



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

“DIMENSIONAMIENTO DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO PARA EL
FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DESALINIZADORA POR ÓSMOSIS
INVERSA EN LA GRAMITA, CASMA – ANCASH”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

AUTOR:

CERRÓN CONTRERAS AMANDA

ASESOR:

DR. COLLINS CAMONES JOSÉ CARLOS

JURADO:

DR. MAYHUASCA GUERRA JORGE VÍCTOR

DR. ZAMBRANO CABANILLAS ABEL WALTER

DR. ZAMORA TALAVERANO NOÉ SABINO

LIMA- PERÚ

2019

Dedicatoria

A Dios, a mi familia, por su apoyo incondicional durante toda esta etapa de estudios superiores.

Agradecimientos

A mí asesor de tesis el Dr. José Carlos Collins Camones, por su contribución con mi trabajo de investigación, durante todo el proceso de ejecución y documentación, así mismo a mis profesores del Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal - UNFV, por sus enseñanzas impartidas en cada clase, al Ing. Fredy Condori, por su contribución con la investigación y en especial al Ing. Rafael Espinoza del Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería CER-UNI, por los conocimientos impartidos a través de su larga trayectoria en sistemas fotovoltaicos y finalmente a los responsables del Laboratorio de Acondicionamiento Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNFV, por haberme facilitado sus instalaciones.

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
I. Planteamiento del Problema	14
1.1. Descripción del Problema	14
1.2. Formulación del Problema.	15
1.2.1. Problema General	15
1.2.2. Problemas Específicos	15
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación.....	16
1.3.1. Justificación	16
1.3.2. Importancia.....	16
1.4. Limitaciones de la Investigación	17
1.5. Objetivos.	17
1.5.1. Objetivo General.....	17
1.5.2. Objetivos Específicos	17
II. Marco Teórico	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Marco Conceptual	21
2.2.1. Energía fotovoltaica.....	21
2.2.2. Panel solar.....	21
2.2.3. Dimensionamiento fotovoltaico.....	21
2.2.4. Desalinización	22
2.2.5. Osmosis inversa	22
2.3. Bases teóricas	22
2.3.1. Energías renovables	22
2.3.2. Radiación Solar.....	22
2.3.3. Distribución espectral de la radiación extraterrestre	23
2.3.4. Energía solar	24
2.3.5. Potencial solar.....	24
2.3.6. Insolación.....	25
2.3.7. Energía Solar Fotovoltaica: Aspectos Generales	28
2.3.8. Bases físicas de la conversión fotovoltaica.....	29
2.3.9. Panel o módulo fotovoltaico	30
2.3.10. Sistemas fotovoltaicos autónomos.....	33
2.3.11. Métodos de dimensionados.....	41
2.3.12. Dimensionamiento Fotovoltaico Autónomo para un Sistema Desalinizador	43
2.3.13. Sistema de bombeo solar fotovoltaico	49
2.3.14. Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico de agua de mar	52
2.3.15. Planta desalinizadora por ósmosis inversa.....	56
2.3.16. Principales técnicas de desalinización	59
2.3.17. Tipos de tecnologías de desalinización.....	62
2.3.18. Pos tratamiento	63
2.4. Marco legal	64
2.4.1. Normas Nacionales	64
2.4.2. Normas Internacionales	65

2.5. Aspectos de responsabilidad Social	66
III. Método.....	67
3.1. Tipo de la Investigación	67
3.1.1. Diseño de la Investigación.....	67
3.1.2. Nivel de la investigación	67
3.2. Población y muestra	67
3.2.1. Unidad de Análisis.....	68
3.3. Hipótesis.....	68
3.3.1. Hipótesis General.....	68
3.3.2. Hipótesis Específicas	68
3.4. Operacionalización de las variables	69
3.4.1. Variable independiente	69
3.4.2. Variable dependiente	69
3.5. Instrumentos	70
3.5.1. Equipos	70
3.5.2. Cartografía	70
3.5.3. Software.....	70
3.5.4. Materiales de campo y gabinete.....	70
3.6. Procedimiento.....	71
3.7. Análisis de datos.....	72
3.7.1. Localización geográfica.....	72
3.7.2. Características climáticas.....	73
3.7.3. Actividad Económica.....	73
3.7.4. Principales recursos históricos culturales	74
3.7.5. Principales problemas ambientales identificados en La Gramita.....	74
3.7.6. Principales problemas sociales identificados en La Gramita	74
3.7.7. Grado de aceptación del proyecto.....	75
3.7.8. Demanda de agua potable de la población La Gramita.....	77
3.7.9. Cálculo de la población futura en La Gramita	79
3.7.10. Demanda de agua potable con población futura en La Gramita	80
3.7.11. Parámetros meteorológicos de La Gramita-Casma.....	82
IV. Resultados	94
4.1. Contrastación de hipótesis.....	94
4.1.1. Potencial solar en el poblado de La Gramita, Casma - Ancash.	94
4.1.2. Demanda de energía eléctrica de la planta desalinizadora.....	100
4.1.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	101
4.1.4. Beneficios e impactos ambientales, económicos y sociales.....	108
4.2. Análisis e interpretación.....	112
V. Discusión de Resultados.....	113
5.1. Discusión.....	113
5.2. Conclusiones	115
5.3. Recomendaciones.....	116
VI. Referencias.....	117
Anexos	121

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
Tabla 1.	Características principales del espectro solar	23
Tabla 2.	Clasificación de flujo de energía o potencia solar medido en W/m ²	25
Tabla 3.	Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica	28
Tabla 4.	Tipos de células fotovoltaicas de silicio	31
Tabla 5.	Voltajes de corte del regulador por sobrecarga para distintos tipos de baterías.	37
Tabla 6.	Selección del cableado para el dimensionado.	48
Tabla 7.	Clasificación de técnicas de desalinización de agua marina.....	59
Tabla 8.	Comparación de las distintas tecnologías de desalinización.....	63
Tabla 9.	Operacionalización de la variable independiente	69
Tabla 10.	Operacionalización de la variable dependiente	69
Tabla 11.	Actividad económica turística	73
Tabla 12.	Consumo de agua potable de La Gramita - Casma.....	78
Tabla 13.	Tasa de crecimiento anual por departamento de 1995 a 2025	79
Tabla 14.	Población futura en La Gramita.....	79
Tabla 15.	Demanda de agua potable en litros, considerando una población futura de 5 A 20 años	81
Tabla 16.	Registro de temperatura y humedad relativa del 20 de junio de 2018	82
Tabla 17.	Registro de temperatura y humedad relativa (21 de junio de 2018)	83
Tabla 18.	Registro de temperatura y humedad relativa del 22 de junio de 2018.....	84
Tabla 19.	Registro de temperatura y humedad relativa del 23 de junio de 2018	85
Tabla 20.	Registro de temperatura y humedad relativa del 24 de junio de 2018	86
Tabla 21.	Registro de velocidad y dirección del viento del día 21 de junio de 2018	88
Tabla 22.	Registro de velocidad y dirección del viento del día 22 de junio de 2018	90
Tabla 23.	Registro de velocidad y dirección del viento del día 23 de junio de 2018	92
Tabla 24.	Irradiancia solar 10/02/2019.....	94
Tabla 25.	Tipos de sistemas de desalinización por osmosis inversa.....	100
Tabla 26.	Características de la Ubicación.....	101
Tabla 27.	Consumo Energético	101
Tabla 28.	Resultados del Cálculo de la batería o sistemas de acumulación	102
Tabla 29.	Características técnicas módulos Fotovoltaicos FV, de marca Yingli Solar	103
Tabla 30.	Resultados del cálculo de paneles y potencia máxima del generador fotovoltaico.	104
Tabla 31.	Cálculo del inversor-regulador integrado	104
Tabla 32.	Tipos de cables para la instalación de componentes.....	105
Tabla 33.	Selección de los componentes del dimensionamiento.....	105
Tabla 34.	Parámetros Dimensionamiento FV para el sistema de bombeo solar	106
Tabla 35.	Componentes del SBSS	106
Tabla 36.	Costos de los componentes del sistema Fotovoltaico para el equipo desalinizador	109
Tabla 37.	Costos del Equipo desalinizador y componentes.....	110
Tabla 38.	Costos de la bomba de agua y componentes	110
Tabla 39.	Resumen del costo total del proyecto en dólares	110
Tabla 40.	Resumen del costo total del proyecto en soles	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Descripción	Pág.
1.	Distribución de la radiación solar	24
2.	Representación esquemática de la medida y del potencial de la energía solar.	25
3.	Mapa de la Energía Solar Incidente diaria promedio anual	26
4.	Niveles de Irradiacion en el departamento de Ancash.....	27
5.	Curva característica de una Celda Solar	32
6.	Componentes de un sistema fotovoltaico	33
7.	Generador fotovoltaico conformado por módulos.....	34
8.	Esquema de un generador fotovoltaico compuesto por 2 ramas de 3 módulos en serie	35
9.	Modelos de reguladores de carga	36
10.	Esquema de asociación de baterías.....	38
11.	Tipos de baterías para sistemas fotovoltaicos.....	39
12.	Funcionamiento del inversor.	40
13.	Modelos de inversores.	41
14.	Bomba solar de superficie Lorentz	51
15.	Esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico	52
16.	Diferencia de alturas entre el arroyo y el tanque de almacenamiento.....	53
17.	Esquema de Destilación Flash Multi-Etapa.....	60
18.	Esquema de destilación multi - efecto	60
19.	Esquema de Vapor Comprimido	61
20.	Planta Convencional de Osmosis Inversa.....	62
21.	Principal actividad económica de la población La Gramita.	73
22.	Resultados de los problemas ambientales identificados en La Gramita	74
23.	Resultados de los problemas sociales identificados en La Gramita.....	75
24.	Resultados del conocimiento sobre la planta desalinizadora.....	75
25.	Resultados de la aceptación para el funcionamiento de una planta desalinizadora	76
26.	Resultados del conocimiento de la población, sobre sistemas fotovoltaicos	76
27.	Preferencia de la población sobre la aplicación de uso de sistemas fotovoltaicos.....	77
28.	Encuestando a los pobladores de La Gramita - Casma.....	77
29.	Gráfico de la Población futura en La Gramita	80
30.	Demanda diaria de agua en litros del poblado La Gramita, con proyección futura	81
31.	Correlación de la temperatura y humedad relativa del 20 de junio de 2018.....	83
32.	Correlación de la temperatura y humedad relativa del 21 de junio de 2018.....	84
33.	Correlación de la temperatura y humedad relativa del 22 de junio de 2018.....	85
34.	Correlación de la temperatura y humedad relativa del 23 de junio de 2018.....	86
35.	Correlación de la temperatura y humedad relativa del 24 de junio de 2018.....	87
36.	Rosa de viento del 21 de junio de 2018	89

37. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento del 21 de junio de 2018.....	89
38. Rosa de viento del 22 de junio de 2018	91
39. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento del 21 de junio de 2018.....	91
40. Rosa de viento del 21 de junio de 2018.....	93
41. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento del 21 de junio de 2018.....	93
42. Irradiancia solar del 10 de febrero del 2019	94
43. Irradiación Solar del año 2013.....	95
44. Irradiación Solar del año 2014.....	96
45. Irradiación Solar del año 2015.....	97
46. Irradiación Solar del año 2016.....	98
47. Irradiación Solar del año 2017.....	99
48. Rendimiento diario en mes promedio.....	107
49. Rendimiento horario promedio por día.....	107

ÍNDICE DE ECUACIONES

Nº	Descripción	Pág.
Ec. 1	Factor de forma	32
Ec. 2	Eficiencia de conversión energética	32
Ec. 3	Inclinación óptima.....	35
Ec. 4	Temperatura de operación de la célula.....	36
Ec. 5	Energía consumida en corriente continua	43
Ec. 6	Energía consumida en corriente alterna	44
Ec. 7	Energía real requerida por el sistema	44
Ec. 8	Energía total requerida por el sistema	44
Ec. 9	Número total de paneles por balance energético.....	45
Ec. 10	Número de paneles en serie.....	45
Ec. 11	Cálculo del número de ramas de paneles en paralelo.....	46
Ec. 12	Capacidad del sistema de acumulación.....	46
Ec. 13	Máxima corriente	47
Ec. 14	Corriente consumida por las cargas	47
Ec. 15	Potencia perdida en los cables por efecto Joule	48
Ec. 16	Carga dinámica total	54
Ec. 17	Potencia pico del generador	54
Ec. 18	Potencia hidráulica	56
Ec. 19	Caudal pico	56
Ec. 20	Muestra de la población	67
Ec. 21	Población futura	79

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

Ah	Amperios-hora
CDT	Carga dinámica total
E_T	Energía real requerida por el sistema
E_{AC}	Energía consumida en corriente alterna
E_{DC}	Energía consumida en corriente continua
E_G	Energía generada
E_h	Energía hidráulica
FV	Fotovoltaico
Gd (β)	Irradiación global en plano inclinado
G_{dm}	Irradiancia solar equivalente al número de horas de sol pico
HSP	Hora solar pico
I_{SC}	Corriente de cortocircuito
I_{pmp}	Corriente producida por cada rama en paralelo
kWh	Kilo watts hora
η_{BAT}	Eficiencia de la batería
η_{INV}	Eficiencia del inversor
N_p	Número de ramas en paralelo de paneles
LLP	Loss of Load Probability
OI	Ósmosis inversa
P_{DC}	Potencia nominal en corriente continua
P_{AC}	Potencia nominal en corriente alterna
P_P	Potencia pico del panel fotovoltaico
P_d	Profundidad de descarga
P_G	Factor global de pérdidas
Pf	Población futura
Pa	Población actual
RER	Recursos Energéticos Renovables
SFV	Sistema Fotovoltaico
SBSS	Sistema de bombeo solar en superficie
V_{BAT}	Tensión nominal de la batería
V_{pmp}	Tensión nominal del panel en punto de máxima potencia

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general, dimensionar un sistema fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa, para el poblado La Gramita - Casma del departamento de Ancash, teniendo como objetivos específicos evaluar el potencial solar de la zona de estudio, la demanda de energía eléctrica para el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa, las dimensiones de los componentes del sistema fotovoltaico mediante el balance de energía y el análisis de los beneficios ambientales, económicos y sociales. Este trabajo es de diseño no experimental, de muestreo no probabilístico. Asimismo, para determinar el diagnóstico situacional se encuestó a 19 habitantes, de una población de 260, encontrando una demanda de agua potable de 36,01 litros/día/hab. en verano y 20,68 litros/día/hab. en invierno, lo cual genera una demanda total de la población de 5 376 litros/día en invierno y 9 386 litros/día, en verano. La planta desalinizadora por ósmosis inversa elegida, es el modelo 1800 –BHL–4, que tiene una capacidad de 6 800 litros/día, teniendo una demanda de energía eléctrica de 5,5 A a 230 V (Trifásico) y cubriendo la demanda, en un 75% en invierno y en un 72% en verano. Para la demanda de energía se han dimensionado los siguientes componentes fotovoltaicos, mediante el método de balance de energía, obteniendo como resultado, 24 baterías de 2 400 Ah en serie, un inversor-regulador integrado de una potencia de 5000 VA, y 45 Paneles fotovoltaicos de marca Yingli Solar, modelo YL280C-30b, siendo el proyecto favorable y sostenible para el desarrollo de la población utilizando energía renovable solar, por lo que se propone que el agua tratada sea entregada a las unidades familiares a costos sociales (subvencionado) y la operación y mantenimiento de la planta desalinizadora, esté a cargo de una empresa prestadora de servicios.

Palabras Claves: Dimensionamiento fotovoltaico, potencial solar, ósmosis inversa, planta desalinizadora.

ABSTRACT

This research has as a general objective, to dimension a photovoltaic system for the operation of a desalination plant of sea water by reverse osmosis, for the town of La Gramita - Casma, department of Ancash, having as specific objectives to evaluate the solar potential of the area of study, the demand of electric energy for the operation of a desalination plant of sea water by reverse osmosis, the dimensions of the components of the photovoltaic system through the energy balance and the analysis of the environmental, economic and social benefits. This work is non-experimental design, non-probabilistic sampling. Likewise, to determine the situational diagnosis, 19 inhabitants were surveyed, out of a population of 260, finding a demand for drinking water of 36.01 liters / day / inhab. in summer and 20.68 liters / day / room in winter, which generates a total demand of the population of 5 376 liters / day in winter and 9 386 liters / day, in summer. The chosen reverse osmosis desalination plant is the model 1800 -BHL-4, which has a capacity of 6,800 liters / day, having a power demand of 5.5 A at 230 V (Three-phase) and covering the demand, 75% in winter and 72% in summer. For the energy demand, the following photovoltaic components have been dimensioned, by means of the energy balance method, obtaining as a result, 24 batteries of 2 400 Ah in series, an integrated inverter-regulator with a power of 5000 VA, and 45 photovoltaic panels of Yingli Solar brand, model YL280C-30b, being the favorable and sustainable project for the development of the population using solar renewable energy, for which it is proposed that the treated water be delivered to the family units at social costs (subsidized) and the operation and maintenance of the desalination plant, is in charge of a service provider company.

Key Words: Photovoltaic sizing, solar potential, reverse osmosis, desalination plant

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el 60% de la energía mundial proviene de fuentes fósiles consideradas no renovables, que presentan el problema de ser recursos limitados no sustentables en el tiempo y altamente contaminantes; esto podría ser resuelto si se orienta las políticas gubernamentales y los procesos de investigación y desarrollo al perfeccionamiento de fuentes de energía renovable como la eólica, la hídrica, la mareomotriz, la biomasa y la fotovoltaica, siendo ésta última de gran importancia por su impacto ambiental, facilidad de instalación, disponibilidad del sol y costos que presentan una tendencia a disminuir (Checa & De La Cruz, 2015).

En el Perú, la matriz energética proyectada por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) va en sentido contrario a la tendencia mundial de reducir el aporte de los hidrocarburos que se irá compensado con el incremento progresivo del uso de las fuentes renovables y limpias (Luyo, 2016).

Así mismo en el Perú existen una gran cantidad de poblados cercanos al mar que carecen de agua potable, para los cuales las plantas desalinizadoras con suministro energético solar fotovoltaico, serían una alternativa ante la falta de este líquido vital.

En la presente investigación se plantea el estudio del dimensionamiento fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora en el poblado de La Gramita en Casma, que tiene una población de 260 habitantes, con una demanda de agua potable de 5 378 litro/día en invierno y 9 363 litro/día en verano, donde no cuentan con energía eléctrica ni redes de agua potable, sin embargo por su ubicación frente al mar, se puede captar este recurso (agua de mar) para luego ser bombeada y almacenada mediante energía solar, pasando por una planta desalinizadora, que tiene una alta demanda de energía eléctrica, que será abastecida con energía fotovoltaica (paneles solares), para finalmente obtener agua potable.

I. Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del Problema

Un indicador de desarrollo de un país es su consumo energético, a medida que una economía incrementa su nivel de producción industrial y las necesidades de consumo de sus habitantes, también lo hace la cantidad de energía demandada. En este periodo de la historia de la humanidad se está viviendo dos fenómenos que evidencian el incremento en la demanda energética: el primero hace referencia al crecimiento demográfico mundial, el cual tiene una tendencia incremental que pasó de 5700 millones en 1994 a 7200 millones en 2014, de acuerdo con las Naciones Unidas (2014) la proyección a 2050 será de 9600 millones de personas; el segundo fenómeno es el despunte económico de los países en vías de desarrollo que han empezado a generar procesos productivos relevantes en relación con el consumo energético, lo cual permite inferir que la demanda energética doblaría el consumo actual (Checa & De La Cruz, 2015).

En la actualidad el 60% de la energía mundial proviene de fuentes fósiles consideradas no renovables, que presentan el problema de ser recursos limitados no sustentables en el tiempo y altamente contaminantes; esto podría ser resuelto si se orienta las políticas gubernamentales y los procesos de investigación y desarrollo al perfeccionamiento de fuentes de energía renovable como la eólica, la hídrica, la mareomotriz, la biomasa y la fotovoltaica, siendo ésta última de gran importancia por su impacto ambiental, facilidad de instalación, disponibilidad del sol y costos que presentan una tendencia a disminuir (Checa & De La Cruz, 2015).

En el Perú, la Matriz energética proyectada por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) va en sentido contrario a la tendencia mundial de reducir el aporte de los hidrocarburos que se irá compensado con el incremento progresivo del uso de las fuentes renovables y limpias (Luyo, 2016). Las energías renovables no tradicionales representan actualmente un porcentaje de solamente 4% del total de la producción nacional según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería en el 2018.

La población de La Gramita no cuenta con el servicio de energía eléctrica ni de agua siendo complicada su implementación a través de la alimentación de las redes eléctricas

del servicio público, ya que la red de media tensión de 10 kV más cercana se encuentran a 21 km hacia el Norte en la ciudad de Casma y a 32 km al Sur en el distrito de Culebras en Huarney (Chercca, 2014).

Por tales motivos la presente investigación propone dimensionar un sistema con energía renovable solar fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa, para el poblado de La Gramita, Casma – Ancash.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el funcionamiento de la planta desalinizadora de agua de mar por osmosis inversa para el poblado de La Gramita-Casma?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el potencial solar en el poblado La Gramita-Casma?
- ¿Qué demanda de energía requiere una planta desalinizadora para dotar agua de consumo humano a la población de La Gramita?
- ¿Qué procedimientos se pueden aplicar para dimensionar los componentes del sistema fotovoltaico?
- ¿Cuáles son los beneficios ambientales, económicos y sociales del funcionamiento de la planta desalinizadora de agua de mar, con energía fotovoltaica?

1.3. Justificación e Importancia de la Investigación

1.3.1. Justificación

La presente investigación contribuirá con información especializada, lo cual favorecerá con desarrollo sostenible del poblado la Gramita, ya que el proyecto propuesto, utilizará energía fotovoltaica (paneles solares), para tratar el agua de mar, convirtiéndola en agua potable, mediante una planta desalinizadora de agua de mar por osmosis inversa ,aprovechando el potencial solar de la zona de estudio, lo cual generará nuevas fuentes de ingreso para los pobladores.

