando la seguridad y el suministro, la energía como motor de desarrollo, compatibilidad con el medio ambiente, además de eficiencia y educación energética.

Las metas propuestas por el plan estratégico para años 2035 corresponden a:

- Mejorar periódicamente la interconexión con los miembros de países SINEA y Mercosur
- Reducir la indisponibilidad de suministro eléctrica menor o igual a 4 horas
- Establecer 100% de suministro eléctrico para familias vulnerables
- Mejorar la asociatividad empresa/comunidad para mejorar el desempeño de proyectos
- Establecer precios de suministro eléctrico acorde a la realidad económica del país
- Aumentar el uso de energías renovables a un 60% para usos eléctricos
- Implementar sistema de eficiencia energética para industrias, transporte y minería
- Implementar sistema de regulación que declara biomasa forestal como combustible sólido
- Reducir en un 30% o más la intensidad de emisiones de GEI respecto a 2007
- Establecer criterios de eficiencia energética para todo el transporte

3.2 Conceptos básicos

- Rendimiento (n)

El rendimiento corresponde a la cantidad de energía obtenida en relación al total, debido a las diferentes pérdidas que se presentan durante el proceso, cuya aplicación se asocia a cualquier rubro de trabajo, independiente de su tipo transformación.

- Voltaje (V)

Magnitud física que establece la diferencia de tensión eléctrica (en voltios) entre dos puntos, cuya medición se realiza a partir de un voltímetro.

Acorde a la asignación, se divide como:

Tensión nominal: valor asignado a un sistema mediante testeo y que se especifica acorde a la fabricación como parámetro de operación.

Voltaje efectivo (o RMS): valor de la fuerza de disipación en un resistor y que se toma como referencia para equilibrar el efecto de corriente continua y alterna.

- Corriente eléctrica (I)

Cantidad de carga que fluye en un determinado tiempo dentro de un conductor eléctrico, cuya medición se realiza mediante un dispositivo denominado amperímetro.

Acorde a la polaridad, se divide como:

-Corriente continua (CC): Corriente que fluye en el mismo sentido de circulación a lo largo de un circuito eléctrico. Se obtiene a partir de pilas o acumuladores, tomando 2 barras (electrodos) de distinta composición química y una solución de agua y ácido sulfúrico (electrolito), creando una diferencia de potencial y con ello la generación de corriente continua.

-Corriente alterna (AC): Corriente que cambia de sentido de manera periódica a lo largo del circuito eléctrico. Se produce mediante el principio de inducción, donde los polos del imán, forman un campo electromagnético, y con ello, generan líneas de fuerza que van en sentido Norte a Sur. Al disponer los imanes junto al conductor, se cortan las líneas, creando una diferencia de potencial que, al ser conectados por los extremos del circuito, se obtiene corriente alterna.

- Cantidad de carga (q)

Número de electrones ($\bar{e}$) en defecto o exceso, cuya unidad mayor se expresa en Coulomb equivalente a $6,3 \cdot 10^{18} \bar{e}$.

- Potencia (P)

Velocidad con que se consume la energía, expresada en unidades de watt o Joule/segundo.

- Energía eléctrica (E)

Fuente de energía renovable originando mediante el movimiento de cargas (positrones y electrones) presente en los materiales semiconductores.

3.3 Sistema fotovoltaico

3.3.1 Descripción del sistema

Sistema conformado por equipos electro-mecánicos que permiten la captación directa de energía solar, de tal manera de generar electricidad para uso de diversos aparatos eléctricos como iluminarias, semáforos, antenas, equipos industriales, etc. y con ello, satisfacer la demanda de estos bienes y servicios.

El funcionamiento de estos sistemas se basa fundamentalmente en el principio de conservación de energía y carga a partir de una Fuerza Electromotriz que permite que la excitación de moléculas de luz (o fotones) dentro de las células solares del módulo fotovoltaico, generando la obtención de electricidad en continuo (DC).

Una vez obtenida la energía eléctrica, se estabilizan las cargas de voltaje y corriente, mediante un regulador, debido a las fluctuaciones sucesivas de amperes y voltios que se encuentran en circulación, alterando el funcionamiento normal del circuito en caso de incrementos bruscos, y con ello, aumentado el calor del sistema y, por ende, disminuyendo la vida útil de equipos y dispositivos. Este controlador regula la salida de energía para los acumuladores (o baterías) en régimen de corriente continua (DC) para la posterior necesidad respecto al consumo de aparatos eléctricos.

En el caso de equipos que requieran corriente alterna, se utiliza un inversor para generar la energía mediante el principio de oscilación sinusoidal y variación de frecuencias, permitiendo un cambio en la polaridad de éste y con ello el cumplimiento de la normativa Chilena respecto al uso de equipos que requieran este tipo de conexiones.

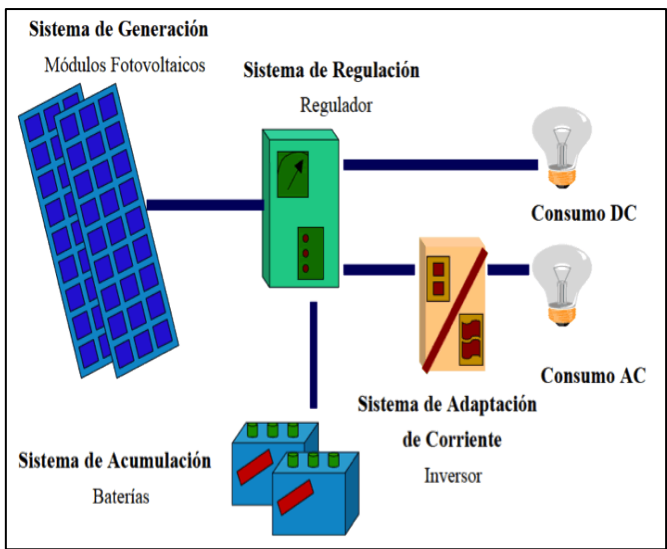


Figura 22: Sistema fotovoltaico autónomo para uso cotidiano

3.3.1.1 Módulo fotovoltaico

Dispositivos capaces de transformar energía lumínica del sol en eléctrica, mediante un sistema de captación conocido como células fotovoltaicas, que permiten la excitación de fotones para generar electrones.

El conjunto se conforma por un sistema de seguridad ambiental que permite proteger adecuadamente los paneles de problemas atmosféricos como humedad, corrosión, etc. además de una protección contra puntos calientes que se generan en la transformación de energía, evitando una propagación de incendio en caso de sobrecalentamiento de partículas.

Las células fotovoltaicas se componen principalmente por Silicio, correspondiente a un material semiconductor que permite el flujo de cargas libres, en consecuencia, la circulación de corriente.

Los átomos de Silicio, poseen un orbital incompleto con 4 electrones de valencia, generando una red cristalina en que estos 4 electrones se comparten mutuamente con elementos vecinos, formando enlaces covalentes que, a cierta temperatura y presión, son capaces de romperse y liberar energía de tal manera de generar electrones libres y en consecuencia, dirigiéndose al polo positivo. Una vez abandonada la red cristalina, se crea un hueco, generando una nueva carga con signo positivo, creando una juntura N-P.

La unión N-P ocurre cuando el material semiconductor se le introduce cargas tipo P por un lado, mientras que por otro, se inserta una carga tipo N. Los electrones de la región de N, más próximos a la zona P, se difunde, hasta crear el efecto de recombinación con los huecos adyacentes de la zona, creando iones positivos en la región N, mientras que cargas negativas se forman en la región P, lo que genera una interacción continua entre ellos. Este mecanismo permite crear una barrera potencial que repele las cargas en los huecos y con ello, la creación de un potencial eléctrico.

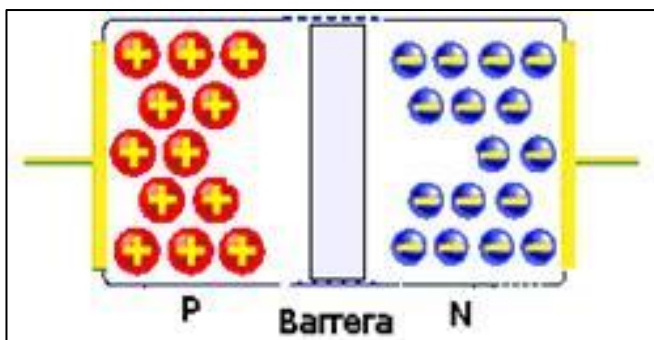


Figura 23: Juntura N-P creado dentro del panel fotovoltaico

a) Materialidad del panel

Los materiales de las celdas son importantes para la captación de energía solar, ya que cada estructura posee características que inciden en factores como: calidad de brillo, eficiencia de conversión, pérdidas asociadas al panel, etc.

Los materiales más importantes en las celdas corresponden a:

•Silicio monocristalino

Celda de alta pureza, que se caracteriza por poseer un único cristal en el proceso de manufactura, cuya apariencia es relativamente sencilla de reconocer, debido a su homogeneidad, coloración y brillo uniforme. Estas celdas se fabrican a partir de bloques cilíndricos que se recortan de manera sucesiva, de tal manera de remover impurezas y aumentar su eficiencia de captación. Estas celdas pasan a través de estrictos controles de calidad y su utilización es altamente recomendada para sistemas fotovoltaicos, debido a la alta eficiencia (18-20%), sin embargo, sus costos de mercado son más elevados en comparación a otras celdas, debido a la calidad de sus características.

•Silicio policristalino

Celdas que se originan a partir de silicio bruto fundido, y que se alojan en contenedores rectangulares, para posteriormente ser enfriadas a bajas temperaturas y luego cortarlas en láminas que originan cristales heterogéneos, lo que implica que su estructura cristalina no es completamente uniforme, generando una disparidad con respecto al brillo. Poseen una versatilidad menor en comparación al silicio monocristalino, una resistencia de temperatura más baja a factores medioambientales, una liberación de cargas libres más pequeña, además de una eficiencia menor (10-15%), sin embargo, sus costos de fabricación son menores, por consiguiente, es más económico que el silicio monocristalino.

- Capa delgada

Celdas de Silicio que se caracterizan principalmente por carecer de estructura definida, lo que le confiere flexibilidad al sistema, aumentando la posibilidad de atrapar las cargas libres, y con ello, reduciendo su eficiencia de conversión, por lo tanto, se requieren de múltiples láminas para compensar este problema. Adicionalmente consta de un depósito continuo sobre una base metálica laminar, con el fin de ser utilizarlos en superficies rugosas o en pequeños accesorios como mochilas, ropa o sombrillas.

- Silicio Amorfo

Proveniente de gas silano (SiH_4), esta estructura cristalina sin forma definida, se crea a partir de múltiples capas de delgadas sucesivas depositadas al vacío sobre materiales como cristales, metales, etc. generando una lámina continua.

Es importante señalar que no hay soldaduras para conexiones y su eficiencia es considerablemente menor a los otros cristales, además de poseer una potencia de al menos 50% menor que los casos mencionados, por consiguiente, no se recomienda una exposición prolongada a rayos solares, debido a su rápido proceso de degradación.

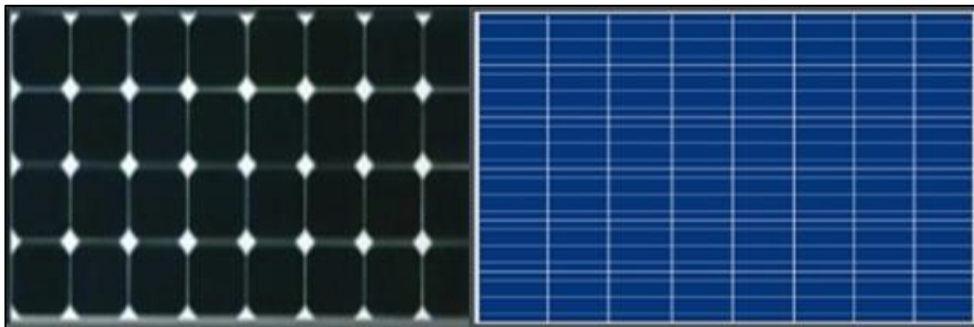


Figura 24: Panel monocristalino de 130[W] (izquierda) y policristalino de 255[W] (derecha)

b) Tipos de panel

El tipo de panel depende de la caracterización con respecto a la aplicación de uso y se compone principalmente por el tipo de estructura o soporte.

Clasificación por estructura:

•Fijo:

Panel con estructura fija que permite la captación eficiente de energía para una localización específica, siendo de utilidad para superficies lisas, mediante el uso de materiales de fundición del silicio.

•Flexible:

Constituido por celdas moldeables a partir de material CFI, que representa la mezcla de cobre, selenio, indio y galio comprimido, permitiendo la captación solar práctica para lugares con instalaciones irregulares como tejados o vehículos. Existen 3 tipos de placas solares flexibles correspondiente a plegable, enrollable y flexible, siendo de gran utilidad para zonas aisladas que cuentan con bajos suministros eléctricos.

Clasificación por soporte:

•Fijo:

Conformado por un soporte fijo que permite darle rigidez al panel fotovoltaico, permitiendo obtener un solo ángulo de inclinación para la captación solar, y con ello, siendo útil para zonas de alta radiación, sin embargo, para valores pequeños, existe la posibilidad de no aprovechar completamente la luz solar debido a la rigidez que proporciona la estructura.

•Seguimiento Solar:

Estructura que permite aumentar la producción de paneles solares por medio de mecanismos hidráulicos y eléctricos ya que permiten el seguimiento del sol. Se compone principalmente por una estructura metálica montada al panel fotovoltaico, constituida por un reductor de velocidad, junto a un motor de baja energía de tal manera de optimizar el sistema. Adicionalmente se encuentra formado por un circuito con transistores y elementos fotosensibles, incrementando rápidamente el rendimiento del módulo y con ello, ser empleado para zonas con radiaciones bajas y altas.

c) Parámetros físicos de diseño

•Inclinación y orientación del panel

La inclinación representa las características de emplazamiento del panel, indicando cuantos grados se encuentra “girado” respecto a un plano horizontal.

En algunos casos, este valor se encuentra confinado a lo que indique la superficie, como en el caso de los techos, ya que se adosan directamente, mientras que, en otros se instalan postes rectos para adosar el panel, permitiendo la elección del ángulo de inclinación. Finalmente, es importante tener precaución con las sombras que se generan alrededor, ya que reducen significativamente el rendimiento.

El criterio de valor óptimo de inclinación que debe tener el panel, de tal forma de maximizar la radiación solar, es variable, ya que no existe algún tipo de regla exacta. En algunos casos se utiliza la latitud de sitio, mientras que, en otros se suman o restan junto al ángulo de declinación acorde al invierno o verano solar.

Para ambientes más frío, el valor tiende a variar entre 30-45[°], mientras que, para climas con nieve, alcanza valores cercanos 90[°], ya que, en estos días se acumulan grandes capas de nieve que interfieren en el proceso de iluminación.

La orientación indica hacia donde debe “mirar” el panel, siendo el Norte el punto cardinal adecuado para el Hemisferio Sur debido al movimiento que realiza la Tierra en torno al Sol.

•Superficie de incidencia

Superficie mínima que deben tener el conjunto de paneles, con el fin de suministrar la cantidad adecuada de energía al sistema y con ello, mantener el funcionamiento periódico de cada equipo y/o iluminación como servicio.

El área de impacto es fundamental, ya que incide directamente en la energía demandada para el día y la noche, por consiguiente, se requiere utilizar la máxima radiación posible para la captación de luz.

La superficie de incidencia depende de los siguientes factores:

-Energía de consumo para el sistema

Cantidad de energía de alimentación que requieren los paneles para su funcionamiento, considerando un requerimiento mayor para meses más fríos, debido a la baja visibilidad producida por las condiciones ambientales.

-Hora Pico Solar

Cantidad de horas efectivas en que el sol irradia una potencia de $1000[\text{W}/\text{m}^2]$, valor que depende principalmente de la ubicación y estacionalidad del año.

-Radiación de la Hora Pico Solar

Radiación equivalente a $1000[\text{W}/\text{m}^2]$ por efecto de la Hora Pico Solar (HPS), utilizado principalmente en el testeado de potencia del panel.

-Rendimiento del panel

Captación máxima de energía solar que el panel es capaz de entregar al sistema fotovoltaico, a partir de la materialidad del semiconductor.

•Temperatura de trabajo

Indica la cantidad de temperatura máxima que el panel es capaz de soportar para todo el año, considerando los meses de verano como el caso más crítico, debido al ascenso en la temperatura, aumentando la actividad de las células solares para la generación de energía.

La magnitud depende de los siguientes factores:

-Temperatura máxima de verano

Indica la máxima cantidad de grados centígrados que existen para localizaciones durante verano, siendo 30[°C], el valor típico para zonas costeras y un máximo de hasta 35[°C] para zonas concentradas como Santiago.

-Constante asociada al enfriamiento del panel

Representa el grado de fluctuación que ejerce el viento sobre el panel solar, mediante un rango que varía entre 0,2-0,4[W/°C], considerando un valor mínimo para zonas donde existe una ausencia importante de vientos y un máximo para zonas ventosas, donde se generan brisas fuertes.

-Tipo de radiación

Indica la cantidad de radiación existente en la zona, mediante un escalamiento que varía entre 80-100[mW/°C], considerando un mínimo para zonas donde existe una ausencia una radiación y un máximo para zonas con radiaciones altas.

d) Parámetros eléctricos de diseño

•Voltaje nominal del panel

Cantidad de voltios que es posible suministrar al sistema a partir de las especificaciones dadas por el fabricante, mediante diseño técnico. Sus valores típicos corresponden a 12, 18 y 24[V], por lo que es importante considerar, que los aumentos de voltajes, exigen corrientes más bajas para los suministros.

•Potencia máxima (o peak)

Representa la potencia más alta con la que puede trabajar el panel, siendo además el valor típico de mercado que establece el fabricante en el diseño, a partir de condiciones

base de temperatura, radiación y espectro electromagnético, obteniendo un óptimo mediante la curva I-V.

La curva, indica el comportamiento de la corriente respecto al voltaje de aplicación, medidas de manera experimental para condiciones estándar de temperatura (25°C), radiación (1000W/m^2) y espectro (M1.5), variando la resistencia externa a partir de un punto cero hasta el infinito, caracterizándose principalmente por ser un método de ensayo, que implica una variación continua de la resistencia interna. El área máxima formada entre la corriente y voltaje de aplicación, representa la potencia pico.

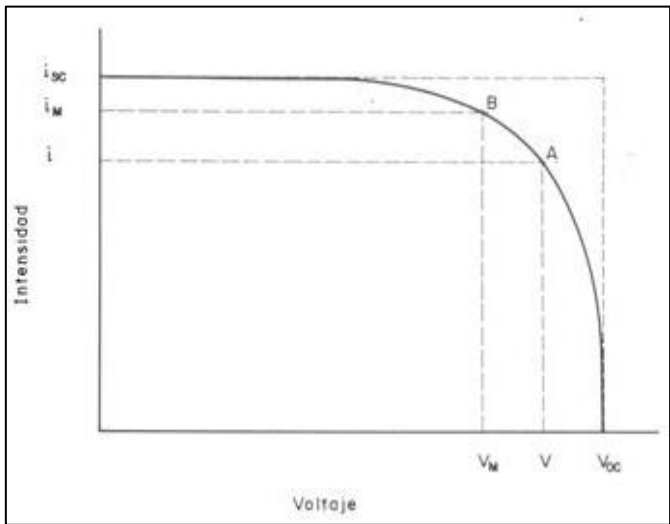


Figura 25: Curva de operación I-V para un panel fotovoltaico

La corriente de cortocircuito (I_{cc}) representa la intensidad cuando el voltaje es cero, mientras que el voltaje a circuito abierto (V_{oc}) indica cuantos voltios circulan a partir de una corriente igual a cero, siendo valores de partida para el ensayo.

Las características de la curva se componen como:

- Zona horizontal: La corriente permanece constante y el voltaje varía, causando diferencias de tensión que pueden incrementar la resistencia interna del panel, aumentando el riesgo de generar sobrecalentamiento del sistema.
- Zona de trabajo: corresponde a los puntos entre la zona lineal y caída de voltaje, que permiten encontrar la potencia máxima de trabajo, obtenida por el área bajo la curva.

-Zona de caída de voltaje: zona de alta inestabilidad que produce un descenso brusco del voltaje y reducción medida de la corriente. Esta zona es riesgosa, ya que cambios bruscos de voltaje generan cortocircuitos en el sistema.

3.3.1.2 Batería Solar

a) Descripción

Parte del sistema fotovoltaico cuya función principal corresponde al almacenamiento de electricidad generada por el módulo, además de actuar como fuente de suministro para equipos que requieran energía.

Las baterías solares se resumen principalmente en 2 fases: transformación de energía eléctrica a química (carga) y viceversa (descarga), mediante un flujo de electrones generada por reacciones químicas irreversibles en el interior de esta.

Se compone principalmente por 2 electrodos: un cátodo que actúa como aceptor de carga y un ánodo como dador de electrones. Además, estos electrodos se encuentran inmersos en una solución denominada como “electrolito” que actúa como impulsor de la reacción dentro del circuito, y con ello, permite la generación de carga eléctrica.

El sistema comienza cuando el ánodo genera la reacción de oxidación en la batería, produciendo la pérdida de electrones que son conducidos hacia el cátodo, que a su vez actúa como aceptor de carga, ocasionando un efecto de repulsión, y con ello, se genera la alimentación de corriente en el circuito entre ambos polos, debido a la concentración del electrolito, que actúa como ácido, sal o base, permitiendo la conducción de electricidad.

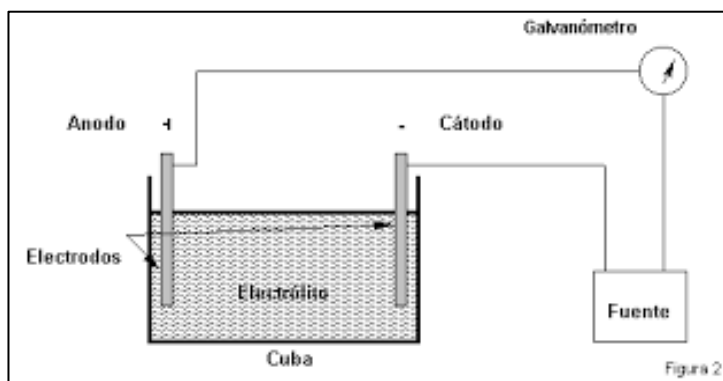


Figura 26: Funcionamiento básico de una batería de ciclo profundo

b) Parámetros físicos de diseño

•Electrolito de trabajo

Representa el tipo de solución en que se encuentran inmersos el ánodo y cátodo, cuyas características químicas inciden directamente en la carga y descarga de la batería, lo que es fundamental para la comprensión respecto al tipo de solución a utilizar, ya que la composición incide en el funcionamiento de la batería y, por ende, en la vida útil.

Los electrolitos de trabajo corresponden a:

-Tipo Plomo-Ácido (Pb-Ácido)

Son las más utilizadas para los módulos fotovoltaicos debido al bajo costo y se caracterizan principalmente por usar electrodos de Plomo y un electrolito de ácido sulfúrico acuoso. En el proceso de carga el electrodo positivo se compone de Dióxido de Plomo, mientras que el negativo, es netamente plomo, por lo que al descargarse comienza a surgir la reacción química, de tal forma que la transferencia de electrones permite que ambos depósitos se llenen de Dióxido de Plomo, y con ello desprender gases de hidrógeno y oxígeno, haciendo necesaria la ventilación para evitar problemas de propagación de gases.

Por otro lado, se utiliza una aleación de antimonio, de manera de aumentar el material activo, sin embargo, los costos son más altos, además de generar problemas de gasificación e incrementar pérdidas por auto descarga, por consiguiente, debe cargarse con más frecuencia.

-Tipo Níquel Cadmio (Ni-Cd)

Corresponden a baterías recargables que utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de cadmio insertados en una solución de hidróxido de potasio, permitiendo la reutilización de la batería en el caso de agotamiento.

El método de fabricación se realiza a partir de acero inoxidable, permitiendo soportar cargas y descargas excesivas, altas temperaturas y humedad, sin embargo, es limitado para ambientes gélidos. Posee una profundidad de descarga cercana al 100%, es altamente eficiente y puede doblar fácilmente la vida útil de una batería solar corriente, sin embargo, la resistencia interna de descarga es al menos 10 veces menor en la descarga en

comparación a una de plomo-ácido, aumentando riesgos en caso de no manipularse con precaución. Finalmente requiere de un voltímetro para evitar de descargas en la tensión.

-Tipo VRLA (Ácido-Plomo controlado por válvula)

Se diferencia de las otras baterías por que el electrolito utilizado es gelatinoso y su costo de inversión es mayor debido a las múltiples ventajas que utilizan estos sistemas. Utilizan el mismo principio de funcionamiento que una batería Plomo-Ácido, sin embargo, tiene la particularidad de no requerir ningún tipo de ventilación durante la carga ya que la caja hermética evita el derrame del electrolito, por consiguiente, no requiere mantención como en el caso de las otras baterías. Adicionalmente utilizan una válvula para evitar cortocircuitos o sobrecargas que puedan generar problemas en el funcionamiento de estos dispositivos, además de ser aún más eficientes que la batería corriente, sin embargo, sus costos de inversión son muy altos, pudiendo alcanzar 3 a 5 veces el valor de mercado que una batería tradicional.

c) Parámetros eléctricos de diseño

•Carga de la batería

Representa la cantidad de “Ampere-hora” de la batería, siendo primordial para el sistema de acumulación como reserva de energía, como para la iluminación en régimen nocturno o para situaciones de emergencia.

Se define principalmente mediante:

-Watt-hora

Establece la cantidad de energía almacenada en la batería que se requiere para el régimen nocturno y cuyo valor se determina a partir del consumo eléctrico de salida de la batería o bien de la demanda energética.

-Días de autonomía

Indica la cantidad de días nublados consecutivos que existen para meses más críticos, es decir, para aquellos que presentan una nubosidad parcial sobre un 50%, o nublado total, ya que los paneles solares reducen su eficiencia de carga, por lo tanto, se considera principalmente para el tamaño de batería. El valor es variable, sin embargo, los valores típicos fluctúan entre 1 a 3 días, dependiendo de las condiciones meteorológicas del sitio. Este parámetro representa un criterio de diseño y es aplicable si se desea.

-Profundidad de descarga

Representa la cantidad de carga eléctrica a la que el dispositivo es capaz de descargarse, considerando que mientras mayor la energía que se libera, menor es la durabilidad de la batería, puesto que depende del número de ciclos. Los valores de descarga son especificados por el fabricante y pueden obtenerse magnitudes desde un 10 hasta un 100%, por consiguiente, una vez terminado el ciclaje, se reemplaza la batería o bien se descarga a una menor profundidad.

•Voltaje nominal:

Cantidad de voltaje de trabajo de la batería, especificada por el fabricante a partir del testeo y cuyos valores típicos corresponde a 6, 12, 18, etc., considerando una magnitud típica de 12[V] para baterías de ácido plomo o VRLA.

•Rendimiento de la batería

Cantidad de carga eléctrica que el dispositivo es capaz de cargar o descargar en relación al total, considerando valores típicos entre 80- 90%, para baterías de ácido-plomo, 90-95% para VRLA y cerca de 100% para níquel-cadmio. Las magnitudes no son proporcionales a la profundidad de descarga.

3.3.1.3 Regulador de carga

a) Descripción

Dispositivo electrónico cuyo objetivo es controlar las cargas de salida que provienen de los módulos fotovoltaicos de tal manera de proteger a la batería de sobre excesos de descargas y con ello extender su vida útil, además de reducir la cantidad de calor por efecto de cableado eléctrico y evitar excesos de temperatura dentro del sistema. Posee un rol pasivo para días nublados, que aísla el sistema de acumulación y uno activo para días soleados, evitando la gasificación del electrolito, por consiguiente, utiliza una combinación cíclica que requiere estar alternando estos dos estados durante todo el año.

Se compone principalmente por un regulador de tensión, que controla la intensidad de las cargas del módulo FV de manera periódica, con el fin de extender la vida útil de las baterías. Adicionalmente posee un microcontrolador permitiendo la obtención de distintos estados que permitan adaptarse de manera automática al sistema, reduciendo problemas asociados al cambio manual de parámetros en las instalaciones.

Los reguladores se dividen acorde al funcionamiento o configuración en términos de operaciones

El funcionamiento del regulador se divide mediante:

-Igualación

Este mecanismo permite que las cargas de igualación se realicen automáticamente, a partir de un periodo en que el estado de carga es bajo, reduciendo problemas asociados al gaseo.

-Carga profunda

Una vez realizada la igualación, se establece un flujo ininterrumpido de corriente de entrada de cargas al acumulador, hasta obtener un valor de tensión de carga final, permitiendo que se interrumpa la carga y el sistema de control pase a la flotación. La batería obtiene una carga aproximada del 90% durante esta fase.

-Carga final y flotación

Se establece una “Banda de flotación dinámica” (BFD) o rango de tensión que se fija principalmente entre el valor de tensión final de carga y nominal (generando una diferencia aproximada del 10%) como zona de actuación para la carga final del acumulador. La batería obtiene una carga completa una vez finalizada esta fase.

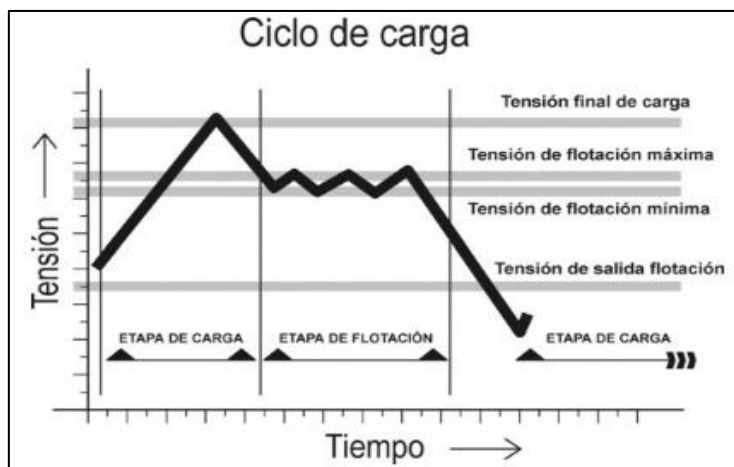


Figura 27: Curva de tensión para regulador de carga Victron Energy

Acorde a la configuración, los reguladores se dividen como:

- Regulador en serie

Los reguladores que funcionan en serie, tienen como función principal, desconectar el panel de la batería cuando se logre el estado completo de carga, utilizando un dispositivo semiconductor que soporta y conduce corriente y voltaje de la carga deseada. Además, tiene un sistema térmico que cede calor al ambiente, evitando temperaturas por defecto. Finalmente posee un circuito de control que entrega al regulador, permitiendo o rechazando el paso de corriente.

- Regulador en paralelo

Los reguladores que funcionan en paralelo, tienen como función principal, detectar la tensión en los bornes de la batería y con ello obtener un valor deseado. Una vez realizada esta operación, se crea una resistencia de baja magnitud, aislando la corriente de las baterías. Un diodo en serie, entre la batería y regulador, evita el retorno de corriente del módulo fotovoltaico. Además, estos dispositivos disipan la corriente de salida del panel al

alcanzar su estado de carga máximo e impiden variaciones de corriente en la fuente primaria.

b) Parámetros eléctricos de diseño

- Voltaje nominal

Cantidad de voltaje de trabajo del regulador, especificada por el fabricante a partir del testeo y cuyos valores típicos corresponde a 6[V], 12[V], 18[V], considerando una magnitud típica de 12 a 24[V] para sistemas fotovoltaicos de mediana y gran escala.

- Corriente máxima de paneles

Intensidad máxima de la corriente salida que puede pasar entre los paneles solares y el regulador, condicionado principalmente por la configuración de módulos.

- Corriente máxima de carga

Cantidad máxima de corriente que el regulador es capaz de admitir, a partir de la carga total del sistema como continuo.

3.3.1.4 Inversor de corriente

a) Descripción

Dispositivo electrónico utilizado principalmente para la conversión de corriente continua, proveniente de los módulos fotovoltaicos del panel solar en alterna (DC/AC) a partir de condiciones de salida estandarizadas (220V y 50Hz para territorio Chileno).

Se compone principalmente de un oscilador, correspondiente a un circuito que permite la generación de la señal de salida de tipo cuadrada o sinusoidal, considerando como factor principal, la frecuencia de trabajo, que depende de las características de componentes como resistencias o condensadores. En algunos pueden controlarse mediante una tensión aplicada.

El oscilador controla a un elemento electrónico de material semiconductor denominado transistor, cuya función principal es actuar como interruptor, de tal forma de permitir el paso de corriente de manera activa (paso selectivo), corte (no deja pasar) o saturada (paso completo)

Finalmente, el transistor alimenta la onda tipo rectangular o sinusoidal a un transformador, permitiendo obtener una curva tipo senoidal con un voltaje y frecuencia constante.

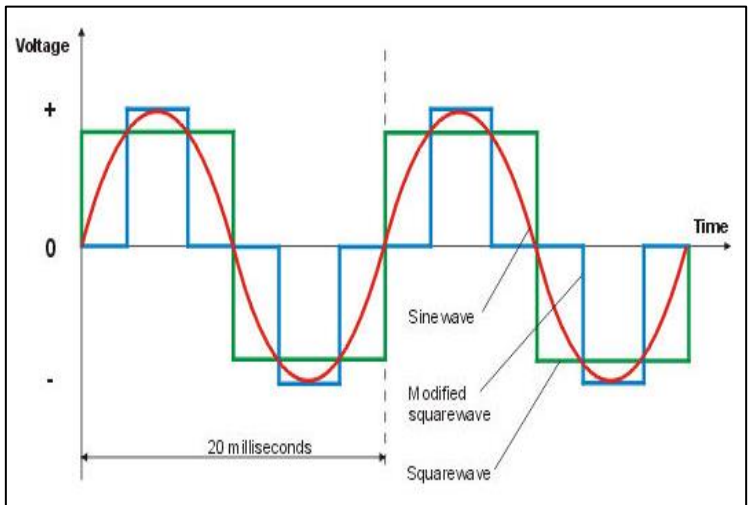


Figura 28: Onda tipo cuadrada, modificada y sinusoidal para inversor

Acorde a la aplicación, existen 2 tipos de inversores correspondientes a:

-Conmutación natural

Inversor utilizado principalmente en la conexión de red, debido a la incidencia que generan en la conducción de dispositivos electrónicos, permitiendo una operación del módulo a su potencia máxima, acondicionando la señal de salida respecto a la conexión de red, con la misma frecuencia y voltaje.

-Conmutación forzada

Inversor utilizado para sistemas fotovoltaicos aislados, permitiendo generar corriente alterna (AC) por medio de mecanismos de apertura y cierre forzados por sistema de control, y con ello, la transformación de corriente DC del sistema fotovoltaico corriente AC, con salida escalonada (cuadrada) o mediante pulsos (PWM), generando una respuesta de tipo senoidal.

b) Parámetros eléctricos de diseño

•Tipo de onda

El inversor transforma corriente unidireccional en bidireccional, generando corriente alterna de manera cuadrada, modificada (casi sinusoidal) o pura (sinusoidal), siendo este último la aplicación más común en sistemas fotovoltaicos, debido a la versatilidad, ya que responde a todo tipo de aparatos tecnológicos y cargas inductivas, además de tener una buena potencia de arranque en comparación a las otras ondas.

•Voltaje efectivo

Cantidad de voltaje conectada a la red eléctrica y que se encuentra regido bajo normativa, utilizando un valor de salida de 220[V] para territorio nacional.

- Frecuencia

Número de ciclos formadas por la onda sinusoidal para la generación de corriente alterna y que se encuentra regido por normativas, utilizando un valor de salida de 50[Hz] para territorio nacional.

- Potencia de entrada

Potencia requerida por el sistema del inversor, dado principalmente por las características de la iluminación y equipos a utilizar. Existen varios diseños que fluctúan desde unos cientos a miles de watts.

3.3.1.5 Cableado eléctrico

a) Descripción

Cordón que permite la circulación de distintos flujos de corriente mediante la utilización de distintos conductores y aislantes con el fin de realizar la distribución energética para equipos de instalación.

Se encuentra compuesta principalmente por:

-Alma conductora

Sección principal de conducción eléctrica, mediante el transporte de corriente de consumo a partir de alambres compuestos por elementos de baja resistividad como aluminio y cobre.

-Aislante

Sección media que separa la corriente del medio exterior, de tal manera de evitar problemas como cortocircuitos, mediante materiales flexibles como hule.

-Cubierta de protección

Sección más externa del cableado eléctrico cuyo objetivo es proteger el flujo de corriente de daños ambientales como humedad y corrosión, mediante el uso de nylon.

b) Parámetros físicos de diseño

•Tipos de cableado:

Acorde a las aplicaciones y requerimientos eléctricos, el cable puede presentar diferentes características físicas que influyen dentro de la operación del sistema.

Los principales tipos de cubiertas se dividen como:

-NM:

Cable conformado por 2 cubiertas no metálicas correspondiente a plástica y papel, además de un alambre de Tierra. Este tipo de cableado se aplica principalmente en circuitos de corriente alterna, considerando cables de aislación negros y blancos, mientras que un cable desnudo se utiliza como conexión a Tierra.

-NMC:

Representa una modificación del NM, correspondiente a un cable con cubierta plástica resistente a la humedad, siendo de gran utilidad para circuitos de fuerza y alumbrado en zonas industriales, debido a su versatilidad. Son de gran relevancia para sistemas de baja tensión.

-USE

Cable conformado por un solo conductor que, bajo normas internacionales, exige que sea una conexión bajo tierra y tenga fusibles de conexión, resistiendo de mejor manera, las características físicas y eléctricas que existen en ambientes anaerobios como humedad, corrosión, altas temperaturas, etc. siendo útiles para sistemas de baja y alta tensión.

-UF

Similar al USE, con la diferencia que estos cables se utilizan mayormente para alimentaciones que requieren de diámetros más grandes, por lo tanto, son útiles en la implementación de sistemas fotovoltaicos que alimenten equipos electrónicos de alta tensión o bien para iluminación de calles con lámparas de bajo ahorro energético.

-THW

Cable conformado por uno o más conductores, que soportan de mejor manera, las variables ambientales asociadas a temperatura, humedad y clima en general, haciéndolo resistente a los rayos UV y con ello, retardando el deterioro de la cubierta aislante, por lo que es recomendable para cualquier ambiente exterior, sin embargo, requieren de métodos técnicos para poder ser enterrados.



Figura 29: Cableado eléctrica con cubierta THW

c) Parámetros eléctricos de diseño

•Calibre

Clasificación estandarizada de diámetros y áreas de conducción presentes en el cableado eléctrico a partir del sello AWG (American Wire Gauge), indicando de manera adicional factores como temperatura nominal de aislación y corriente máxima de circulación. Los valores de conversión se obtienen mediante de manera experimental a partir de tablas (Ver tabla C.2 del anexo para más información).

•Resistencia y resistividad del conductor

La resistencia corresponde a la cantidad de fluctuaciones que se oponen al paso de corriente del conductor, cuyo valor viene dado por la resistividad del material, largo y área seccional del cableado. La resistividad corresponde a una resistencia fija con valores estandarizados, considerando a la plata como el menos resistivo ($1,59 \cdot 10^{-8} \text{ } [\Omega \cdot \text{m}]$) y al cuarzo como el elemento de mayor resistividad ($7,5 \cdot 10^{17} \text{ } [\Omega \cdot \text{m}]$).

3.3.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Existen múltiples tipos de sistemas fotovoltaicos que son utilizados acorde a su aplicación requerida. La importancia de éstos radica principalmente en la reducción de costos eléctricos mediante el uso de elementos equipos que permitan transformar la energía solar en eléctrica, además de convertir la corriente continua en alterna mediante la implementación de inversores.

Acorde a su uso se establecen los siguientes sistemas:

3.3.2.1. Sistema fotovoltaico autónomo

Sistema cuyo fin es producir energía eléctrica, de tal manera de satisfacer la demanda de cargas eléctricas que no se conectan a la red, empleando un sistema energético cuya generación no excede el consumo.

Se compone principalmente por:

- Panel Solar: utilizado para la captación de energía y transformación a electricidad
- Regulador de carga: dispositivo que controla la corriente de los módulos fotovoltaicos
- Batería Solar: equipo de acumulación de energía eléctrica
- Inversor: dispositivo que transforma corriente continua en alterna
- Cableado: Conjunto de cordones que conectan cada equipo para la distribución eléctrica.

Estos sistemas son altamente empleados para localidades aisladas o que cuenten con un escaso suministro de energía eléctrica, debido a las dificultades que existe con respecto al suministro de distribución.

3.3.2.2 Sistema conectado a la red

Corresponde a un sistema cuyo fin es producir energía eléctrica conectándolo a la red a partir de un generador acoplado al inversor, teniendo como objetivo, aumentar la capacidad para sistemas eléctricos del país, desde una central de pequeñas dimensiones a mega centrales que abastezcan alguna comunidad, generando cobros adicionales por la implementación del sistema a la red.

Su composición es similar a la de un sistema autónomo, sin embargo, requiere de un contabilizador de corriente para establecer los costos de inyección, además de conmutadores (de manera ocasional) para redes eléctricas utilizados de manera directa para telecomunicaciones.

3.3.2.3 Sistema híbrido

Corresponde a un sistema que combina un conjunto fotovoltaico con otros tipos de energías renovables, tal como eólica, geotérmica, biomasa, etc. y cuyo fin es reducir sustancialmente el consumo eléctrico acorde a las dimensiones de recinto. Es importante señalar que este sistema es útil cuando las condiciones meteorológicas acompañan a todas las energías renovables tal como: zona calurosa y ventosa benefician a energía solar y eólica, sin embargo, no hay certeza respecto al uso de geotérmica o mareomotriz.

La composición es similar al de un sistema autónomo o conectado a red, pero se diferencia por el tipo de ERNC que se implementa, pudiendo generar electricidad a partir de energía geotérmica, eólica, biomasa, etc.

Utilizado principalmente para plantas que generan una alta cantidad de energía eléctrica para procesos de fabricación y/o elaboración de productos, ya que generalmente se utiliza mucha iluminación (especialmente en zona de transporte, carga y descarga) para obtener buena visibilidad, requiriendo de una gran área de paneles para poder suplir la demanda, por consiguiente, el uso de otras energías limpias, complementan a los módulos fotovoltaicos.

3.3.2.4 Sistema mixto

Sistema fotovoltaico que utiliza conexiones de tipo CC y CA a partir de cantidad determinada de paneles con distintos fines eléctricos, con el objetivo de obtener una energía media de consumo dentro de los equipos utilizados

Su composición es variable, dependiendo del tipo de uso que requiera sistema asimilable a un autónomo, conectado a la red o bien como emergencia para casos particulares como uso de equipos electrógenos.

Una vivienda que utiliza paneles solares para alimentación de equipos eléctricos (tipo CA) y otro para baterías (tipo CC), representa un sistema tipo mixto. Sin embargo, es importante señalar que también se considera como mixto, la alimentación de corriente CC y CA para equipos a partir de un mismo sistema de paneles.

3.3.2.5 Sistema por bombeo solar

Sistema que absorbe energía mediante bombeo solar, de tal manera de extraer un caudal de manera continua a partir de luz natural, con el fin de transportar y almacenar agua.

Se compone principalmente por:

- Generador fotovoltaico: captadores que permiten la generación de electricidad mediante la luz solar, activando la motobomba.
- Motobomba: Bomba de aspiración accionada por el motor, mediante los generadores fotovoltaicos, permitiendo la generación de energía potencial del agua.
- Sistema de cañerías: Conjunto de cañerías utilizado principalmente para la extracción y distribución de agua dentro del sistema fotovoltaico.
- Depósito de acumulación: Tanques de grandes dimensiones donde se almacena el agua de manera periódica con el fin de ser utilizado para distintas actividades cotidianas.

Utilizado principalmente en sistemas de regadío y extracción de agua en pozas subterráneas y/o acuíferos que requieran una gran demanda de agua para actividades agrícolas, ganaderas, etc. debido a que no dependen de una red distribuidora de energía eléctrica y su diseño es simple dado las características de uso diurno.

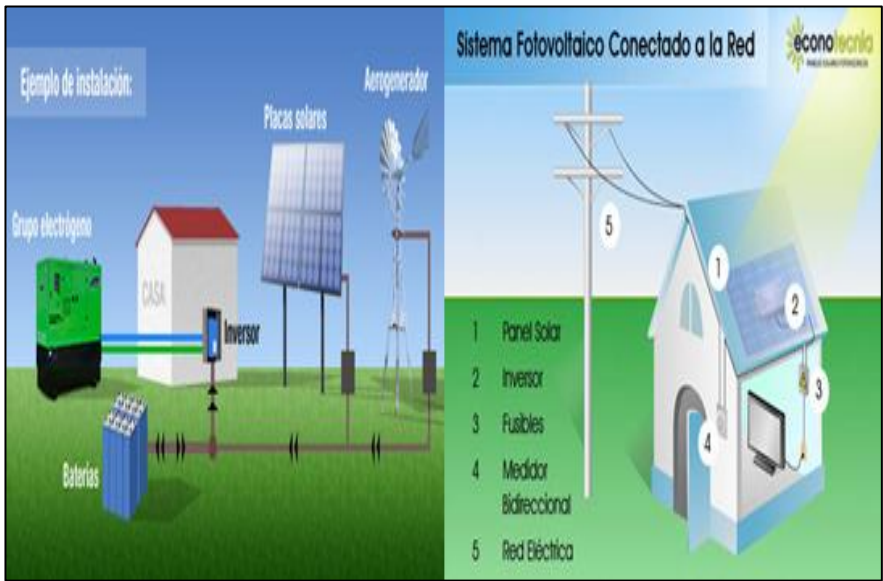


Figura 30: Sistema fotovoltaico híbrido (izquierda) y conectado a la red (derecha)

3.3.3 Aplicaciones de uso cotidiano

Estos sistemas poseen múltiples usos en la vida real y no tienen restricción de costos (excepto para inyección a red eléctrica) acorde a la utilización de energía solar, por consiguiente, se pueden realizar y aplicar en diversos rubros domésticos, industriales o bien contribuir al sistema de generación eléctrica.

Algunas aplicaciones importantes para sistemas autónomos corresponden a:

-Señalización: El uso de módulos fotovoltaicos en la red vial, es útil para señales luminosas como semáforos tipo LED, ya que permiten un ahorro de energía mediante la combinación de estos factores.

-Alumbrado público: se utilizan principalmente en zonas de baja congestión o carreteras de alta velocidad, ya que permiten una mejor captación de energía debido a la ausencia de sombras.

-Electrificación para zonas aisladas: representan una necesidad para comunas con un sistema eléctrico deficiente o inexistente, debido al difícil acceso topográfico que se presentan las zonas rurales del país. En algunos casos, se utilizan para iluminación de negocios, escuelas, tiendas pequeñas, etc. contribuyendo en un acceso viable para comunidades con bajas demandas energéticas.

-Telecomunicaciones y telemetría: utilizado principalmente en antenas, repetidores, telefonía rural y radio, ya que se generan altas cargas de energía mediante este tipo de transmisiones. Adicionalmente se usa para medidas físicas y transmisión de información a una sala de control, como registro de presión para distintas alturas en la atmósfera.

-Espacio: utilizado principalmente para satélites de estaciones aeronáuticas.

-Redes VSAT: empleado en la alimentación de estaciones de red para empresas que utilicen redes privadas de comunicación.

-Bombeo: empleado en sistemas especiales que utilicen regadío en diversas edificaciones como oficinas, universidades, casas, parques, etc., ya que concentran la energía solar para la activación de bombas acorde al tipo de actividad. Adicionalmente puede emplearse en la extracción de aguas subterráneas para generación de agua potable.

Algunas aplicaciones importantes para sistemas conectados a red corresponden a:

-Edificaciones fotovoltaicas: utilizado principalmente para departamentos que consumen una alta demanda de energía. Estos paneles se disponen de manera ordenada de tal forma que conservar la arquitectura de los edificios, sin causar algún tipo de impacto ambiental dentro de algún conjunto habitacional, además de optimizar la cantidad de luz incidente, por consiguiente, la magnitud reflejada se minimiza.

-Campos solares: recinto exclusivo para paneles solares fotovoltaicos cuyo fin es de generar electricidad a diversas empresas eléctrica que buscan vender el servicio a las personas mediante la implementación de potencia instalada, cuyo diseño depende de las características del panel fotovoltaico.



Figura 31: Módulo fotovoltaico para bombeo (izquierda) y huerto solar (derecha)

3.3.4 Ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico puede ser ventajoso respecto a la independencia de suministro y ser eco amigable, sin embargo, puede generar una baja cantidad energía, en comparación a la red eléctrica, o bien, requerir de fuertes inversiones, por consiguiente, es importante resaltar ventajas y desventajas de estos sistemas.

Las ventajas de los sistemas fotovoltaicos corresponden a:

-Corresponde a una Energía Renovable No Convencional (ERNC), puesto que utiliza energía directa del sol, por lo tanto, no requiere de procesos adicionales contaminantes, por lo que existe un bajo impacto ambiental.

-Permite una generación libre, pues no existen impuestos ni gravámenes para su uso, ya que representa un bien de uso mundial, por consiguiente, es utilizable por cualquier persona u organismo que lo desee.

-No poseen partes móviles, por consiguiente, se requiere de una mantención sencilla, lo que reduce costes asociados a usos de servicios, contaminantes, ruidos, etc.

-El proceso de instalación es barato y genera un buen ahorro de energía, ya que el sistema cuenta con una batería que se carga durante el día y se descarga durante la noche.

-Son renovables, por consiguiente, se pueden utilizar de manera indefinida.

-Poseen una alta confiabilidad respecto a su proceso, además de tener una alta vida útil que sobrepasa los 25 [años].

-Permite crear un ambiente educativo en base a la conciencia y el respeto por el medio, ya que son prácticas, por lo que puede enseñarse en colegios, universidades, oficinas, etc. mediante la instrucción respecto a estas tecnologías.

-La utilización de energía solar para zonas rurales, permite la creación de nuevos puestos de trabajo para pequeñas empresas, incentivando al desarrollo económico del sector.

Las desventajas de los sistemas fotovoltaicos corresponden a:

-Alto costo de inversión para paneles y sistemas de control, puesto que son tecnologías vanguardistas para uso de sistemas de ahorro energético, lo que incrementa los costos asociados.

-Acorde a experimentos de radiación efectuados en laboratorios solares, se requiere de una gran área para poder satisfacer el consumo de energía, ya que, las eficiencias de conversión son bajas, obteniendo valores entre un 15-20% como máximo.

-Poseen una alta sensibilidad a cambios del medioambiente, ya que se requieren de días despejados o con baja nubosidad para maximizar la eficiencia, además de no poder construir edificios, ni plantar vegetación cerca de los módulos, puesto que la sombra reduce su captación.

-En general, existe poco interés por parte de las autoridades de implementar estos sistemas, lo que lo convierte en una tecnología de cambio lenta.

3.4 Cálculos asociados al estudio técnico

3.4.1 Elección del tipo de sistema fotovoltaico

Acorde a los datos meteorológicos obtenidos por la NASA, se desprende que los vientos son de características débiles, imposibilitando la implementación de energía eólica, ya que se requiere de corrientes de mayor magnitud para mover las palas de generador. Adicionalmente los vientos de la zona son de tipo alisios, por consiguiente, fluyen de Oeste a Este, obligando a emplazar los generadores cerca las salas de estudio, por lo que no se realiza por condiciones técnicas.

Por otro lado, en el caso de transformar orgánicos en electricidad, se requiere de varias toneladas para procesar en un biodigestor, por lo tanto, requiere de mucho volumen para la realización. En consecuencia, no es factible la instalación de un sistema híbrido, dada las características mencionadas anteriormente.