La población actual de La Gramita, sufre de escasas de agua potable, ya que no cuentan con redes interconectadas, el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar por osmosis inversa, dotará constantemente de agua potable de buena calidad, para todos los habitantes de la zona, mejorando su calidad de vida.

1.3.2. Importancia

La presente investigación va dirigida a la población de La Gramita que se encuentra actualmente sin energía eléctrica y carece de redes de agua potable lo que hace que el líquido vital sea más costoso en la zona y así mismo a las autoridades competentes, quienes son tomadoras de las decisiones para el desarrollo de proyectos en la comunidad.

A la vez esta investigación, pretende despertar el interés de la población y entidades privadas, para fomentar la implementación de tecnologías limpias en la generación de agua potable, desalinizando el agua de mar, en lugares que no cuenten con dicho suministro y energía eléctrica.

1.4. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones en la presente investigación, fueron las siguientes:

- Carencia de estaciones meteorológicas en la zona de estudio ya que los datos de radiación solar fueron tomados de la NASA Meteorology, de un periodo de 21 años.
- Para el procesamiento del dimensionamiento ameritó un software con licencia lo cual dificultó el desarrollo de la investigación, y se procedió utilizando el método de balance de energía.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema fotovoltaico para el funcionamiento de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa, para el poblado de La Gramita, Casma – Ancash.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Determinar el potencial solar en el poblado de La Gramita, Casma - Ancash.
- Determinar la demanda de energía eléctrica para el funcionamiento de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa.
- Determinar las dimensiones de los componentes del sistema fotovoltaico mediante el balance de energía.
- Analizar los beneficios ambientales, económicos y sociales del funcionamiento de la planta desalinizadora de agua de mar, con energía fotovoltaica.

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Chicaguala (2017). Estudió la generación de energía para autoconsumo a través de paneles fotovoltaicos y así disminuir los costos de operación por consumo de energía eléctrica de la red a través del software RetScreen, se analizaron los indicadores de rentabilidad como el VAN, ahorros acumulados durante la vida del proyecto y se realizó un análisis con tecnología de refrigeración o enfriamiento para los equipos, obteniendo valores de TIR de 13,2% aceptable para este tipo de proyectos fotovoltaicos, un VAN de \$2.804.814 y ahorros anuales por \$329.452 en el ciclo del proyecto de este estudio.

Montañés (2016). Detalló los pasos para el diseño de una central que funcione con energía renovable y sea capaz de desalinizar agua, llegando a las siguientes conclusiones, El proceso de optimización ha servido para diseñar una central con una gran capacidad de desalinizar agua. Para ello se ha requerido de evaporadores de gran tamaño, lo que encarece el coste de la planta desalinizadora. Fijando el número de efectos en 16, se ha conseguido obtener una central capaz de desalinizar 2.500.000 l/d con un GOR de 11.44, un valor bastante aceptable de la eficiencia del sistema. Aunque son valores aceptables, en algunas centrales se han tomado valores experimentales incluso mejores a estos obtenidos teóricamente. La temperatura de vapor que entra por el primer efecto debe ser lo más alta posible, ya que de este modo aumentará la eficiencia del sistema. La temperatura de alta del ciclo Rankine es de 535°C, de manera que el intercambiador de calor sal-vapor puede funcionar correctamente. Al tomar un valor de la temperatura de baja del ciclo alta, la producción de energía de la turbina disminuye. El rendimiento de los heliostatos no muestra una gran variación a lo largo del año. Debe seleccionarse un punto de diseño intermedio que asegure que el campo no se sobredimensione y que permita operar la central a lo largo de todo el año. Al aumentar el número de heliostatos del campo, la potencia de la central es mayor, pero la eficiencia media de los heliostatos va disminuyendo, debido a que cuanto más lejos se encuentran, es menor la cantidad de luz reflejada que incide directamente en el receptor.

Cabero (2015). Definió un proceso de desalación de agua de mar mediante la tecnología de ósmosis inversa mediante la utilización de programas de cálculo utilizados específicamente para realizar los balances másicos que tienen lugar en este proceso; y en

uno de los tres programas de cálculo de membranas más utilizado a nivel mundial, llegando a las siguientes resultados que demuestran que en el rango de salinidades entre 30 000 y 40 000 mg/l y temperaturas entre 10 y 30°C, este proceso trabaja con una conversión superior al 60% logrando una calidad de agua tratada con unos valores de sólidos disueltos totales, cloruros, sodio y boro inferiores a los máximos permitidos por las Normativas Nacional y Europea, así como las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

Carrillo (2015). Estudió de viabilidad para generar energía eléctrica con un Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico – Eólico, mediante la valoración de las necesidades energéticas, perfil de carga, consumo energético y distancia entre hogares. Teniendo como resultados la energía total requerida para la elección de las placas fotovoltaicas de 5,191 kWh /día, la capacidad total de la batería solicitada con base en la energía total requerida del mes más desfavorable y la profundidad de descarga máxima de la misma, fue de 1464,12Ah; concluyendo así que los sistemas híbridos renovables se plantean como la mejor solución de generación, al incrementar la combinación de fuentes renovables a la red existente, favorecen al medio ambiente y mejoran la eficiencia energética.

Chercca (2014). Determinó el aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂, mediante la combinación óptima de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico teniendo como resultado la energía total diaria estimada por el sistema fotovoltaico de 38,64 KWh y una energía generada anual de 14103,6 KWh; llegando a la conclusión que mediante el aprovechamiento del recurso eólico y solar con la implementación de sistema híbridos eólicos-fotovoltaicos se logra una solución técnica y económicamente viable, porque genera beneficios a toda la comunidad y mejora de la calidad de vida, sin embargo desde el punto de análisis como proyecto privado es necesario efectuar un subsidio no retornable que equivale al 80% de la inversión para que el proyecto sea rentable, estimando un tiempo de recuperación de la inversión de 20 años a una tasa interna de retorno del 16,80%.

Shashabi , Mchugh, Anda & Ho, (2014). Evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de ciclo de vida de una planta desaladora de ósmosis inversa de agua de mar de una planta ubicada en Perth, Western Australia (WA) y evaluar su rendimiento mediante tres escenarios de suministro de energía. Los resultados indican que plantas de desalinización con energías renovables lograron la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 90% respecto a la planta por escenario de red de WA.

UNESCO, 2013. En este documento técnico se dió solución al problema de aprovisionamiento de agua potable en la Isla Damas mediante la instalación de un sistema de osmosis inversa alimentado con energía renovable no convencional y que no afecte las condiciones medioambientales y, en este caso en particular, empleando una energía de carácter renovable no convencional como la energía fotovoltaica, teniendo como resultado la obtención de 1 m³/día de agua desalada apta para consumo humano , llegando a la conclusión que las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) se perfilan como una alternativa limpia, segura y eficiente, si bien los costos no son aún competitivos dada la escasa presencia y las dificultades que presenta su afianzamiento en el país.

Jiménez (2013). Diseñó una instalación desaladora de agua de mar mediante la aplicación de la tecnología de ósmosis inversa y abastecida con energía solar fotovoltaica. Así mismo, se realizará el diseño y cálculo de los sistemas y equipos instalados en la misma para su correcto funcionamiento y abastecimiento a la población, considerando el año meteorológico típico del lugar (ATM), conjunto de valores de la irradiación horaria correspondientes a un año hipotético que se construye eligiendo, para cada mes, un mes de un año real cuyo valor medio mensual de la irradiación global diaria horizontal coincida con el correspondiente a todos los años obteniéndose la base de datos. Teniendo como conclusiones, las tecnologías de desalación consisten en reducir el contenido salino de las aguas para convertirlas en aguas factibles de ser consumidas por el ser humano, su fuente es inagotable si hablamos de desalación de agua marina.

Raboso (2012). Diseñó una planta potabilizadora portátil alimentada con energía solar fotovoltaica, mediante la determinación de parámetros, el método del dimensionado, la simulación de la solución fotovoltaica utilizando los programas de software PVSYST; teniendo como resultados los siguientes datos: Energía necesaria de 766.50 kWh anual, energía suministrada de 732.13 kWh anual, energía utilizada directamente de 66%,

energía almacenada y utilizada de 34% y un rendimiento del sistema del 95,5% , llegando a la siguientes conclusiones, que los principales factores que influyen en la viabilidad económica de esta instalación potabilizadora/desalinizadora funcionando con energía solar fotovoltaica son las condiciones climáticas (ubicación) como las condiciones intrínsecas de bombeo, haciendo un presupuesto total para el diseño definitivo del sistema de 9877 euros.

2.2. Marco Conceptual

A continuación se presentan los conceptos de las variables más importantes:

2.2.1. Energía fotovoltaica

Está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red) (Abella, Díaz & Polo, 2001).

2.2.2. Panel solar

Un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje (MINEM, 2005).

2.2.3. Dimensionamiento fotovoltaico

Se entiende por dimensionado de un sistema fotovoltaico el cálculo del tamaño óptimo de la instalación. La tarea fundamental del dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo, que consiste principalmente en la determinación del tamaño óptimo tanto del generador fotovoltaico como de la batería o conjunto de baterías que formen el sistema. Puesto que estos dos elementos son los más importantes del sistema fotovoltaico autónomo se deberá prestar especial atención a su dimensionado. En una fase posterior, y sin restarle importancia, habrá que dimensionar también los otros elementos que también participan de la instalación como son el inversor, el regulador de carga y el cableado (Aguilera & Hontoria, 2011).

2.2.4. Desalinización

Es el proceso de eliminar la sal del agua de mar o salobre, obteniendo agua dulce. Las plantas desalinizadoras o desaladoras son instalaciones industriales destinadas a la desalinización. Para la desalinización podemos tomar bien agua del mar o bien aguas salobres para su utilización como agua bruta o agua de alimentación (López y Mejías, 2000).

2.2.5. Osmosis inversa

Consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semipermeable (Manuel, 1999).

2.3. Bases teóricas

A continuación, se presentan las bases teóricas de la presente investigación.

2.3.1. Energías renovables

Las energías renovables denominadas también limpias son aquellas que se producen en forma continua y son inagotables a escala humana o son las que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales (Guevara, 2013).

Para la Comisión Nacional de Energía (CNE), las energías renovables “se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil, no se consumen ni se agotan, en una escala humana” (UNESCO, 2013).

Según OSINERGMIN, del 2010 al 2016 el costo de la electricidad fotovoltaica se redujo de 225 a 48.5 dólares por cada MWh entregada a la red eléctrica.

2.3.2. Radiación Solar

Según Nakama V. en el año 2017, define a la radiación solar como el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, conformada por la radiación ultravioleta (200 – 360 μm), luz visible (360 – 760 μm) y radiación infrarroja (760 – 4000 μm). No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera. La magnitud que mide la

radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la potencia que por unidad de superficie alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado).

- a) Radiación directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección.
- b) Radiación difusa: Es aquella que proviene de la bóveda celesta exceptuando la radiación directa.
- c) Albedo: Es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates.
- d) Global: Es la suma de todas las anteriores.

2.3.3. Distribución espectral de la radiación extraterrestre

Los valores aceptados para la constante solar han variado fundamentalmente por los sucesivos progresos en el conocimiento de determinadas porciones del espectro solar, la última curva standard del espectro de radiación solar ha sido propuesta por la NASA en 1971 y fue obtenida sobre la base de mediciones hechas desde naves espaciales y vuelos a gran altitud. En la Tabla 1, se muestra las cantidades de energía comprendidas dentro de sectores típicos del espectro solar. (Espinoza et al., 2017).

Tabla 1
Características principales del espectro solar

Característica	Ultravioleta	Sensores del Espectro Luz Visible	Infrarrojo
Longitud de onda, μm	0 – 0,38	0,38 – 0,78	0,78 - ∞
Fracción relativa	0,07	0,4729	0,4571
Energía en el sector	95	640	618

Fuente: Espinoza, Nakama, Manza & Alejandro, 2017.

De acuerdo a la distribución espectral como se ilustra en la Figura 1, se considera que la radiación solar proveniente del sol tiene longitudes de onda entre los 250 nm y 2500 nm. La energía solar que alcanza la superficie de la tierra es muy irregular variando no tan solo su insolación máxima diaria sino también la radiación solar que se atenúa según la composición instantánea de la atmosfera que atraviesa, siendo así, que solo un 47 %

de la radiación incidente sobre la atmosfera terrestre alcanza la superficie de la tierra, un 31 % lo hace directamente y el 16 % después de ser dispersada por polvo, vapor de agua y moléculas de aire. El 53 % de energía restante es reflejada al espacio o absorbida por la atmosfera (Acosta, 2012).

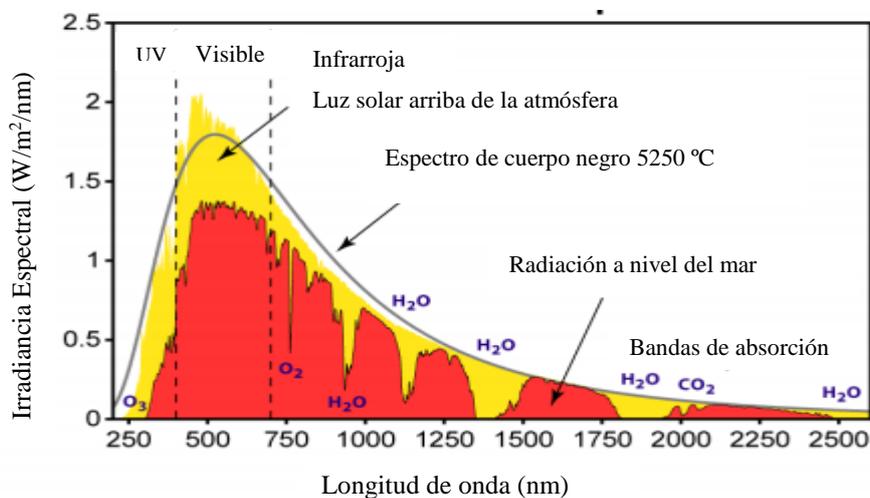


Figura 1. Distribución de la radiación solar.

Fuente: Acosta, 2012.

2.3.4. Energía solar

La energía solar, vista como fuente energética, pertenece al grupo de las llamadas fuentes renovables debido a su carácter de inagotable. Energéticamente, es una fuente de energía capaz de ser explotada con el fin de satisfacer los mismos requerimientos de energía actualmente satisfechos mediante fuentes de energía tradicionales (petróleo, carbón, etc.) (Espinoza et al., 2017).

2.3.5. Potencial solar

La necesidad de usar energía renovable solar en algún lugar nos obliga a conocer cuanta energía de esa fuente se dispone, a esta cantidad de energía renovable se le llama potencial de energía. El potencial de energía solar sería “la cantidad de energía proveniente del sol que cae sobre una determinada área en la unidad de tiempo. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es superior a los $1000 W/m^2$ a nivel de la superficie terrestre (ver Tabla 2). A esta potencia se la conoce como irradiancia (Horn & Espinoza, 2017).

Tabla 2

Clasificación de flujo de energía o potencia solar medido en W/m^2

NIVELES	VALORES
Nivel máximo teórico	1353 W/m^2 (Constante solar)
Nivel máximo real	1150 W/m^2
Niveles altos probables	750 a 1000 W/m^2
Niveles medios probables	450 a 750 W/m^2
Niveles bajos probables	Menos de 450 W/m^2

Fuente: Espinoza et al., 2017.

La Figura 2, ilustra el proceso de medición diaria de la potencia solar, el cálculo de la energía diaria acumulada sobre la base de la potencia medida y el concepto de *potencial de energía solar*.

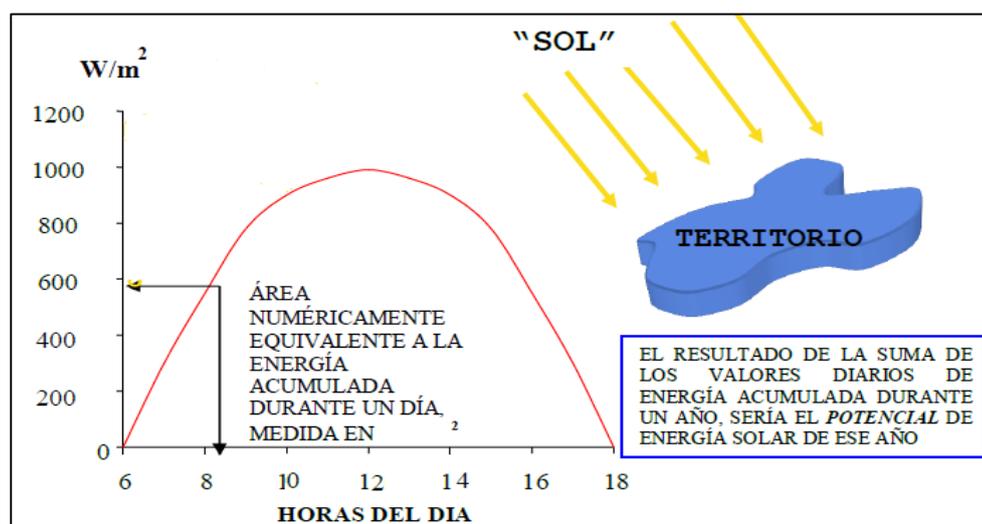


Figura 2. Representación esquemática de la medida y del potencial de la energía solar.

Fuente: Espinoza et al., 2017.

2.3.6. Insolación

Es la energía incidente por m^2 durante cierto tiempo, y así se habla, por ejemplo, de insolación horaria, diaria o mensual, como la energía incidente por unidad de superficie en una hora, un día, un mes respectivamente, y se suele expresar en $W h/m^2$. La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante determinado sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como Irradiancia (I_s). Esta magnitud se expresa en W/m^2 . (Espinoza et al., 2017).

El potencial de energía solar se usa para estimar la producción de energía fotovoltaica en una zona determinada.

En la figura N° 3, se muestra el Mapa de la Energía Solar Incidente diaria promedio anual en el Perú donde se observa el alto potencial solar con el que se cuenta, apto para la generación de energía fotovoltaica.



Figura 3. Mapa de la Energía Solar Incidente diaria promedio anual.

Fuente: <https://jmirez.wordpress.com/2015/09/25/j862-imagen-completa-de-mapa-solar-del-peru/>.

El Perú se encuentra dentro de la zona del trópico (latitudes de 0 - 18° Sur), con niveles de radiación muy alta por tanto con un alto potencial solar, su incidencia diaria y constancia puede ser captada durante todo el año. De acuerdo al Atlas de Energía Solar del Perú en el 2003, el Perú cuenta con un potencial promedio de energía de 5,24 KWh/m² (Horn & Espinoza, 2017).

Para la presente investigación se evaluaron los datos de irradiancia del departamento de Ancash, según el Atlas de Energía Solar del Perú en el 2003.

En la Figura 4, para diferentes periodos del año de la zona de estudio, presenta una irradianción mínima de 4,5 a 5 kW h/m² y una máxima de 6 a 6,5 kW h/m².

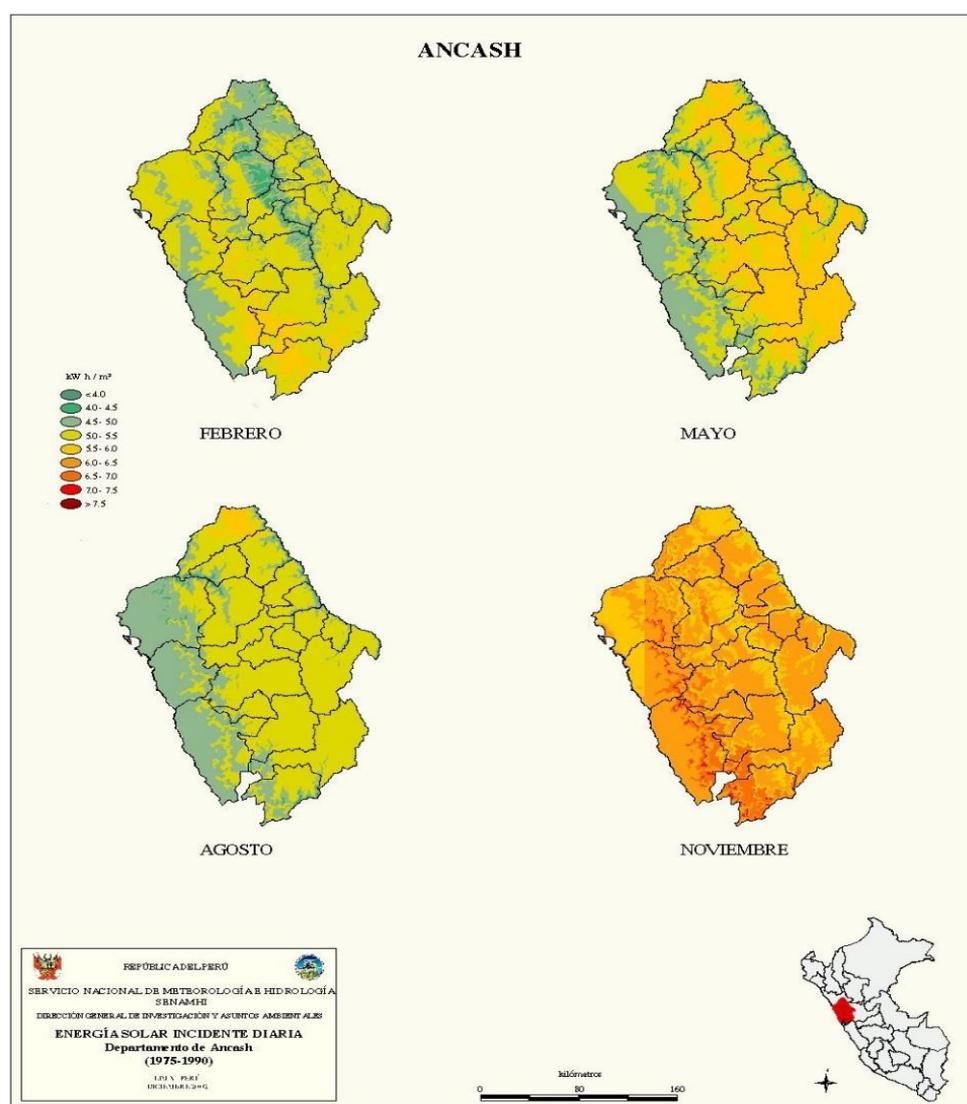


Figura 4. Niveles de irradianción en el departamento de Ancash.