El sistema conectado a la red es plausible, debido a que el trabajo se realiza en zona urbana, sin embargo, requiere de información de redes para obtener el valor real de inyección de energía a la red eléctrica mediante sistema “net-billing” acorde a lo estipulado por Chilquinta. El plano eléctrico es de uso exclusivo para la Universidad, por consiguiente, no es realizable desde el punto de vista de información, ya que se requieren modificaciones con respecto a las conexiones, además de datos certeros sobre de todos los equipos instalados en el gimnasio.

El sistema aislado constituye una alternativa atípica, ya que generalmente se utilizan para zonas rurales, sin embargo, es realizable, ya que no posee condiciones particulares si se implementa en zona urbana, por consiguiente, representa el caso de análisis.

3.4.2 Balance de energía del sistema fotovoltaico

El balance corresponde a la cantidad de energía solar que impacta en los paneles y que se transforma en energía eléctrica, para posteriormente entrar y salir por los equipos que constituyen el sistema fotovoltaico, por consiguiente, el análisis se realiza para los módulos, regulador, batería, inversor y cableado eléctrico, considerando todas las corrientes pertinentes al proceso.

Los supuestos establecidos corresponden a:

- Se asume continuidad en el sistema, por consiguiente, el arco solar emite radiación a los paneles durante todo el periodo para la jornada diurna.
- Los equipos presentan un comportamiento continuo, donde la cantidad de energía que entra es equivalente a la que sale (mismo caso para la batería, ya que, la descarga se realiza hasta cierto valor, sin embargo, luego se termina el descenso de energía hasta un punto cercano al 5%, por lo tanto, se asume acumulación despreciable).
- Las pérdidas asociadas a cableado no son despreciables, debido a que la radiación solar que impactan en los paneles solares, pueden generar incrementos en las conexiones.
- Existe aislamiento perfecto para equipos, por consiguiente, no hay pérdidas por efecto de calor asociado a paneles, baterías, reguladores e inversores.

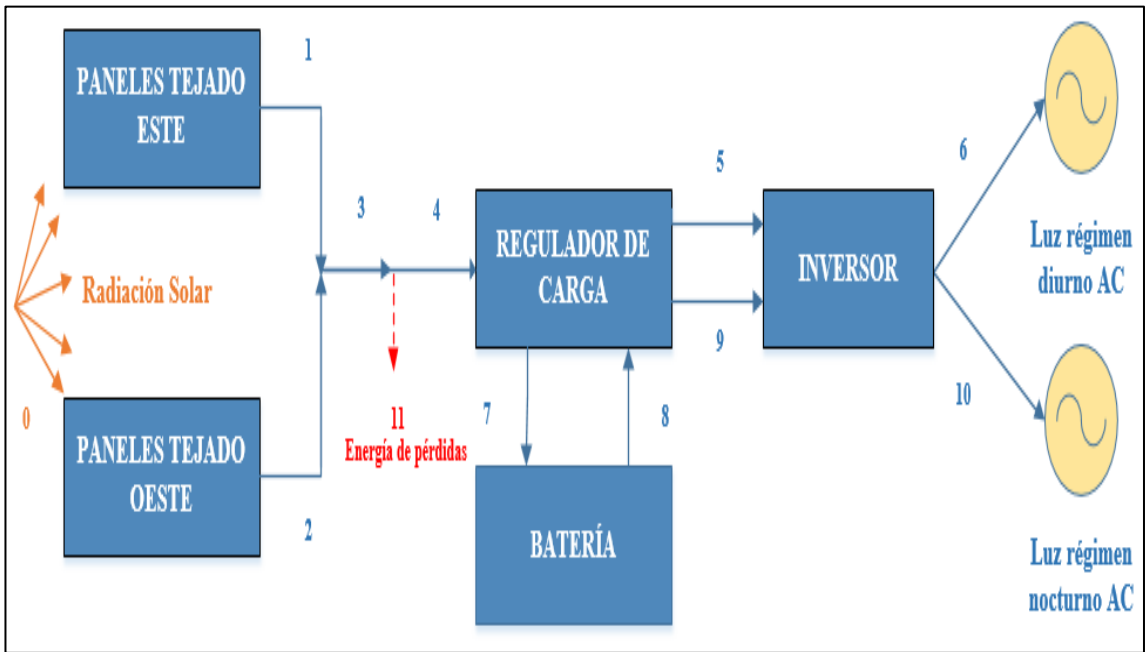


Figura 32: Diagrama de bloques propuesto para el sistema fotovoltaico aislado

La radiación solar (corriente 0) impacta en la superficie de los paneles del tejado Este y Oeste, permitiendo la transformación de luz solar en energía eléctrica debido a la activación de las células que componen el módulo, generando pérdidas por efecto de absorción, reflexión y recombinación, obteniendo una fracción de energía (corriente 1 y 2), que al mezclarse, generan la alimentación global del sistema (corriente 3), cuya magnitud se reduce a medida que la corriente circula por efecto de calentamiento del cable, debido al aumento del valor de la resistencia presente en el circuito.(corriente 11).

Una vez que la carga energética llega al regulador (corriente 4), se disgrega a partir de 2 regímenes de uso correspondiente a un flujo diurno (corriente 5), cuya energía pasa directamente al inversor, de tal manera de alimentar las luces durante el día (corriente 6), mientras que el resto de esta pasa a una batería (corriente 7) donde se deposita y acumula hasta terminar la jornada diurna. Una vez finalizada, la energía de descarga necesaria (corriente 8), se conduce al regulador de tal manera de controlar la carga, para posteriormente pasar al inversor, (corriente 9) con el fin de cambiar la polaridad de corriente y obtener la cantidad necesaria de energía para alimentar las luces durante el régimen nocturno (corriente 10).

3.4.3 Estimación de cálculos del balance de energía

Acorde a la descripción realizada en el punto anterior, se desprende que la cantidad de energía necesaria para las luces en régimen diurno y nocturno (sistemas independientes), corresponde a la potencia aparente por el tiempo de uso de cada jornada, cuya definición se establece a partir de un diseño crítico, por lo tanto, el régimen diurno abarca el caso de mayor cantidad de luz disponible, mientras que el nocturno, lo contrario.

Sea:

X: Cantidad de energía requerida para iluminación en jornada diurna [Wh]

Y: Cantidad de energía requerida para iluminación en jornada nocturna [Wh]

La cantidad de energía necesaria para la iluminación diurna y nocturna (en [Wh]), se establece en la ecuación N°9 y 10 respectivamente.

$$E_6 = X \quad (\text{Ec. 9})$$

$$E_{10} = Y \quad (\text{Ec. 10})$$

Además, durante el día, las corrientes necesarias para la alimentación nocturna (corrientes 8, 9 y 10), permanecen inactivas, por consiguiente, la energía de entrada al inversor (corriente 5) se condiciona por el rendimiento que se obtiene a partir del flujo de alimentación para luces en régimen diurno (corriente 6), considerando que no hay funcionamiento en la descarga de energía de la batería, por la razón señalada anteriormente.

La corriente de entrada al inversor en régimen diurno (en [Wh]), se expresa en la ecuación N°11.

$$E_5 = \frac{E_6}{n_{\text{inversor}}} = \frac{X}{n_{\text{inversor}}} \quad (\text{Ec. 11})$$

Por otro lado, las corrientes necesarias para la alimentación diurna permanecen inactivas (corrientes 5 y 6) cuando se realiza la inyección de energía a las luces durante la noche, condicionando la corriente de salida del regulador (corriente 9) a partir del rendimiento del inversor, por lo tanto, el proceso funciona de manera equivalente al caso anterior, transformando cada régimen, en dos subsistemas independientes entre sí.

La corriente de entrada al inversor en régimen diurno (en [Wh]), se expresa en la ecuación N°12.

$$E_9 = \frac{E_{10}}{n_{\text{inversor}}} = \frac{Y}{n_{\text{inversor}}} \quad (\text{Ec. 12})$$

Adicionalmente, la energía que se descarga de la batería (corriente 8), es levemente mayor a la de la entrada del inversor (corriente 9), por efecto del rendimiento del regulador.

Por lo tanto, la corriente de descarga de la batería en régimen nocturno (en [Wh]), se expresa en la ecuación N°13.

$$E_8 = \frac{Y}{n_{\text{inversor}} n_{\text{regulador}}} \quad (\text{Ec. 13})$$

La energía de salida de la batería (corriente 8) se ve limitada principalmente por el rendimiento, que establece la extracción de energía nominal que puede realizar el elemento acumulador y cuyo valor se reduce con el tiempo. Es importante señalar que no es equivalente a profundidad de descarga, ya que este concepto, indica la cantidad que se

puede descargar para un conjunto de baterías, por medio de ciclajes, por consiguiente, es un valor de elección que determina almacenamiento, mientras que el rendimiento representa una curva de capacidad de entrega de energía que obliga a la batería a proporcionar a medida que transcurre el tiempo, determinando entrada y salida.

Por consiguiente, la corriente de entrada a la batería en régimen diurno (en [Wh]), se expresa en la ecuación N°14.

$$E_7 = \frac{E_8}{n_{\text{batería}}} = \frac{Y}{n_{\text{batería}} n_{\text{inversor}} n_{\text{regulador}}} \quad (\text{Ec. 14})$$

Una vez obtenido el flujo energético que requieren las baterías, se adiciona con respecto a la cantidad empleada desde el regulador de carga al inversor en régimen diurno (corriente 5) de tal manera de determinar la energía de entrada del regulador a partir de los paneles solares (corriente 4).

La corriente de entrada al regulador en régimen diurno (en [Wh]), se expresa en la ecuación N°15.

$$E_4 = \frac{E_5 + E_7}{n_{\text{regulador}}} = \left(\frac{X}{n_{\text{inversor}}} + \frac{Y}{n_{\text{batería}} n_{\text{inversor}} n_{\text{regulador}}} \right) * \left(\frac{1}{n_{\text{regulador}}} \right) \quad (\text{Ec. 15})$$

El valor obtenido considera, además, el efecto de pérdidas generadas por el cableado eléctrico (corriente 11), para meses con altas radiaciones, por consiguiente, considera una medida de compensación en caso de calentamiento dentro del circuito. Adicionalmente, la energía global del sistema (corriente 3), representa la cantidad de energía eléctrica necesaria para concretar el proceso.

La corriente de energía global (en [Wh]), se expresa en la ecuación N°16.

$$E_3 = E_4 + E_{11} \quad (\text{Ec. 16})$$

Dónde:

$$E_3 = \frac{E_4}{n_{\text{cableado}}} = \left(\frac{X}{n_{\text{inversor}} n_{\text{regulador}}} + \frac{Y}{n_{\text{batería}} n_{\text{inversor}} n_{\text{regulador}}^2} \right) * \left(\frac{1}{n_{\text{cableado}}} \right)$$

Finalmente, para la obtención de cantidad de energía saliente de cada panel para tejado Este y Oeste, es importante ponderar adecuadamente, acorde al tiempo existente entre la mañana-mediodía y mediodía-puesta, debido al movimiento que realiza el arco solar durante todo el día (Ver resultados obtenidos en el punto 2.5 para mayor información).

Sea:

t_1 : tiempo establecido entre mañana – mediodía [h]

t_2 : tiempo establecido entre mediodía – tarde [h]

La cantidad de energía ponderada para el tejado “Este” y “Oeste”, se expresan en las ecuaciones N°17 y 18

$$E_1 = \left(\frac{t_1}{t_1 + t_2} \right) * E_3 \quad (\text{Ec. 17})$$

$$E_2 = \left(\frac{t_2}{t_1 + t_2} \right) * E_3 \quad (\text{Ec. 18})$$

Finalmente, la cantidad de paneles emplazados en el tejado “Este” (corriente 1) es menor que en el “Oeste” (corriente 2), dado a lo establecido en el estudio anterior.

3.4.3.1 Balance de carga

Adicionalmente, es importante la realización del balance asociado a la carga, aludiendo principalmente a la circulación de corriente y voltaje mediante el empleo de la Ley de Kirchoff, además de la verificación sobre condiciones de entrada y salida de corriente continua y alterna respectivamente, en caso de ser estrictamente necesario.

El balance de carga se establece en las ecuaciones N°19 y N°20.

$$V_{\text{final}} = V_{\text{max}} * N_s \quad (\text{Ec. 19}) \quad \text{en [V]} \quad \text{con } V_{\text{final}} < V_{\text{max del inversor}}$$

$$I_{\text{final}} = I_{\text{max}} * N_p \quad (\text{Ec. 20}) \quad \text{en [A]} \quad \text{con } I_{\text{final}} < I_{\text{max del inversor}}$$

Dónde:

V_{final} : Voltaje final del equipo [V]

V_{max} : Voltaje de generación máxima del equipo [V]

I_{final} : Corriente final del equipo [A]

I_{max} : Corriente de generación máxima del equipo [A]

N_s : Numero de equipos en serie [—]

N_p : Numero de equipos en paralelo [—]

Además, es importante la verificación del balance de corriente y voltaje, considerando que cada conexión de entrada del equipo al inversor, genera una salida de corriente alterna que no se genera o consume, por lo tanto, los elementos de control de entrada son equivalentes a aquellos de salida.

El balance se establece en la ecuación N°21.

$$N * I_{\text{cc}} * V_{\text{cc}} = I_{\text{ac}} * V_{\text{ac}} \quad (\text{Ec. 21})$$

Dónde:

V_{final} : Número total de equipos utilizados [—]

I_{cc} : Corriente continua de entrada al inversor [A]

I_{ac} : Corriente alterna de entrada al inversor [A]

V_{cc} : Voltaje continuo de entrada al inversor [V]

V_{ca} : Voltaje alterno de salida del inversor [V]

3.4.4 Análisis de diseño de equipos

3.4.4.1 Inversores

El inversor corresponde al equipo más relevante del sistema fotovoltaico, ya que transforma la corriente continua en alterna, además de ser punto de conexión de todos los equipos, por consiguiente, es importante realizar la elección acorde a los parámetros eléctricos establecidos en la iluminación.

- Número de inversores:

El número de inversores se obtiene mediante la razón de potencia aparente (sobredimensionada) de las luminarias en relación a la del equipo.

La cantidad de inversores se obtiene a partir de la ecuación N°22.

$$N_{\text{inversores}} = \frac{P_{\text{sistema}} * FS}{P_{\text{inversor}}} \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

P_{sistema} : Potencia del sistema de iluminación [W]

FS: Factor de seguridad [—]

P_{sistema} : Potencia del inversor [W]

3.4.4.2 Paneles fotovoltaicos

- Número de paneles:

Para la determinación de paneles, es importante la obtención del área de impacto que generan los módulos dentro del sistema, considerando la demanda global del proceso, además de la eficiencia de paneles y la cantidad de tiempo efectivo que existe para la captación mediante condiciones estandarizadas para el captador.

El área de impacto (en [m²]) se obtiene a partir de la ecuación N°23.

$$A_{\text{impacto}} = \frac{E_{\text{demanda global}}}{n_{\text{panel}} * \text{HPS} * G_{\text{max}}} \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde:

$E_{\text{demanda global}}$: Cantidad de energía eléctrica global del sistema [Wh]

n_{panel} : Rendimiento del panel [–]

HPS: Hora pico solar diaria del mes [h]

G_{max} : Radiación máxima establecida para el HPS [W/m^2]

Para la obtención del número de módulos, se divide el área de impacto generado por el área unitaria del panel.

La cantidad de módulos requeridos se obtiene a partir de la ecuación N°24.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{A_{\text{impacto}}}{A_{\text{panel}}} \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde:

A_{impacto} : Área de impacto [m^2]

A_{panel} : Área del panel [m^2]

Para la distribución de paneles en el tejado, se pondera la cantidad de tiempo existente entre el intervalo “mañana-cenit” y “cenit-atardecer”, generando un valor arbitrario, por lo que es importante considerar los casos más críticos respecto a la luminosidad del sitio.

La distribución de módulos el tejado “Este” y “Oeste”, se obtiene a partir de la ecuación N°25 y 26 respectivamente.

$$N_{\text{paneles Este}} = \left(\frac{\psi_1}{\psi_2} \right) * N_{\text{paneles}} \quad (\text{Ec. 25})$$

$$N_{\text{paneles Oeste}} = N_{\text{paneles}} - \left(\frac{\psi_1}{\psi_2} \right) * N_{\text{paneles}} \quad (\text{Ec. 26})$$

Dónde:

ψ_1 : tiempo entre amanecer – cenit [h]

ψ_2 : tiempo entre cenit – atardecer [h]

N_{paneles} : Número de paneles total [paneles]

• Distancia mínima entre arreglo de paneles:

La distancia mínima entre paneles es válida en el caso de realizar una disposición de módulos en superficie horizontal. Es importante señalar que corresponde a un factor complementario a los cálculos, en caso de una gran extensión de módulos.

La longitud mínima entre cada módulo (en [m²]), se obtiene a partir de la ecuación N°27.

$$d_{\text{mínima}} = L * \left(\cos\theta + \frac{\text{sen}\theta}{\tan \varepsilon} \right) \quad (\text{Ec. 27})$$

Considerando:

$$\varepsilon: \begin{cases} 90 - \phi - 23 & \text{para solsticio de Verano} \\ 90 - \phi & \text{para solsticio de Invierno} \end{cases} \quad \text{en } [^\circ]$$

Dónde:

L: Largo del panel [m]

θ : Ángulo entre el panel y la horizontal [°]

ε : Ángulo mínimo de incidencia [°]

ϕ : Latitud del sitio [°]

• Temperatura de trabajo:

Cantidad máxima a la que puede operar el panel fotovoltaico, de tal manera de evitar imprevistos físicos como degradación y sobrecalentamiento de cableado interno por efecto de altas temperaturas y cuyo valor depende del coeficiente de enfriamiento, la magnitud de radiación de la zona y la temperatura medioambiental.

La temperatura de trabajo (en [°C]), se obtiene a partir de la ecuación N°28.

$$T_t = T_a + K * R \quad (\text{Ec. 28})$$

Dónde:

T_a : Temperatura del medioambiente [°C]

K: Constante asociada al enfriamiento $\left[\frac{^\circ\text{C} * \text{cm}^2}{\text{mW}} \right]$

R: Constante asociada a la radiación $\left[\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right]$

• Ángulo óptimo de inclinación:

Para la determinación del ángulo de inclinación, se establece el mismo criterio obtenido en el capítulo anterior, por lo tanto, el valor final se obtiene a partir de la ecuación N°4 (Ver punto 2.5.3).

3.4.4.3 Batería

• Carga total del sistema:

Para la obtención del número de acumuladores necesarios para la alimentación nocturna, se determina la cantidad de carga global para el sistema, considerando el balance de energía establecido, además de parámetros internos de batería como voltaje nominal y profundidad de descarga acorde al ciclaje establecido por fabricación.

La energía máxima de almacenamiento, se determina a partir de la descarga necesaria (sobredimensionada) de la batería para la iluminación, además de la profundidad de descarga.

La energía total de almacenamiento se obtiene a partir de la ecuación N° 29.

$$E_{TOTAL} = \frac{E_{descarga} * FS}{P_d} \quad (Ec. 29)$$

Dónde:

E_{total} : Energía de descarga diaria de la batería [Wh]

FS: Factor de seguridad [—]

P_d : Profundidad de descarga [—]

Por consiguiente, para la obtención de la carga, se realiza la división entre la energía obtenida y el voltaje de especificación nominal.

La obtención de la carga total (en [Ah]) a partir de la ecuación N° 30.

$$C_{TOTAL} = \frac{E_{TOTAL}}{V_{nominal}} \quad (Ec. 30)$$

Dónde:

E_{TOTAL} : Energía total de almacenamiento [Wh]

$V_{nominal}$: Voltaje nominal del sistema [V]

• Número de baterías:

Finalmente, para la obtención del número de acumuladores, se divide la carga total del sistema por la carga nominal unitaria.

El número de baterías se tiene obtiene a partir de la ecuación N°31.

$$N_{baterías} = \frac{C_{TOTAL}}{C_{nominal}} \quad (Ec. 31)$$

Dónde:

C_{TOTAL} : Carga total del sistema [Ah]

$C_{nominal}$: Carga nominal unitaria [Ah]

3.4.4.4 Regulador de carga

En el caso del regulador, los puntos de interés corresponden a la cantidad de controladores necesarios y la corriente de soporte por efecto de la triple conexión existente entre el conjunto de módulos, batería e inversor.

• Número de reguladores:

Para la determinación de los reguladores a implementar, es necesario conocer la magnitud máxima de soporte, determinado por la corriente de mayor valor entre las cargas, arreglos en paralelo de los paneles fotovoltaicos y de salida de la batería.

En el caso de las cargas, el funcionamiento es tipo continuo y corresponde a la potencia de iluminación de las canchas partido por el voltaje de red.

La corriente de carga (en [A]) se calcula a partir de la ecuación N°32.

$$I_{\text{carga}} = \frac{P_{\text{iluminación}}}{V_{\text{red}}} \quad (\text{Ec. 32})$$

Dónde:

$P_{\text{iluminación}}$: Potencia aparente de iluminación [W]

V_{red} : Voltaje efectivo de la red [V]

En el caso de la corriente proveniente de los paneles, existen 2 tipos de configuraciones distintas para cada parte del tejado, por lo tanto, se obtiene la suma de corrientes en paralelo (voltaje es constante), totalizando un eventual soporte de carga del regulador.

La corriente por efecto de configuración de paneles (en [A]) se calcula a partir de la ecuación N°33.

$$I_{\text{paneles en paralelo}} = I_{\text{max,paneles}} * (n_{\text{p,este}} + n_{\text{p,oeste}}) \quad (\text{Ec. 33})$$

Dónde:

$I_{\text{max,paneles}}$: Corriente máxima que produce cada panel [A]

$n_{\text{p,este}}$: Número de paneles en paralelo para tejado este [–]

$n_{\text{p,oeste}}$: Número de paneles en paralelo para tejado Oeste [–]

Por otro lado, en caso de la corriente de salida de baterías, el análisis es equivalente al obtenido por efecto de la configuración de paneles.

La corriente por salida de la batería (en [A]) se calcula a partir de la ecuación N°34.

$$I_{\text{batería}} = I_{\text{max,batería}} * n_{\text{p,batería}} \quad (\text{Ec. 34})$$

Dónde:

$I_{\text{max,batería}}$: Corriente máxima que produce la batería [A]

$n_{\text{p,batería}}$: Número de baterías en paralelo [–]

En consecuencia, la cantidad de controladores a implementar, se obtiene mediante la división entre la maximización de la corriente (carga, panel y batería) y la cantidad máxima de producción del equipo (por especificación técnica).

El número de reguladores, se calcula a partir de la ecuación N°35.

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{\max(I_{\text{carga}}, I_{\text{paneles en paralelo}}, I_{\text{batería en paralelo}})}{I_{\text{regulador}}} \quad (\text{Ec. 35})$$

Dónde:

I_{carga} : Corriente máxima que produce cada panel [A]

$I_{\text{paneles en paralelo}}$: Corriente de paneles en paralelo [A]

$I_{\text{batería en paralelo}}$: Corriente de baterías en paralelo [A]

$I_{\text{regulador}}$: Corriente del regulador [A]

3.4.5 Elección de equipos

3.4.5.1 Inversor

El inversor representa el “corazón” del sistema, ya que determina la diferencia de potencia instalada respecto a la especificada, (valor mínimo de diferencia cercano al 5%), por consiguiente, requiere un análisis minuciosos para una buena elección, de tal manera de soportar las fluctuaciones de potencia que eventualmente puedan generarse.

Adicionalmente, es trascendental optar por un inversor de tipo off-grid (aislado), de tal manera de cumplir adecuadamente con las funciones eléctricas del sistema, evitando problemas respecto al comportamiento de corrientes.

Por otro lado, es fundamental la consideración del volumen equipos asociados a paneles solares o baterías, por consiguiente, la corriente máxima de entrada para cada uno de los equipos, posea un valor mínimo de 20[A], mientras que el voltaje no supere los 1000[V].

Dada las características del sistema, la mejor opción corresponde a un inversor de tipo off-grid, marca “SUNNY BOY ISLAND 8.0h”.



Figura 33: Esquema del inversor “SUNNY BOY ISLAND 8.0h”

3.4.5.2 Panel Solar

Los paneles representan el elemento de transformación de energía solar en eléctrica, mediante la activación de las celdas solares, por consiguiente, es relevante la elección de un equipo que cumpla con buenos estándares, con el fin de minimizar el número de módulos y generar la facilitación de las conexiones eléctricas.

Uno de los aspectos importantes para la elección, corresponde a las condiciones meteorológicas del sitio, considerando un índice promedio de nubosidad de 0,4 [unidades] para meses gélidos, la carencia de luz solar es considerable, por consiguiente, la prioridad corresponde a un panel de tipo monocristalino, con el fin reducir las pérdidas por reflexión y recombinación.

Adicionalmente, es fundamental la consideración de un módulo con buena eficiencia minimizando un 15% (acorde a testeos de laboratorio realizado) y dimensiones aceptables para una buena captación de energía (paneles sobre 1,5[m] de largo y 0,5[m] de ancho).

A partir de la descripción anterior, la mejor opción corresponde a un panel modelo “PS-200MJ (200W MONO SOLAR MODULE)”.



Figura 34: Esquema del panel solar “PS-200MJ”

3.4.5.3 Regulador de carga

El regulador representa un equipo controlador que actúa por sensibilidad de voltaje y corriente, transformándolo en una máquina de alta eficiencia cuyo valor fluctúa entre un 95-99.9% de eficiencia, acorde a estándares de mercado.

Dada a la versatilidad en las funciones electrónicas, no requiere consideraciones exigentes para la operación, sin embargo, la corriente se condiciona por el inversor de elección, admitiendo una descarga máxima de 120[A] y un voltaje inferior a 253[V].

Por otro lado, el equipo de elección, debe compatibilizar con baterías VRLA (o gel), además de soportar el nivel de carga del acumulador señalado.

Acorde a las condiciones mencionadas, el equipo de selección debe permitir la generación de altas corrientes eléctricas, por consiguiente, el equipo de utilización corresponde a un regulador tipo “Steca PR-3030”.