Fuente: Atlas de Energía Solar del Perú, 2003.

2.3.7. Energía Solar Fotovoltaica: Aspectos Generales

Según el informe del Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación (2002), enfatizan que la electricidad es la forma más versátil de energía que tenemos, lo cual permite que los ciudadanos de los países desarrollados dispongan de luz, refrigeración, control de la temperatura en sus casas, colegios y oficinas y acceso a los medios de comunicación por cable y radio. El acceso a la electricidad está directamente relacionado con la calidad de vida.

Así mismo este informe (Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación), describe que para mejorar la calidad de vida en muchos países (medida en HDI) se requiere aumentar su consumo eléctrico por un factor 10 o superior, desde unos pocos cientos a algunos miles de kWh por persona y año.

2.3.7.1. Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica

La Energía Solar Fotovoltaica presenta ventajas e inconvenientes tanto técnicas como no técnicas, como se muestra en la Tabla 3. A menudo, las ventajas y desventajas son diametralmente opuestas a las de las centrales convencionales de fuel-oil (fracción del petróleo, llamado también combustóleo). Por ejemplo, las plantas de combustibles fósiles provocan emisiones peligrosas para el medio ambiente, usan una fuente limitada, su coste tiende a crecer y no son modulares, es decir, no se pueden hacer plantas pequeñas. La Energía Solar Fotovoltaica no tiene ninguno de esos problemas; por el contrario tiene la desventaja de su difícil almacenamiento. Por último, coinciden en ser ambas tecnologías muy fiables (Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, 2002).

Tabla 3

Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Limpia, renovable, infinita, silenciosa	Gran inversión inicial
Retribuida económicamente la producción para venta a red	Difícil almacenamiento
Subvenciones	Proceso de fabricación de módulos complejo y caro
Corto pay-back de la energía	No competitiva con otras energías en la actualidad
Sin partes móviles y modular	Producción variable según climatología y época del año

Fuente: Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, 2002.

2.3.8. Bases físicas de la conversión fotovoltaica

Según el informe del Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, publicado el 2002, las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada “banda de valencia”. Cuando se aplica un cuanto de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada “banda de conducción”. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso.

También se afirma en este informe (Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación), que el flujo de electrones en el circuito exterior se llama corriente de la célula y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones por los contactos selectivos determina la potencia generada. Todo esto ocurre a temperatura ambiente y sin partes móviles, pues las células solares, que convierten en electricidad sólo una parte de la energía de los fotones absorbidos se calientan sólo unos 25-30°C por encima de la temperatura ambiente.

La estructura típica de una célula solar es una unión *pn* similar a los diodos semiconductores, pero no necesariamente la única posible. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido al usuario. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor u ondulator. El inversor, las baterías recargables, en caso de que se necesite almacenamiento, las estructuras sobre las que se montan y orientan los módulos así como otros elementos necesarios para construir un sistema fotovoltaico (FV) se llama BOS (*Balance of System*), que significa, sencillamente, “resto de sistema” (Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, 2002).

2.3.9. Panel o módulo fotovoltaico

Según la empresa Soluciones Energéticas, S.A. (SOLENER) los paneles Fotovoltaicos están formados de una serie de celdas fotovoltaicas, las cuales transforman directamente la radiación solar (compuesta por fotones) que reciben, en energía eléctrica mediante el “Efecto Fotovoltaico”, donde la incidencia de la radiación luminosa sobre la celda crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable. Las más empleadas son las realizadas con silicio cristalino.

2.3.9.1. La célula solar

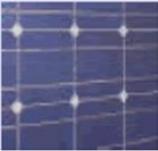
Una célula o celda solar es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de silicio monocristalino o policristalino. El primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a su eficiencia (Espinoza et al., 2017).

2.3.9.2. Tipos de células fotovoltaicas

Existen principalmente tres tipos de celdas como se muestran en la Tabla 4, las monocristalinas, las policristalinas y las amorfas. Las celdas construidas con silicio monocristalino poseen una estructura uniforme donde todos los átomos están perfectamente alineados, las policristalinas presentan una estructura ordenada por regiones donde sus átomos presentan diferentes direcciones debido a que están fabricadas con distintos cristales de silicio y las celdas de silicio amorfo donde el material semiconductor se deposita como película fina en distintos soportes (Corporación de desarrollo tecnológico, 2013).

Tabla 4

Tipos de células fotovoltaicas de silicio

CÉLULAS	RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
 <p>MONOCRISTALINO</p>	24%	15 – 18%	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky)	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
 <p>POLICRISTALINO</p>	19 – 20%	12 – 14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el de monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
 <p>AMORFO</p>	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm.

Otro tipo de celda corresponde a la de tecnología de capa fina, la cual puede ser fabricada con otros elementos distintos al silicio como el diseleniuro de cobre e indio, el telurio de cadmio y el seleniuro de cobre-indio-galio. La principal diferencia entre ellas es el porcentaje de radiación incidente, que se transforma en electricidad (Corporación de desarrollo tecnológico, 2013).

Cada panel solar está construido a partir de pequeñas celdas (oblas de silicio) que generan un potencial eléctrico individual aproximado de entre 0,6 y 0,7 Volts. Al colocar las celdas solares en arreglos serie y paralelo, se pueden obtener mayores voltajes y corrientes. El voltaje y la corriente producidos por un panel solar son directamente proporcionales al área de captación y a la irradiancia incidente (Castillo et al., 2013).

2.3.9.3. Curva característica de una célula fotovoltaica

Según el informe de La Ingeniería Fotovoltaica, de Espinoza et al. (2013), la curva característica I-V de una célula fotovoltaica como se muestra en la Figura 5, representa pares de valores de tensión e intensidad en los que puede encontrarse funcionando la célula. Los valores característicos son los siguientes:

- Voltaje de circuito abierto (V_{OC}): Que es el máximo valor de tensión en extremos de la célula y se da cuando esta no está conectada a ninguna carga.
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): Definido como el máximo valor de corriente que circula por una célula fotovoltaica y se da cuando la célula está en cortocircuito.
- Punto de máxima potencia "P_{MP}": Es el producto del valor de tensión máxima (V_M) e intensidad máxima (I_M) para los que la potencia entregada a una carga es máxima.
- Factor de forma (FF): Se define como el cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito, es decir:

$$FF = \frac{I_M V_M}{I_{sc} V_{oc}} \dots\dots\dots ec. 1$$

- Eficiencia de conversión energética o rendimiento: Se define como el cociente entre la máxima potencia eléctrica que se puede entregar a la carga (P_M) y la Irradiancia incidente (P_L) sobre la célula que es el producto de la irradiancia incidente G por el área de la célula S : (Espinoza et al., 2013)

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{I_M V_M}{P_L} \dots\dots\dots ec. 2$$

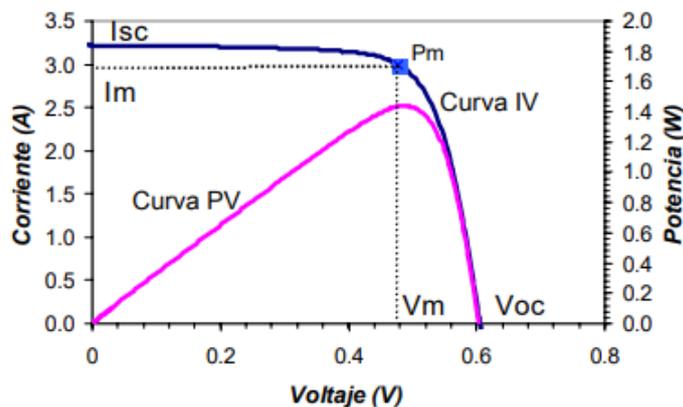


Figura 5. Curva característica de una Celda Solar.

Fuente: Abella & Romero, (s.f.).

Dependiendo de su configuración y de la potencia producida, estos sistemas se dividen en dos categorías:

- Sistemas fotovoltaicos Aislados o Autónomos
- Sistemas fotovoltaicos de conexión a red.

2.3.10. Sistemas fotovoltaicos autónomos

Los sistemas fotovoltaicos son utilizados para proveer de electricidad a sitios aislados, que, por su ubicación geográfica y dificultad de acceso, no están conectados a la red eléctrica. Estos sistemas independientemente de su tamaño y utilización, se pueden clasificar en 3 categorías: aislados con o sin baterías (comúnmente utilizados en zonas rurales o islas), conectados a la red y tercero, los híbridos (combinados con otros tipos de generación eléctrica) (UNESCO, 2013).

Los componentes de un sistema aislado de energía fotovoltaica, como el sistema implementado en el proyecto, posee los siguientes componentes: Módulos fotovoltaicos, regulador de carga, sistema de acumulación, inversor o acondicionador de la energía eléctrica y elementos de protección del circuito (ver Figura 6).

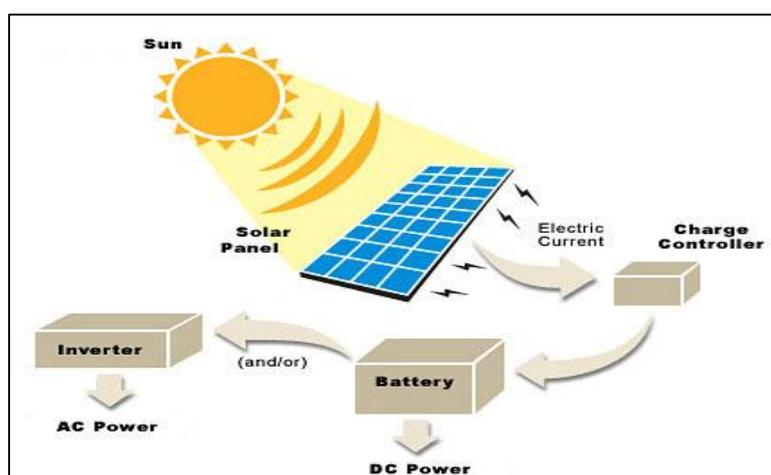


Figura 6. Componentes de un sistema fotovoltaico.

Fuente: <http://www.modmyrv.com/2009/11/18/rv-solar-energy-system>.

Los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos son diversos, por ejemplo: para dotación de energía en viviendas rurales; suministro de energía para elevación de agua (potable y riego principalmente); telecomunicaciones (repetidoras de señal, telefonía móvil); tratamiento y desalinización de agua; señalización marítima y terrestre; alumbrado público y conexiones a la red. Asimismo, estos sistemas también pueden conformar granjas fotovoltaicas, y estar conectados a la red eléctrica interconectada (UNESCO, 2013).

Entre las ventajas que presenta este tipo de energía se cuentan: el escaso impacto ambiental que producen; nula producción in situ de residuos perjudiciales para el

ambiente; constituye una fuente de energía inagotable y gratuita; presenta costos bajos de mantenimiento y larga duración de paneles solares; es de instalación sencilla; no existe dependencia con compañías suministradoras de energía; es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (zona rural e islas); es posible aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación incorporando nuevos módulos y baterías; y el costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando (cabe recordar que el costo de los combustibles convencionales aumenta, dado que estos son finitos) (UNESCO, 2013).

2.3.10.1. Generador fotovoltaico (GF)

Un generador fotovoltaico es una asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada (ver Figura 6) (Perpiñán, 2018).

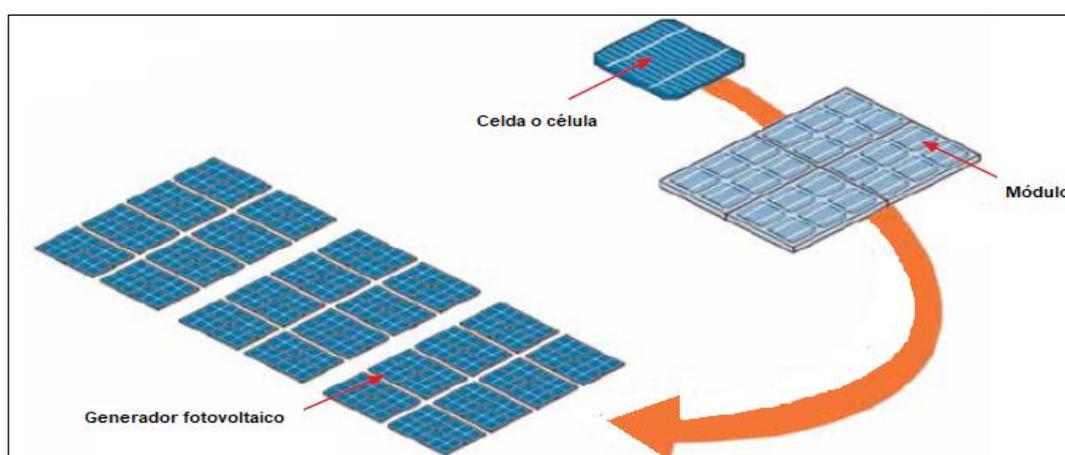


Figura 7. Generador fotovoltaico conformado por módulos.

Fuente: Corporación de desarrollo tecnológico (2013).

En términos sencillos, un módulo o panel fotovoltaico es un arreglo de celdas solares dispuestas en serie y en paralelo, todo ello dentro de una estructura que mantiene las celdas aisladas del medio exterior, permitiendo solo el paso de la luz (Corporación de desarrollo tecnológico, 2013).

Un generador fotovoltaico se compone de un total de $N_p \cdot N_s$ módulos, siendo N_p el número de ramas y N_s el número de módulos en cada serie. El número de ramas define la corriente total del generador, $I_g = N_p \cdot I_m$, y el número de módulos por serie define la tensión del generador, $V_g = N_s \cdot V_m$. La Figura 8, muestra un generador fotovoltaico compuesto por 2 ramas de módulos en serie (Perpiñán, 2018).

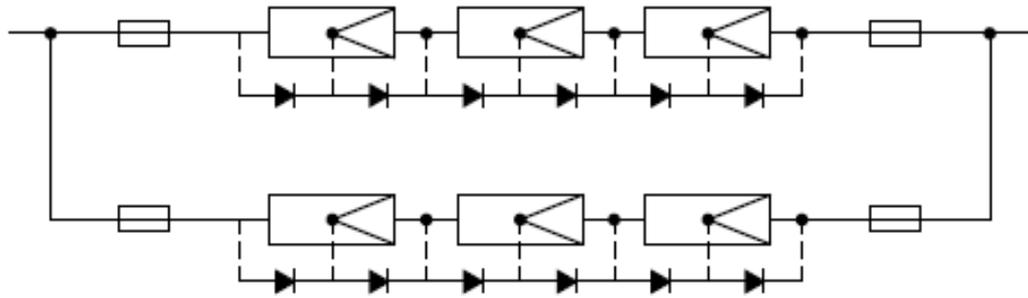


Figura 8. Esquema de un generador fotovoltaico compuesto por 2 ramas de 3 módulos en serie.

Fuente: Perpiñán (2018).

2.3.10.1.1. Geometría de la radiación incidente en un generador fotovoltaico

Es conocimiento común que la potencia entregada por un generador fotovoltaico es tanto mayor cuanto mayor sea el nivel de radiación efectiva incidente en el mismo. El cálculo de la radiación efectiva incluye las pérdidas por reflexión, efecto relacionado con el ángulo formado entre la línea que une el generador con el sol y la perpendicular al plano del módulo. Cuanto mayor es este ángulo, mayor es la radiación reflejada (Perpiñán, 2018).

2.3.10.1.2. Inclinación óptima

En sistemas que no poseen dispositivos de seguimiento solar, es necesario definir el periodo del año en el cual se desea maximizar la energía recibida, ya sea invierno, verano o el máximo promedio anual (Corporación de desarrollo tecnológico 2013).

La literatura utiliza las expresiones:

$$\beta_{opt} = |\phi| + 10^\circ \dots\dots\dots ec. 3$$

Donde:

β_{opt} : Angulo de inclinación óptima.

Φ : Latitud.

Se sabe que el ángulo de inclinación del panel FV en gran medida determina la irradiancia solar recibida y es el factor principal que regula la potencia del panel. Como la posición del sol sobre la esfera celeste cambia durante el día y sigue un camino diferente por cada día del año, es evidente que la determinación de un ángulo de

inclinación óptimo es esencial para el óptimo funcionamiento de cada sistema FV (Axaopoulos, s.f.).

2.3.10.1.3. Pérdidas por temperatura de operación

Los módulos FV modifican la potencia máxima que suministran un porcentaje igual a γ_{PM} por cada °C de variación en la temperatura de operación de la célula con respecto a la temperatura de referencia ($T_c = 25$ °C). Para $T_c > 25$ °C este porcentaje es negativo, lo que implica una reducción de P_M del módulo (Espinoza et al. 2017).

La temperatura de operación de la célula (T_c) se liga con la temperatura ambiente (T_a) y la irradiancia incidente (G), gracias a la $TONC$ del módulo FV.

$$T_c = \frac{TONC - 20^\circ C}{800 W / m^2} \cdot G + T_a \quad \dots\dots\dots Ec. 4$$

Para módulos comerciales, los valores de $TONC$ (Temperatura de operación nominal de la célula) oscilan aproximadamente entre 42 °C y 49 °C. De un breve análisis de la expresión se desprende que difícilmente se encontrarán instalaciones que en condiciones reales de operación presenten temperaturas de célula inferiores a 25° C. Esta evidencia se traducirá directamente en pérdidas energéticas (Espinoza et al., 2017).

2.3.10.2. Regulador de carga

Un regulador de carga es un equipo electrónico capaz de evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador cuando se alcanzan determinados umbrales, generalmente determinados por la tensión en bornes de la batería (ver Figura 9) (Perpiñán, 2018).

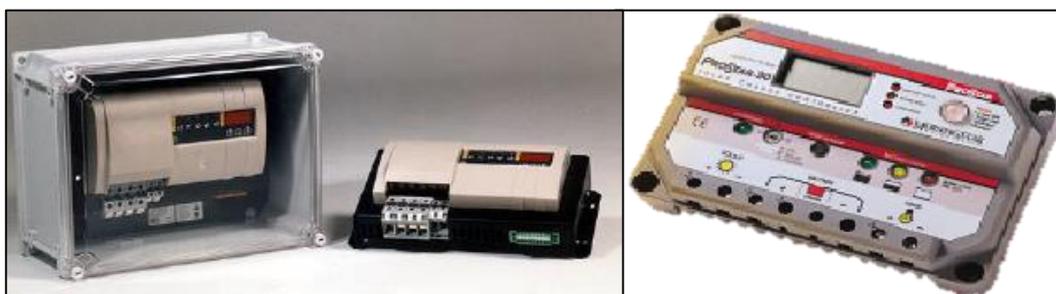


Figura 9. Modelos de reguladores de carga.

Fuente: Abella (s.f.).

El regulador o controlador de carga se incluyen en los sistemas fotovoltaicos para proteger las baterías contra sobrecargas y descargas excesivas. La mayoría de los controladores detectan la tensión de la batería y actúan de acuerdo con los niveles de tensión. El sensor debe tener suficiente capacidad para controlar la máxima corriente del sistema (ver Tabla 5) (Abella, s.f.).

Tabla 5

Voltajes de corte del regulador por sobrecarga para distintos tipos de baterías

Voltaje de corte del regulador	Pb-Antimonio	Pb-Calcio	Plomo-ácido sellada	Niquel-Cadmio
Por batería 12 V	14,4-14,8	14,0-14,4	14,0-14,4	14,5-15,0
Por elemento	2,40-2,47	2,33-2,40	2,33-2,40	1,45-1,50

Fuente: Abella (s.f.).

La principal función del controlador de carga es desconectar el generador fotovoltaico de la batería cuando la batería alcance un valor de carga completa e interrumpir la conexión eléctrica hacia la batería cuando este alcance un estado de descarga mínimo permitido. Adicionalmente algunos controladores de carga monitorean el desempeño en corriente y voltaje del generador fotovoltaico hacia la batería accionando alarmas cuando se presenta algún evento anormal (Espinoza, 2017).

Como el punto de operación de máxima potencia del banco de paneles va a variar con la temperatura y la iluminación solar, los reguladores modernos son capaces de rastrear el punto de potencia máxima del banco de paneles solares. Esta característica se conoce como rastreo del punto de máxima potencia (maximum power point tracking, MPPT) (Colegio oficial de telecomunicación, 2002).

Para seleccionar un regulador, debemos conocer al menos, la tensión de trabajo y la máxima corriente que puede manejar. La tensión de trabajo será de 12, 24 o 48 V. La máxima corriente debe ser 20% más grande que la proporcionada por los paneles conectados al regulador (Colegio oficial de telecomunicación, 2002).

Un regulador en un SFV ha de ser configurado específicamente en función del tipo de batería, aplicación y condiciones climáticas (Abella & Romero, sf.).

2.3.10.3. Baterías

Una batería, también llamada acumulador, es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas conectadas en serie que pueden convertir la energía química almacenada en energía eléctrica. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo y un electrodo negativo, o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función (Espinoza et al., 2017).

Las baterías se caracterizan por tener:

Capacidad: Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, es decir una batería de 130Ah es capaz de suministrar 130A en una hora o 13A en diez horas.

Estado de carga: Es la relación entre la carga almacenada en una batería y su capacidad nominal y su valor varía entre 0 y 1.

Profundidad de descarga: Es la relación entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal. El estado de carga sumado a la profundidad de descarga ha de dar 1.

Régimen de descarga: Es la relación entre la capacidad nominal y el valor de la corriente a la que se realiza una descarga. Se expresa en horas (Espinoza et al., 2017).

Las baterías se asocian tanto en serie para aumentar la tensión nominal deseada como en paralelo para conseguir la capacidad dimensionada. Como se muestra en la figura N° 10.

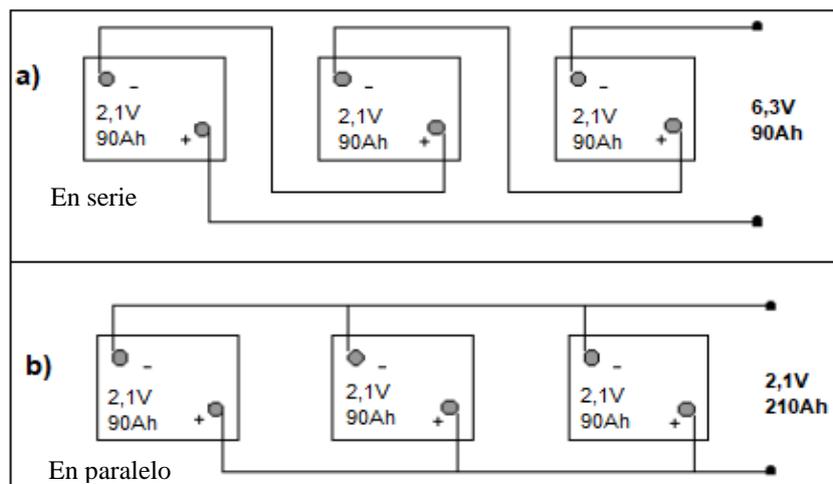


Figura 10. Esquema de asociación de baterías.

Fuente: Abella, (s.f.).

Profundidad de descarga

La profundidad de descarga de una batería se define como el porcentaje de la capacidad que ha sido sustraída de la batería comparada con la capacidad a plena carga (Espinoza et al., 2017).

2.3.10.3.1. Tipos de baterías

Los tipos de baterías más utilizados en sistemas fotovoltaicos son:

- Baterías de plomo acido
- Baterías de electrolito inmobilizado



Figura 11. Tipos de baterías para sistemas fotovoltaicos.

Fuente: Abella (s.f.).

2.3.10.4. Inversor

Es el equipo que transforma la corriente continua en corriente alterna como se muestra en la Figura 12, tanto para inyectar la energía a la red como para el consumo. Los principales parámetros de un inversor son la potencia nominal, las tensiones y corrientes de operación (tanto de entrada como en salida), la frecuencia de trabajo y la eficiencia (Corporación de desarrollo tecnológico, 2013).

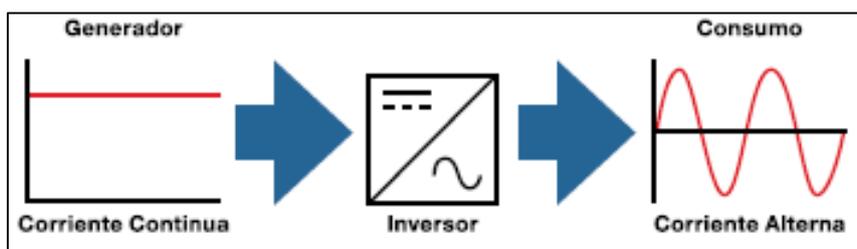


Figura 12. Funcionamiento del inversor.

Fuente: Corporación de desarrollo tecnológico (2013).

Características

Otra característica importante en los inversores de SFA es la tolerancia a picos de corriente que pueden ocurrir, por ejemplo, en arranque de motores eléctricos que pueden exigir hasta 10 veces su corriente nominal por periodos cortos (5seg, 60seg, etc.) antes de tomar su estado normal de funcionamiento (Corporación de desarrollo tecnológico, 2013).

Para dimensionar un inversor se debe conocer la necesidad o disponibilidad de: tensión de entrada en CD, la tensión de salida CA, la razón de variación de tensión permitida, potencia nominal, potencia pico, frecuencia, distorsión armónica (THD), grado protección de temperatura y humedad de ambiente IP, local de instalación, certificaciones requeridas y tiempo de garantía (Espinoza et al., 2017).

Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida:

- De onda cuadrada. Son los más económicos, se basan en un simple “chopeado” de la potencia DC de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión armónica total (THD) es bastante elevada, en torno al 40% y su rendimiento está en torno al 50% - 60%.
- De onda modificada o quasi-senoidal. Presentan una THD del 20% y sus rendimientos son mayores del 90%. Son utilizados en electrificación rural para alimentar los electrodomésticos más habituales.
- De onda senoidal (muy parecida a la onda de la red eléctrica). Tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada, en general son la mejor opción para la alimentación de cargas AC, no presentan ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión (Abella & Romero, sf.).



Figura 13. Modelos de inversores.

Fuente: Abella & Romero, (sf).

2.3.11. Métodos de dimensionados

Existen gran variedad de métodos de **dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos**. Esta diversidad abarca desde métodos muy complicados y que necesitan de un programa informático para ejecutarse hasta métodos mucho más simples, que con prácticamente una calculadora de mano permiten realizar el dimensionado (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas – CIEMAT).

2.3.11.1. Método del balance de energía del sistema

Este método tiene el principal objetivo de ajustar la energía eléctrica requerida / consumida por las cargas con la energía generada por los módulos fotovoltaicos en un determinado espacio de tiempo, que vendrá determinado fundamentalmente por la aplicación del sistema fotovoltaico autónomo y, por el periodo de mayor consumo o de menor generación de energía eléctrica (Raboso, 2012).

2.3.11.2. Metodo Probabilidad de pérdida de carga LLP

Basado en el concepto de “Loss of Load Probability” LLP o probabilidad de pérdida de carga, indicador de que el sistema falle o no sea capaz de suministrar el consumo requerido. Por ejemplo una LLP del 1% indicaría que a largo término la disponibilidad del sistema para el consumo de diseño sería del 99%. Es un método basado en cálculos con ordenador. Se especifica el consumo de diseño, incluyendo los rendimientos del regulador de carga, de carga de la batería, y del inversor. Se trata de utilizar los modelos

de los distintos componentes (radiación solar, generador, batería, regulador...) para determinar cuanta energía de generador es necesaria para suministrar el consumo de diseño con una determinada fiabilidad o probabilidad de fallo. Esto depende del tamaño del generador y de la batería y de la radiación solar disponible. La LLP depende pues del tratamiento estadístico de los datos de radiación solar. Una vez que se obtienen diferentes combinaciones de batería/generador FV, se ha de proceder a calcular los costes de los sistemas para la determinación de la configuración óptima. Existen programas comercialmente disponibles para realizar este tipo de dimensionado (Abella, 2005).

2.3.11.3. Método “Amperios-hora”

Este método se basa en el cálculo del consumo diario en amperios-hora, teniendo en cuenta las pérdidas entre la batería y las cargas y el rendimiento de carga de la batería. La batería se dimensiona teniendo en cuenta el “*número de días de autonomía*”, entendido como aquel número de días durante los cuales la batería puede satisfacer el consumo de una determinada instalación sin generación FV (con radiación solar nula). Para dimensionar el generador FV y obtener su orientación óptima son necesarios los datos de irradiación del lugar de la instalación. En el caso más normal se supone un consumo constante durante todo el año, en cuyo caso se necesitan los valores diarios medios mensuales en el plano del generador para el peor mes del año y el ángulo óptimo de inclinación (Abella, 2005).

Sea cual sea el método está basado en simples principios:

- Se dimensiona para que la producción del generador fotovoltaico sea igual al consumo (en valores promedio).
- Se dimensiona para que la batería pueda abastecer el consumo cuando no hay sol durante un determinado número de días consecutivos.

El valor máximo de la corriente así obtenida indica el “mes peor”. Es necesario realizar estos cálculos para diferentes valores de β , siendo el valor óptimo el definido por el menor valor de esta corriente.

2.3.12. Dimensionamiento Fotovoltaico Autónomo para un Sistema Desalinizador

Dimensionar un sistema fotovoltaico significa calcular el número de sus componentes y su interconexión, para cumplir unos objetivos determinados que dependen de la aplicación concreta. Si se trata de un sistema fotovoltaico autónomo su objetivo será asegurar la disponibilidad de electricidad durante el máximo tiempo posible (Prat, 2013).

El proceso de dimensionamiento fotovoltaico autónomo se realizará empleando el método de balance energético, basado en el principio: energía generada= energía consumida.

Según Prat Viñas, los pasos para el dimensionamiento son los siguientes:

- a) Cálculo de la energía consumida por día.
- b) Selección de la hora solar pico (HSP) para la aplicación.
- c) Dimensionado del generador fotovoltaico: número de paneles y su interconexión.
- d) Dimensionado del sistema de acumulación (baterías).
- e) Dimensionado del regulador.
- f) Dimensionado del inversor.
- g) Dimensionado del cableado.

2.3.12.1. Cálculo de la energía consumida por día

La demanda de energía impone muchas de las características de la instalación, por lo que en la planificación de las necesidades se debe anotar todo lo relacionado con los diferentes aparatos eléctricos que serán la carga del sistema. Para ello se deberá determinar la potencia de todos los aparatos de que constará la instalación, individualmente, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos (Abella, sf).

Energía consumida en corriente continua (DC) en Wh:

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} \cdot t_{di} \dots\dots\dots ec. 5$$

Donde:

E_{DC} : Energía consumida en DC (Wh)

$P_{(DC)i}$: Potencia Nominal del equipo (W)

t_{di} : Tiempo diario de uso en horas(h)

Energía consumida en corriente alterna (AC) en Wh:

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} \cdot t_{di} \dots\dots\dots ec. 6$$

Donde:

E_{AC} : Energía consumida en AC (Wh)

$P_{(AC)i}$: Potencia Nominal (W)

Consumo total diario en Wh

Para calcular el consumo total diario, se tuvieron en cuenta los rendimientos de las etapas existentes aplicando la siguiente expresión:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{BAT}\eta_{INV}} \dots\dots\dots ec. 7$$

Donde:

E_T : Energía real requerida por el sistema (consumo) (Wh)

η_{BAT} : Eficiencia de la batería

η_{INV} : Eficiencia del inversor

En el caso del presente trabajo de investigación, el requerimiento de energía sería para la unidad desalinizadora y para la bomba solar, por lo cual el dimensionamiento se realizará por separado.

Para conocer la demanda de energía de consumo del desalinizador, previo a esto, se requiere conocer el consumo aproximado de agua al día por el poblado y en función a ello se seleccionará la unidad desalinizadora para conocer su energía requerida, según sus especificaciones técnicas.

2.3.12.2. Selección de la hora solar pico (HSP) para la aplicación

El método de balance energético parte de la igualdad entre energía consumida por día y energía generada por día:

$$E_T = HPS \cdot P_P \cdot N_T \dots\dots\dots ec. 8$$

La energía generada por día es la potencia pico del panel (se supone que trabajará en el punto de máxima potencia) por el número de horas pico del día (HPS), por el número de paneles (N_T). Dos estrategias para determinar HPS:

- HPS media del peor mes. Minimiza el sistema de acumulación, pero usa más paneles que los estrictamente necesarios.
- HPS media del año. Minimiza el número de paneles, pero deberá invertir más en un sistema de acumulación mayor.

En nuestro caso optaremos por la HPS media del año, lo cual se explicara a continuación:

Estrategia HPS media anual: determinación de inclinación óptima y HPS

- Obtención de la tabla de radiación global diaria (kWh/m^2) en el emplazamiento de la instalación para cada mes y para diversas inclinaciones.
- Cálculo de la irradiación anual total para diversas inclinaciones.
- Seleccionar la inclinación que proporciona una irradiación total anual mayor.
- Calcular el HPS medio diario dividiendo la irradiación anual por 365.

2.3.12.3. Dimensionado del generador fotovoltaico: número de paneles

Cálculo del número total de paneles por balance energético:

$$N_T = E_T / [HPS \cdot P_p \cdot P_G] \dots\dots\dots ec. 9$$

Donde:

HPS= $G_d(\beta)$: Irradiación global en plano inclinado

P_p : Potencia pico del panel

P_G : Factor global de pérdidas (usualmente entre 0.65 y 0.9)

Cálculo del número de paneles en serie

$$N_S = V_{BAT} / V_p \dots\dots\dots ec. 10$$

Donde:

V_{BAT} : Tensión nominal de la batería

V_P : Tensión nominal del panel

Cálculo del número de ramas de paneles en paralelo:

$$N_P = N_T / N_S \dots\dots\dots ec. 11$$

Donde:

N_P : Numero de paneles en paralelo

Los valores de N_T , N_S y N_P se redondean por exceso.

2.3.12.4. Dimensionado del sistema de acumulación (baterías)

Deben considerarse los siguientes parámetros:

Mínima energía que debe proporcionar la batería a las cargas ΔE (Wh). A determinar según especificaciones de la instalación y considerando:

- Días de autonomía D: número de días consecutivos que, en ausencia de sol, el sistema de acumulación debe poder proporcionar: $\Delta E_{aut} = D \cdot E_T$. Este requisito deben cumplirlo todos los sistemas.
- Déficit estacional: para atender al déficit entre la energía consumida y la energía generada durante determinado período de tiempo: $\Delta E_{def} = [E_T - E_G] \text{ periodo}$. Requisito importante para la estrategia de media anual.
- Máxima profundidad descarga Pd (usualmente para baterías de plomo ácido Pd=0.7)

Capacidad del sistema de acumulación (baterías):

$$C_n (Ah) = \frac{\Delta E}{V_{bat} P_d} \dots\dots\dots ec. 12$$

2.3.12.5. Dimensionado del regulador

Debe calcularse la máxima corriente I_R que debe ser capaz de soportar el regulador en funcionamiento. Debe ser la mayor entre I_G , corriente generada por los paneles, y I_C , corriente consumida por las cargas.

$$I_R = \max(I_G, I_C) \dots\dots\dots ec. 13$$

El valor de I_G será:

$$I_G = I_{pmp} N_P$$

$$I_{pmp} = P_P / V_{pmp}$$

Donde:

I_{pmp} = corriente producida por cada rama en paralelo

N_p = número de ramas en paralelo de paneles

P_P = Potencia pico del panel fotovoltaico

V_{pmp} = Tensión nominal del panel en punto máxima potencia

El valor de la corriente consumida por las cargas, I_C , será:

$$I_C = P_{DC} / V_{bat} + P_{AC} / 220 \dots\dots\dots ec. 14$$

Donde:

P_{DC} : Potencia nominal en corriente continua

P_{AC} : Potencia nominal en corriente alterna

V_{bat} : Tensión nominal de la batería

2.3.12.6. Dimensionado del inversor

Los parámetros para seleccionar el inversor son:

- Potencia nominal (kW): ligeramente superior a P_{AC} (no conviene sobredimensionarlo para conseguir que trabaje en la potencia que presenta mayor eficiencia.

- Tensión nominal de entrada (V): será la del sistema de acumulación, pero estableciendo un cierto margen ya que la tensión de las baterías varía.
- Tensión nominal de salida (Vef).
- Frecuencia de operación (Hz).
- Eficiencia del inversor.

2.3.12.7. Dimensionado del cableado

Debe estimarse la selección de los cables (ver Tabla 6). Es un aspecto importante debido al alto valor de la corriente continua que circula por el sistema, que puede producir pérdidas significativas de energía por efecto Joule. Su valor puede estimarse de la siguiente forma:

$$P_R = I^2 R_C \quad R_C = \rho \cdot L / S \dots\dots\dots ec. 15$$

Donde:

P_R : Potencia perdida en los cables por efecto Joule.

R_C : Resistencia óhmica de los cables

Tabla 6

Selección del cableado para el dimensionado para una caída de tensión de 5% en sistemas de 12 V

Sección (mm ²) Corriente(A)	35	25	16	10	6	4	2.5	1.5
1	540	389	246	156	93	62	39	22
2	270	194	123	78	46	31	19	11
3	180	130	82	52	31	20	13	7
4	135	97	62	39	23	15	10	5
5	108	78	49	31	18	12	8	4
6	90	65	41	26	15	10	6	3
7	77	55	35	22	13	9	5	2.8
8	67	49	31	19	12	8	4.5	2.5
9	60	43	27	17	10	7	4	2
10	54	39	25	16	9	6	3.5	1.8
12	45	32	20	13	8	5	3	1.5
15	36	26	16	10	6	4	2	1
18	30	22	14	9	5	3	1.8	0.8
21	26	18	12	7	4	3	1.6	0.7
24	22	16	10	6.5	3.5	2.5	1.5	0.5
27	20	14	9	5.5	3	2	1	-
30	18	13	8	5	2.5	1.5	0.8	-

Fuente: Prat (2013).

Si la instalación es de 24, 36 ó 48 V, ver la tabla con la corriente estimada y buscar la distancia para dividir la sección obtenida por 2,3 y 4 respectivamente.

2.3.13. Sistema de bombeo solar fotovoltaico

Según Abella (s.f), una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un sistema de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos).

2.3.13.1. Componentes de un sistema de bombeo solar fotovoltaico

- **Generador fotovoltaico:** consiste en un conjunto de módulos solares conectados en serie y /o en paralelo, que transforman la energía solar incidente en energía eléctrica. La corriente de salida de un generador es corriente continua y la potencia eléctrica máxima que puede suministrar es variable y depende fundamentalmente de la irradiancia solar incidente y de la temperatura ambiente (Abella, s.f.).
- **Subsistema motor-bomba:** Un motor es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica, los motores pueden clasificarse básicamente en motores de corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (Abella, s.f.).

Este subsistema está formado por un motor que acciona la bomba de agua. Por su situación en la fuente de agua los sistemas motor-bomba pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie (Raboso, 2012).

El principio de funcionamiento de los motores es la inducción electromagnética, según el cual una espira por la que circula una corriente eléctrica dentro de un campo magnético está sometida a una fuerza de desplazamiento (Abella, s.f.).

- **Batería (opcional):** Elemento encargado de almacenar la energía eléctrica proporcionada por los paneles para su posterior uso en los momentos en los que no hay radiación solar. En las instalaciones fotovoltaicas para bombeo la batería no se justifica en la mayoría de los casos. Con un correcto dimensionado se puede bombear la cantidad suficiente de agua necesaria durante las horas de radiación solar y así evitar este costoso componente. Además, en caso de necesitarse una reserva, el agua

en si misma se puede almacenar en depósitos con lo que se evitaría las pérdidas energéticas que ocasiona la batería (<http://www.sitiosolar.com/el-bombeo-solar-fotovoltaico/>).

- **Reguladores:** Cuando la instalación consta de un acumulador será necesario el empleo de un regulador que evite sobrecargas perjudiciales para la batería (<http://www.sitiosolar.com/el-bombeo-solar-fotovoltaico/>).
- **Dispositivos optimizadores de potencia:** La corriente eléctrica tiene dos magnitudes: la tensión (medida en Voltios) y la intensidad (medida en Amperios). Del producto de estos dos factores se obtiene la potencia (medida en Watios). La potencia es la capacidad que tiene una máquina para desarrollar un trabajo en un tiempo determinado.

Cuando durante las primeras y las últimas horas del día la radiación solar es débil el panel solar genera un tipo de corriente con casi la tensión máxima de la que es capaz pero con poca intensidad. El producto de ambos elementos da como resultado una potencia insuficiente para activar la bomba.

El dispositivo optimizador de potencia es un transformador de corriente continua a corriente continua que modifica los parámetros de tensión e intensidad que proporciona el panel solar fotovoltaico buscando siempre el punto de mayor potencia posible. Es decir, cuando la tensión es alta y la intensidad baja (como cuando la radiación solar es débil), este dispositivo aumenta la intensidad a costa de bajar la tensión para que la potencia resultante sea lo más alta posible, optimizándola. De esta manera se consigue enviar a la bomba corriente en potencia suficiente para que comience antes su funcionamiento en las primeras horas del día y termine más tarde en las últimas. Así se gana tiempo de bombeo y por lo tanto rendimiento (<http://www.sitiosolar.com/el-bombeo-solar-fotovoltaico/>).

Las cuatro configuraciones más comúnmente instaladas según Abella (s.f) son:

- a) Motobomba sumergible, con motor DC o AC y bomba centrífuga multiestado.
- b) Motobomba sumergible de desplazamiento positivo
- c) Motobomba flotante con motor DC y bomba centrífuga
- d) Unidades motor-bomba instaladas en la superficie. Las bombas pueden ser centrífugas o de desplazamiento positivo.

De estas 4 configuraciones se usó la cuarta, una unidad motor-bomba centrífuga instalada en la superficie, la cual se describirá a continuación:

Una **bomba solar de superficie** es aquel sistema preparado para sacar o mover agua de un pozo o una balsa a una altura media. La característica más notable de la bomba de superficie es que tiene mucha impulsión, por lo que puede distribuir el agua a una zona más grande con más presión. El diseño de este tipo de bombas solares es diferente a las de sondeo para favorecer a su rendimiento (<https://www.cambioenergetico.com>).

Este tipo de bomba consta de dos partes (ver Figura 14), la bomba y el variador que controla a la misma. Por una parte el variador interconecta la bomba con los paneles solares y por otra parte la bomba va unida por un lado al variador y luego al sistema de tuberías.

La principal ventaja de este tipo de **bomba solar** es la gran capacidad que tiene para empujar el agua, así como su altura de succión es pequeña, luego permite generar un gran caudal (<https://www.cambioenergetico.com>).



Figura 14. Bomba solar de superficie Lorentz.

Fuente: <https://www.tmsmx.com/>.

En la Figura 15 se presenta el esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico, compuesto principalmente por un generador FV, un depósito del agua bombeada y la bomba solar.