Figura 35: Esquema del regulador de carga “Steca-PR3030”

3.4.5.4 Batería

La batería corresponde al equipo acumulador del sistema, considerando como función principal, la descarga de la energía almacenada, con el fin de proporcionar la alimentación eléctrica de las luces durante régimen nocturno, por consiguiente, es importante la consideración del nivel de carga del sistema.

Por otro lado, el ciclaje de la batería es importante para la determinación de vida útil del equipo, ya que representa una proporcionalidad inversa respecto a la profundidad de descarga, por consiguiente, el tiempo de uso incide por efecto los factores señalados, por consiguiente, el valor mínimo de ciclaje corresponde a 300[unidades].

Finalmente, el equipo debe poseer una corriente máxima de generación de 140[A], mientras que el voltaje de producción, no excede los 48[V], dadas a las condiciones establecidas por el inversor.

Acorde a la descripción realizada, la mejor opción corresponde a la batería “VICTRON 12 VOLT DEEP CYCLE GEL (Modelo: BAT 412201100)”.



Figura 36: Esquema de la batería “VICTRON 12 VOLT DEEP CYCLE GEL”

3.4.5.5 Luces tipo LED:

Las luces tipo LED, consumen una cantidad menor de energía en comparación a alto consumo, por consiguiente, el volumen de diseño se reduce considerablemente, sin embargo, es importante la consideración de ciertos factores que afectan al desarrollo de actividades dentro de la cancha como lúmenes o eficiencia lumínica.

La elección total de la luminaria debe cumplir con un valor mínimo de 200[lux], por consiguiente, se requieren aproximadamente 198.000[lúmenes], considerando un área de 987,47[m²], (valor que eventualmente influye en la potencia de cada lámpara), y con ello, obteniendo una luminiscencia mínima de 10.000[lúmenes] (promedio).

Adicionalmente, para la elección de los focos, el requerimiento de factor de potencia debe ser de un mínimo de 0,9 [-], señalando una buena sintonía entre la corriente y el voltaje, reduciendo las pérdidas por efecto de calor dentro en el sistema.

Además, es importante la consideración de la eficiencia lumínica, cuyo valor fluctuó entre 0,85-1, con el fin de reducir las pérdidas por calor que puedan generarse por efectos del bulbo de cada iluminaria.

Dada las características mencionadas, la mejor opción corresponde a halógenos tipo “SUNSHINE LIGHT PROYECTOR LED 100W LUZ FRÍA 5500[k] IP65 220V”.



Figura 37: Esquema de iluminaria “S. LIGHT PROYECTOR LED 100W”

Adicionalmente, en el caso de colgantes, la elección corresponde a campanas tipo SUNSHINE LIGHT CAMPANA LED 150W BLANCO FRÍO/6000K/IP65.



Figura 38: Esquema de luminaria “S. LIGHT CAMPANA LED 150W”

3.4.5.6 Cableado eléctrico

El cableado corresponde al principal medio de transporte de corriente y energía del sistema fotovoltaico, por consiguiente, existen diferencias técnicas respecto a la magnitud de circulación, dada las condiciones de equipos por efecto de arreglos en paralelo. Cada línea de cable, transporta distintas magnitudes de corriente, por consiguiente, existen requerimientos diferentes para el calibre.

Acorde a la descripción anterior, la mejor opción corresponde a un cable tipo “SUPERFLEX MONOCONDUCTOR CALIBRE AWG/kcmil”, dada la versatilidad de valores de corriente, tipo de conducción y grosores establecidos por la AWG.

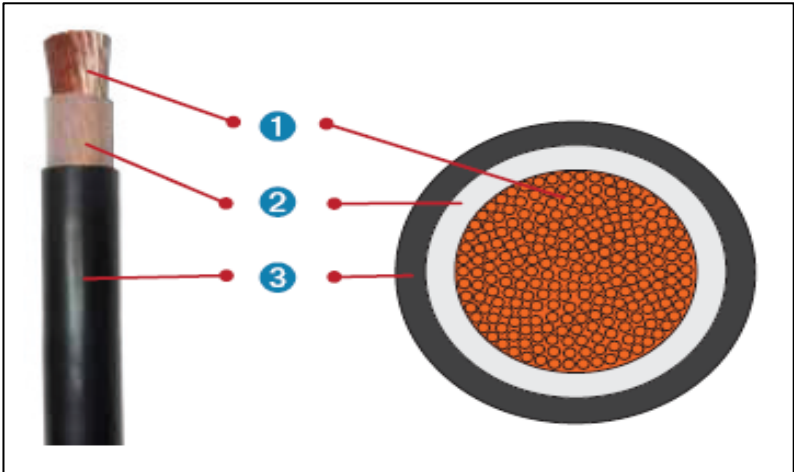


Figura 39: Esquema de luminaria “S. MONOCONDUCTOR CALIBRE”

3.4.6 Restricciones de problema

a) Inversor

El inversor constituye el “cerebro” del sistema fotovoltaico, por consiguiente, los equipos deben cumplir con las condiciones de entrada de voltaje y corriente, de tal manera de no generar malfuncionamiento de parámetros de entrada-salida y, por ende, la caída del sistema. El equipo se considera irrestricto matemáticamente hablando.

b) Panel Solar

Los módulos fotovoltaicos corresponden al equipo de transformación de energía solar en eléctrica, por lo que es importante considerar el número adecuado dada a las características del lugar. Los paneles se deben ubicarse en los tejados del gimnasio (por razones técnicas), por consiguiente, acorde a las dimensiones del techo y distanciamiento prudente, se establece un máximo de 140[paneles].

c) Batería

La batería corresponde al equipo acumulador de energía, generando una alta sensibilidad dada a las características de carga y descarga, por consiguiente, se recomienda un distanciamiento mínimo de 1,5[m] entre cada una. Adicionalmente, el almacenamiento se realiza dentro de la bodega, cuyo espacio se ve limitado por las características del terreno disponible, y con ello, se estima que el conjunto de baterías no debe superar los 225[m²].

d) Regulador de carga

El regulador corresponde al equipo selector del sistema fotovoltaico, por lo tanto, actúa como un divisor de corrientes que, dada su particularidad, se le considera como equipo “inteligente” y, en consecuencia, no se prevén condiciones matemáticas para su uso.

3.4.7 Resultados

3.4.7.1 Caso I: Sistema fotovoltaico para alto consumo

3.4.7.1.1 Balance de energía

La descripción de corrientes para Luces LED, se establecen en la tabla N°14.

Tabla 14: Composición y valor de corrientes para luces de alto consumo (Fuente: Elaboración propia)

Corriente	Descripción de corriente de energía	Valor [Wh]
0	Solar de Incidencia	1.101.767
1	Alimentación desde paneles Este	92.664
2	Alimentación desde paneles Oeste	113.256
3	Demanda global para el sistema fotovoltaico	205.920
4	Entrada a regulador	195.624
5	Flujo entre regulador e inversor (diurno)	134.981
6	Requerida para la iluminación diurna	128.232
7	Entrada a la batería	59.665
8	Flujo entre batería y regulador	53.698
9	Flujo entre regulador e inversor (nocturno)	53.430
10	Requerida para la iluminación nocturna	50.759
11	Pérdidas del sistema	10.296

El diagrama de bloques se resume como indica la figura N°40.

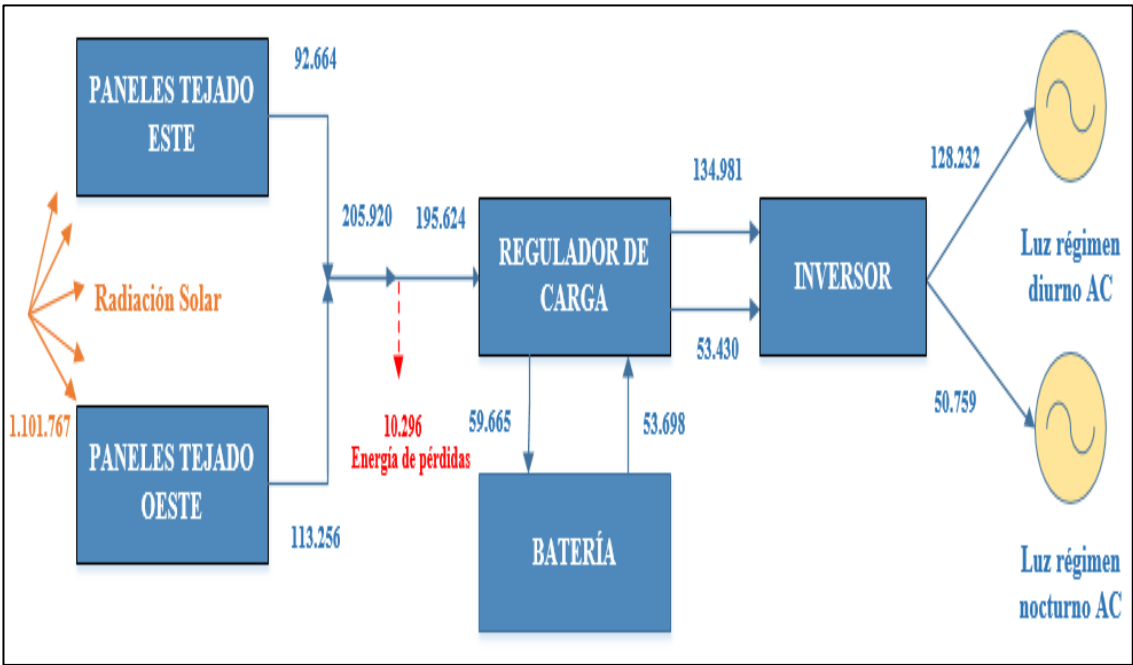


Figura 40: Diagrama de bloques para luces de alto consumo (Fuente: Elaboración propia)

3.4.7.1.2 Diseño de equipos

a) Inversor:

• Número de inversores:

La cantidad de inversores, depende de la potencia de diseño (valor sobredimensionado), que acorde a datos históricos, corresponde aproximadamente a un 5% mayor a la establecida (evitar imprevistos eléctricos) y la potencia del inversor, cuyo valor es equivalente a 8.000[W].

Se obtiene un número de inversor equivalente a:

$$N_{\text{inversores}} = \frac{10686 * 1,05}{8000} \sim 2[\text{inversor}]$$

Se requieren 2 inversores para poder satisfacer las condiciones de corriente y voltaje del sistema, por lo tanto, se asume una configuración de 2 inversores en serie y 1 en paralelo con el fin de facilitar conexiones eléctricas de salida.

b) Panel fotovoltaico

• Número de paneles:

Para la determinación de paneles, es importante la obtención el área de impacto que generan dichos módulos dentro del sistema, considerando las condiciones estandarizadas empleadas en la construcción, además de la cantidad de tiempo disponible para la máxima absorción de energía solar.

La necesidad energética de alimentación de paneles corresponde a 119.667[Wh] (obtenido previamente en el balance), mientras que la eficiencia de cada uno es de 18,69%, Adicionalmente el HPS (obtenido en el estudio anterior) corresponde a 4,01[h], emitiendo una radiación equivalente de 1000[W/m²] a 25[°C] y un espectro de AM1.5.

El área de impacto equivalente corresponde a:

$$A_{\text{impacto}} = \frac{205.920}{0,1869 * 4,01 * 1000} = 274,75[\text{m}^2]$$

Además, el cálculo del número de paneles, se obtiene mediante la división entre el área de impacto y las dimensiones del módulo correspondientes a: 1560 x 808[mm²].

El número de paneles corresponde a:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{274,75}{1,277} \sim 216 [\text{panel}]$$

El caso de alto consumo, no permite la evaluación técnica dadas las características del sitio, ya que acorde a las restricciones establecidas, existe un máximo de 140[paneles] para el tejado completo del gimnasio, dado los espacios de implementación, por consiguiente, supera lo estipulado. Es importante señalar que existe la posibilidad de instalar 20[paneles] en el techo de la bodega, sin embargo, el número requerido para el proceso, lo supera con holgura. Finalmente, por razones de viabilidad, no se construye en la quebrada ubicada en la parte posterior del gimnasio, ya que requiere de una base de radier para instalar paneles, incrementando los costos de inversión del trabajo, y con ello, la generación de un complejo sistema de cableado eléctrico.

3.4.7.2 Caso II: Sistema fotovoltaico para luces LED

3.4.7.2.1 Balance de Energía

La descripción de corrientes para Luces LED, se establecen en la tabla N°15.

Tabla 15: Composición y valor de corrientes para luces LED (Fuente: Elaboración propia)

Corriente	Descripción de corriente de energía	Valor [Wh]
0	Solar de Incidencia	244.925
1	Alimentación desde paneles Este	21.213
2	Alimentación desde paneles Oeste	24.563
3	Demanda global para el sistema fotovoltaico	45.766
4	Entrada a regulador	43.487
5	Flujo entre regulador e inversor (diurno)	30.269
6	Requerida para la iluminación diurna	28.756
7	Entrada a la batería	13.001
8	Flujo entre batería y regulador	11.701
9	Flujo entre regulador e inversor (nocturno)	11.642
10	Requerida para la iluminación nocturna	11.060
11	Pérdidas del sistema	2.289

El diagrama de bloques se resume como indica la figura N°41.

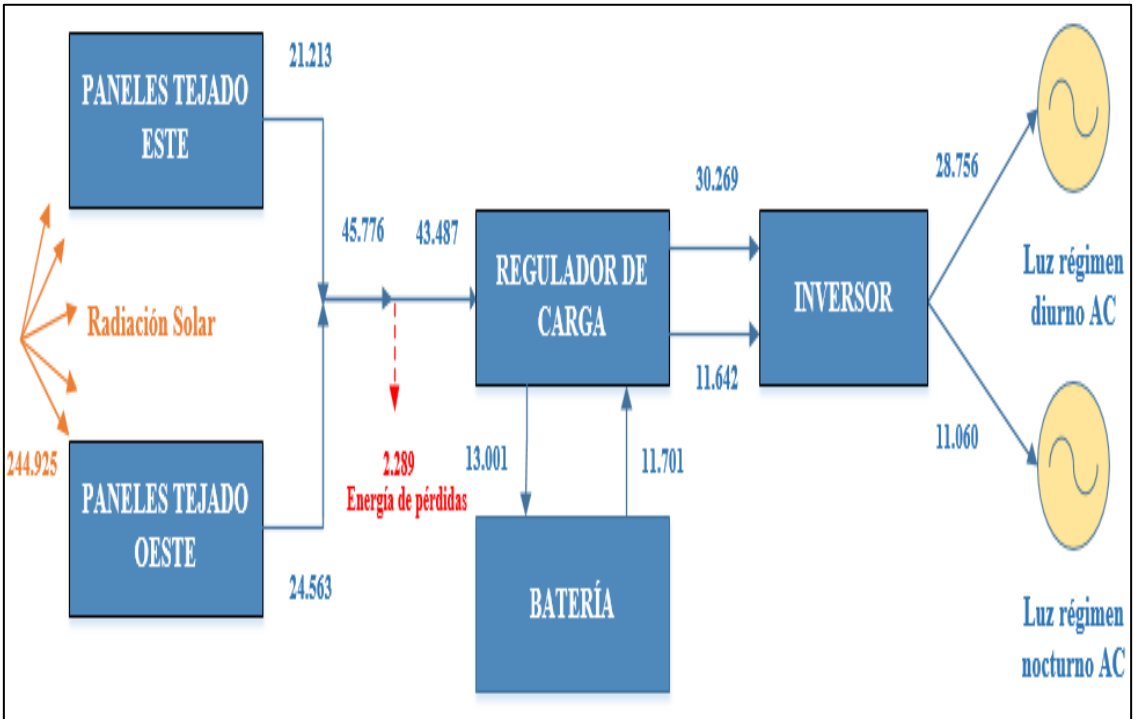


Figura 41: Diagrama de bloques para luces LED (Fuente: Elaboración propia)

3.4.7.2.2 Diseño de equipos

a) Inversor:

• Número de inversores:

El número de inversores a utilizar complementa la potencia de sistema LED, equivalente a 2212 [W]. Además, el criterio de sobredimensionamiento para el inversor (potencia nominal de 8000[W]) es similar al punto anterior

El número de inversores corresponde a:

$$N_{\text{inversores}} = \frac{2212 * 1,05}{8000} \sim 1 \text{ [inversor]}$$

Se establece una configuración de 1 inversor en serie y paralelo para efectos el sistema fotovoltaico.

b) Paneles Solares

• Número de paneles:

El diseño de paneles es equivalente al caso de luces de alto consumo, por consiguiente, el área de impacto se reduce dada las características del sistema LED.

El área de impacto corresponde a:

$$A_{\text{impacto}} = \frac{45.776}{0,1869 * 4,01 * 1000} = 61,08[\text{m}^2]$$

$$N_{\text{paneles}} = \frac{56,87}{1,277} \sim 48 \text{ [panel]}$$

Se requieren de 48 [paneles] para cumplir con la demanda energética del sistema fotovoltaico.

La cantidad de paneles para cada tejado corresponde a:

$$N_{\text{paneles Este}} = \left(\frac{5,5}{12}\right) * 48 \sim 22, \text{ pero por razones técnicas se opta por 21 paneles}$$

$$N_{\text{paneles Oeste}} = 48 - 21 = 27 \text{ [panel]}$$

Los paneles requeridos para satisfacer la demanda global de energía corresponden a 21 [unidades] para el tejado “Este” y 27 [unidades] para el tejado “Oeste”.

• Distancia mínima entre arreglo de paneles:

Dada las condiciones meteorológicas del sitio, se establecen 2 distancias, correspondientes al efecto del Solsticio de verano e invierno.

$$d_{\text{mínima}} = 1,580 * \left(\cos 45 + \frac{\sin 45}{\tan 57}\right) = 1,84[\text{m}] \text{ (Solsticio de verano)}$$

$$d_{\text{mínima}} = 1,580 * \left(\cos 45 + \frac{\sin 45}{\tan 34}\right) = 2,78[\text{m}] \text{ (Solsticio de invierno)}$$

Por consiguiente, la distancia mínima entre cada panel es de 2,78[m], en el caso de una disposición de uno detrás de otro, sin embargo, para efectos de seguridad, se establece una distancia mayor, correspondiente a 3[m].

• Temperatura de trabajo:

En el caso de la temperatura de trabajo, se establece un valor de 0,3[°C*cm²/mW] considerando que los vientos de la zona son en promedio 4,5[m/s] (brisa suave acorde a la escala Beaufort) y de magnitudes mayores de manera ocasional (cuando existen altas temperaturas) El valor establecido indica que la zona presenta vientos esporádicos, obteniendo un valor promedio del factor, considerando un rango disponible entre 0,2 y 0,4 [°C*cm²/mW].

Por otro lado, la radiación es variable, obteniendo altos valores para meses de verano, mientras que en invierno se reduce drásticamente, por consiguiente, se establece un valor promedio de 90[mW/cm²] considerando un rango entre 80-100[[mW/cm²], debido a que existen una radiación moderada para el año.

Finalmente, la temperatura ambiente se considera 25[°C] para meses calurosos, mientras que, para estaciones gélidas el valor desciende a 15[°C], por consiguiente, el panel debe soportar condiciones críticas, de tal manera de operar adecuadamente, por lo tanto, debe cumplir con el valor de mayor magnitud.

La temperatura máxima de trabajo corresponde a:

$$T_t = 25 + 0,3 * 90 = 52 \text{ [°C]}$$

El valor corresponde 52[°C], por consiguiente, no puede superar el valor, de lo contrario, repercute en el funcionamiento eléctrico del panel y del sistema de generación.

• Ángulo óptimo de inclinación:

Acorde al mes de Junio, el valor obtenido es de 47[°], sin embargo, para efectos prácticos, el valor final desciende a 45[°].

• Configuración:

En el caso de número de arreglos, el volumen de paneles se ve reducido de manera sustancial en comparación al alto consumo, por consiguiente, existe una mayor probabilidad de aumentar las configuraciones del sistema.

La configuración de paneles para el tejado Este, se establece acorde a la tabla N°16.

Tabla 16: Configuración de paneles para tejado Este (Caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Voltaje [V]	N°S	Valor final [V]	Corriente [A]	N°P	Valor final [A]
37	1	37	5,41	21	113,61
	3	111		7	37,87
	7	259		3	16,23
	21	777		1	5,41

Todas las configuraciones son admisibles, sin embargo, la elección corresponde al arreglo 7x3, por lo tanto, se utilizan 7 paneles en serie y 3 en paralelo, por efectos de seguimiento del sol, ya que cubren aproximadamente la mitad del tejado durante la mañana, por lo tanto, se garantiza mayor continuidad de energía solar a los paneles, además de escatimar los valores de voltaje y corriente.

La configuración de paneles para el tejado Este, se establece acorde a la tabla N°17.

Tabla 17: Configuración de paneles para tejado Oeste (Caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Voltaje [V]	N°S	Valor final [V]	Corriente [A]	N°P	Valor final [A]
37	1	37	5,41	29	146,07
	3	111		9	48,69
	9	333		3	16,23
	27	999		1	5,41

Todas las configuraciones son admisibles, sin embargo, la elección corresponde al arreglo 9x3, por lo tanto, se utilizan 9 paneles en serie y 3 en paralelo, dada las mismas razones que el caso anterior.

- c) Batería
- Carga del sistema:

Para la determinación de la carga del sistema, es importante la obtención de un dimensionamiento adecuado respecto a la descarga que se realiza durante las noches, cuyo valor asciende a 11.116[Wh], de tal manera de suplir la demanda de energía, considerando el caso más crítico (17:45 hrs como hora de puesta del sol, pero 17:30 como diseño técnico), obteniendo una magnitud de 10% de sobredimensionamiento. Además, la profundidad de descarga incide en la superficie de baterías, por lo tanto, dada las condiciones del terreno, la elección corresponde a 50% de descenso máximo.

La energía de almacenamiento del conjunto de baterías, corresponde a:

$$E_{TOTAL} = \frac{11701 * 1,1}{0,5} = 25.742,2[Wh]$$

Para la obtención de la carga del sistema, se realiza la división entre la energía de almacenamiento y el voltaje nominal, equivalente a 12[V].

La carga global de la batería es equivalente a:

$$C_{\text{TOTAL}} = \frac{25742,2}{12} = 2145,18[\text{Ah}]$$

La carga máxima del sistema corresponde a 2145,18[Ah].

- Número de baterías

El valor se obtiene mediante la división entre la carga total y el amperaje de una batería (valor unitario de carga)

El número de baterías corresponde a:

$$N_{\text{baterías}} = \frac{2145,18}{220} \sim 10 [\text{batería}]$$

Se requieren de 10 baterías para alimentar el sistema de luces durante la noche, considerando un almacenamiento periódico y continuo.

- Configuración:

Para la obtención de la corriente máxima en continuo, se requiere la utilización de la ecuación de voltaje y corriente (Ver ecuación N°21 del punto 3.5.1.3).

La potencia activa de halógenos corresponde a 200[W], mientras que las campanas poseen un valor de 150[W]. Adicionalmente cada foco posee un factor de potencia de 0,95 y un sobredimensionamiento de 5% dadas las condiciones de la iluminación.

Finalmente se establece un voltaje de red de 220[V], acorde a la normativa Chilena de electricidad.

La corriente de total de las luces LED corresponde a:

$$I_{\text{AC}} = \frac{\left(\frac{14 * 100}{0,95} + \frac{4 * 150}{0,95}\right) * 1,05}{220} \sim 10,1[\text{A}]$$

Por otro lado, existen 10 baterías para el sistema cuyo voltaje máximo equivale a 12[V], por consiguiente, se obtiene la corriente máxima del acumulador mediante balance de corriente y voltaje.

La corriente máxima en continuo de la batería corresponde a:

$$I_{\text{max CC}} = \frac{10,1 * 220}{10 * 12} \sim 18,52[\text{A}]$$

Se obtiene una corriente máxima de batería de 18,52[A], cumpliendo con la condición de entrada al inversor, cuya restricción es de 140[A].

La configuración de baterías se establece acorde a la tabla N°18.

Tabla 18: Configuración de baterías (Caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Voltaje max[V]	Ns	Valor final [V]	Cte. max [A]	Np	Valor final [A]
12	1	12	18,52	10	185,2
	2	24		5	92,6
	5	60		2	37,04
	10	120		1	18,52

Todas las configuraciones son válidas, sin embargo, la elección corresponde al arreglo 10x1, considerando 10 [baterías] en serie y 1 en paralelo, de tal manera de incrementar el rango de voltaje y mantener la corriente estable.

d) Regulador de carga

• Número de reguladores

Para la obtención del número de equipos de control, se aplica el criterio de corriente máxima para el soporte total. En el caso de la corriente de carga se considera la potencia instalada equivalente a 2212[W].

La corriente generada por la red, corresponde a:

$$I_{\text{carga}} = \frac{2212}{220} \sim 10[\text{A}]$$

Se obtiene una corriente aproximada a 10[A], cantidad menor a generación del regulador.

Por otro lado, la corriente que genera el sistema de paneles, puede disminuir o aumentar, ya que depende de las ramas en paralelo de cada módulo, La corriente que se genera por arreglo, es equivalente al caso anterior, cuyo valor es de 5,41[A].

La corriente generada por efecto de paneles en paralelo, corresponde a:

$$I_{\text{paneles en paralelo}} = 5,41 * (3 + 3) = 32,46[\text{A}]$$

La corriente máxima que debe soportar el regulador mediante configuración de paneles es de 32,46[A], superando la cantidad establecida por el regulador (máxima).

Adicionalmente, el último caso corresponde a la corriente de salida de la batería, cuyo valor máximo obtenido es de 10,1[A] y el arreglo en paralelo corresponde a 1[-].

La corriente generada por efecto de baterías en paralelo, corresponde a:

$$I_{\text{batería}} = 10,1 * 1 = 10,1 [\text{A}]$$

La corriente máxima que genera la batería equivale a 10,1[A], cantidad ínfima en comparación a lo que generan los paneles fotovoltaicos.

Por lo tanto, acorde a la elección del regulador, la generación máxima del equipo es de 30[A], por consiguiente, la maximización de la corriente entre la carga, panel y batería, es de 32,46[A].