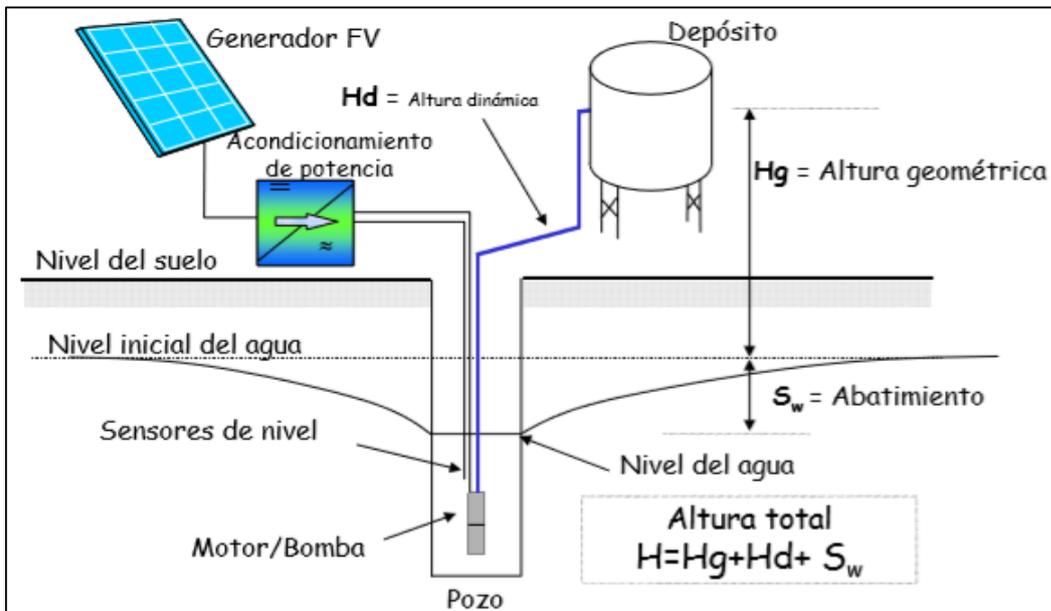


Figura 15. Esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico.

Fuente. (Abella s.f.).

2.3.14. Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico de agua de mar

Es importante conocer la magnitud del volumen de agua de la fuente que se utilizará como recurso, en el caso de estudio esta fuente es el mar y por ese motivo se puede asegurar que nunca faltará agua para bombear.

Según Abella (s.f), el dimensionamiento de sistemas de bombeo solar fotovoltaico se puede abordar mediante diferentes métodos, pero en general existen tres pasos a seguir: Evaluación de la energía hidráulica necesaria, evaluación de la energía solar disponible y la selección del equipo de bombeo necesario.

2.3.14.1. Evaluación de la energía hidráulica necesaria

Inicialmente es importante determinar la cantidad de agua de mar diario que es necesario bombear hacia un tanque elevado como almacenamiento, la cual será posteriormente desalinizada por ósmosis inversa.

- **Demanda de agua de la unidad desalinizadora**

La demanda de agua de mar por día que requiere la unidad desalinizadora por osmosis inversa está en función a la demanda de agua para consumo al día del agua desalinizada para el poblado.

La evaluación de la energía hidráulica para bombeo solar directo de agua de mar se realizará según el volumen de agua diario que requiera el sistema desalinizador seleccionado previamente.

En un proceso de dimensionado, las necesidades de agua son el primer parámetro que hay que determinar. Si el consumo de agua varia a lo largo del año, se puede dimensionar sobre los valores medios diarios para cada uno de los meses del año (Abella, s.f.).

Una vez definida el volumen de agua, determinar la carga dinámica total.

- **Determinación de la carga dinámica total (CDT)**

La carga dinámica total o CDT se puede considerar como la distancia o altura a la que se debe elevar el agua, como se muestra en la Figura 16.

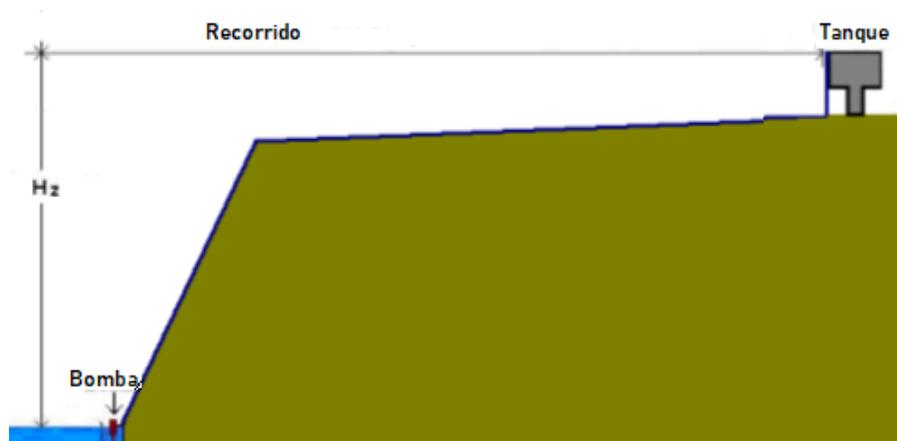


Figura 16. Diferencia de alturas entre el arroyo y el tanque de almacenamiento.

Fuente. Abella, (s.f.).

Para calcular la carga dinámica total (CDT) de bombeo requerida para el sistema descrito utilizaremos la siguiente fórmula (Cerdán, 2011).

$$CDT = H_f + H_z \dots\dots\dots ec. 16$$

Donde:

H_f : representa las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería (m).

H_z : representa la diferencia de alturas entre el pozo y el tanque de almacenamiento (m).

2.3.14.2. Evaluación de la energía solar disponible

Para el dimensionado de un sistema fotovoltaico se necesitan datos medios mensuales de radiación solar del lugar donde se realiza la instalación. En caso de no disponer de ningún dato, se pueden tomar como válidos los de una población de latitud próxima y semejantes condiciones climáticas. También existen métodos estimativos a partir del número de horas de sol, generalmente la radiación solar mensual se expresa en términos de la radiación media diaria del mes expresado en kWh/m²; y los datos disponibles son datos de radiación global sobre superficie horizontal a partir de los cuales se puede calcular la irradiancia incidente sobre una superficie inclinada (Abella & Romero, s.f.).

2.3.14.3. Dimensionado del Generador Fotovoltaico

El dimensionado del generador fotovoltaico consiste en la determinación de la potencia pico de generador que es necesario instalar para satisfacer las necesidades de agua a lo largo de todo el año (Abella & Romero, s.f.).

La potencia pico del generador (en watos), en función de la energía hidráulica, la radiación incidente y del rendimiento medio diario del subsistema motor-bomba, es:

$$P_p = \frac{E_h}{\eta_{mb} F_m} \frac{G^*}{[1 - \delta(T_c - T_c^*)] G_{dm}} \dots\dots\dots ec. 17$$

Donde:

E_h : energía hidráulica

G_{dm} : irradiancia solar equivalente al número de horas de sol pico

G^* : irradiancia solar en condiciones nominales

F_m : Factor de acoplo medio, definido como el cociente entre la energía eléctrica generada en condiciones de operación y la energía eléctrica que se generaría si el sistema trabajase en el punto de máxima potencia. Si no se conoce su valor se puede tomar como 0.95 para bombas centrifugas y 0,8 para otro tipo de bombas.

δ : Coeficiente de variación de la potencia con la temperatura de las células (desde 0,004 hasta 0,005)/°C para el silicio.

η_{mb} : rendimiento medio diario mensual del subsistema motor-bomba.

T_c : temperatura media diaria de los módulos durante las horas de sol.

T_c^* : temperatura media diaria de los módulos en condiciones nominales (Abella & Romero, s.f.).

2.3.14.3.1. Dimensionado del motor

El motor debe ser capaz de soportar la potencia pico del generador fotovoltaico y por tanto el valor de su potencia eléctrica de entrada debe ser al menos la del generador fotovoltaico (Abella & Romero, s.f.).

Una vez que se determine el motor se puede determinar la configuración del generador fotovoltaico conectados en serie y en paralelo, debe adaptarse a las limitaciones de corriente y voltaje del motor) o del sistema de acondicionamiento de potencia) (Abella & Romero, s.f.).

$$N^{\circ} \text{ módulos en serie} = \text{Voltaje nominal del motor} / \text{Voltaje nominal de módulos}$$

$$N^{\circ} \text{ módulos en paralelo} = \text{Potencia pico del generador} / (N^{\circ} \text{ módulos en serie} \times \text{Potencia pico de un módulo})$$

2.3.14.3.2. Dimensionado de la bomba

El caudal pico que debe suministrar la bomba se puede estimar a partir de la potencia pico del generador y del rendimiento pico del subsistema motor-bomba considerado (Abella & Romero, s.f.).

La potencia hidráulica necesaria para elevar un caudal Q a una altura h viene dada por:

$$P = gQh \dots\dots\dots ec. 18$$

Donde:

P: potencia hidráulica (W)

Q: caudal (l/s)

h: altura (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

El caudal pico que suministra la bomba se determina como:

$$Q_p = \frac{P_p \eta_{pico}}{gh} \dots\dots\dots ec. 19$$

Donde:

P_p: potencia pico (W)

Q: caudal (l/s)

η_{pico}: rendimiento pico del subsistema motor-bomba

2.3.15. Planta desalinizadora por ósmosis inversa

En la actualidad existen diversas instituciones y organismos oficiales a nivel mundial que han desarrollado o desarrollan investigaciones y proyectos destinados a mejorar y hacer más competitivos los sistemas de desalinización de agua que funcionen en base a energías renovables, un ejemplo de esto es el proyecto **ADU-RES**, financiado por la Unión Europea, desarrollado del 2004 al 2006. Su objetivo fue desarrollar sistemas autónomos de desalinización basados en las energías renovables para cubrir necesidades de agua en las regiones rurales áridas del Mediterráneo (Avila, García & Veliz, 2011).

2.3.15.1. Proceso de Desalinización

Según UNESCO(2013), el proceso completo que se sigue normalmente en una planta desalinizadora tipo se describe a continuación:

2.3.15.2. Captación del agua marina o salobre

Lo primero es la obtención del agua bruta, ya sea agua marina o bien agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas con altos contenidos salinos. Independiente de la fuente que se trate, tuberías conducen el agua hasta la costa o el lugar de emplazamiento de las instalaciones, donde es impulsada por una estación de bombeo a la planta desalinizadora (Soto Álvarez y Soto Benavides, 2013).

2.3.15.3. Pre tratamientos del agua de mar

En los procesos de desalinización por destilación, el objetivo del pretratamiento es eliminar o reducir al máximo posible el riesgo de precipitación de sales insolubles en las superficies de intercambio de calor, y la eliminación de gases no condensables capaces de reducir el coeficiente de transmisión de calor, y provocando serios problemas de corrosión en los evaporadores y en los equipos de la planta (Pérez, 2017).

2.3.15.4. Incrustaciones

Las sales que pueden precipitar con el aumento de la temperatura son principalmente el sulfato cálcico y los bicarbonatos de calcio. Una forma de evitar la precipitación de los carbonatos, sulfatos, sílice, etcétera es mediante la adición de un inhibidor, llamado también anti-incrustante. Donde este tipo de sustancias actúa sobre la formación de los cristales, impidiendo su formación y manteniendo en sobresaturación en el agua los iones. Para calcular los límites de utilización de estos productos hay que consultar con el fabricante de los mismos, el cual dirá en cada caso hasta donde garantiza, qué concentración se puede alcanzar y qué temperatura, pues se hidrolizan dejando de ser activos (Pérez, 2017).

2.3.15.5. Desgasificación y descarbonatación

La presencia de gases en el agua puede influir muy negativamente en los procesos de destilación, por ello se hace necesaria una eliminación de los mismos mediante un desgasificador térmico, donde una corriente de vapor y en condiciones de máximo vacío, produce el desprendimiento de los gases los cuales son evacuados por el sistema de vacío

a la atmósfera. La eficacia de estos equipos llega a extraer hasta el 98% de los gases contenidos en el agua. Si el tratamiento para la eliminación de los bicarbonatos ha sido de adición de ácido, se producirá una gran cantidad de CO₂, el cual queda en disolución. Como se comentó en el apartado anterior. Este gas, en ocasiones, se elimina previamente a la desgasificación, para evitar la sobrecarga y el sobredimensionamiento del equipo de vacío, por medio de un descarbonatador atmosférico (Pérez, 2017).

2.3.15.6. Materia en suspensión

Con el fin de evitar la materia suspendida y no disuelta en el agua, se procederá a una filtración de ésta. Para ello se emplean filtros de arena o filtros de cartucho. No obstante, a veces es preciso utilizar antes un floculante que aglomere y flocule los coloides presentes y las partículas en suspensión. También a veces hay presencia de iones férricos y de metales pesados, estos precipitan con bastante facilidad en forma de hidróxidos, por lo que en caso de que estén presentes hay que eliminarlos previamente por precipitación química. Para ello se añade hidróxido cálcico subiendo el pH del agua hasta valores próximos a 12, floculándolos y decantándolos y luego volver a bajar el pH del agua mediante la adición de un ácido (Pérez, 2017).

2.3.15.7. Desalinización

Según Delgado (2007), la desalinización, es un proceso de separación que busca la eliminación de sales que contiene el agua. La clasificación de los procesos de desalinización que existen actualmente se divide en dos grupos, aquellos procesos que realizan un cambio de fase para la obtención de agua pura y aquellos procesos que funcionan sin cambio de fase. Entre los procesos que implican un cambio de fase se encuentran los siguientes:

- a) Destilación solar
- b) Destilación en múltiple efecto
- c) Congelación
- d) Compresión de vapor

Los procesos que no incluyen un cambio de fase se dividen en:

- a) Ósmosis inversa
- b) Electrodialisis

2.3.15.8. Clasificación de técnicas de desalinización según energía utilizada

En la desalinización se puede separar el agua de las sales ó viceversa. Por lo tanto la primera clasificación de los métodos de desalinización se atenderá a la forma de separación de sales y agua. Las siguientes clasificaciones se harán según el tipo de energía utilizada para el proceso, como se muestra en la Tabla 7 (Delgado, 2007).

Tabla 7

Clasificación de técnicas de desalinización de agua marina

Separación	Energía	Proceso	Método
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita
			Destilación multiefecto
			Termo compresión de vapor
			Destilación solar
	Mecánica	Cristalización	Congelación
			Formación de hidratos
			Destilación con membranas
Eléctrica	Filtración y evaporación	Compresión mecánica vapor	
		Ósmosis Inversa	
Sales de agua	Eléctrica	Filtración Selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Fuente: Delgado (2007).

2.3.16. Principales técnicas de desalinización

2.3.16.1. Destilación Flash Multi - etapa (MSF)

En este proceso, el agua de mar es calentada en un tanque por medio de un serpentín o tubos en paralelo que contienen algún fluido caliente; después se pasa a otro tanque, llamado etapa, donde la presión reducida permite que el agua hierva. El agua vaporizada es enfriada y condensada para obtener el producto. Esta introducción rápida del agua caliente en la cámara causa una evaporación rápida, casi explosiva. El vapor generado por evaporación súbita se transforma en agua potable condensándose al atravesar los tubos intercambiadores de calor (Pérez, 2017).

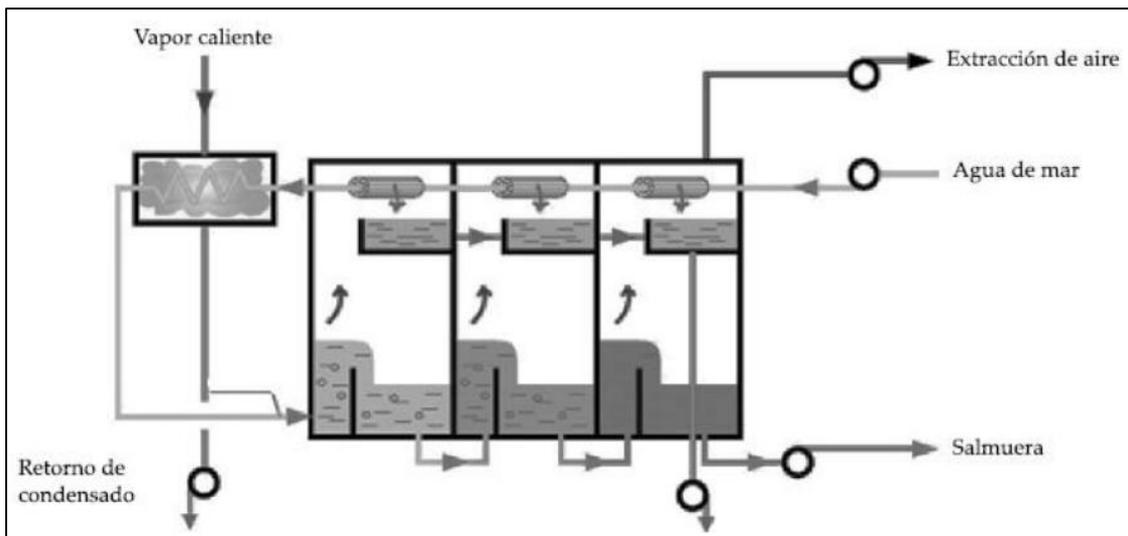


Figura 17. Esquema de Destilación Flash Multi-Etapa.

Fuente: Delgado (2007).

2.3.16.2. Destilación Multi - efecto (MED)

Al igual que el método anterior, consiste en una serie de recipientes cuya temperatura descende en el sentido del flujo del agua, lo que permite la reducción del punto de ebullición del agua de mar de alimentación sin necesidad de calentarla después del primer efecto. En general, un efecto consiste en un contenedor, un intercambiador de calor y dispositivos para transportar los fluidos entre estos contenedores. En el proceso se tienen una serie de efectos de condensación y evaporación, siendo la presión más baja en cada efecto sucesivo (ver Figura 18) (Delgado, 2007).

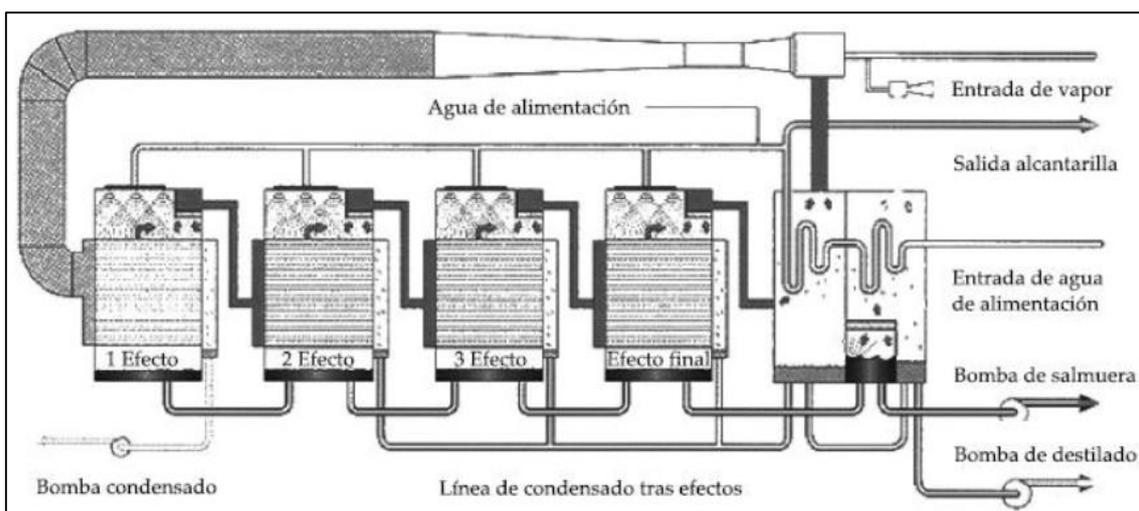


Figura 18. Esquema de destilación multi – efecto.

Fuente: Delgado (2007).

2.3.16.3. Destilación de Vapor Comprimido (VC)

Esta tecnología generalmente se utiliza en combinación con otros procesos, cuando se utiliza por sí misma es sólo en casos de aplicaciones a pequeña y mediana escala. La energía necesaria para evaporar el agua proviene de la compresión suministrada al vapor, en lugar de intercambio de calor directo con el vapor producido en una caldera. Los sistemas MVC funcionan comprimiendo vapor de agua, lo que causa condensación sobre una superficie de transferencia de calor (un tubo), lo cual permite al calor de la condensación ser transferido a la salmuera del otro lado de la superficie, resultando en la vaporización de ésta. El compresor es el requerimiento de energía principal. El compresor aumenta la presión en el lado del vapor y baja la presión del lado del agua salada para bajar su temperatura de ebullición (ver Figura 19) (Delgado, 2007).

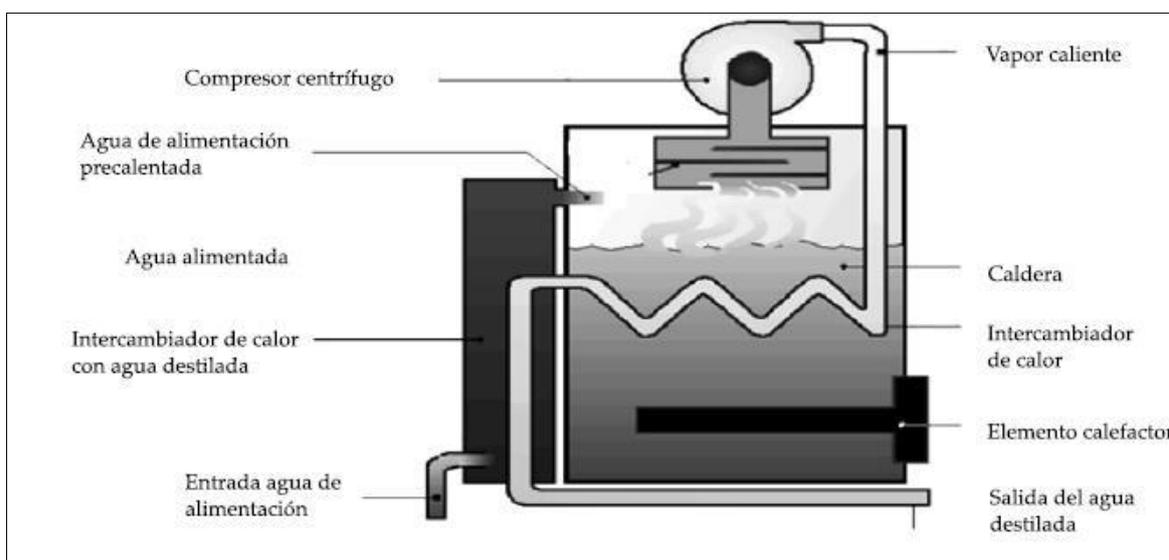


Figura 19. Esquema de Vapor Comprimido.