El número de reguladores corresponde a:

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{32,46}{30} \sim 2 [\text{regulador}]$$

Se necesitan 2 reguladores de carga para satisfacer la demanda del sistema.

• Configuración

La configuración de reguladores se establece acorde a la tabla N°19.

Tabla 19: Configuración de reguladores (Caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Voltaje max[V]	Ns	Valor final [V]	Corriente max [A]	Np	Valor final [A]
47	1	47	30	2	60
	2	94		1	30

Ambas configuraciones son válidas, sin embargo, la elección corresponde al arreglo 2x1, por lo tanto, se utilizan 2 reguladores en serie y 1 en paralelo con el fin de incrementar el voltaje.

e) Cableado eléctrico

En el caso del cableado eléctrico, es importante la consideración de la corriente de salida en cada equipo, a partir del arreglo en paralelo realizado, con el propósito de obtener la magnitud en cada sección del cable entre la unión de equipos.

El resumen de las corrientes de salida se establece en la tabla N°20.

Tabla 20: Corriente mínima de diseño para el cableado (Caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

N°	Corriente salida	Corriente max [A]	Np	Cte. min. [A]
1	Tejado Este	5,41	3	16,23
2	Tejado Oeste	5,41	3	16,23
3 y 4	Conjunto de paneles	5,41	6	32,46
5,7 y 9	Regulador	30	1	30
6 y 10	Inversor	10,1	1	10,1
8	Batería	18,52	1	18,52

El diseño mínimo del grosor para todo el sistema corresponde al cordón que admita un valor mínimo de corriente de 32,46[A], por consiguiente, se requiere de un calibre 8 [AWG/kcmill], con sección nominal de 8,37[mm²], diámetro aproximado de 3,4[mm] de tal manera de resistir una corriente máxima de 66[A] al aire libre.

3.4.7.2.3 Layout del sistema fotovoltaico tipo LED

La luz solar incide en los paneles solares ubicados en la zona inclinada del gimnasio, donde la energía de generación, se transporta por el cableado hasta el regulador, situado en la bodega, donde parte se transfiere directamente al inversor (diurno), para posteriormente retornar al gimnasio e iluminar, mientras que el resto, desciende por el cableado que une el elemento control el arreglo de baterías (nocturno). Una vez terminado el día, la energía de los acumuladores llega hasta el inversor para la posterior transformación de corriente, con el fin de retornar al gimnasio y realizar la iluminación nocturna.

El esquema layout del proceso se expresa en la figura N°42

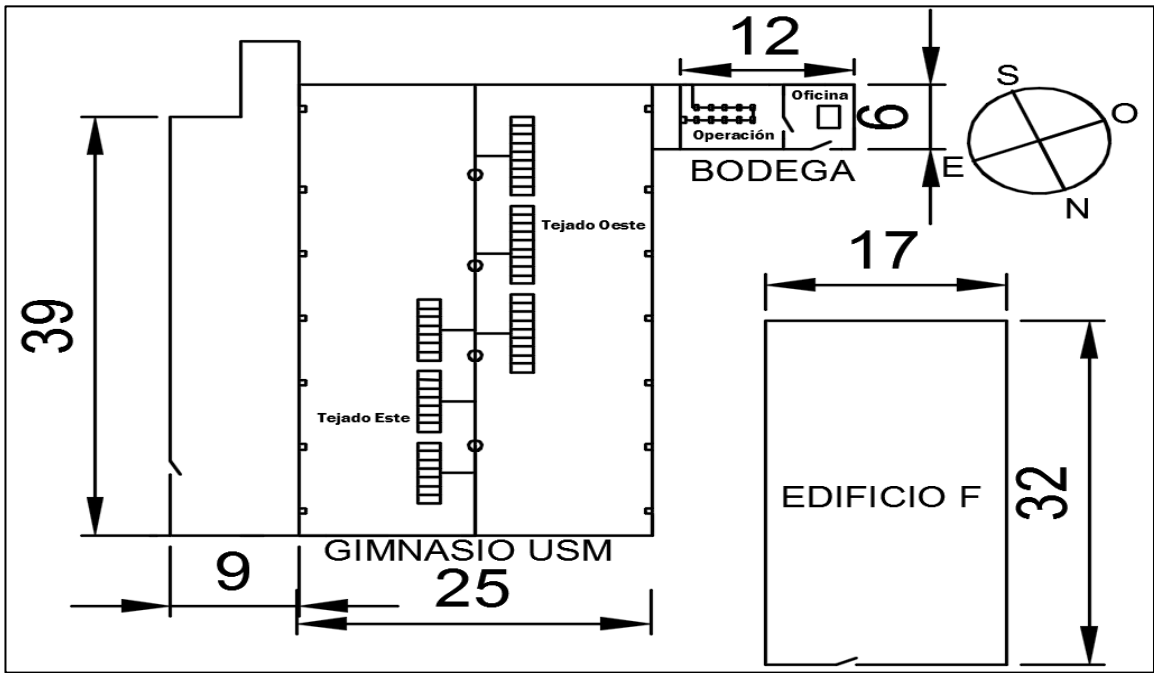


Figura 42: Layout del proceso para luces LED (Fuente: Elaboración propia)

El detalle de superficies de equipos se establece en la tabla N°21.

Edificación/Equipo	Cantidad	Dimensiones [m]x[m]	Área total [m²]
Gimnasio USM	1	25x42+39x5+4x7	1.273
Bodega	1	10x6	60
Edificio “F”	1	17x32	544
Panel Solar	48	1,580x0,808	61,28
Batería	10	0,522x0,238	1,24
Regulador	2	0,187x0,044	0,016
Inversor	1	0,467x0,242	0,11

Tabla 21: Detalle de superficies del layout (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

3.4.8 Mantenimiento de equipos

Las consideraciones para esta sección son esenciales para la preservación de los equipos para el sistema fotovoltaico mediante el uso de luces LED, reduciendo los problemas técnicos que puedan repercutir en el sistema.

Las consideraciones generales para cada equipo corresponden a:

- Panel fotovoltaico

- Verificar que la zona de trabajo de paneles se encuentre sin obstrucciones como edificios, alumbrado, árboles, etc., ya que, la sombra proyectada merma la eficiencia en el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos, y con ello, se reduce la captación solar.

- Además, durante meses de invierno, es importante aprovechar al máximo la radiación debido al bajo valor de HPS presente.

- Realizar una limpieza periódica en la cubierta frontal de vidrio del panel, tomando como criterio, la suciedad presente en el ambiente, es decir, la cantidad de polvo que se acumula dentro del tiempo determinado de funcionamiento y realizarlo a mediante ese lapso. La zona presente posee un ambiente relativamente limpio (baja carga de partículas en el aire), por consiguiente, la limpieza se recomienda entre 1 vez al mes con agua y detergente (no utilizar cloro).

- Verificar que exista una buena conexión de terminales, es decir, que se encuentren bien apretados y no existan fugas asociados a ella, ya que un mal acoplamiento puede generar problemas de circulación de corriente dentro de ésta y con ello, crear un funcionamiento deficiente del sistema. Adicionalmente las conexiones deben realizarse correctamente, evitando problemas de cubrimiento del cable y con ello, pérdidas excesivas de calor.

- Asegurar que el soporte se encuentre bien instalado, de tal manera de mantener los paneles en una posición óptima respecto a la luz solar.

•Batería Solar

-Nunca exponer estos equipos directamente al calor o frío, puesto que altas temperaturas (sobre 30°C) pueden generar problemas asociados a la concentración del electrolito como oxidación del sostén en el plano celda y con ello una reducción de la vida útil. En caso contrario, se estima que una batería que trabaja a bajas temperaturas (menor a 20°C), puede generar problemas con el voltaje y con ello, un aumento súbito de la resistencia interna que puede colapsar el sistema.

-Contar con ventilación adecuada (entre 20°C-25°C), para baterías de ácido-plomo o níquel-cadmio, ya que estas desprenden gases de hidrógeno y oxígeno que, bajo ciertas condiciones de temperatura, pueden generar inflamabilidad y con ello un principio de incendio. (No utilizar dispositivos eléctricos ni fumar dentro de las cercanías de la batería).

-Mantener el nivel del electrolito en condiciones adecuadas, de tal forma que cubra adecuadamente las placas (entre 10-12 mm) por encima del borde superior, mientras que en la caja exterior de la batería sea de color transparente y se encuentre visible el nivel del electrolito.

-Medir la densidad del electrolito a carga completa por testeo mediante el uso de un densímetro, considerando valores de referencia estipulados en la especificación técnica.

-Limpiar la cubierta superior de las baterías con un paño, agua y detergente (en mínima cantidad), para la remoción de polvo. Adicionalmente proteger los bornes con antioxidante de tal manera de evitar la sulfatación y envejecimiento de conexiones.

-Verificar que los bornes de conexión se encuentren bien apretados, para evitar consecuencias similares a las mencionadas en paneles fotovoltaicos.

- Regulador de carga

- Verificar que las conexiones realizadas al regulador, correspondan efectivamente a la entrada/salida del panel solar, batería e inversor, de tal manera de obtener un sistema de regulación eficiente y evitar problemas asociados a la carga de corriente.

- Realizar una inspección periódica al equipo, considerando que el funcionamiento excesivo puede causar algún problema de funcionamiento motor asociado al regulador e inversor, tal como, mal funcionamiento de conexiones.

- Calibrar correctamente los equipos, con el fin de entregar valores confiables que permitan al usuario entender adecuadamente la información entregada.

- Inversor

- Chequear que los valores de potencia entregados por el sistema sean acordes a las cargas.

- Verificar que las conexiones del inversor se encuentren correctamente instaladas.

- Calibrar los equipos en caso de valores anómalos.

- Cableado

- Preservar el orden de los cables, mediante el uso de distintos colores para los equipos.

- Mantener los cables a una temperatura adecuada (20-25°C), ya que generan la conexión de todo el sistema, donde un buen rango de trabajo, preserva baterías y paneles.

- Evitar realizar enroscados o pegar con cinta adhesiva en caso de fallas eléctricas.

- Verificar que las terminaciones se realicen adecuadamente con los equipos correctos.

- Chequear que el tamaño de los alambres sea acorde a la caída de tensión del sistema.

3.4.9 Consideraciones generales

Las luces de alto consumo generan una demanda global equivalente a 205.920[Wh] de energía solar, creando un sistema fotovoltaico inadmisiblemente técnico, ya que la cantidad de paneles, superan la restricción propuesta (140 como máximo).

En el caso de baterías, se establece un volumen global de 225[m³], y con ello, un máximo de 60[unidades] (en caso hipotético, el sistema fotovoltaico admite 43 [baterías]), por lo tanto, se cumple con la restricción del acumulador.

Existe la posibilidad de instalar paneles en los techos de otros edificios, o bien, en el punto más ínfimo de la quebrada, sin embargo, en el primer caso, se incrementan los costos asociados a instalación y compra de cables, ya que se requieren de muchos metros para la instalación, además de mucha altura para la implementación y autorización por parte del personal del edificio “F”. En el caso del punto mínimo de la quebrada, existe una incertidumbre constante respecto a la proyección de sombra dada la forma y rugosidad del terreno, por lo tanto, se descarta categóricamente para el estudio económico.

Por otro lado, las luces LED son admisibles para el caso, ya que cumple con todas las restricciones de uso, por lo tanto, corresponde al único caso de análisis para el estudio económico (capítulo 4).

CAPÍTULO 4: “ESTUDIO ECONÓMICO”

4.1. Energía eléctrica

4.1.1 Mercado Chileno y mundial

El mercado Chileno ha ido en aumento progresivo durante los últimos años, siendo uno los más caros de Latinoamérica y el mundo, considerando un costo promedio de 143[MWh/USD], mientras que la media mundial es de 86[MWh/USD]⁵, en lo que respecta para el año 2015. El factor que determina principalmente este brusco ascenso, corresponde al consumo de agua utilizado en minería, ya que es proporcional a la demanda de energía, generando consecuencias para los principales sectores del país.

La crisis energética es un tema trascendental en Chile, ya que es dependiente de importaciones de petróleo (97%), carbón (95%) y gas (85%), transformándolo en el país latinoamericano con mayores importaciones en cuanto a insumos externos dentro del rubro de combustibles fósiles, aumentando la contaminación por efectos de material particulado (grueso y fino), nitrogenados, sulfurados, etc. para equipos que requieran la utilización de estas materias primas.

Los costos de energía son un problema para la inversión dentro de rubros ganaderos, agrícolas, forestales, mineros e industriales, ya que los aumentos progresivos en los precios, reducen las posibilidades de realizar proyectos, puesto que se requieren de matrices energéticas que permitan sustentar estos altos consumos, que muchas veces no pueden efectuarse debido a que el sistema se destina para otro tipo de actividades, o bien son utilizados para fines domiciliarios.

La matriz energética de la demanda mundial se basa principalmente en carbón alcanzando una participación cercana al 40%, sin embargo, la generación en base a derivados de petróleo como diésel y fuel, se redujo cerca del 5% respecto al año 2012.

⁵ <http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=96735658>

Adicionalmente, se han incrementado matrices energéticas con respecto a la generación en base a energía nuclear, gas natural y ERNC (solar, eólica y geotérmica principalmente)

Durante 2014, la generación eléctrica en Chile, se basó principalmente en térmica, compuesta por carbón (41%) y gas natural (11%), siendo la principal fuente la hidroelectricidad (34%).

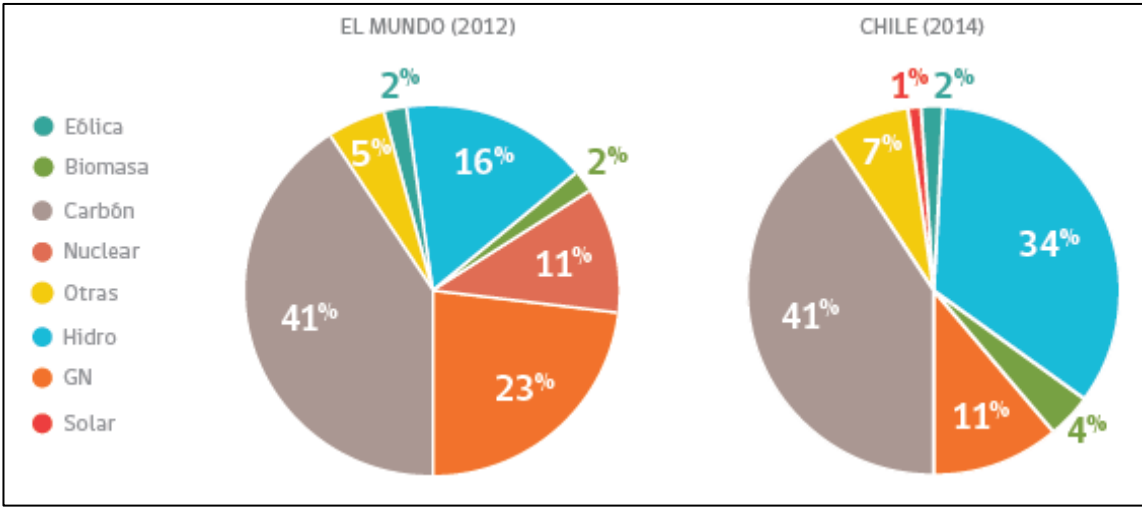


Figura 43: Generación de energía eléctrica en Chile (2014) y el mundo (2012) (Fuente: Energía 2050, Chile)

Por otro lado, Chile ha tenido una importante participación histórica respecto al uso de energías renovables (principalmente hidroeléctrica), con un promedio cercano de 65% para la década de los 70, mientras que para los años 80, la participación asciende a un 80%. Actualmente el rango fluctúa entre un 30%-40% dependiendo de las condiciones hidrológicas.

Actualmente la matriz energética posee una capacidad instalada total de 20.375[MW] (año 2015), sesgado por el Sistema Interconectado Central (SIC), con un 77,7%, Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) representando un 21,54%, además de los Sistemas de Aysen y Magallanes con una composición energéticas de 0,76%⁶ (No incluyen los sistema medianos de Cochamó, Hornopiren, Isla de Pascua, San Pedro de Atacama, etc.).

La generación promedio del SIC entre 2010-2014 es de aproximadamente 48.207[GWh], compuesta principalmente por hidroeléctrica (43%), termoeléctrica de carbón, gas y diésel (52%) y energías limpias (solar, biomasa y eólica) (5%). En el caso

⁶ Energía 2050 “Política Energética de Chile”

del SING, la generación aproximada es de 16.530[GWh], donde la composición principal corresponde a termoeléctrica (98%), hidroeléctrica (1%) y otras (1%).

La capacidad eléctrica instalada para los sistemas se establece en la figura N°44.

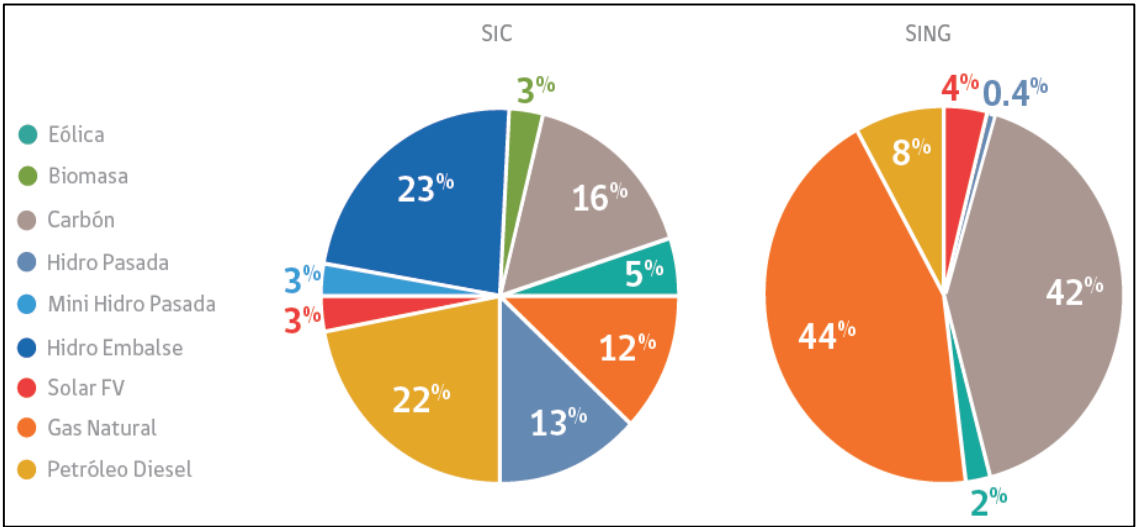


Figura 44: Capacidad instalada dentro del SIG y SING (año 2015) (Fuente: Energía Abierta)

Por otro lado, los principales consumos se traducen dentro del rubro comercial, industrial, minero, transporte y público y residencial (CPR), aportando un 40% del total para lo que respecta a la industria (24%) y minería (16%). Adicionalmente, el sector de transportes contribuye con un 24% del total, debido a la demanda creciente durante los últimos años. Además, se estima un consumo energético del 21% para el sector comercial, público y residencial utilizando electricidad como primera opción, seguido de biomasa, gas licuado y natural.

Finalmente, durante los últimos años se ha producido un gran crecimiento respecto a la implementación de ERNC, ya que para el año 2005 existía una capacidad de 286[MW], mientras que durante el mes de Octubre de 2015, se completó 2269[MW], ocupando un 11,41% de la capacidad total del sistema eléctrico, y con ello, incrementado a razón de un 10% respecto al mes anterior.

4.1.2 Precios de la energía

La Energía eléctrica es primordial para la realización de varias actividades a nivel industrial, tal como: refrigeración, calefacción, lavado, utilización de equipos por suministro, etc. por consiguiente, es importante considerar el análisis de los precios, ya que afectan principalmente en la inversión de cartera de proyectos para entes nacionales o extranjeros, además de los costos operacionales en el rubro de industrias.

Chile ha cuadruplicado el consumo desde 1990 hasta 2013 a partir de 16.431 [GWh] hasta 68.866 [GWh], aumentando sustancialmente la demanda energética en un 391% para el país durante ese periodo, sin embargo, no representa proporcionalidad alguna, en relación al crecimiento de la población, ya que sólo ha crecido en aproximadamente en 3.2 millones de personas, representando un bajo desarrollo demográfico, debido a las bajas en la tasa de natalidad.

Por otro lado, hubo un incremento de la participación del petróleo diésel durante 2015, debido a las importaciones realizadas por Argentina en conjunto con la volatilidad de precios de combustibles importados internacionalmente, además de las dificultades técnicas de proyectos a realizar en territorio nacional y el extenso periodo asociado a las sequías que afectó principalmente a la zona sur del país, reduciendo en gran parte la generación hidroeléctrica, transformándolo en un desafío energético primario para el país, debido a fluctuaciones de costos que afectan directamente a los precios del Kilowatt-hora.

Los costos marginales eléctricos, acorde a “Energía 2050 (Política Energética de Chile)”, se resumen a partir de la figura N°45.

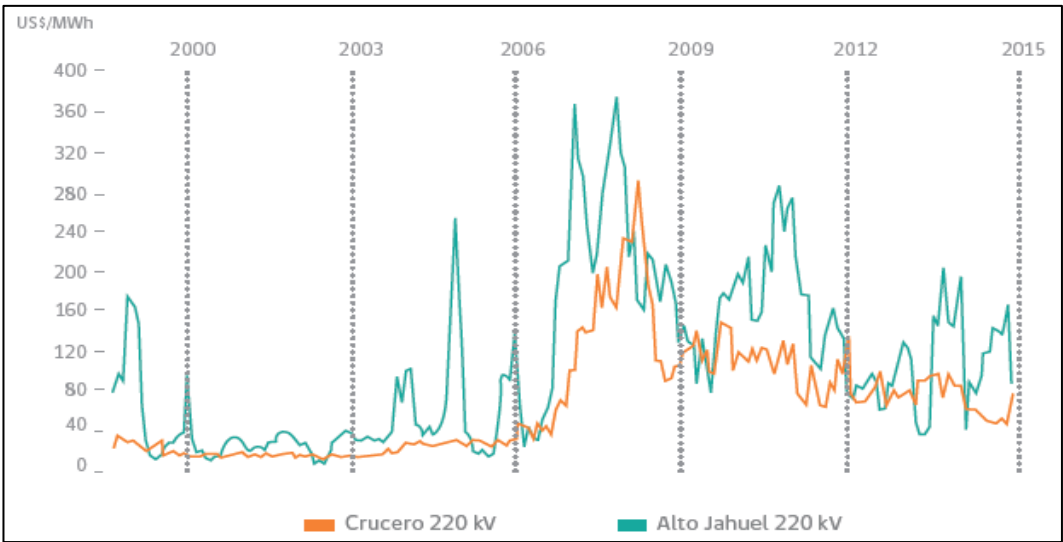


Figura 45: Costos marginales eléctricos del SIC (Alto Jahuel) y SING (Crucero) desde 1999-2015

Además, la revolución tecnológica de la última década, ha generado cambios con respecto al escenario energético mundial, específicamente en la explotación de gas natural y petróleo para yacimientos convencionales y no convencionales, cambiando políticas en cuanto al volumen de combustible obtenido, favoreciendo a Estados Unidos ,y con ello, desplazando a Arabia Saudita como principal país productor de petróleo crudo y a Rusia en lo que respecta a extracción de hidrocarburos, generando un desequilibrio económico en los mercados internacionales de combustibles, con efectos políticos y económicos, dado a la transición de importador a exportador.

En relación a Chile, el efecto de la revolución tecnología se podrá apreciar en algunos años más, considerando que países vecinos, poseen grandes reservas no convencionales sin explotar y en caso de realizarlo, cambia el suministro energético para el continente, tomando como ejemplo a Argentina, que cuenta actualmente con 27.000 barriles de petróleo no convencional y aproximadamente 802 billones de pies cúbicos de Shale Gas acorde al Departamento de Energía del Gobierno de los Estados Unidos.

Por otro lado, las grandes reservas de combustibles fósiles a nivel mundial, han generado un descenso sucesivo respecto a los precios, constituyendo un escenario a favor, para energéticos que contribuyen a emisiones GEI.

El índice de precios de combustibles fósiles acorde a “Energía 2050 (Política Energética de Chile)”, se resume a partir de la figura N°46.

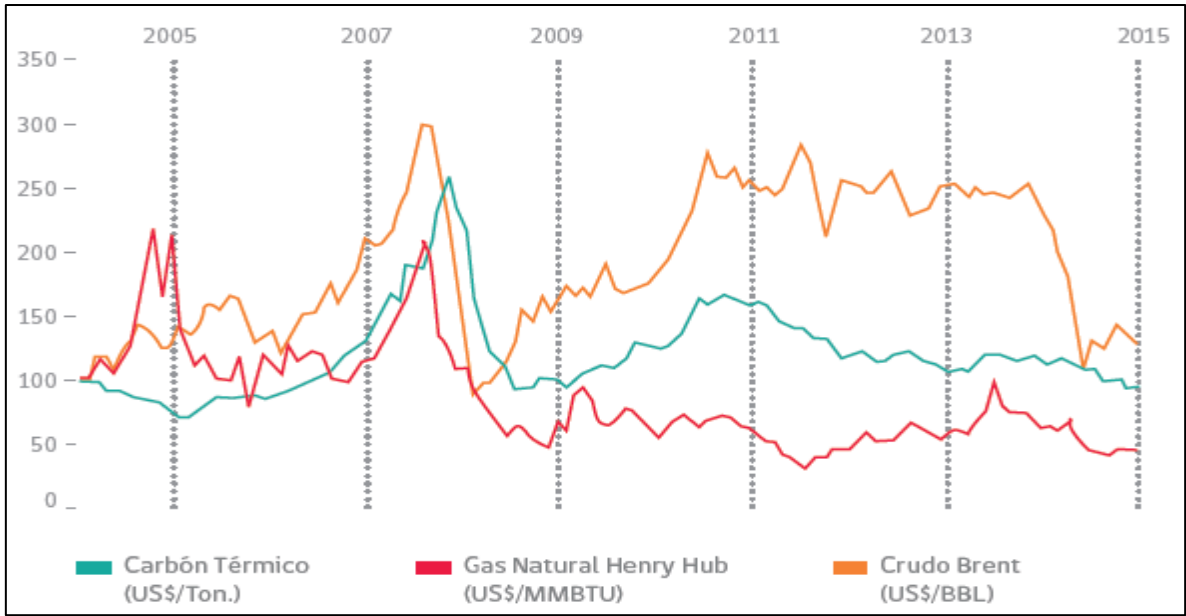


Figura 46: Índice de precios de combustibles fósiles (2005-2015)

4.2. Cálculos asociados al estudio económico

4.2.1 Análisis de cálculos

4.2.1.1 Indicadores financieros

- Tasa de descuento (d): Corresponde al costo de oportunidad de realizar el proyecto, es una medida financiera que permite estimar el valor actual de gastos futuros, por consiguiente, mientras mayor el riesgo del proyecto, el incremento de la tasa de descuento es más alta.