Fuente: Delgado, (2007).

2.3.16.4. Ósmosis Inversa (RO)

Este proceso aplica presión para superar la presión osmótica del agua a tratar. El proceso de ósmosis inversa es quizá el método más sencillo para desalar y en el que se obtienen mejor rendimiento energético. El sistema toma su nombre por realizarse el paso de las soluciones en forma contraria a los procesos osmóticos normales. Es decir, las soluciones menos concentradas se desplazan, por diferencia de energía potencial, hacia las más

concentradas, a través de una membrana semipermeable, con la necesidad de aplicar una fuerza externa para lograr la separación del agua y la sal (ver anexo 7).

Por tanto, cuanto mayor sea la salinidad del agua, mayor será su presión osmótica a superar. Consta de un sistema de captación de agua de mar, seguido de un sistema de pretratamiento físico y químico, consistente en filtros de arena y filtros de carbón activado (físico); dosificación (química) para regular el pH del agua de alimentación, y adición de antiincrustantes para evitar depósitos de sal en las membranas; así como bastidores de membranas de ósmosis inversa para eliminar las sales (ver Figura 20) (Delgado, 2007).



Figura 20. Planta Convencional de Osmosis Inversa.

Fuente: <http://www.veoliawatertechnologies.es/>.

2.3.17. Tipos de tecnologías de desalinización

En la siguiente tabla se adjuntan los procesos más importantes de desalación, así como sus principales características. En la actualidad, se utiliza más el método de Osmosis Inversa, debido a que su consumo energético es menor (ver Tabla 8) (Delgado, 2007).

Tabla 8

Comparación de las distintas tecnologías de desalinización

Características	MSF	MED	CV	OI
Tipo de energía	Térmica	Térmica	Eléctrica	Eléctrica
Consumo energético (Kj/kg)	Alto (>200)	Alto/Medio (150-200)	Medio (100-150)	Bajo (<80)
Costo Instalaciones	Alto	Alto/Medio	Alto	Medio
Capacidad producción (m ³ /día)	Alta (>50000)	Media (>25000)	Alto / Baja (<5000)	Medio/Alta (>50000)
Posibilidad de ampliación	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil
Fiabilidad de operación	Alta	Media	Baja	Alta
Calidad del agua desalinizada (ppm)	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Media (300-500)
Superficie de terreno requerida para la instalación	Mucha	Media	Poca	Poca

Fuente: Delgado (2007).

2.3.18. Pos tratamiento

2.3.18.1. Remineralización de las aguas desalinizadas

Dado que el sistema de ósmosis inversa tiene gran capacidad de eliminación, el agua producto no es apta para el consumo humano, ya que sólo queda un poco de cloruro sódico disuelto. Por este motivo es necesario añadir al agua determinadas sustancias mediante un proceso de remineralización. Los requisitos a cumplir para que un agua sea considerada apta para el consumo humano vienen en la conocida como “Norma NCH 409/1” también llamada “Norma de calidad del agua potable”, esta norma se comenzó a aplicar en el 2006 y sigue vigente (Colomina, 2016).

Según Colomina, los parámetros que se deben tener en cuenta para una correcta remineralización en una instalación desalinizadora son:

- Boro < 1.0 mg/l
- Trihalometanos \leq 1 mg/l
- Sólidos disueltos (STD) \leq 1500 mg/l
- pH comprendido entre 6,5 y 8,5

- Sodio < 200 mg/l
- Conductividad < 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Cloruros ≤ 400
- Índice de Langelier (LSI) o carácter incrustante del agua $\pm 0,5$

2.4 . Marco Legal

2.4.1. Normas Nacionales

- REGLAMENTO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES ELÉCTRICAS (1994/06/08) D.S. N° 29-94-EM (1994/06/07). Se norma la interrelación de las actividades eléctricas en los sistemas de generación, transmisión y distribución con el ambiente, bajo el concepto de desarrollo sostenible, entendiéndose por desarrollo sostenible, como el estilo de desarrollo que permite a las actividades satisfacer sus necesidades sociales, económicas y ambientales sin perjudicar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias.
- LEY DE CONCESIONES ELÉCTRICAS (DECRETO LEY N° 25844, DECRETO SUPREMO N° 009-93-EM). Se norma la interrelación de los sistemas de generación, transmisión y distribución de electricidad, lo que permite y asegura una oferta eléctrica confiable, el funcionamiento eficiente del sistema y la aplicación de una tarifa para los consumidores finales que considera el uso óptimo de los recursos energéticos disponibles.
- DECRETO LEGISLATIVO DE PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES, D.L. 1002 (02/05/2008). Tiene por objeto promover el aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables (RER) para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.

- DECRETO SUPREMO N° 011-2006-VIVIENDA; Se da la Norma Técnica EM.010 Instalaciones eléctricas interiores. Art. 2° La norma es aplicable en forma obligatoria a todo proyecto de instalación eléctrica interiores tales como: Vivienda, Locales Comerciales, Locales Industriales.
- Código Nacional de Electricidad – Utilización. R.M. N° 037-2006-MEM/DM (2006.01.30).
- Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. R.D. N° 003-2007-EM/DGE (2007.02.12).
- Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables, aprobado por Decreto Supremo N° 012 – 2011 – *EM*.
- Reglamento para la promoción de la inversión eléctrica en áreas no conectadas a red, aprobado por Decreto Supremo N° 020 – 2013 – *EM*.

2.4.2. Normas Internacionales

Para la elaboración de esta investigación se ha tenido en cuenta las siguientes Normas y Reglamentos:

- ISO 14001 (2004), es una norma aceptada internacionalmente que establece cómo implementar un sistema de gestión medioambiental (SGM) eficaz. La norma se ha concebido para gestionar el delicado equilibrio entre el mantenimiento de la rentabilidad y la reducción del impacto medioambiental. Con el compromiso de toda la organización, permite lograr ambos objetivos.

Lo que contiene ISO 14001:

- Requisitos generales.
- Política medioambiental.
- Planificación de la implementación y funcionamiento.
- Comprobación y medidas correctivas.
- Revisión por la dirección

Normas internacionales IEC: 61215, 60529 y 60811.

2.5 . Aspectos de responsabilidad Social

- EL FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE (FONAM) tiene como misión promover la inversión en proyectos ambientales y que contribuyan al desarrollo sostenible del país. Así, identifica proyectos con estas características, incluyendo aquellos que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que puedan ser elegibles en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio; brinda asesoría a los desarrolladores de proyectos durante el ciclo de estos, hasta concretar la venta de los certificados de emisiones reducidas; ofrece capacitación a entidades y consultores locales para que desarrollen habilidades en la inclusión del componente de carbono en los proyectos, y brinda información permanente y actualizada a los interesados en el tema.

EL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM): Autoridad competente responsable de promover los proyectos que utilicen recursos energéticos renovables. Elabora el Plan Nacional de Energías Renovables y las Bases de las Subastas RER. Es la entidad encargada de determinar cada 5 años el porcentaje objetivo de la participación RER en el consumo nacional, de establecer la frecuencia de las subastas, así como de fijar la cantidad de energía requerida para cada tecnología.

- LOS GOBIERNOS REGIONALES: Pueden promover el uso de los recursos renovables dentro de sus circunscripciones territoriales.
- COES: Comité de Operación Económica del Sistema responsable de coordinar la operación del SEIN al mínimo costo, de preservar la seguridad del sistema, de coordinar el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, así como administrar el mercado de corto plazo.
- CONCYTEC: Consejo de Ciencia y Tecnología responsable de implementar los mecanismos para el desarrollo de proyectos de investigación sobre energías renovables.

III. Método

La presente investigación se basó en la aplicación del método científico, teniendo los siguientes parámetros:

3.1. Tipo de la Investigación

El tipo investigación, es aplicada, porque se planteó resolver el problema de la carencia de agua potable y energía eléctrica para el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar, por ósmosis inversa.

3.1.1. Diseño de la Investigación

No experimental, ya que no se manipuló la variable independiente.

3.1.2. Nivel de la investigación

Descriptivo, porque busca explicar las características de la población de estudio, así como, analizar la problemática de carencia de agua y energía eléctrica para proponer una alternativa de solución.

3.2. Población y muestra

La población actual de la caleta La Gramita asciende a 260 personas según las autoridades locales, para determinar la *muestra de la población a encuestar*, se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \times N \times p \times q}{e^2 \times (N - 1) + (Z^2 \times p \times q)} \dots\dots\dots ec. 20$$

Donde:

- Z= nivel de confianza (correspondiente a la tabla de Z)
- p= porcentaje de la población que tiene el atributo deseado
- q= porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado = 1-p (cuando no hay indicación de la población que posee o no el atributo, se asume 50% para p y 50% para q)
- N= tamaño del universo (se conoce puesto que es infinito)
- e= error de estimación
- n= tamaño de la muestra

Teniendo como datos:

Z= 95% de confianza (1,96)

p= 50%

q= 50%

N= 260

e= 10

n= ?

$$n = \frac{1,96^2 \times 260 \times 0.5 \times 0.5}{10^2 \times (260 - 1) + (1,96^2 \times 0.5 \times 0.5)} = 17,11$$

Aplicando la formula, la cantidad recomendable de personas a encuestar fue de 17 aprox.

3.2.1. Unidad de Análisis

En la presente investigación se utilizó el muestreo no probabilístico, ya que la elección del área de estudio, se realizó a conveniencia del investigador (caso de uso).

Poblado de La Gramita, Casma – Ancash.

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis General

- El dimensionamiento del sistema fotovoltaico calculado, dotará la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa para el poblado de La Gramita-Casma.

3.3.2. Hipótesis Específicas

- El potencial solar del poblado La Gramita es adecuado para el funcionamiento de la demanda de la planta desalinizadora.
- Las condiciones técnicas y la demanda de energía eléctrica de la planta desalinizadora contribuirán de manera directa en el dimensionamiento fotovoltaico.
- Con los procedimientos adecuados para dimensionamiento, obtendremos mayor precisión en los componentes del sistema fotovoltaico.
- El funcionamiento de la planta desalinizadora, con energía fotovoltaica, brindará mayores beneficios ambientales, económicos y sociales, en comparación a la energía convencional.

3.4. Operacionalización de las variables

3.4.1. Variable independiente

Demanda de energía eléctrica de la planta desalinizadora, ver Tabla 9.

Tabla 9

Operacionalización de la variable independiente

Demanda de energía eléctrica de la planta desalinizadora			
Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Unidades
Es la intensidad de corriente, o potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar. Ese lapso se denomina <i>intervalo de demanda</i> , y su indicación es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda.	Potencia eléctrica	Energía eléctrica	KW/h
		Potencia	W
		Demanda de agua	m ³

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Variable dependiente

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ver Tabla 10.

Tabla 10.

Operacionalización de la variable dependiente

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico			
Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Unidades
El dimensionamiento fotovoltaico es una serie de procesos de cálculos que logran optimizar el uso y la generación de energía eléctrica de origen solar, realizando un balance adecuado entre ellas, desde los puntos de vista técnico y económico.	Procesos de cálculos	Paneles solares	Nº
		Baterías	Ah
		Inversor	W
		Controlador	A

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Instrumentos

La recolección de datos de la población se realizó mediante encuestas e instrumentos de ingeniería como la mini-estación meteorológica Kestrel 550, el radiómetro y potenciómetro, para la obtención de datos como la temperatura, humedad relativa, irradiación solar, dirección del viento y la velocidad del viento en la zona de estudio.

3.5.1. Equipos

- Computadora personal HP CORE i7 (para el procesamiento de información)
- Mini estación meteorológica Kestrel Meteorologic (para medir la velocidad del aire, dirección de viento, temperatura, presión y altitud).
- Foto radiómetro Deltaohm (para medir la radiación solar).
- Multiparámetro (Salinidad, pH, conductividad eléctrica, temperatura).

3.5.2. Cartografía

- Mapa del poblado La Gramita en Casma a escala de 1:1600 (para ubicar la distribución de viviendas y definir la ubicación del proyecto)
- Imagen satelital del Google Earth (a la base más actualizada)

3.5.3. Software

- Compass Lorentz (para el dimensionamiento de bombas solares)
- Excel (para la elaboración de tablas y gráficos)

3.5.4. Materiales de campo y gabinete

- Tablero de soporte y libreta de campo (para encuestar)
- Trípode (soporte del equipo meteorológico).
- Calculadora científica (para realizar cálculos en campo)
- Cámara fotográfica Panasonic DMC-SZ8 (para documentos fotográficos)
- Hojas bond y lapiceros (para documentar la planificación y el informe)

3.6. Procedimiento

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron mediante las siguientes fases:

Fase 1: Diagnóstico situacional del área de estudio

Para la fase 1 las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

- Levantamiento de información demográfica.
- Estudio de la topografía del lugar.
- Entrevista con los pobladores sobre los problemas ambientales y sociales.
- Identificación de problemas ambientales.

Fase 2: Obtención de datos meteorológicos de la zona de estudio

Para la fase 2 se desarrollaron las siguientes actividades:

- Medición de la radiación solar.
- Cálculo de la temperatura promedio del aire.
- Medición de la humedad relativa.
- Medición de la velocidad y dirección del viento.

Fase 3: Obtención de la demanda del consumo de agua de la población

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- Estudio demográfico para la determinación del número de habitantes.
- Cálculo del promedio del consumo de agua por unidad familiar.

Fase 4: Evaluación y elección de un equipo desalinizador para la demanda de agua del poblado.

Las actividades que se desarrollaron en esta fase fueron las siguientes:

- Búsqueda de datos técnicos del funcionamiento de equipos desalinizadores.
- Cotización de equipos desalinizadores.
- Elección de equipo desalinizador para la investigación.
- Diseño de los componentes de la planta desalinizadora.

Fase 5: Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico para la demanda de la energía eléctrica de la planta desalinizadora.

Las actividades desarrolladas en esta fase fueron:

- Diseño de la distribución de los componentes del sistema fotovoltaico.
- Evaluación y elección del módulo fotovoltaico adecuado para la demanda de energía.
- Cálculo teórico del número de módulos fotovoltaicos.
- Cálculo del número de baterías.
- Cálculo de la capacidad del inversor requerido.
- Cálculo de la capacidad del regulador requerido.
- Ubicación y orientación del sistema fotovoltaico.
- Análisis y procesamiento de datos por el método balance de energía para el dimensionamiento fotovoltaico y estimación de los componentes.

Fase 6: Análisis de los beneficios económicos, ambientales y sociales.

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- Estimación de la factibilidad económica por el método costo beneficio y el software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables).
- Descripción de los beneficios ambientales del funcionamiento de la planta desalinizadora con energía fotovoltaica.
- Realización de encuestas a la población para conocer su opinión con respecto al proyecto propuesto.

3.7. Análisis de datos

El área de estudio se situó en el centro poblado La Gramita (caleta de pescadores), ubicada en el distrito y provincia de Casma, a la altura del Km 347 de la Panamericana Norte, departamento de Ancash, a una distancia de 21 km de Casma, a una altitud media de 8 m.s.n.m., lugar donde se realizaron el levantamientos de datos para su respectivo análisis.

3.7.1. Localización geográfica

La Gramita se encuentra localizado entre los paralelos 9° 42' 44" y 9° 42' 57" de latitud sur y los meridianos 78° 17' 32" y 78° 17' 41" de longitud oeste. (Ver anexo 14).

El diagnóstico socio ambiental se realizó mediante encuestas validadas por expertos (ver anexo 12) y complementada con información secundaria.

3.7.2. Características climáticas

El clima en La Gramita es de "desierto", simbolizada como BWh según Köppen y Geiger, siendo la clasificación para *Los climas calientes del desierto*. La temperatura media anual en la zona es de 19,6 °C. La precipitación es de 15 mm al año, dándose que durante el año, virtualmente no hay precipitaciones, sin embargo se tiene constancia de la presencia de fuertes vientos en la zona de estudio (ver anexo 1 y 2).

3.7.3. Actividad Económica

La caleta “La Gramita” desarrolla su economía en base a actividad relacionadas con la pesca, el comercio de la misma, y el turismo (Playa la gramita y Campamento Turístico las Aldas), como se muestra en la Tabla 11 y tiene una **población** beneficiaria de **260 habitantes** distribuidos en 130 viviendas rústicas, según las autoridades locales.

Tabla 11
Actividad económica turística

Nº	ESTABLECIMIENTO	CATEGORÍA	DIRECCIÓN	TLF.	E-MAIL	CAPAC.	CAMAS
1	Campamento Turístico Las Aldas	Hospedaje	km 347 Panamerican a Norte	835*189 6	lasaldas@terra.com.pe	17 Bungalos (50Pax)	60

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 21. Principal actividad económica de la población La Gramita.

Fuente: Propia.

3.7.4. Principales recursos históricos culturales

Edificaciones hechas de piedra y barro, ubicadas en una elevación rocosa, presentan varias plazas rectangulares, una de ellas con un pozo ceremonial, semi hundido y con dos escalinatas laterales, de una antigüedad de 1 600 años a.c. del periodo lítico, arcaico, formativo y Chimú (Chercca, 2014).

3.7.5. Principales problemas ambientales identificados en La Gramita

El Análisis de la problemática ambiental, se realizó mediante la encuesta a 19 personas de la población la Gramita (ver anexo 3), con una edad promedio de 53 años, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 22.

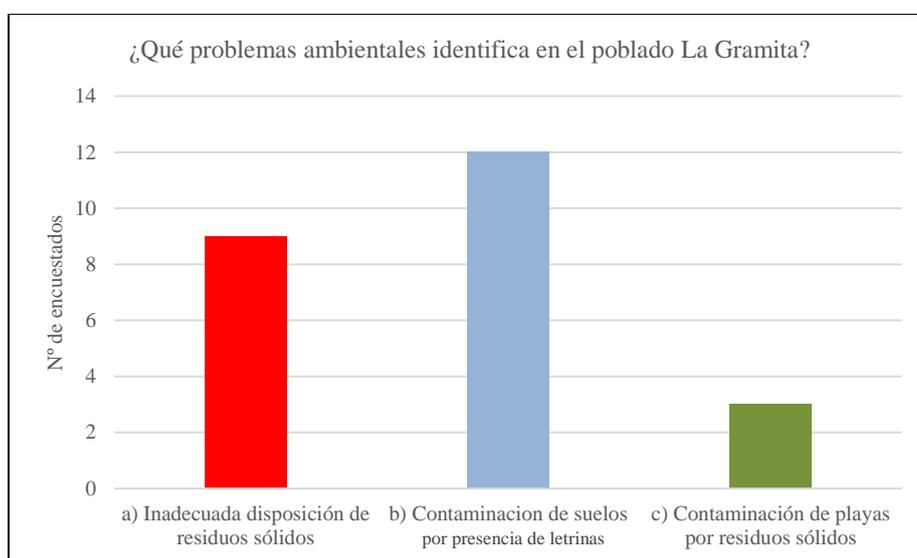


Figura 22. Resultados de los problemas ambientales identificados en La Gramita.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 22, el principal problema ambiental identificado por la población según la encuesta es, la contaminación de suelos por presencia de letrinas, debido a la falta de redes de agua y desagüe.

3.7.6. Principales problemas sociales identificados en La Gramita

Los problemas sociales identificados según la encuesta realizada (19 viviendas encuestadas del poblado La Gramita), se presenta en la Figura 23.

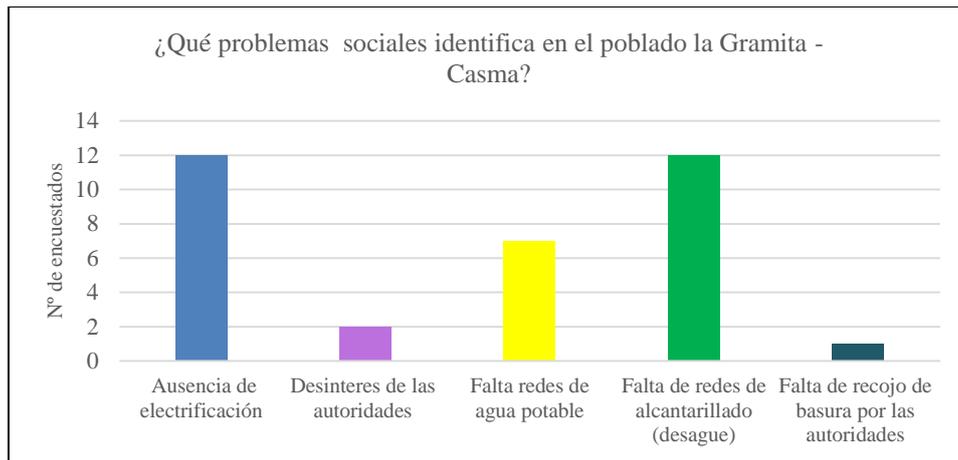


Figura 23. Resultados de los problemas sociales identificados en La Gramita.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 23, los principales problemas sociales son la ausencia de electrificación y la falta de redes de alcantarillado (desagüe), seguida por la falta de agua potable, esta última es abastecida por cisternas a un costo de 5 soles por cilindro.

3.7.7. Grado de aceptación del proyecto

Para medir el grado de aceptación del proyecto por la población se realizó una encuesta, teniendo en consideración la instalación y funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar, con Paneles Fotovoltaicos, los resultados de esta encuesta se muestran en la Figura 24.

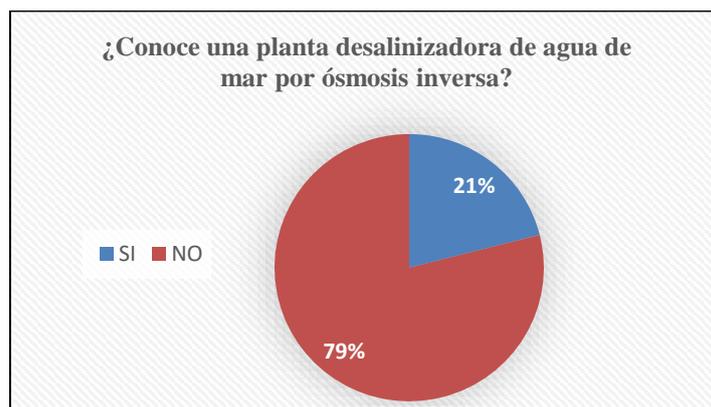


Figura 24. Resultados del conocimiento sobre la planta desalinizadora.