- Tasa Interna de Retorno (o TIR): corresponde a la tasa de rendimiento que se utiliza en la medición y contraste de inversiones, por consiguiente, alude principalmente a una tasa efectiva anual compuesta de un retorno que hace el Valor Agregado Neto (VAN) sea equivalente a cero.

La obtención de la Tasa Interna de Retorno (en [%]) se especifica en la ecuación N° 36.

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1 + d)^t} = 0 \quad (\text{Ec. 36})$$

Dónde:

R_t : flujo neto efectivo para tiempo "t" [pesos]

d: tasa de descuento [–]

i: tiempo [año]

Acorde a criterios de decisión, si $TIR > d$, implica que el proyecto es rentable, mientras que para $TIR = d$, resulta indiferente. Finalmente, si $TIR < d$, el proyecto resulta inconveniente.

- Valor Actual Neto (o VAN): corresponde a la diferencia que existe entre el valor actual de cobros (entrada) y pagos (salida) generados por la inversión, siendo un método de valoración de las inversiones.

La obtención del Valor Actual Neto (en [pesos]) se especifica en la ecuación N° 37.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_o \quad (\text{Ec. 37})$$

Dónde:

V_t : flujo de caja para tiempo "t" [pesos]

TIR: Tasa Interna de Retorno [-][-]

t: tiempo [año]

I_o : Inversión inicial [pesos]

Acorde a criterios de decisión, si $VAN > 0$, implica que el proyecto es rentable, mientras que para $VAN = 0$, resulta indiferente. Finalmente, si $VAN < 0$, el proyecto resulta inconveniente.

•Payback: Corresponde al período de tiempo necesario para que el flujo de caja del proyecto cubra el monto total de la inversión. Como los flujos de caja anuales son variables, el payback se alcanza cuando el flujo de caja actualizado y acumulado, es igual a cero.

4.2.1.2 Items de flujo de caja

4.2.1.2.1 Inversiones

Corresponden a los activos tangibles (depreciables y no depreciables) e intangibles que representan los costos de inversión para el año inicial (año cero), siendo los valores de mayor relevancia para la recuperación mediante el sistema de flujo de caja.

Para el cálculo, se realiza la suma todas las inversiones considerando activos fijos depreciables (AFD), no depreciables (AFND), intangibles (AI), además del capital de trabajo (CT) en el caso de ser estrictamente necesario.

El desglose de inversiones (en [pesos]), se obtiene a partir de la ecuación N° 38.

$$\text{Inversiones} = \text{AFD} + \text{AFND} + \text{AI} + \text{CT} \quad (\text{Ec. 38})$$

Dónde:

AFD: activo fijo depreciable [pesos]

AFNP: activo fijo no depreciable [pesos]

AI: Activo intangible [pesos]

CT: Capital de trabajo [pesos]

4.2.1.2.2 Ingresos

Los ingresos representan el flujo positivo de dinero que se obtiene por concepto de ahorro energético, siendo el medio central para la recuperación de la inversión inicial, por consiguiente, es fundamental, la realización de una buena estimación para la proyección acorde al horizonte de evaluación establecido.

- Ahorro por consumo de energía

Corresponde a la cantidad de dinero respecto a la energía salvada, si es que se utilizara el sistema de red convencional (tarifa AT 4.2), considerando a Chilquinta como la empresa para el suministro eléctrico dentro de todo el horizonte de evaluación. Para la determinación del ahorro (en pesos), se consideran los costos asociados al uso de manera anual y su proyección, por lo que se establece como base, los valores de tarifa a partir de Diciembre de 2015.

Los costos se establecen como:

a) Costo anual por energía consumida

Cantidad a pagar por la utilización anual de energía, estableciendo los precios tarifarios por kilowatt-hora consumido en el mes, por consiguiente, para la determinación del valor, se multiplica el precio por el consumo mensual y luego se procede a la realización de la suma de todos los meses.

El costo anual de energía consumida (en [pesos]) se estima mediante la ecuación N° 39.

$$\text{Costo}_{\text{consumo energía anual}} = \sum (E_{c,\text{mensual}} * PE_{c,\text{mensual}}) \quad (\text{Ec. 39})$$

Dónde:

$E_{c,mensual}$: Energía de consumo mensual [kWh]

$PE_{c,mensual}$: Precio del [kWh] para el mes respectivo $[\frac{\text{pesos}}{\text{kWh}}]$

b) Costo anual por cargo fijo

Cantidad a pagar por cargo fijo (base) que establece la compañía eléctrica, cuyo valor es constante para cada mes del año.

El costo anual por cargo fijo (en [pesos]) se estima mediante la ecuación N° 40.

$$\text{Costo}_{\text{cargo fijo}} = \sum (\text{CCF}_{\text{mensual}})_i \quad (\text{Ec. 40})$$

Dónde:

$\text{CCF}_{\text{mensual}}$ = Cargo fijo mensual establecido para mes "i" [pesos]

c) Costo anual por potencia contratada

Cantidad de potencia aparente que se establece a partir del uso correspondiente a cada tipo de luminaria presente, por consiguiente, se totaliza la potencia de cada foco, la cantidad total unitaria, el tiempo utilizado de cada uno respecto al total y el precio correspondiente a la potencia, cuyo valor se establece por la compañía.

El costo anual por potencia contratada (en [pesos]) se estima mediante la ecuación N° 41.

$$\text{CP}_{\text{contratada}} = \sum (P_{\text{foco}} * N_{\text{foco}} * \varepsilon_{\text{foco}} * \text{PPC}) \quad (\text{Ec. 41})$$

Dónde:

P_{foco} : Potencia aparente de halógeno o campana [kW]

N_{foco} : Número de focos de halógeno o campana [—]

$\varepsilon_{\text{foco}}$: Uso de halógeno o campana (horas) respecto al total del mes (horas)[—]

PPC: Precio de la potencia contratada en el mes $[\frac{\text{pesos}}{\text{mes}}]$

d) Costo anual por potencia máxima leída

Cantidad de potencia “peak” (mediante lectura de contador) que existe durante cada mes del año, por el precio establecido por la compañía, generando una medición tipo escalón, ya que no discrimina el tiempo de uso, por lo tanto, si el registro es ínfimo, se considera una utilización global para todo el mes.

El costo anual por potencia máxima leída (en [pesos]), se estima mediante la ecuación N°42.

$$\text{Costo}_{\text{PML}} = \sum (\text{PPML}_{\text{mensual}} * P_{\text{máxima leída}}) \quad (\text{Ec. 42})$$

Dónde:

PPML_{mensual}: Precio de potencia máxima leída durante el mes [$\frac{\text{pesos}}{\text{kW}}$]

P_{máxima leída}: Potencia máxima leída por contador[kW]

e) Costo anual por uso troncal

Cantidad a pagar por utilizar el troncal, representando un costo similar al fijo, ya que es un cargo por base, por consiguiente, se obtiene mediante la multiplicación de la energía de consumo del mes y el precio del uso troncal.

El costo anual por uso troncal (en [pesos]), se estima mediante la ecuación N°43.

$$\text{Costo}_{\text{uso troncal}} = \sum (\text{CT}_{\text{mensual}} * E_{\text{c,mensual}}) \quad (\text{Ec. 43})$$

Dónde:

CT_{mensual}: Costo de uso troncal en el mes [pesos/kW]

E_{c,mensual}: Energía consumida en el mes [kW]

Por otro lado, la proyección de precios de electricidad depende de los valores establecidos por el carbón, petróleo y gas natural, por consiguiente, para la estimación se realiza un escenario respecto al precio de los combustibles fósiles, de tal manera de generar un incremento multiplicado por el uso respectivo de los compuestos mencionados

dentro la matriz energética, y con ello obtener un diferencial ponderado de la energía eléctrica generando el valor final de electricidad para zona de uso público.

El diferencial ponderado de energía eléctrica, se estima mediante la ecuación N°44.

$$\pi = \varepsilon_{\text{carbón}} * \delta_{\text{carbón}} + \varepsilon_{\text{crudo}} * \delta_{\text{crudo}} + \varepsilon_{\text{gas natural}} * \delta_{\text{gas natural}} \quad (\text{Ec. 44})$$

$\varepsilon_{\text{carbón}}$: $(P_{\text{carbón},i} - P_{\text{carbón},i-1})/P_{\text{carbón},i}$

$\varepsilon_{\text{crudo}}$: $(P_{\text{crudo},i} - P_{\text{crudo},i-1})/P_{\text{crudo},i}$

$\varepsilon_{\text{gas natural}}$: $(P_{\text{gas natural},i} - P_{\text{gas natural},i-1})/P_{\text{gas natural},i}$

$\varepsilon_{\text{carbón}}$: incremento del carbón [%]

$\varepsilon_{\text{crudo}}$: incremento del crudo [%]

$\varepsilon_{\text{gas natural}}$: incremento del gas natural [%]

$\delta_{\text{carbón}}$: uso de carbón para zona pública [%]

δ_{crudo} : uso de crudo para zona pública [%]

$\delta_{\text{gas natural}}$: uso de gas natural para zona pública [%]

P: Precio combustible fósil para año "i" o "i - 1" [valor moneda país]

La proyección se realiza multiplicando el diferencial ponderado con respecto al valor anual, por consiguiente, se obtiene una función no lineal.

El costo eléctrico anual (en [pesos]) para cada año se obtiene a partir de la ecuación N° 45.

$$\text{Costo}_{\text{eléctrico del año "i"}} = \pi_i * P_i \quad (\text{Ec. 45})$$

Dónde:

π_i : Diferencial ponderado para año "i"

P_i Precio electricidad para año "i"

4.2.1.2.3 Costos operacionales

Corresponden a los costos que contribuyen directa o indirectamente en la operación del sistema fotovoltaico y que tienen como fin, participar en el proceso acorde a las necesidades del sistema, por ejemplo, electricidad para el funcionamiento de equipos y máquinas, agua caliente como transferente de energía para la corriente principal, etc.

Adicionalmente, el trabajo comprende costos asociados a prevención de equipos como mantenimiento, limpieza, análisis de químicos, etc.

El costo operacional (en [pesos]) se obtiene a partir de la ecuación N° 46.

$$\text{Costo}_{\text{operacional}} = \text{Costos mantenimiento} + \text{Costo limpieza} \quad (\text{Ec. 46})$$

Dónde:

Costo mantenimiento: Costo asociado a la mantención de baterías [pesos]

Costo limpieza: Costo asociados a la limpieza de paneles [pesos]

La proyección se realiza para valores fijos, por consiguiente, es equivalente para todos los años.

4.2.1.2.4 Costos no operacionales

Corresponden a costos que son complementos de la operación, pero no incidentes. En el caso del proyecto, el uso de electricidad en el caso de días lluvia, constituye el costo no operacional, ya que requiere de uso de energía eléctrica de la red para días lluvioso, puesto que los paneles no son capaces de absorber radiación solar dada la baja luminosidad, sin embargo, no constituye parte del proceso principal.

Los costos no operacionales (en [pesos]) se calculan a partir de la ecuación N°44.

$$\text{Costo no operacional} = CT_{\text{días lluvia}} * N_{\text{lluvia}} \quad (\text{Ec. 44})$$

Dónde:

$CT_{\text{días lluvia}}$: Costo total por días lluvia [pesos]

N_{lluvia} : días lluvia [pesos]

Finalmente, la proyección es idéntica a la utilizada para costos eléctricos.

4.2.1.2.5 Depreciación

Concepto que alude a la pérdida del valor monetario de activos depreciables en el tiempo, debido al uso frecuente de operación, además de factores externos que inciden en dicho proceso como humedad, corrosión, etc.

Representa un flujo neutro, ya que corresponde a un escudo fiscal, por consiguiente, se considera como una compensación respecto al uso de activos tangibles. En el caso de una depreciación lineal, los precios de cada activo se reducen de manera homogénea hasta el final de su vida útil.

La depreciación (en pesos), se calculada a partir de la ecuación N° 45.

$$Dep_{lineal} = \frac{C_{inversión}}{VU} \quad (Ec. 45)$$

Dónde:

$C_{inversión}$: Costo de la inversión del activo [pesos]

VU: Vida útil [año]

Por otro lado, el valor libro representa el valor que efectivamente cuesta cada activo tangible al transcurrir el año, siendo de una magnitud de cero pesos una vez que finaliza la vida útil del equipo. Para obtener el valor de cada año, se resta la inversión inicial respecto a la depreciación.

El Valor Libro (en pesos/año) se calcula a partir de la ecuación N° 46.

$$VL = C_{inversión} - Dep_{lineal} \quad (Ec. 46)$$

Dónde:

$C_{inversión}$: Costo de la inversión [$\frac{\text{pesos}}{\text{año}}$]

Dep_{lineal} : Costo de la depreciación [$\frac{\text{pesos}}{\text{año}}$]

La proyección se realiza de la manera descrita anteriormente, por lo tanto, una vez finalizada la vida útil del equipo, los valores se tornan negativos, ya que no existe el proceso de depreciación para el activo fijo.

4.2.1.2.6 Reinversión

Una vez finalizada la vida útil del equipo, se decide la continuidad de las operaciones, sin embargo, la eficiencia se reduce drásticamente, por consiguiente, se recomienda la compra de nuevos equipos y maquinarias (activos fijos depreciables).

La nueva inversión corresponde a un valor amplificado respecto al equipo de compra en el año cero, ya que los precios se corrigen por inflación, por consiguiente, se genera una relación tipo lineal.

La reinversión para el equipo “i” (en [pesos]), se calcula a partir de la ecuación N° 47.

$$VRI_i = CAD * I \quad (Ec. 47)$$

Dónde:

CAD: Costo activo depreciable para año cero [pesos]

I: Inflación histórica [—]

4.2.1.2.7 Crédito

En el caso de un proyecto con financiamiento, es importante la obtención de un crédito de largo plazo con una tasa de interés moderada, ya que permite el pago a un menor valor final en comparación con tasas más altas, reduciendo la amortización e intereses.

Se compone principalmente por:

- Capital insoluto: Monto que no se ha abonado de la deuda, es decir, la cantidad de dinero que no ha sido cubierta. Depende principalmente de la amortización del periodo y el capital del año anterior.

El capital insoluto para el periodo “t” (en [pesos]), se calcula mediante la ecuación N° 48.

$$CI_t = \text{Amortización } LP_t - CI_{t-1} \quad (Ec. 48)$$

Dónde:

Amortización LP_t : Amortización a largo plazo para periodo "t" [pesos]

CI_{t-1} : Capital insoluto para el periodo anterior t-1 [pesos]

•Valor cuota: Magnitud equitativa de dinero que se paga al banco durante el horizonte de evaluación, de tal manera de recuperar la inversión, cuyo valor depende del número de cuotas establecidas y la tasa de interés.

El valor de la cuota (en [pesos]), se calcula a partir de la ecuación N° 49.

$$VC = \frac{CI * [(1 + i)^n * i]}{[(1 + i)^n - 1]} \quad (\text{Ec. 49})$$

Dónde:

CI: capital insoluto [pesos]

i: tasa de interés [—]

n: número de cuotas [—]

•Intereses L.P: Cantidad de dinero en el tiempo que se pagaría, en caso de obtener algún crédito, utilizado principalmente en la medición de rentabilidad de ahorros.

El valor de los intereses a largo plazo (en [pesos]), se calcula a partir de la ecuación N° 50.

$$\text{Intereses L. } P_t = CI_{t-1} * i \quad (\text{Ec. 50})$$

Dónde:

CI_{t-1} : capital insoluto para el periodo anterior "t – 1" [pesos]

i: tasa de interés [%]

•Amortización L.P: Distribución de los costos de inversión como gasto a lo largo de los períodos de tal manera de obtener ingresos de dichos costos.

La amortización a largo plazo para periodo “t” (en [pesos]), se calcula a partir de la ecuación N° 51.

$$\text{Amortización L. P.}_t = VC_t - CI_t \quad (\text{Ec. 51})$$

Dónde:

VC_t : valor de la cuota para el periodo "t" [pesos]

CI_t : Capital insoluto para el periodo "t" [pesos]

4.2.2. Resultados

4.2.2.1 Criterios de evaluación económica

-Año de inicio de evaluación: Para la realización de cálculos, se establece el año 2016 como base, ya que representa un periodo de tiempo razonable para la adquisición de activos, considerando factores económicos estables acorde a los lugares de compra y venta.

-Horizonte de evaluación: Se estima un horizonte de evaluación de 25[años], considerando la vida útil de paneles, además de costos de inversión relativamente altos para proyectos de energías renovables. Finalmente es importante la verificación del comportamiento del flujo, por lo menos para 1 reinversión de cada equipo.

-Moneda: El proyecto contempla el uso del peso Chileno, ya que actualmente el dólar fluctúa de manera impredecible, por consiguiente, existe un escenario de incertidumbre respecto a su conveniencia, además de que todas las inversiones se realizan en territorio nacional.

-Tipo de depreciación: El tipo de depreciación es de tipo lineal, ya que los equipos en general no requieren pago de impuestos para el corto plazo, además de que se estima que los activos se deprecian a un ritmo similar año tras año.

-Tasa de descuento: Para la obtención de la tasa, es importante medir el nivel de riesgo del proyecto a partir de la tabla de tasa de descuento elaborada por el Banco Central (año 2013).

La tabla de tasas de descuento y criterios asociados, acorde al Banco Central, se establece en la figura N°47.

Nivel de Riesgo	Riesgo Porcentual	Características
Alto	Sobre 20%	Producto innovador Proyecto de conceptos novedosos Contratos internacionales
Mediano	Entre 10% y 20%	Proyecto fuera del giro de la empresa Procesos nuevos con poca investigación
Promedio	Entre 5% y 10%	Incremento de capacidad productiva Implementación de nuevas tecnologías Proyectos con información de mercado incompleta
Bajo	Entre 1% y 5%	Mejora de productividad Expansiones en un mercado donde se es líder
Muy Bajo	Entre 0% y 1%	Reducción de Costos Proyectos relativos a la Seguridad

Figura 47: Tabla de tasas de descuento para proyectos (Fuente: Banco Central)

El proyecto recae en 2 categorías: “Implementación de nuevas tecnologías” cuya tasa fluctúa entre 5% a 10% y “Proyecto fuera del giro de la empresa” cuya tasa varía entre un 10% a 20%. Finalmente, dado que el proyecto es utilizado para la iluminación de espacios cerrados implementando nueva tecnología en la Universidad, se establece un valor del 10%.

4.2.2.2 Items de flujo de caja

4.2.2.2.1 Inversiones

El listado de inversiones se resume en la tabla N° 22.

Tabla N°22: Inversión total de activos tangibles (Fuente: Elaboración propia)

LISTADO DE INVERSIONES			
ACTIVOS TANGIBLES Y CABLEADO			
Nombre	N°	Precio unitario [pesos]	Total [pesos]
Sunshine light proyector led 100w	14	62.986	881.804
Sunhine light campana led 150w	4	143.375	574.940
Panel solar 200 watts ps-100mj	48	122.180	5.864.640
Pernos, uniones y soportes	-	146.616	146.616
Batería ciclo profundo gel 12v 220ah	10	467.875	4.678.750
Regulador de carga steca pr-3030	2	71.820	143.640
Inversor sunny boy 8.0h	1	4.257.938	4.257.938
Cableado eléctrico tipo araflex	1000	1.200	1.200.000
Estructura regulable	48	37.606	1.805.088
Notebook packard bell	1	350.000	350.000
Sub-total			19.903.416
INSTALACIÓN DE EQUIPOS			
Instalación del sistema	1	1.990.342	1.990.342
Sub-total			1.990.342
EDIFICACIÓN, TERRENO Y MANO OBRA			
Construcción galpón metálico	72	53.742	3.869.424
Sub-total			3.869.424
Total			25.763.182

Se estima una fuerte inversión de 25.763.182 [pesos], considerando los costos por activos depreciables y no depreciables, ya que la compra de equipos aporta con un 76,8% del total, mientras que las actividades asociadas como instalación, edificación, etc. generan un 23,2% debido a la instalación simple y la baja cantidad de espacio asociado a la bodega (60m²).

4.2.2.2.2 Ingresos

- Ahorro de energía

Corresponde a la cantidad de electricidad que se ahorra durante los años de evaluación del trabajo.

La composición (en [pesos]), se resumen en las tablas N° 23, 24, 25, 26 y 27.

Tabla 23: Costo anual por energía consumida para cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Costo por energía [pesos]
Enero	71.998
Febrero	25.569
Marzo	164.600
Abril	157.336
Mayo	158.426
Junio	209.174
Julio	219.820
Agosto	228.619
Septiembre	132.233
Octubre	137.008
Noviembre	134.703
Diciembre	117.627
TOTAL	1.757.113

Tabla 24: Costo anual por cargo fijo para cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Costo por cargo fijo [pesos]
Enero	2.062,821
Febrero	2.049,861
Marzo	2.057,755
Abril	2.040,608
Mayo	2.058,437
Junio	2.093,598
Julio	2.084,218
Agosto	2.082,92
Septiembre	2.085,951
Octubre	2.085,808
Noviembre	2.099,660
Diciembre	2.106,512
TOTAL	24.907

Tabla 25: Costo anual por potencia contratada para cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Costo por potencia contratada [pesos]
Enero	11.631
Febrero	11.699
Marzo	10.533
Abril	10.178
Mayo	10.276
Junio	10.302
Julio	9.996
Agosto	10.049
Septiembre	10.223
Octubre	10.270
Noviembre	10.330
Diciembre	11.899
TOTAL	127.386

Tabla 26: Costo anual por potencia max. leída para la cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Costo por potencia max leída [pesos]
Enero	61.056
Febrero	62.109
Marzo	62.384
Abril	62.042
Mayo	62.136
Junio	65.867
Julio	66.098
Agosto	66.151
Septiembre	66.162
Octubre	66.230
Noviembre	66.232
Diciembre	66.220
TOTAL	772.687

Tabla 27: Costo anual por uso troncal para la cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Costo por uso troncal [pesos]
Enero	780
Febrero	245
Marzo	1.577
Abril	1.508
Mayo	1.518
Junio	1.881
Julio	1.878
Agosto	2.438
Septiembre	1.420
Octubre	1.471
Noviembre	1.474
Diciembre	1.287
TOTAL	17.477

A partir de la información proporcionada, se establece el consumo energético global que se utiliza para el año (2015), totalizando 2.699.572[pesos] anuales, lo que representa un gasto elevado para la iluminación, comportándose como beneficio (flujo positivo) en el flujo de caja.

La composición de costos eléctricos anuales se resume en la figura N° 48.

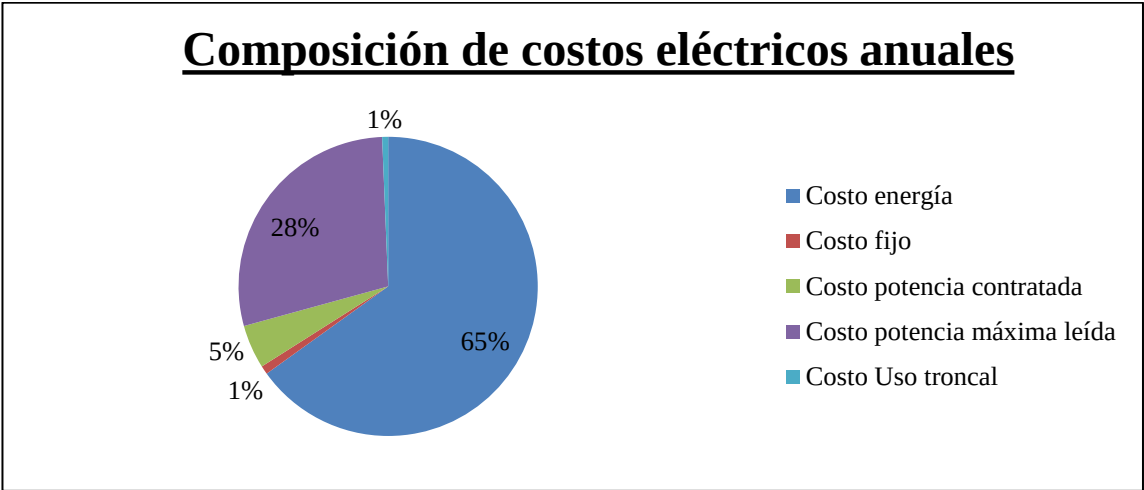


Figura 48: Composición de costos eléctricos anuales para la cancha deportiva (Fuente: Elaboración propia)

La energía contribuye mayoritariamente en el desglose de costos, debido al valor por [kWh] establecido, cuya magnitud aumenta paulatinamente, por lo que se prevee un alza de precios, mientras que la potencia máxima leída representa un factor considerable si que se utilizan todas las iluminaciones, independiente del tiempo de uso.

Adicionalmente los costos por potencia contratada son bajos ya que es un parámetro constante y sólo depende de su uso, mientras que los cargos fijos y troncales son irrelevantes.

En el caso de la proyección, es importante considerar los costos que influyen directamente en el precio de la electricidad, por lo tanto, la estimación se realiza a partir de las fluctuaciones del carbón ([USD/tonm]), petróleo ([USD/barril]) y gas natural ([USD/mmbtu]). Estos se resumen en la tabla D.4 del anexo.

Además, para la obtención del incremento de electricidad anual, se multiplican los cambios de los combustibles fósiles por el uso de cada uno dentro del sector energético correspondiente a 25,2% para carbón, 32,3% para petróleo y 12,5% para gas natural.