Fuente: Elaboración propia.

El 21 % de la población encuestada afirma que conoce, que es una planta desalinizadora de agua de mar por osmosis inversa, sin embargo, la mayoría de la población desconoce esta clase de tratamientos del agua (79%).

El 89% de la población encuestada afirma que le gustaría que se implemente una planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa, y en un porcentaje menor, 11%, expreso que no, como se muestra en la Figura 25.

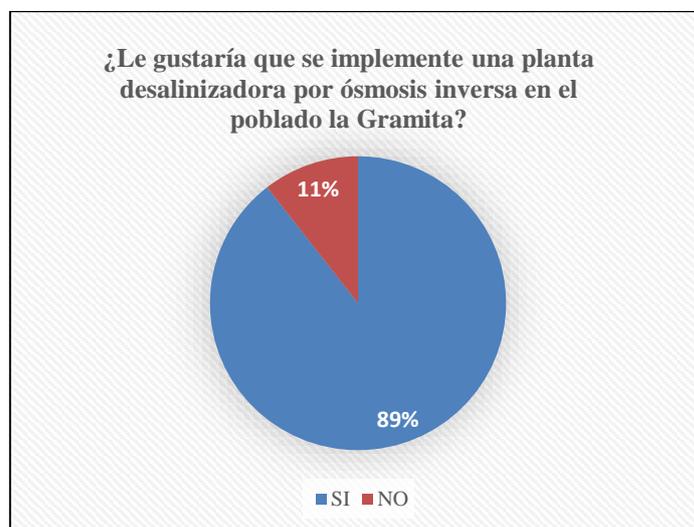


Figura 25 . Resultados de la aceptación sobre la planta desalinizadora.

Fuente: Elaboración propia.

El 84 % de la población encuestada afirma que conoce lo que es un sistema fotovoltaico o de paneles solares, por lo que la minoría de la población desconoce esta clase de sistema de energía eléctrica renovable (16%), como se muestra en la Figura 26.

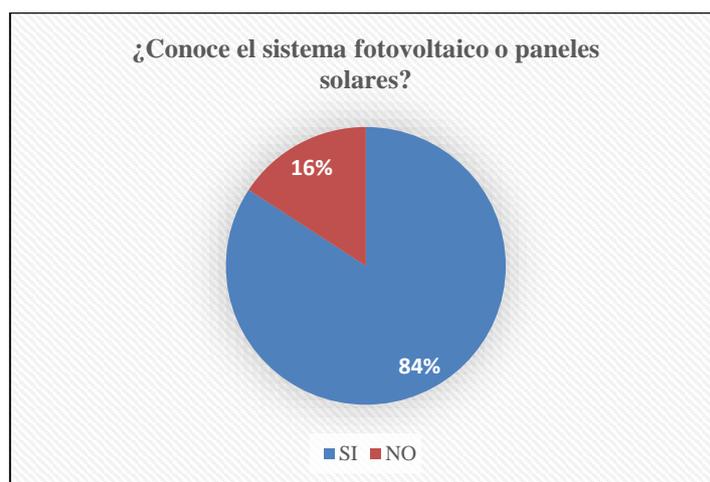


Figura 26. Resultados del conocimiento de la población, sobre sistemas fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración propia.

El total de los encuestados (100%), afirma que le gustaría que se implemente un sistema de paneles solares, para generar energía eléctrica en el poblado la Gramita, ya que la falta de energía eléctrica, limita el desarrollo de la zona, como se muestra en la Figura 27.

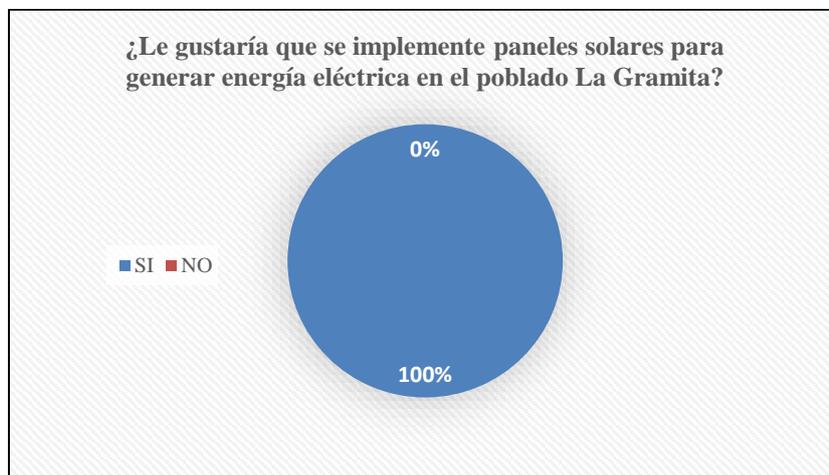


Figura 27. Preferencia de la población sobre la aplicación de uso de sistemas fotovoltaicos.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 28. Encuestando a los pobladores de La Gramita – Casma.
Fuente: Propia.

3.7.8. Demanda de agua potable de la población La Gramita

Para calcular la cantidad de agua que demanda la población La Gramita por persona, se realizó encuestas en 17 viviendas, considerando las variables respectivas, los cuales se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Consumo de agua potable de La Gramita - Casma

Nº de Encuestados	Nº Personas Por Vivienda en Verano	Nº Personas Por Vivienda en Invierno	Consumo de Agua por Semana en Verano (cilindros)	Consumo de Agua por Semana en Invierno (cilindros)
1	6	6	7	5
2	3	3	5	3
3	1	1	1,5	1
4	5	2	3	0,75
5	1	1	1,5	1
6	1	1	2	1,5
7	5	5	6	4
8	5	3	3	1,5
9	1	1	2	1,5
10	2	2	2	1
11	1	1	1	0,5
12	1	1	2	1,5
13	1	1	2	1
14	5	5	7	5
15	4	4	7	5
16	3	3	5	3
17	3	3	5	3
TOTAL	48	43	60,5	34,75

Fuente: Elaboración propia.

- Total de viviendas encuestados: 17
- Total de habitantes en las viviendas: 43 en invierno y 48 en verano
- Total de agua demandada en verano: 60,5 cilindros/ semana
- Total de agua demandada en invierno: 34,75 cilindros/semana
- 1 cilindro equivale a 200 litros de agua

Como se observa en la Tabla 13, el consumo de agua guarda relación proporcional a la cantidad de personas por vivienda, teniendo las variables como: la actividad económica estación del año y necesidades básicas.

3.7.9. Cálculo de la población futura en La Gramita

El método más utilizado para el cálculo de la población futura en las zonas rurales es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. Este método se utiliza para el cálculo de poblaciones bajo la consideración de que estas van cambiando en la forma de una progresión aritmética y que se encuentran cerca del límite de saturación. La fórmula de crecimiento aritmético es:

$$Pf = Pa \left[1 + \left(\frac{rt}{1000} \right) \right] \dots\dots\dots ec. 21$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual,

r = coeficiente de crecimiento (taza de crecimiento anual)

t = tiempo en años

El coeficiente de crecimiento de la población según del Instituto Nacional de Estadística (INEI) es de 0,41 para el departamento de Áncash, como muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Taza de crecimiento anual por departamento de 1995 a 2025

Departamento	Población			Tasa de Crec. Medio Anual (Por cien)		
	1995	2010	2025	1995 - 2000	2005 - 2010	2020 - 2025
Perú	23 926 300	29 461 933	34 412 393	1,68	1,16	0,95
Áncash	1 012 624	1 116 265	1 201 465	0,72	0,59	0,41

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática <https://www.inei.gob.pe/>.

Con la fórmula de crecimiento aritmético se calculó la población futura cada 5 años, desde el 2018 hasta el 2023 (20 años de población futura) como se muestra en Tabla 14.

Tabla 14

Población futura en La Gramita

Años	2018	2023	2028	2033	2038
Habitantes	260	313	367	420	473

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en Figura 29, la población futura en La Gramita, va creciendo de manera progresiva proyectándose a duplicarse en la población actual en 20 años.

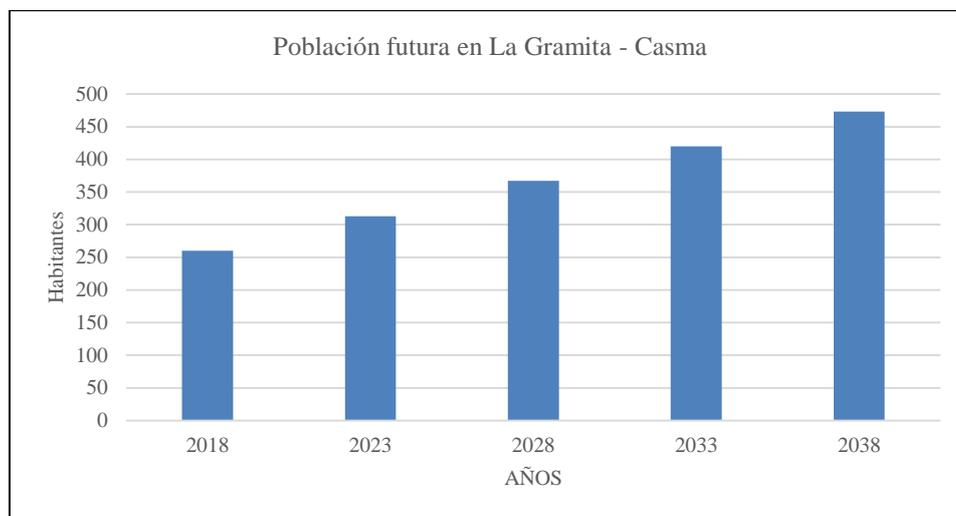


Figura 29. Gráfico de la Población futura en La Gramita.

Fuente: Elaboración propia.

3.7.10. Demanda de agua potable con población futura en La Gramita

Considerando los datos obtenidos en campo y la población futura calculada, se procede a determinar la demanda de agua en litros/día, para el poblado La Gramita.

Datos obtenidos en campo:

- Total de viviendas encuestados: 17
- Total de habitantes en las viviendas: 43 en invierno y 48 en verano
- Total de agua demandada en verano: 60,5 cilindros/ semana
- Total de agua demandada en invierno: 34,75 cilindros/semana
- 1 cilindro equivale a 200 litros de agua

Demanda de agua potable en litros/ día / habitante

Verano:

$$\frac{60,5 \text{ cilindro} \times 200 \text{ L}}{7 \text{ días} \times 48 \text{ habitantes}} = 36,01 \text{ L/día/hab}$$

Invierno:

$$\frac{34,75 \text{ cilindro} \times 200 \text{ L}}{7 \text{ días} \times 43 \text{ habitantes}} = 20,68 \text{ L/día/hab}$$

Considerando los datos obtenidos se proceden hacer los cálculos respectivos para cada población proyectada (ver tabla 15), considerando la población inicial es la actual, con 260 personas.

Tabla 15

Demanda de agua potable en litros, considerando una población futura de 5 A 20 años

Año	Habitantes	Invierno Litros /día	Verano Litros /día
2018	260	5 378	9 363
2023	313	6 480	11 283
2028	367	7 583	13 202
2033	420	8 685	15 121
2038	473	9 788	17 041

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 30, la demanda diaria de agua es mayor en verano que en invierno en cada año proyectado al futuro, debido al incremento y mayor consumo de los usuarios.

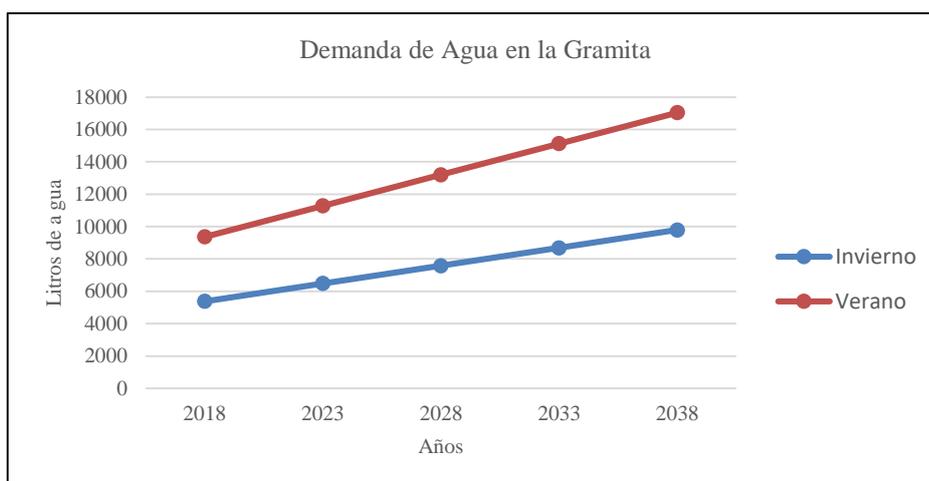


Figura 30. Demanda diaria de agua en litros del poblado La Gramita, con proyección futura.

Fuente: Elaboración propia.

3.7.11. Parámetros meteorológicos de La Gramita-Casma

Los datos meteorológicos que se presentan a continuación fueron tomados en el poblado La Gramita, en las fechas respectivas (ver anexo 5).

3.7.11.1. Temperatura y Humedad Relativa

Los datos de temperatura y humedad relativa corresponden a los días 20, 21 y 22 de junio.

Resultados del 20 de junio de temperatura y humedad relativa

Tabla 16

Registro de temperatura y humedad relativa del 20 de junio de 2018

HORAS DEL DÍA	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
09:00	81,2	18
10:00	85,7	17,4
11:00	82,9	18,3
12:00	82,1	18,4
13:00	83,1	18,1
14:00	78	19,6
15:00	72,8	20,9
16:00	77,8	19,5
17:00	81,8	18,4
18:00	82,2	17,9
19:00	83	17,7
20:00	85,6	17,5
21:00	87	17,2
22:00	88,4	17
23:00	88,2	17,1

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 31, la temperatura tiende a mantenerse en los 17 °C, teniendo su pico a las 3 pm con casi 21 °C. La humedad relativa siendo inversamente proporcional, tiende a mantenerse mayormente durante el día entre los 80% y 90%.

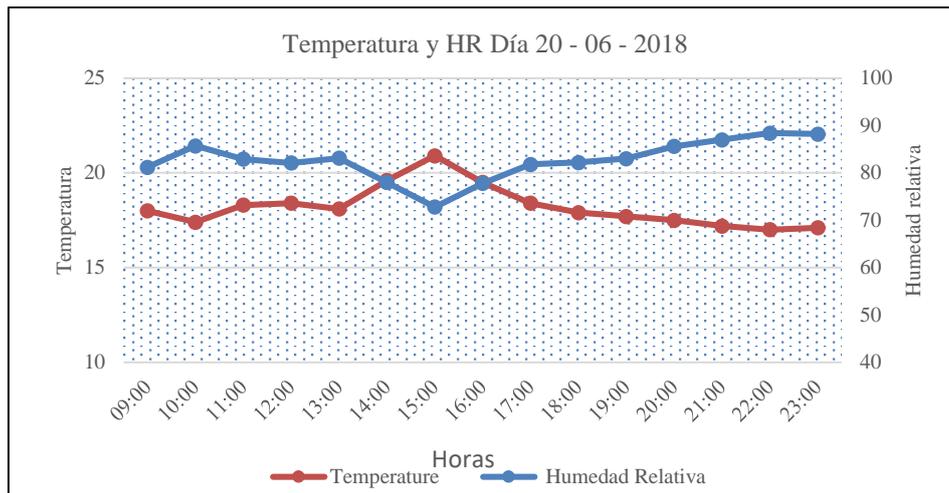


Figura 31. Correlación de la temperatura y humedad relativa del 20 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del día 21 de junio de temperatura y humedad relativa:

Tabla 17

Registro de temperatura y humedad relativa (21 de junio de 2018)

HORAS DEL DÍA	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
00:00	87,5	17,2
01:00	87,4	17,1
02:00	87,4	17
03:00	87,2	17,1
04:00	84,1	17,5
05:00	85	17,2
06:00	85,2	17,2
07:00	84,2	17,7
08:00	81	18,4
09:00	77,9	19,4
10:00	79,8	19,1
11:00	81,8	18,9
12:00	78	20,2
13:00	83,8	19
14:00	79,4	19,9
15:00	79,8	19,6
16:00	82,8	18,4
17:00	87,1	17,4
18:00	85	17,2
19:00	85,4	17,1
20:00	86,9	17
21:00	87	17
22:00	87,2	17
23:00	90,8	16,8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 32, la temperatura el día 21 oscila entre los 17 °C y los 20 °C, teniendo su pico a las 12 pm con 20 °C. La humedad relativa también oscilo durante el día entre los 75% y 90%.

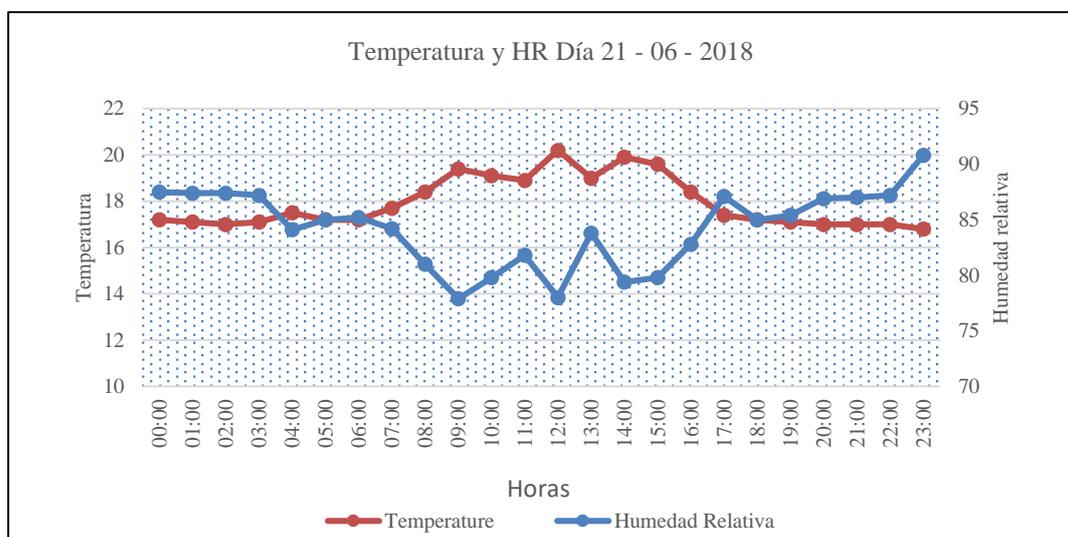


Figura 32. Correlación de la temperatura y humedad relativa del 21 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del día 22 de junio de temperatura y humedad relativa:

Tabla 18

Registro de temperatura y humedad relativa del 22 de junio de 2018

HORAS DEL DÍA	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
00:00	95,2	16,4
01:00	96,3	16,3
02:00	96,7	16,4
03:00	96,4	16,6
04:00	93,7	16,6
05:00	94,3	16,5
06:00	93,7	16,6
07:00	93,5	16,8
08:00	88,2	18
09:00	84,8	18,4
10:00	83,7	18,6
11:00	78,8	19,4
12:00	80,9	19,1
13:00	81,5	18,9
14:00	77,2	19,6
15:00	81,5	19
16:00	79	19,6
17:00	83,1	18,5
18:00	85,6	17,8
19:00	84,6	17,8
20:00	84,3	17,8
21:00	84,7	17,7
22:00	85,2	17,5
23:00	86,8	17,3

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el Figura 33, la temperatura el día 22 oscila entre los 16 °C y los 19 °C, teniendo su pico entre las 11 am y las 4 pm con 18 a 19 °C. La humedad relativa también osciló durante el día entre los 77% y 96%.

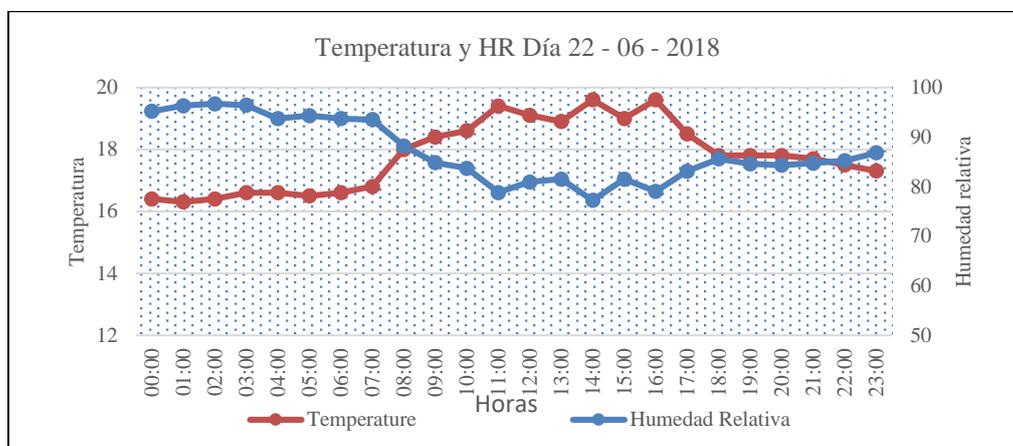


Figura 33. Correlación de la temperatura y humedad relativa del 22 de junio de 2018

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del día 23 de junio de temperatura y humedad relativa:

Tabla 19

Registro de temperatura y humedad relativa del 23 de junio de 2018

HORAS DEL DÍA	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
00:00	88,4	17,1
01:00	88,1	17,1
02:00	88,2	17,1
03:00	90	16,8
04:00	86,5	17,1
05:00	89,9	16,7
06:00	96,8	16,1
07:00	97,1	16,2
08:00	99,8	17,1
09:00	100	18
10:00	78	19,1
11:00	81,5	18,6
12:00	75,5	19,5
13:00	74,4	20,1
14:00	70,1	20,9
15:00	72	20,3
16:00	73,7	19,2
17:00	77,7	18,4
18:00	77,2	18,1
19:00	78,1	17,9
20:00	87,2	17,1
21:00	88,7	16,8
22:00	89	16,8
23:00	89	16,8

Fuente: Elaboración propia.