Finalmente, una vez terminado el año 2025, se promedia hasta obtener el valor positivo más bajo respecto a los commodities señalados y posteriormente se asume un incremento lineal estimado de 0,01 [unidades].

La proyección ingresos se establece en la figura N°49.

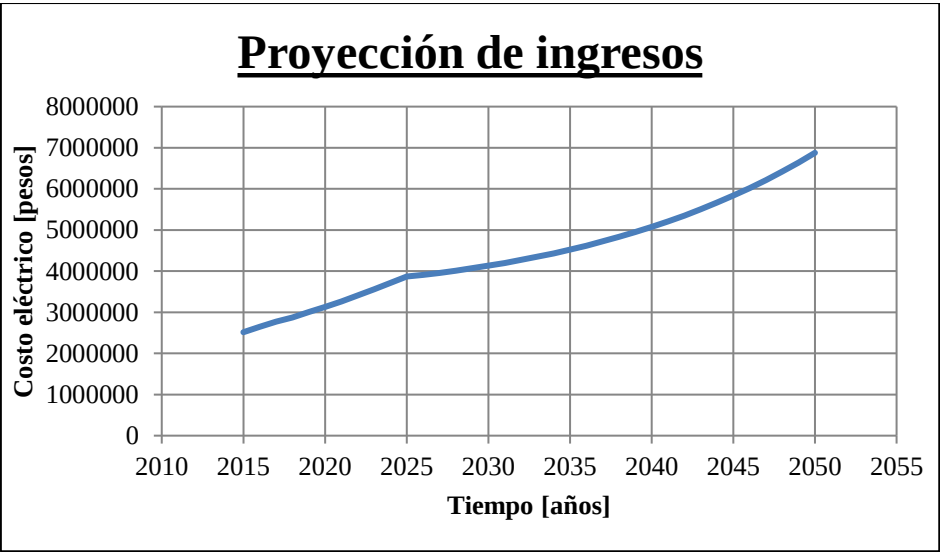


Figura 49: Proyección de ingresos desde el año 2015-2050 (Fuente: Elaboración propia)

Se estima un aumento del precio de combustibles fósiles para los próximos años, y con ello, incrementado el costo eléctrico a nivel mundial.

4.2.2.2.3 Costos operacionales

Los costos operacionales a considerar son fijos ya que se tasan o se aproximan acorde a las necesidades del usuario. Dada a las nuevas tecnologías, cada vez existen más formas de reducir costes asociados a mantención y limpieza.

Los paneles requieren de una limpieza esporádica debido al tipo de zona en que encuentran, puesto que la contaminación es nula y el viento es suave, por lo tanto, no se necesita un procedimiento exhaustivo. En el caso de días lluvia, es importante borrar las huellas, por lo tanto, se requiere una limpieza más minuciosa para este tipo de clima.

En el caso de las baterías, no se requiere de una mantención recurrente, ya que se controla por válvula y no se generan derrames por efecto electrolito en comparación a una de ácido-plomo o níquel-cadmio.

Adicionalmente, los galpones se encuentran hechos de metal, con estructura vertical y horizontal de acero, realizando una mantención regulada, con el fin de extender la vida útil.

Finalmente, es importante señalar que no se consideran los costos para el flujo de caja, ya que la Universidad cuenta con un equipo de mantención y limpieza para poder realizar las labores de prevención de todos los equipos y edificaciones, por consiguiente, se internaliza el servicio.

4.2.2.2.4 Costos no operacionales

En el caso de los costos no operacionales, se establecen a partir de la cantidad de energía necesaria para suministrar en el caso de días lluvias, debido a la sensibilidad de los paneles, por consiguiente, se calculan aproximadamente para 25 [días] (acorde a los registros meteorológicos del sitio). Dada la variabilidad de la tarifa anual, se asume el caso más crítico, correspondiente a Diciembre de 2015 como base (valor más alto) para un día entre Lunes a Viernes, ya que existe mayor probabilidad de lluvia durante un día de semana. Considerando el mismo tiempo de uso (14,5[h] para focos de halógeno y campanas), se prevé un valor de consumo equivalente a 2980,62[kWh], totalizando 282.586[pesos] anuales (año 2015)

La proyección de ingresos, se establece en la figura N° 50.



Figura 50: Proyección de costos no operacionales desde 2015-2050 (Fuente: Elaboración propia)

La proyección es equivalente al caso anterior, ya que la fluctuación realizada, corresponde al precio de la electricidad.

4.2.2.2.5 Depreciación

La depreciación corresponde a un escudo fiscal, aludido principalmente al desgaste de equipos y maquinarias en el proceso físico del sistema fotovoltaico. Para la determinación del valor, se considera la vida útil de los activos.

Los paneles y estructura soportante poseen una vida útil de 25[años], por consiguiente, se encuentran en el límite del horizonte de evaluación, registrando un valor distinto de cero para todos los periodos del flujo de caja, excepto en el año final de operación.

Los focos de halógeno poseen una vida útil de 50.000 [horas], por lo que se estima un periodo de uso equivalente a 11 [años], mientras que las campanas tienen una vida útil de 40.000[horas], por lo tanto, el periodo de utilización es equivalente a 9[años].

La vida útil de batería depende del ciclaje (600+750 ciclos), obteniendo un valor de 5 [años], sin embargo, el regulador, la temperatura de almacenamiento y una buena mantención puede extender su uso hasta 7 [años].

En el caso del regulador e inversor, la duración se estima mediante “la tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado”, establecido por el Servicio de Impuestos Internos (S.I.I.), cuya categoría recae como “equipos de control automático” generando 10[años] de vida útil para ambos.

Finalmente, es importante considerar el computador para la lectura de datos del sistema fotovoltaico (programa en un CD que se encuentra en conjunto con el inversor) para obtener el análisis de energía respecto al proceso fotovoltaico, por consiguiente, se estima una vida útil de aproximadamente 5[años].

La depreciación de equipos se establece en la tabla N°28.

Tabla 28: Depreciación de equipos para sistema fotovoltaico (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Equipos	Costo [pesos]	Vida útil [años]	Depreciación [pesos/año]
Panel Solar	5.864.640	25	234.586
Batería	4.678.750	7	668.393
Regulador	143.640	10	14.364
Inversor	4.257.938	10	425.794
Computador	350.000	20	70.000
Total			1.413.136

El valor libro de cada equipo para el primer año, se resume en la tabla N°29.

Tabla 29: Valor libro de los equipos (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Equipo	Valor libro [peso/año]
Panel Solar	5.160.883
Batería	4.010.357
Regulador	129.276
Inversor	1.909.800
Computador	1.140.000
TOTAL	12.350.316

Por consiguiente, cada equipo se resta con su valor de depreciación hasta obtener un valor equivalente a cero [pesos], para luego realizar la reinversión respectiva.

4.2.2.2.6 Reinversión de equipos

Los activos tangibles se reemplazan una vez cumplida la vida útil, por consiguiente, se requiere comprar iluminaciones y equipos nuevos con el fin de operar mediante un rendimiento global estable dentro del sistema fotovoltaico.

El calendario de reinversiones se resume mediante la tabla N° 30.

Tabla 30: Calendario de reinversión de equipos (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Item/año	5	7	9	10	11	14	15	18	20	21	22
Halógeno					X						X
Campana			X					X			
Batería		X				X				X	
Regulador				X					X		
Inversor				X					X		
Computador	X			X			X		X		

Todos los ítems se compran en territorio Chileno, por consiguiente, la proyección de precios se estima mediante la inflación histórica.

La inflación histórica de Chile, se resume mediante la figura N°51.

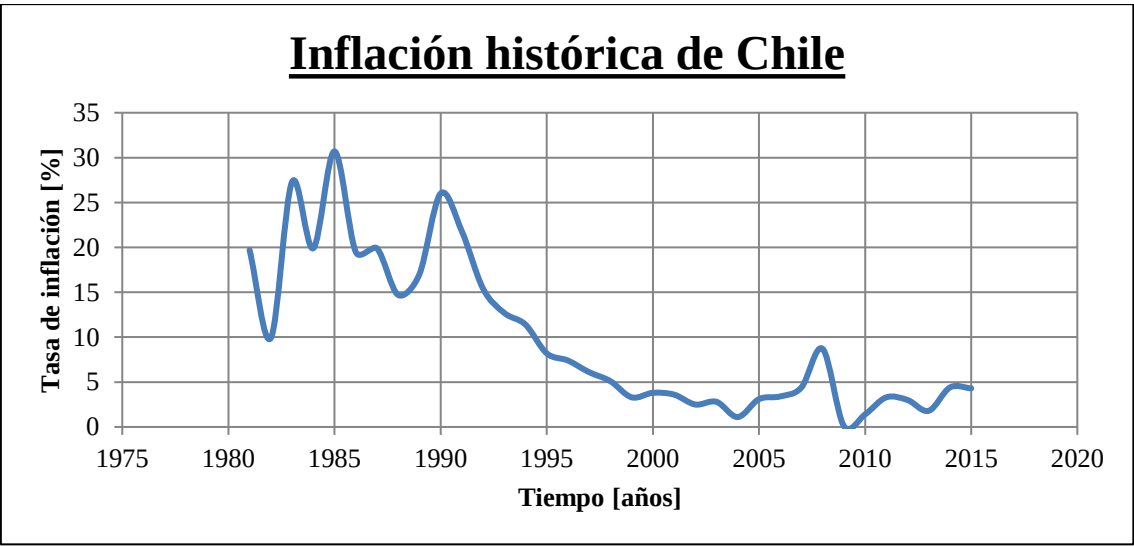


Figura 51: Inflación histórica de Chile desde 1975-2015 (Fuente: Banco mundial)

Acorde a los datos obtenidos, se establece una inflación relativamente estable para el último periodo en el país, por consiguiente, es esperable que la tasa se mantenga en valores inferiores al 5%, por lo tanto, se promedian cada 5 años respecto al 2000, como efecto de comprobación. Es importante señalar que en comparación a otros países de economía estable (Ejemplo: Canadá), la inflación Chilena representa una volatilidad relativamente mayor por efecto de la sensibilidad de la economía.

Se obtiene el siguiente promedio de tasas (en %):

- 1981-2015: 9,93
- 1985-2015: 8,74
- 1990-2015: 6,50
- 1995-2015: 3,90
- 2000-2015: 3,23
- 2005-2015: 3,45
- 2010-2015: 3,36

Dado a que las fluctuaciones son más altas, se estima un promedio entre los últimos 4 periodos de 5 años, por lo tanto, se promedian los valores entre 1995-2015, obteniendo un equivalente a 3,49[%].

Las proyecciones de los activos tangibles se realizan a partir de la inflación histórica en Chile, por consiguiente, existe un aumento de 3,49% del costo para cada año.

El valor de los costos para los activos principales se establece en la figura N°52.

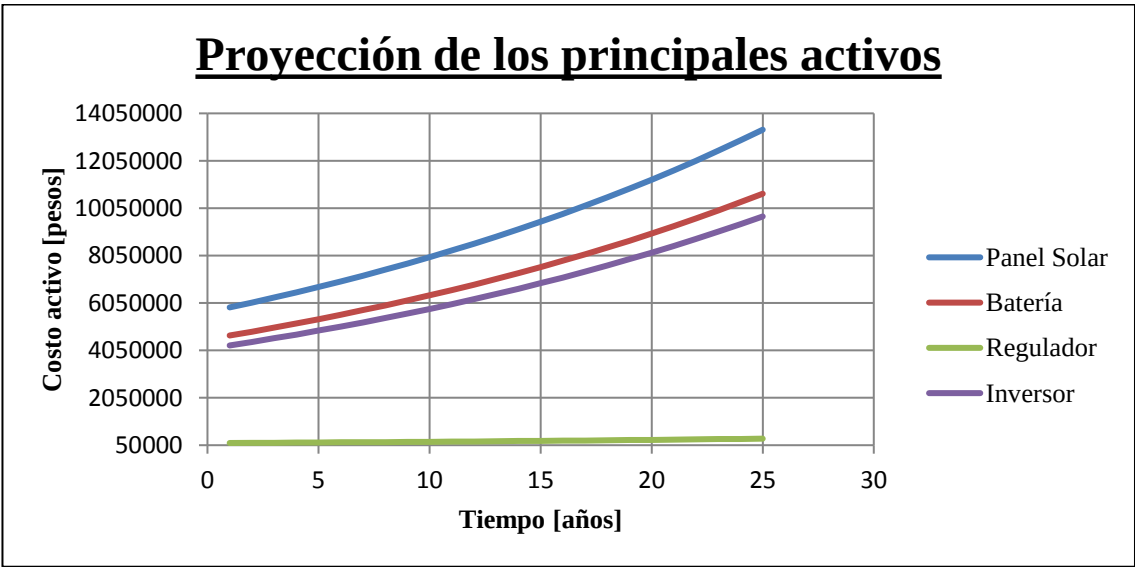


Figura 52: Proyección de reinversión de los activos principales (Fuente: Elaboración propia)

4.2.2.2.7 Crédito

Chile no cuenta con subsidios directos del Estado para el financiamiento de proyectos solares, sin embargo, existen organismos que contribuyen en reducir la deuda con respecto a la inversión inicial de activos.

Entes como CORFO, generan programas para invertir en energía limpias, pudiendo optar cualquier tipo de persona de carácter natural o jurídico durante los 365 días del año, mediante el apoyo a proyectos ERNC, cuya inversión fluctúa entre 12.000U.F. hasta 1.000.000 U.F. para la región Metropolitana. En el caso de regiones se subsidia hasta un 50% del costo de estudio con un máximo de 33.000.000 [pesos].⁷

El Fondo de Protección Ambiental (FPA) también contribuye en ayudar a empresas que requieren de un punto de financiamiento para poder llevar a cabo los proyectos de mejor manera, considerando un monto de financiamiento que fluctúa desde 4.000.000 a 5.000.000 de pesos para la ejecución, considerando zonas rurales.⁸

En el caso de crédito bancario, la deuda de pago corresponde a un periodo de tiempo considerable (25 años), por consiguiente, existe la posibilidad de reducir el lapso mediante un crédito de corto plazo, considerando una tasa de interés con un valor inferior a la de descuento.

Para crédito a largo plazo, se aplica el mismo criterio que en el caso anterior, sin embargo, se requiere de un mayor número de cuotas por meses, utilizando el mismo capital insoluto, además de requerir de una tasa de interés relativamente baja por concepto de amortización.

⁷ <http://www.chilerenovables.cl/como-postular-proyectos-de-energias-renovables-via-corfo/>

⁸ <http://www.fondodeproteccionambiental.cl/ayuda/index2016.php>

Los ítems del crédito de largo plazo, se resumen en la tabla N° 31.

Tabla 31: Valores asociados al crédito de largo plazo (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

CRÉDITO (EN PESOS)				
Año	Amortización L.P.	Intereses L.P.	Capital insoluto	Valor de la cuota
0			12.881.591	
1	269.901	644.080	12.611.690	913.981
2	283.396	630.584	12.328.294	913.981
3	297.566	616.415	12.030.728	913.981
4	312.444	601.536	11.718.284	913.981
5	328.066	585.914	11.390.218	913.981
6	344.470	569.511	11.045.748	913.981
7	361.693	552.287	10.684.055	913.981
8	379.778	534.203	10.304.277	913.981
9	398.767	515.214	9.905.510	913.981
10	418.705	495.276	9.486.805	913.981
11	439.640	474.340	9.047.165	913.981
12	461.622	452.358	8.585.543	913.981
13	484.703	429.277	8.100.839	913.981
14	508.939	405.042	7.591.901	913.981
15	534.385	379.595	7.057.515	913.981
16	561.105	352.876	6.496.411	913.981
17	589.160	324.821	5.907.251	913.981
18	618.618	295.363	5.288.633	913.981
19	649.549	264.432	4.639.084	913.981
20	682.026	231.594	3.957.057	913.981
21	716.128	197.853	3.240.930	913.981
22	751.934	162.046	2.488.996	913.981
23	789.531	124.450	1.699.465	913.981
24	829.007	84.973	870.458	913.981
25	870.458	43.523	0	913.981

El pago del capital insoluto se reduce de manera no lineal, ya que, la amortización permite el descenso del pago de manera más rápida durante los últimos años, además de establecer un valor de cuota fija e intereses que se amortiguan con el transcurso del tiempo, permitiendo la solvencia de la deuda.

4.2.2.3 Flujo de caja

a) Caso flujo puro

El flujo de caja representa todos los movimientos de entrada y salida de dinero para el proyecto, considerando como finalidad, el retorno de la inversión dentro del plazo más corto posible. En el caso de un proyecto puro, la persona interesada financia el proyecto a partir del patrimonio disponible.

Los resultados para el flujo de caja puro se resumen en la figura N°53.



Figura 53: Flujo de caja puro (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Se obtiene una TIR del 9%, VAN de -2.518.767[pesos] y payback correspondiente de 12 [años], lo que no se recomienda invertir en el proyecto, ya que la Tasa Interna de Retorno es inferior a las expectativas del inversionista, por consiguiente, no se crean ganancias.

Por otro lado, el Valor Actual Neto es negativo, por lo tanto, se producen pérdidas por concepto de inversión, acorde a la rentabilidad exigida.

Finalmente, se obtiene un payback de 12[años], lo que representa un plazo de recuperación relativamente largo (sin contar imprevistos para años siguientes), por consiguiente, el flujo es volátil frente a fluctuaciones económicas.

b) Caso flujo con financiamiento 50%

Por otro lado, el proyecto puede ser financiado mediante entes empresariales distribuidos a lo largo del territorio Nacional o mediante préstamos bancarios, cuya decisión de ayudar en los aportes, depende de la liquides y solvencia del proyecto.

Los resultados para el flujo de caja 50% financiado se resumen en la figura N°54.

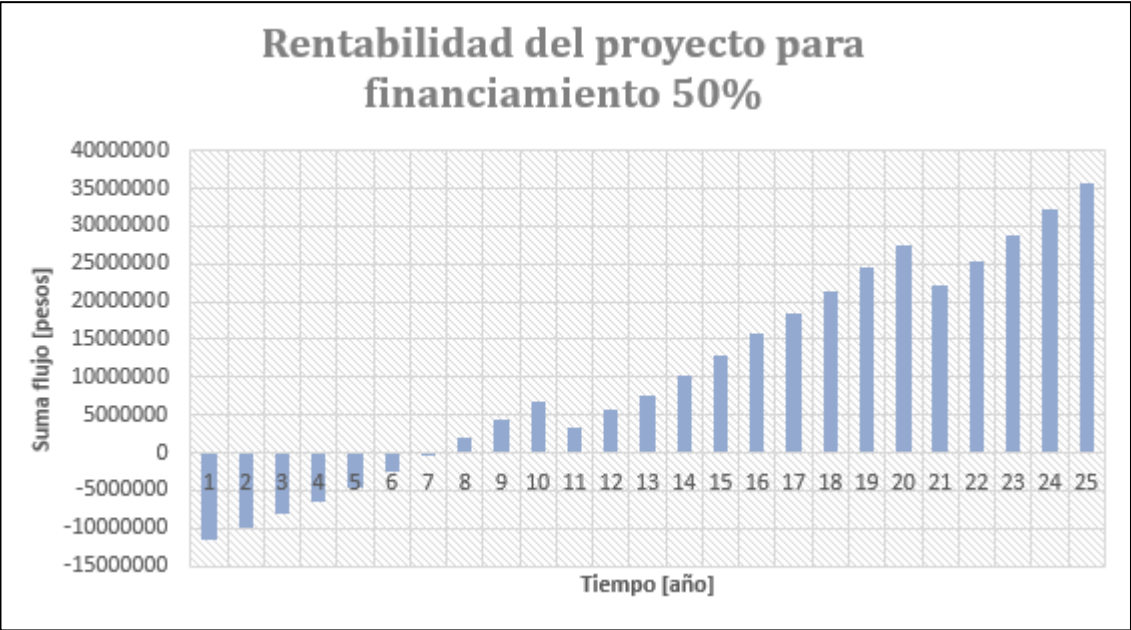


Figura 54: Flujo de caja 50% financiado (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

Se obtiene una TIR del 13%, VAN de 3.132.553[pesos] y payback correspondiente de 8 [años], lo que se recomienda invertir en el proyecto, ya que la Tasa Interna de Retorno es superior a las expectativas del inversionista, por consiguiente, se crean ganancias bajo ciertas condiciones de realización.

Por otro lado, el Valor Actual Neto es positivo, por consiguiente, no se producen pérdidas por la inversión, lo que funciona acorde a la rentabilidad exigida.

Finalmente, se obtiene un payback de 8[años], lo que representa un plazo de recuperación a mediano plazo (sin contar imprevistos para años próximos), por consiguiente, el flujo es menos volátil en comparación al caso anterior.

Discusión de resultados obtenidos

En el caso de un proyecto sin financiamiento (puro), se obtienen índices negativos, generando una Tasa Interna de Retorno (9%) inferior a la de descuento (10%), y con ello, una opción no conveniente para el inversionista, además de un Valor Actual Neto que no cubre la recuperación de inversión (-2.518.717[pesos]) y un plazo de recuperación de 12[años], sin embargo, los aportes de capital propio no se ven amenazados por la recesión económica global, por consiguiente, representa una buena alternativa en caso de pagar inversiones para escenarios complejos futuros. Asimismo, dada las características del proyecto, el pago puede reducirse por aportes de la Universidad, mermando la deuda en mayor proporción de lo que establece el financiamiento del flujo de caja.

Por otro lado, el proyecto financiado al 50%, genera índices positivos, obteniendo una Tasa Interna de Retorno (13%), superior a la de descuento (10%), y con ello, una opción rentable para el inversionista ya que, el costo de oportunidad cumple con las expectativas de la persona, además de cumplir con la rentabilidad exigida por el Valor Actual Neto (3.132.553[pesos]) y poseer un plazo de recuperación inferior al caso puro, cuya magnitud es de 8[años], sin embargo, el complejo escenario mundial exige una economía relativamente estable para una fuerte inversión, imposibilitando la capacidad de disparar la inflación, ya que el índice aumenta los costos generales del trabajo.

Acorde a lo descrito anteriormente, se prevé una economía sólida para Chile, evitando valores sobre el 5% en la inflación, por consiguiente, los costos de equipos no presentan problemas ya que en promedio, el aumento representa cerca de un 3,5%. Además, existen múltiples maneras de financiar al 50%, pudiendo incrementar los beneficios durante el transcurso de los 25 [años] de evaluación, y con ello, permitiendo las posibilidades de solventar la deuda en un plazo menor (Ver punto 4.2.2.2.7 para más información). Finalmente, la Universidad puede contribuir en el pago, sin embargo, el monto de financiamiento es alto y pueden existir prioridades respecto al uso de dinero, por lo tanto, se crea un escenario de incertidumbre para ello.

Finalmente, la opción propuesta corresponde a un “sistema fotovoltaico aislado con luces LED financiado en un 50%”, ya que permite la generación de beneficios para el inversionista dentro de un menor plazo en comparación al flujo de caja puro, considerando ciertas condiciones respecto a costos operacionales.

CONCLUSIONES

-El lugar de realización, admite la obtención de los parámetros solares, técnicos y económicos, ya que el arco solar no depende de las condiciones meteorológicas, obteniendo un valor promedio de $5,73[\text{kWh}/\text{m}^2]\text{d}$ de radiación para el año. Adicionalmente, los valores técnicos para alto consumo crecen de manera más rápida, en comparación al caso LED, generando un volumen de diseño 5 veces mayor, y con ello, generando admisibilidad económica, en contraste con el caso LED, cuyos valores permiten la toma de decisiones.

-El análisis de tecnología, establece que las luces tipo LED (10.000 lúmenes mínimo) presentan una fluctuación variable respecto a precios, considerando valores entre 20.000 a 100.000 [pesos] para halógenos y entre 100.000 a 300.000 [pesos] para campanas colgantes, considerando luces de proyección a nivel industrial.

-La evaluación técnica indica inadmisibilidad para luces de alto consumo, debido a la gran cantidad de paneles instalados, obteniendo un 35% de exceso acorde a las restricciones planteadas, mientras que las luces LED, permite la obtención de parámetros técnicos, considerando un consumo global de $45.766[\text{Wh}]$. Adicionalmente el estudio económico para caso de alto consumo es irrealizable, dada las características de los parámetros técnicos, mientras que el caso LED señala un que no existe rentabilidad para un proyecto puro, mientras que para uno 50% financiado, se obtienen beneficios económicos para el inversionista.

-Las características del proyecto, señalan que para casos de alto consumo, la energía de requerimiento es alta, por consiguiente, se necesitan más de 1.000.000 de [Wh] solar, si se establecen 18 focos de $400[\text{W}]$ activo, generando inviabilidad técnica y económica si es que el espacio de instalación es limitado. En el caso de LED, la demanda se reduce considerablemente, permitiendo una reducción de más de 50% de luz solar, admitiendo utilidad para este tipo de energías.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [•] <http://www.usm.cl/universidad/historia/>
- [•] <https://eosweb.larc.nasa.gov>
- [•] http://www.coitaoc.org/files/estudios/energia_solar_fotovoltaica_2e5c69a6.pdf
- [•] http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es
- [•] http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- [•] <http://www.grupopedia.com/ciencia/astronomia>
- [•] <http://www.astrofiscayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>
- [•] <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia22>
- [•] https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/10/07_fuentes-de-energ3ada_energ3ada-solar.pdf
- [•] <http://www.energiafotovoltaica.ws/aplicaciones/regulador-carga-fotovoltaica.html>
- [•] <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [•] Conceptos básicos de la generación, transmisión, transformación y distribución de energía eléctrica (Enriquez Harper- LIMUSA)
- [•] Física de luz (Eli Serlin, Capítulo 11)
- [•] ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA en el marco del Código Técnico de la Edificación (Ayunamiento de Pamplona Iruñeko Odala)
- [•] Conversión de la luz solar en energía eléctrica (Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos)
- [•] Ministerio de Medio Ambiente, Energías Renovables No Convencionales
- [•] Energía 2050 “Política Energética de Chile”
- [•] Irradiancia Solar en territorios de la República de Chile (CNE / PNUD / UTFSM, 2008)

ANEXO

A. Material auxiliar para Capítulo 1: “Caracterización del complejo deportivo”

Tabla A.1: Grilla de Lux para canchas deportivas con luces encendidas (Fuente: Elaboración propia)

80	150	200	240	620	358	810	690	503
83	125	225	227	240	200	280	500	380
85	120	180	220	240	280	260	280	265
88	120	144	190	185	167	215	302	300
82	200	230	180	160	173	193	145	113

Tabla A.2: Grilla de Lux de canchas deportivas con luces apagadas (Fuente: Elaboración propia)

26	32	55	200	1052	640	404	1132	79
23	32	55	140	397	235	240	360	102
24	27	32	60	105	100	45	80	76
22	20	30	30	57	85	55	39	33
20	16	23	29	45	50	47	32	35

Tabla A.3: Cantidad horas uso de iluminación para distintos meses del año (Fuente: Elaboración propia)

Iluminación (día) / uso dia para mes (h)	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Ago	Sep-Nov
Focos de halógeno (Lun a Vie)	6,5	8,5	10	7
Campanas (Lun a Vie)	3,5	7,5	10	6
Focos de halógeno (Sab)	4	7	9,5	5,5
Campanas (Sab)	2	6	9,5	4,5
Focos de halógeno (Dom)	2	3	5	3
Campanas (Dom)	0	3	5	2
TOTAL	18	35	49	28

B. Material auxiliar para Capítulo 2: “Sistema energético solar”

Tabla B.1: Radiación global horizontal diaria para meses del año (Fuente: NASA)

Mes	Radiación global horizontal diaria [kWh/m ² *día]
Enero	7,84
Febrero	6,69
Marzo	5,53
Abril	4,25
Mayo	2,90
Junio	2,46
Julio	2,73
Agosto	3,60
Septiembre	5,01
Octubre	6,36
Noviembre	7,50
Diciembre	8,08
Anual	5,25

C. Material auxiliar para Capítulo 3: “Estudio técnico”

Datos técnicos	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Funcionamiento en la red pública o generador fotovoltaico		
Tensión asignada de red/Rango de tensión de CA	230 V/172,5 V a 264,5 V	230 V/172,5 V a 264,5 V
Frecuencia asignada de red/Rango de frecuencia admisible	50 Hz/40 Hz a 70 Hz	50 Hz/40 Hz a 70 Hz
Corriente alterna máx. para optimizar el autoconsumo (funcionamiento de red)	20 A	26 A
Potencia de CA máx. para optimizar el autoconsumo (funcionamiento de red)	4,6 kVA	6 kVA
Corriente máxima de entrada de CA	50 A	50 A
Potencia máxima de entrada CA	11500 W	11500 W
Funcionamiento en red aislada o como sistema de respaldo		
Tensión asignada de red/rango de tensión CA	230 V/202 V a 253 V	230 V/202 V a 253 V
Frecuencia nominal/rango de frecuencia (ajustable)	50 Hz/45 Hz a 65 Hz	50 Hz/45 Hz a 65 Hz
Potencia asignada (a Unom, fnom/25 °C/cos φ = 1)	4600 W	6000 W
Potencia de CA a 25 °C durante 30 min/5 min/3 s	6000 W/6800 W/11000 W	8000 W/9100 W/11000 W
Potencia de CA a 45 °C	3700 W	5430 W
Corriente asignada/Corriente de salida máxima (pico)	20 A/120 A	26 A/120 A
Coefficiente de distorsión de la tensión de salida/Factor de potencia con potencia asignada	< 4 %/-1 a +1	< 4 %/-1 a +1
Batería de entrada de CC		
Tensión asignada de entrada/rango de tensión CC	48 V/41 V a 63 V	48 V/41 V a 63 V
Corriente de carga máx. de la batería/de carga asignada de CC/descarga asignada de CC	110 A/90 A/103 A	140 A/115 A/130 A
Tipo de batería/capacidad de la batería (rango)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah a 10000 Ah (plomo) 50 Ah a 10000 Ah (Li-Ion)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah a 10000 Ah (plomo) 50 Ah a 10000 Ah (Li-Ion)
Regulación de carga	Procedimiento de carga IUoU con carga completa y de co	
Rendimiento/autoconsumo del equipo		
Rendimiento máximo	95,8%	95,8%
Autoconsumo sin carga/en espera	25,8 W/6,5 W	25,8 W/6,5 W
Dispositivo de protección (equipo)		
Cortocircuito de CA/sobrecarga de CA	● / ●	● / ●
Protección contra polaridad inversa de CC/fusible de CC	- / -	- / -
Sobretensión/descarga total de la batería	● / ●	● / ●
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1	III	III
Datos generales		
Dimensiones (anchura x altura x profundidad)	467 mm/612 mm/242 mm (18,4 inch/21,1 inch/9,5 inch)	
Peso	63 kg (138,9 lb)	
Rango de temperatura de servicio	-25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)	
Clase de protección según IEC 62103	I	I
Clase climática según IEC 60721	3K6	3K6
Tipo de protección según IEC 60529	IP54	IP54

Equipamiento/función		
Manejo y pantalla/relé multifunción	Externo mediante SRC-20/2	Externo mediante SRC-20/2
Sistemas trifásicos/función de alimentación de repuesto	● / ●	● / ●
Cálculo del nivel de carga/carga completa/carga de compensación	● / ● / ●	● / ● / ●
Sensor de temperatura de la batería/cables de datos	● / ●	● / ●
Certificados y autorizaciones	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Garantía	5 años	5 años
Para sistemas aislados (off-grid)		
Detección automática de campo giratorio/Asistencia de generador	● / ●	● / ●
Conexión en paralelo/Multiclúster	● / ●	● / ●
Arranque suave integrado/Asistencia de generador	● / ●	● / ●
Accesorios		
Para sistemas aislados (off-grid)		
Fusibles de la batería/medición externa de la corriente de la batería	○ / ○	○ / ○
Interfaz SI-COMSMA (RS485)/SI-SYSCAN (Multiclúster)	○ / ○	○ / ○
Sunny Island Charger SIC50-MPT**	○	○
Para aplicaciones conectadas a red (on-grid)		
Interfaz SI-COMSMA (RS485)/Interfaz SWDMSI-10 (Speedwire)	○	○
Sunny Home Manager/SMA Energy Meter/Equipo de conmutación para alimentación de respaldo**	○ / ○ / ○	○ / ○ / ○
● Equipamiento de serie ○ Opcional – No disponible		
* Consulte la "Lista de baterías de iones de litio homologadas" en www.SMA-Solar.com		
** a través de un proveedor externo		
Todas las especificaciones actualizadas a abril de 2016		
Modelo comercial	SI6.0H-11	SI8.0H-11

Figura C.1: Especificaciones técnicas del inversor Sunny Boy Island H.8.0.



Figura C.2: Especificaciones técnicas del panel solar “PS-200MJ”

	PR 1010	PR 1515	PR 2020	PR 3030
Characterisation of the operating performance				
System voltage	12 V (24 V)			
Own consumption	12.5 mA			
DC input side				
Open circuit voltage solar module	< 47 V			
Module current	10 A	15 A	20 A	30 A
DC output side				
Load current	10 A	15 A	20 A	30 A
End of charge voltage	liquid 13.9 V (27.8 V); gel 14.1 V (28.2 V)			
Boost charge voltage	14.4 V (28.8 V)			
Equalisation charge	14.7 V (29.4 V)			
Reconnection voltage (SOC / LVR)	> 50 % / 12.6 V (25.2 V)			
Deep discharge protection (SOC / LVD)	< 30 % / 11.1 V (22.2 V)			
Operating conditions				
Ambient temperature	-10 °C ... +50 °C			
Fitting and construction				
Terminal (fine / single wire)	16 mm² / 25 mm² - AWG 6 / 4			
Degree of protection	IP 32			
Dimensions (X x Y x Z)	187 x 96 x 44 mm			
Weight	350 g			

Figura C.3: Especificaciones técnicas del regulador solar “Steca PR-3030”

12 Volt Deep Cycle AGM							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	Lxanxal mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate AGM Bornes: cobre, M8
BAT406225080	240	6	320x176x247	31	1500	480	Capacidad nominal: descarga en 20h a 25°C Dur. de vida en flotación: 7-10 años a 20 °C Dur. de vida en ciclos: 400 ciclos en descarga 80% 600 ciclos en descarga 50% 1500 ciclos en descarga 30%
BAT212070080	8	12	151x65x101	2,5			
BAT212120080	14	12	151x98x101	4,1			
BAT212200080	22	12	181x77x167	5,8			
BAT412350080	38	12	197x165x170	12,5			
BAT412550080	60	12	229x138x227	20	450	90	
BAT412600080	66	12	258x166x235	24	520	100	
BAT412800080	90	12	350x167x183	27	600	145	
BAT412101080	110	12	330x171x220	32	800	190	
BAT412121080	130	12	410x176x227	38	1000	230	
BAT412151080	165	12	485x172x240	47	1200	320	
BAT412201080	220	12	522x238x240	65	1400	440	
12 Volt Deep Cycle GEL							Especificaciones generales
Referencia	Ah	V	Lxanxal mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate GEL Bornes: cobre, M8
BAT412550100	60	12	229x138x227	20	300	80	Capacidad nominal: 20 hr discharge at 25 °C Dur. de vida en flotación: 12 years at 20 °C Dur. de vida en ciclos: 500 ciclos en descarga 80% 750 ciclos en descarga 50% 1800 ciclos en descarga 30%
BAT412600100	66	12	258x166x235	24	360	90	
BAT412800100	90	12	350x167x183	26	420	130	
BAT412101100	110	12	330x171x220	33	550	180	
BAT412121100	130	12	410x176x227	38	700	230	
BAT412151100	165	12	485x172x240	48	850	320	
BAT412201100	220	12	522x238x240	66	1100	440	
2 Volt Long Life GEL				Especificaciones generales			
Referencia	Ah	V	Lxanxal mm	Peso kg	Tecnología: tubular plate GEL Terminals: copper		
BAT702601260	600	2	145x206x688	49	Capacidad nominal: 10 hr discharge at 25 °C Dur. de vida en flotación: 20 years at 20 °C Dur. de vida en ciclos: 1500 ciclos en descarga 80% 2500 ciclos en descarga 50% 4500 ciclos en descarga 30%		
BAT702801260	800	2	210x191x688	65			
BAT702102260	1000	2	210x233x690	80			
BAT702122260	1200	2	210x275x690	93			
BAT702152260	1500	2	210x275x840	115			
BAT702202260	2000	2	215x400x815	155			
BAT702252260	2500	2	215x490x815	200			
BAT702302260	3000	2	215x580x815	235			

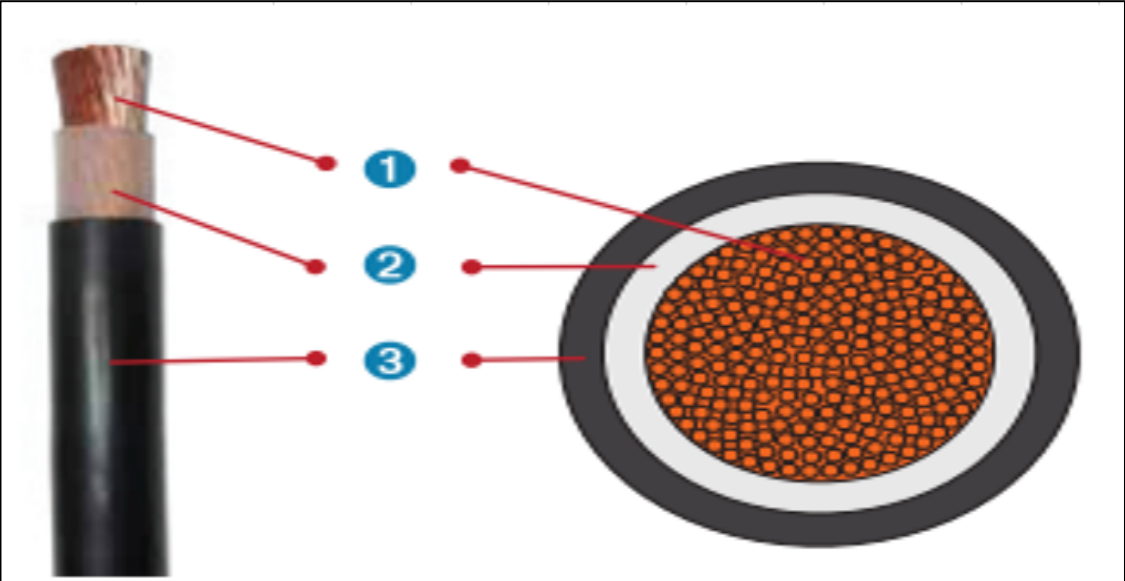
Figura C.4: Especificación técnica de la batería “VICTRON 12 VOLT DEEP CYCLE GEL”

Marca: - SUNSHINE LIGHT
Voltaje de entrada: - AC85-265V
Frecuencia de Trabajo: - 50-60Hz
Consumo de Energía: - 70W
Qty de Led: - 1
Eficiencia Lumínica: - 100 Lm/w
Flujo Lumínico: - 5600
Angulo de Luz: - 140°
Color de T°: - 5000 - 5500 °K
Indice de Rendimiento Color: - > = 75
Temperatura de Trabajo: - -30 ~ 50 °C
Factor de Potencia: - >=95%
Grado IP: - IP65
Funcionamiento Vida Útil: - 40.000 hrs
Peso: -
Garantía: - 1 Año

Figura C.5: Especificación técnica de iluminaria “S. LIGHT PROYECTOR LED 100W”

Color: Blanco Frío/6000K - 6500K
Potencia (watts): 150W
Tipo de Instalación: Colgante
Intensidad Lumínica: > 15000 Lm
Protección IP: IP65
Vida Útil: 40.000 Horas

Figura C.6: Especificación técnica de iluminaria “S. LIGHT CAMPANA LED 150W”



INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL

SUPERFLEX MONOCONDUCTOR VERSIONES ESTÁNDAR Y TC- CALIBRES AWG/kcmil									
Calibre	Sección nominal	Diámetro del conductor aprox.	Espesor aislación	Diámetro exterior aprox.	Peso total aprox.	Resistencia máx. a 20 °C	Capacidad de corriente A		
							Ducto enterrado (1) Temp. amb. 20 °C	Direct. enterrado (2) Temp. amb. 20 °C	Aire libre (3) Temp. amb. 40 °C
AWG/kcmil	mm²	mm	mm	mm	kg/km	CC Ω/km			
14	2,08	1,9	0,7	6,5	66	8,59	26	40	-
12	3,31	2,4	0,7	6,9	82	5,41	40	53	-
10	5,26	3,0	0,7	7,6	107	3,41	51	69	-
8	8,37	3,8	0,7	8,5	142	2,14	64	108	66
6	13,3	4,7	0,7	9,4	195	1,37	85	139	89
4	21,2	6,0	0,9	11,1	287	0,862	111	180	117
2	33,6	7,7	0,9	13,0	433	0,544	146	231	158
1	42,4	8,7	1,0	14,1	505	0,429	168	261	185
1/0	53,5	9,4	1,0	14,9	598	0,344	193	297	214
2/0	67,4	10,7	1,1	16,5	745	0,273	220	337	247
3/0	85	11,7	1,1	17,7	949	0,217	252	384	287
4/0	107	12,9	1,2	20,3	1.220	0,172	290	434	335
250	127	13,8	1,2	21,3	1.340	0,146	319	472	374
350	177	17,4	1,6	24,9	1.834	0,105	387	569	464
500	253	20,8	1,7	28,9	2.499	0,0735	471	690	580
750	380	25,2	2,0	34,5	3.683	0,0495	585	847	747
1000	507	29,8	2,2	40,0	5.121	0,0371	670	980	879

(1) Ducto enterrado a 0,7m. 3 cables por ducto. Rho del terreno 0,9.

(2) Cables enterrados a 0,9m, separados a 0,2m desde sus centros. Rho del terreno 0,9.

(3) Cables triplexados al aire y soportados por un mensajero.

Figura C.7: Esquema del cableado “S. CALIBRE AWG”

D. Material auxiliar para Capítulo 4: “Estudio económico”

Tabla D.1: Composición de la tarifa AT-4.2 para Diciembre 2015 (Fuente: Chilquinta)

Tarifa AT-4.2		Valor [\$]
Costo fijo [\$] mes		2106,512
Costo Energía[\$/kwh] mes		79,424
Cargo Potencia Sum [\$/kW] mes		1977,109
Cargo Potencia Hora punta [\$/kW] mes		6442,923
Costo uso Troncal [\$/kWh] mes		0,869

Tabla D.2: Porcentaje de uso mensual de cada foco de iluminación (Fuente: Elaboración propia)

Mes	%uso halógeno	%uso campana
Enero	65,6	34,4
Febrero	66,4	33,6
Marzo	53,2	46,8
Abril	53,2	46,8
Mayo	53,2	46,8
Junio	50	50
Julio	50	50
Agosto	50	50
Septiembre	51,4	48,6
Octubre	51,2	48,8
Noviembre	51,4	48,6
Diciembre	65,4	34,6
Promedio	54,05	45,95

Tabla D.3: Detalle de uso horario para distintos periodos del año (Fuente: Elaboración propia)

Iluminación (día)	Encendido Diciembre-Febrero	Horas [h]
Focos de halógeno (Lun-Vie)	8:00-11:00; 19:00-22:30	6,5
Campanas (Lun-Vie)	19:00-22:30	3,5
Focos de halógeno (Sab)	9:00-10:00; 19:00-21:00	4
Campanas (Sab)	19:00-21:00	2
Focos de halógeno (Dom)	11:00-13:00	2
Campanas (Dom)	Sin uso	0
TOTAL SEMANAL		18
Iluminación (día)	Encendido Marzo-Mayo	Horas [h]
Focos de halógeno (Lun-Vie)	8:00-12:00; 18:00-22:30	8,5
Campanas (Lun-Vie)	9:00-12:00; 18:00-22:30	7,5
Focos de halógeno (Sab)	8:00-12:00; 18:00-21:00	7
Campanas (Sab)	9:00-12:00; 18:00-21:00	6
Focos de halógeno (Dom)	11:00-14:00	3
Campanas (Dom)	11:00-14:00	3
TOTAL SEMANAL		35
Iluminación (día)	Encendido Junio-Agosto	Horas [h]
Focos de halógeno (Lun-Vie)	8:00-14:00; 17:30-22:30	10
Campanas (Lun-Vie)	8:00-14:00; 17:30-22:30	10
Focos de halógeno (Sab)	8:00-14:00; 17:30-21:00	9,5
Campanas (Sab)	8:00-14:00; 17:30-21:00	9,5
Focos de halógeno (Dom)	11:00-16:00	4
Campanas (Dom)	Sin uso	4
TOTAL SEMANAL		47
Iluminación (día)	Encendido Septiembre-Noviembre	Horas [h]
Focos de halógeno (Lun-Vie)	8:00-10:00; 19:00-22:30	5,5
Campanas (Lun-Vie)	9:00-10:00; 19:00-22:30	4,5
Focos de halógeno (Sab)	8:00-10:00; 19:00-21:00	4
Campanas (Sab)	8:00-10:00; 19:00-21:00	4
Focos de halógeno (Dom)	11:00-16:00	5
Campanas (Dom)	Sin uso	0
TOTAL SEMANAL		23

Tabla D.4: Proyección de precios de commodities desde 2013-2025 (Fuente: World Bank)

Año	Carbón [USD/ton]	Crudo [USD/bl]	Gas natural [USD/mmbtu]
2013	84,6	104,1	3,7
2014	70,3	96,2	4,4
2015	58,0	57,5	2,8
2016	59,5	61,2	3,0
2017	61,1	63,7	3,3
2018	62,6	66,3	3,5
2019	64,3	69,1	3,8
2020	66,0	71,9	4,1
2021	67,7	74,9	4,4
2022	69,4	78,0	4,8
2023	71,2	81,3	5,2
2024	73,1	84,7	5,6
2025	75,0	88,3	6,0

Tabla D.5: Flujo de caja puro (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

ITEM/AÑO	0	1	2	3	4
Ahorro energético (+)		2769039	2876129	3004833	3132478
MARGEN BRUTO		2769039	2876129	3004833	3132478
Costos no operacionales (-)		-385487	-400395	-418313	-436082
MARGEN OPERACIONAL		2383552	2475734	2586521	2696395
Depreciación (-)		-1413136	-1413136	-1413136	-1413136
UTILIDAD (IMPUESTO)		970416	1062598	1173385	1283259
Depreciación (+)		1413136	1413136	1413136	1413136
Reinversión (-)					
Inversión (-)	-25763182				
FLUJO DE CAJA NETO	-25763182	2383552	2475734	2586521	2696395
SUMA DE FLUJOS		-23379629	-20903896	-18317375	-15620979

5	6	7	8	9	10	11	12	13
3263335	3408771	3558525	3710886	3866414	3910193	3958378	4011114	4068565
3263335	3408771	3558525	3710886	3866414	3910193	3958378	4011114	4068565
-454299	-474546	-495394	-516604	-538256	-544351	-551059	-558400	-566398
2809036	2934225	3063131	3194282	3328158	3365842	3407319	3452714	3502167
-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136
1395900	1521089	1649995	1781146	1915022	1952706	1994183	2039578	2089031
1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136
-415489		-594865		-195725	-6594884	-91858		
2393547	2934225	2468266	3194282	3132433	-3229041	3315461	3452714	3502167
-	-							
13227433	10293208	-7824942	-4630660	-1498227	-4727268	-1411807	2040907	5543074

14	15	16	17	18	19	20	21	22
4130907	4198335	4271062	4349320	4433361	4523459	4619912	4723042	4833197
4130907	4198335	4271062	4349320	4433361	4523459	4619912	4723042	4833197
-575077	-584464	-594588	-605483	-617182	-629725	-643153	-657510	-672845
3555830	3613871	3676474	3743837	3816178	3893734	3976759	4065532	4160352
-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136
2142694	2200735	2263337	2330701	2403042	2480598	2563623	2652396	2747215
1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136
-756321	-585523			-266522		-9293753	-961602	-133968
2799509	3028348	3676474	3743837	3549657	3893734	-5316993	3103930	4026384
8342583	11370931	15047405	18791242	22340899	26234633	20917639	24021569	28047953

23	24	25
4950754	5076121	5209738
4950754	5076121	5209738
-689210	-706663	-725265
4261543	4369457	4484474
-1413136	-1413136	-1413136
2848407	2956321	3071338
1413136	1413136	1413136
4261543	4369457	4484474
32309496	36678954	41163427

Tabla D.6: Flujo de caja financiado 50% (caso LED) (Fuente: Elaboración propia)

ITEM/AÑO	0	1	2	3	4
Ahorro energético (+)		2769039	2876129	3004833	3132478
MARGEN BRUTO		2769039	2876129	3004833	3132478
Costos no operacionales (-)		-385487	-400395	-418313	-436082
MARGEN OPERACIONAL		2383552	2475734	2586521	2696395
Depreciación (-)		-1413136	-1413136	-1413136	-1413136
Intereses L.P. (-)		-644080	-630584	-616415	-601536
UTILIDAD (IMPUESTO)		326336	432013	556970	681723
Depreciación (+)		1413136	1413136	1413136	1413136
Reinversión (-)					
Inversión (-)	-25763182				
Amortización a L.P. (-)		-269901	-283396	-297566	-312444
FLUJO DE CAJA SIN FINANCIAMIENTO	-25763182	1469572	1561753	1672540	1782415
Financiamiento 50% (+)	12881591				
FLUJO DE CAJA NETO	-12881591	1469572	1561753	1672540	1782415
SUMA DE FLUJOS		-11412019	-9850266	-8177726	-6395311

5	6	7	8	9	10	11	12	13
3263335	3408771	3558525	3710886	3866414	3910193	3958378	4011114	4068565
3263335	3408771	3558525	3710886	3866414	3910193	3958378	4011114	4068565
-454299	-474546	-495394	-516604	-538256	-544351	-551059	-558400	-566398
2809036	2934225	3063131	3194282	3328158	3365842	3407319	3452714	3502167
-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136
-585914	-569511	-552287	-534203	-515214	-495276	-474340	-452358	-429277
809986	951578	1097707	1246943	1399808	1457431	1519843	1587220	1659753
1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136
						-6101651		-706171
-328066	-344470	-361693	-379778	-398767	-418705	-439640	-461622	-484703
1895055	2020245	2149151	2280301	2414178	2451862	-3608312	2538734	1882015
1895055	2020245	2149151	2280301	2414178	2451862	-3608312	2538734	1882015
-4500255	-2480011	-330860	1949441	4363619	6815481	3207168	5745902	7627917

14	15	16	17	18	19	20	21	22
4130907	4198335	4271062	4349320	4433361	4523459	4619912	4723042	4833197
4130907	4198335	4271062	4349320	4433361	4523459	4619912	4723042	4833197
-575077	-584464	-594588	-605483	-617182	-629725	-643153	-657510	-672845
3555830	3613871	3676474	3743837	3816178	3893734	3976759	4065532	4160352
-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136	-1413136
-405042	-379595	-352876	-324821	-295363	-264432	-231954	-197853	-162046
1737652	1821140	1910462	2005880	2107680	2216166	2331669	2454543	2585169
1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136	1413136
							-8598671	
-508939	-534385	-561105	-589160	-618618	-649549	-682026	-716128	-751934
2641849	2699891	2762493	2829856	2902198	2979753	3062779	-5447120	3246371
2641849	2699891	2762493	2829856	2902198	2979753	3062779	-5447120	3246371
10269767	12969657	15732151	18562007	21464205	24443958	27506737	22059618	25305989

23	24	25
4950754	5076121	5209738
4950754	5076121	5209738
-689210	-706663	-725265
4261543	4369457	4484474
-1413136	-1413136	-1413136
-124450	-84973	-43523
2723957	2871348	3027815
1413136	1413136	1413136
-789531	-829007	-870458
3347563	3455477	3570493
3347563	3455477	3570493
28653551	32109028	35679522