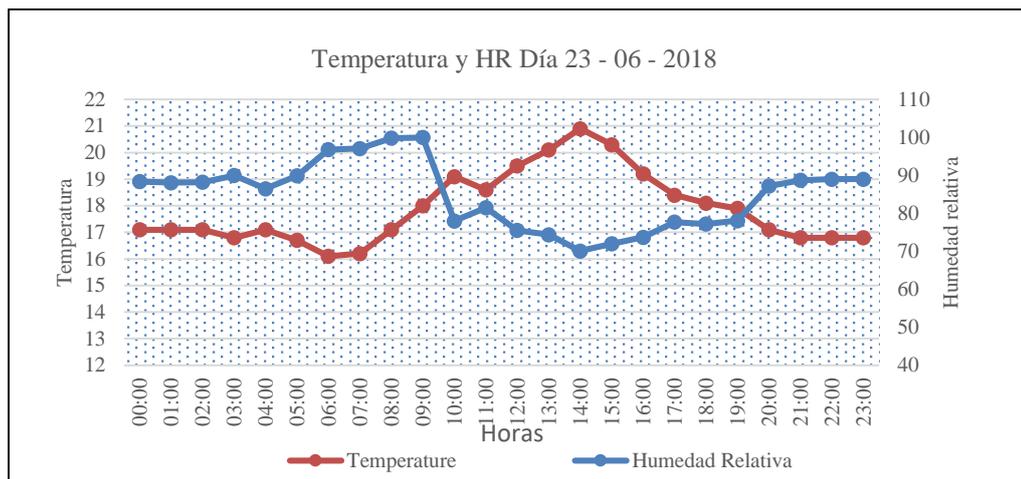


Figura 34. Correlación de la temperatura y humedad relativa del 23 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura N° 34, la temperatura el día 23 oscilo entre los 16 °C y los 21 °C, teniendo su pico a las 2 pm con 21 °C. La humedad relativa también oscilo durante el día entre el 70% y 100%.

Resultados del día 24 de junio de temperatura y humedad relativa:

Tabla 20

Registro de temperatura y humedad relativa del 24 de junio de 2018

HORAS DEL DÍA	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
00:00	89,7	16,6
01:00	90	16,6
02:00	87,6	16,9
03:00	86	16,8
04:00	84,1	17
05:00	86,6	16,8
06:00	88	16,8
07:00	85,9	16,9
08:00	79,5	18,7
09:00	78,5	19,2
10:00	78,3	19,9
11:00	77,8	20,5
12:00	76,9	20,8
13:00	72,1	19,9
14:00	74,4	19,2
15:00	75,7	19
16:00	76,3	18,9
17:00	76,7	18,9
18:00	77	18,8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el Figura 35, la temperatura el día 24 osciló entre los 16 °C y los 21 °C, teniendo su pico a las 12 pm con 21 °C. La humedad relativa también osciló durante el día entre los 72% y 90%.

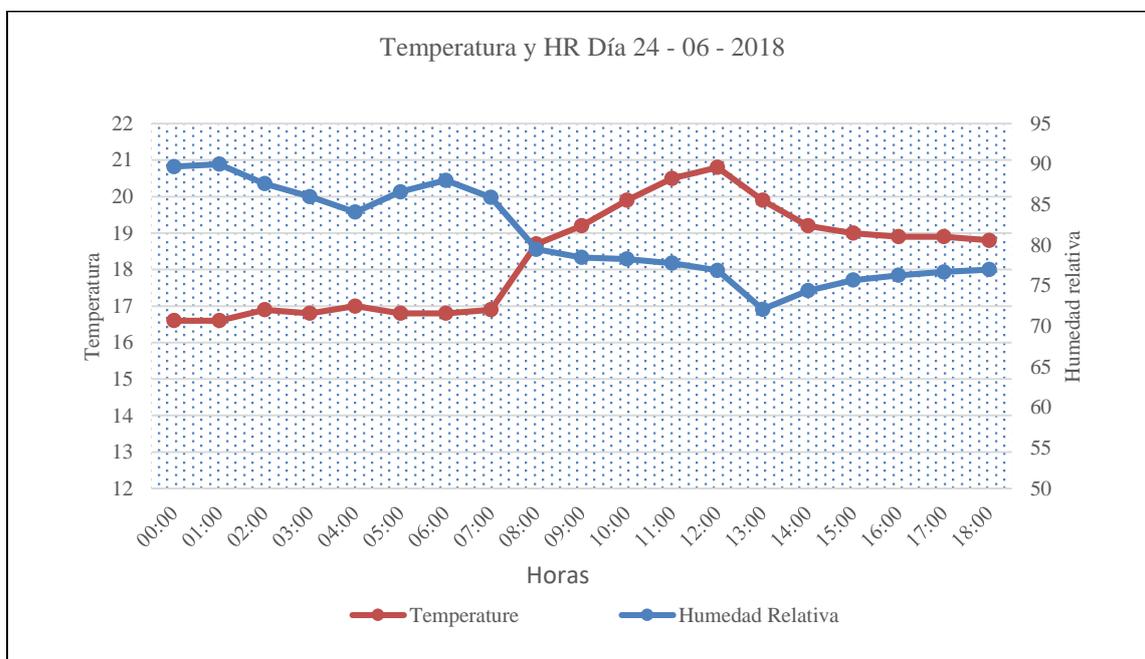


Figura 35. Correlación de la temperatura y humedad relativa del 24 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

3.7.11.2. Velocidad y dirección del viento

Los datos de la velocidad y dirección del viento fueron tomados de los días 21, 22 y 23 de junio de 2018, de ese modo se toma en cuenta la variabilidad que puede haber en los parámetros entre un día y otro. Es así que para el día 21 de junio, los datos registrados por la estación se presentan en la Tabla 22.

Registro de velocidad y dirección del viento del día 21 de junio de 2018

Tabla 21

Registro de velocidad y dirección del viento del día 21 de junio de 2018

Lugar	Año	Mes	Día	Hora	Dirección del viento (°)	Velocidad del viento (m/s)
La Gramita - Casma	2018	6	21	0	102	0,6
	2018	6	21	1	86	0,6
	2018	6	21	2	115	0,0
	2018	6	21	3	101	0,6
	2018	6	21	4	73	0,6
	2018	6	21	5	169	0,8
	2018	6	21	6	75	0,8
	2018	6	21	7	111	0,0
	2018	6	21	8	55	0,9
	2018	6	21	9	55	0,9
	2018	6	21	10	280	1,2
	2018	6	21	11	250	2,0
	2018	6	21	12	245	1,8
	2018	6	21	13	256	2,0
	2018	6	21	14	242	2,4
	2018	6	21	15	223	1,6
	2018	6	21	16	190	1,6
	2018	6	21	17	197	2,8
	2018	6	21	18	227	2,2
	2018	6	21	19	197	1,8
	2018	6	21	20	214	0,7
	2018	6	21	21	177	0,6
	2018	6	21	22	165	0,6
2018	6	21	23	165	1,0	

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos, se procesó la rosa de viento y el gráfico de distribución de frecuencia de velocidad y viento (software WRPLOT) que se muestra a continuación:

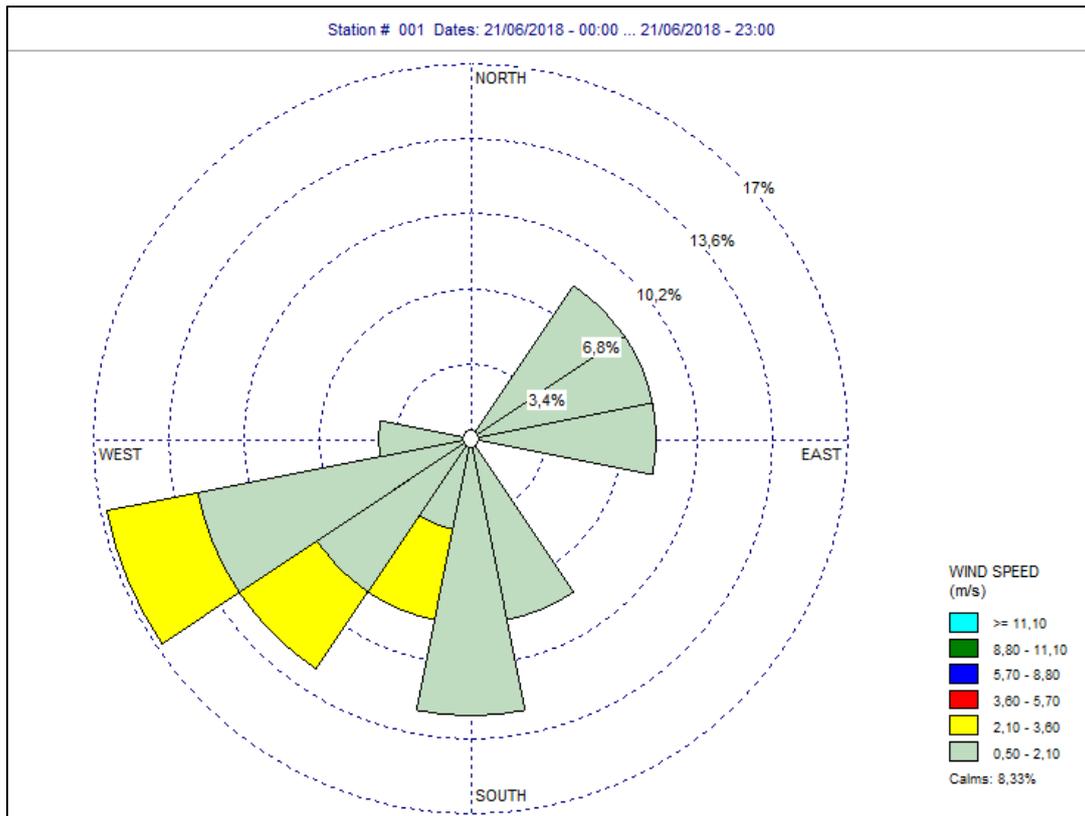


Figura 36. Rosa de viento del 21 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 36, los vientos predominan en dirección suroeste, con velocidad predominante de entre 0,5 m/s a 2 m/s.

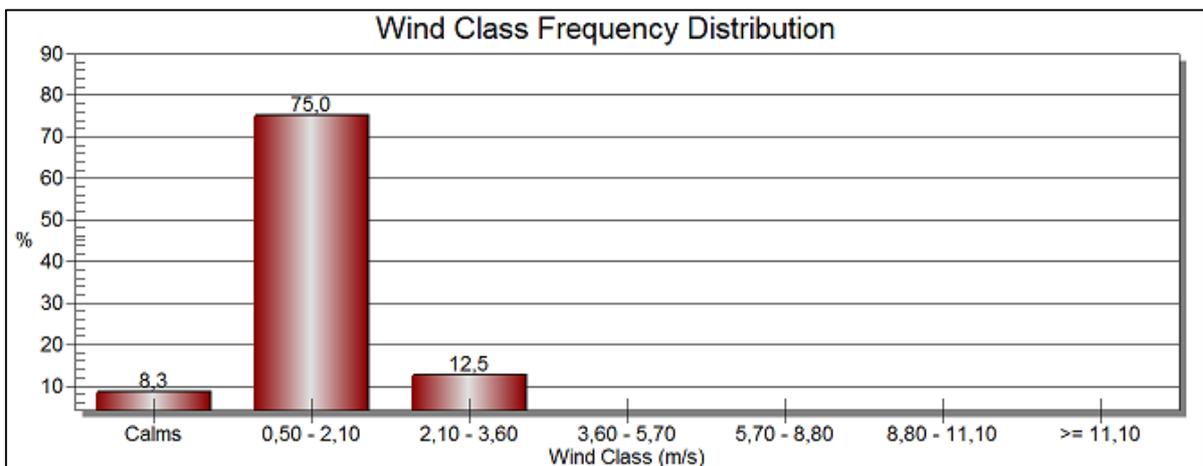


Figura 37. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento del 21 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Registro de velocidad y dirección del viento del día 22 de junio de 2018

Tabla 22

Registro de velocidad y dirección del viento del día 22 de junio de 2018

Lugar	Año	Mes	Día	Hora	Dirección del viento	Velocidad del viento
La Gramita - Casma	2018	6	22	0	152	0,0
	2018	6	22	1	200	1,3
	2018	6	22	2	157	0,3
	2018	6	22	3	123	0,0
	2018	6	22	4	178	0,5
	2018	6	22	5	139	0,0
	2018	6	22	6	106	0,0
	2018	6	22	7	62	0,0
	2018	6	22	8	271	0,0
	2018	6	22	9	249	0,8
	2018	6	22	10	317	1,8
	2018	6	22	11	211	0,9
	2018	6	22	12	276	1,8
	2018	6	22	13	262	3,3
	2018	6	22	14	304	1,7
	2018	6	22	15	257	2,6
	2018	6	22	16	216	1,4
	2018	6	22	17	199	1,8
	2018	6	22	18	193	2,0
	2018	6	22	19	185	1,5
	2018	6	22	20	156	1,2
	2018	6	22	21	169	0,0
	2018	6	22	22	182	0,5
2018	6	22	23	217	3,0	

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos, se procesó la rosa de viento y el gráfico de distribución de frecuencia de velocidad y viento que se muestra en la Figura 38.

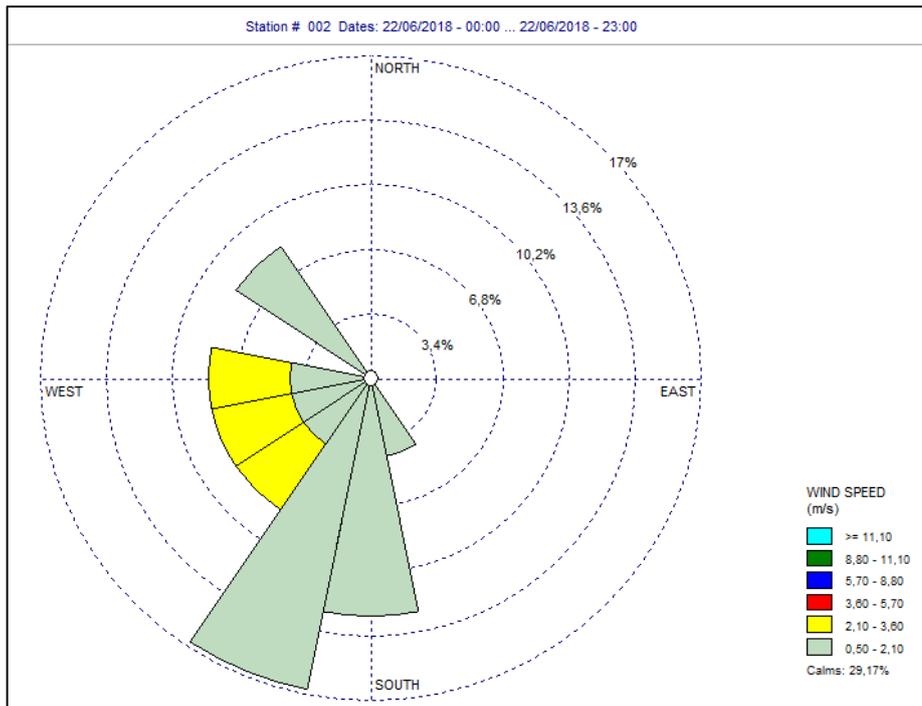


Figura 38. Rosa de viento del 22 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 38, los vientos predominan en dirección suroeste, con velocidad predominante de entre 0,5 m/s a 2 m/s, pero con una calma de vientos en dirección sur.

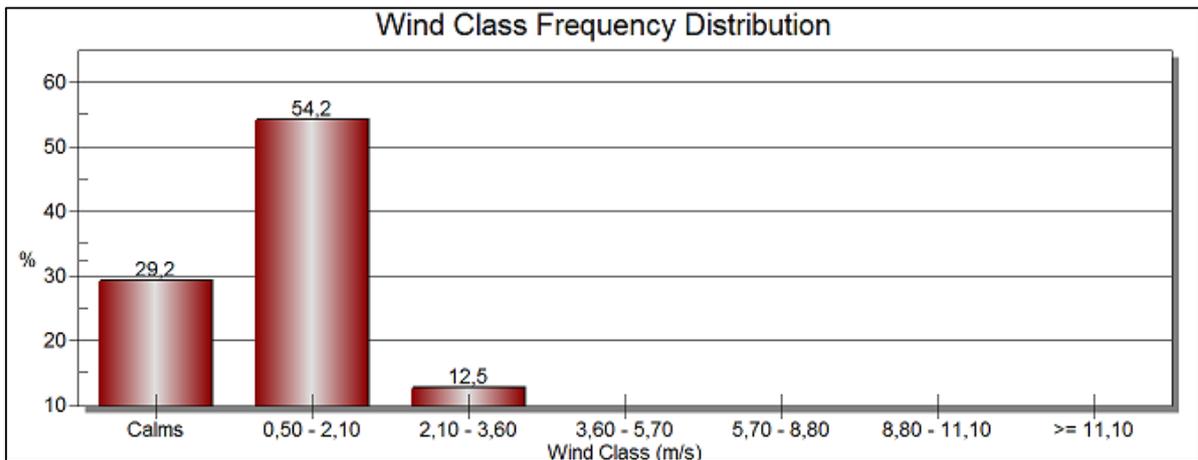


Figura 39. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento del 21 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del día 23 de junio, se registraron los siguientes datos:

Tabla 23

Registro de velocidad y dirección del viento del día 23 de junio de 2018

Lugar	Año	Mes	Día	Hora	Dirección del viento (°)	Velocidad del viento (m/s)
La Gramita - Casma	2018	6	23	0	169	0,9
	2018	6	23	1	201	1,2
	2018	6	23	2	189	1,2
	2018	6	23	3	213	0,9
	2018	6	23	4	167	1,4
	2018	6	23	5	205	3,0
	2018	6	23	6	198	2,4
	2018	6	23	7	119	0,0
	2018	6	23	8	92	0,7
	2018	6	23	9	197	1,1
	2018	6	23	10	209	1,7
	2018	6	23	11	228	2,8
	2018	6	23	12	211	2,9
	2018	6	23	13	260	2,3
	2018	6	23	14	250	1,5
	2018	6	23	15	226	5,2
	2018	6	23	16	201	2,5
	2018	6	23	17	200	2,9
	2018	6	23	18	172	2,0
	2018	6	23	19	197	3,7
	2018	6	23	20	191	1,8
	2018	6	23	21	242	1,9
	2018	6	23	22	243	1,6
2018	6	23	23	182	0,7	

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos, se procesó la rosa de viento y el gráfico de distribución de frecuencia de velocidad y viento que se muestra en la Figura 40.

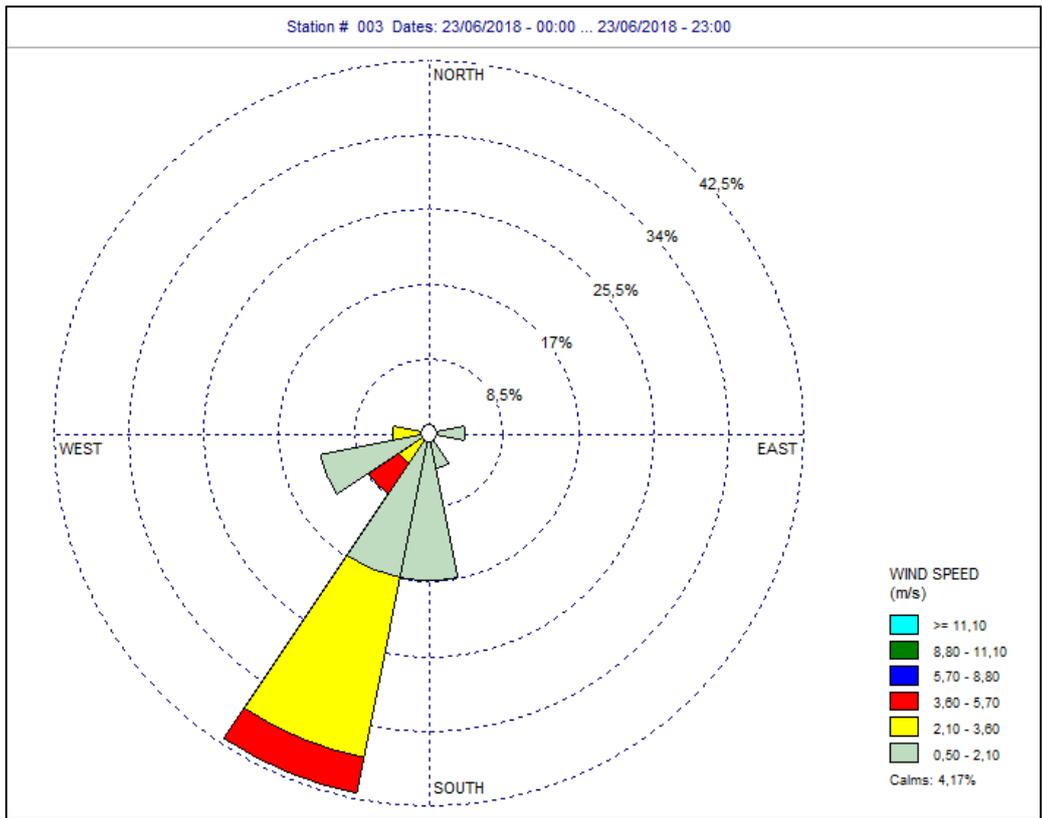


Figura 40. Rosa de viento del 21 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 40, los vientos predominan en dirección suroeste, con velocidad predominante de entre 0,5 m/s a 2 m/s, pero presentándose horas de mayor velocidad de vientos.

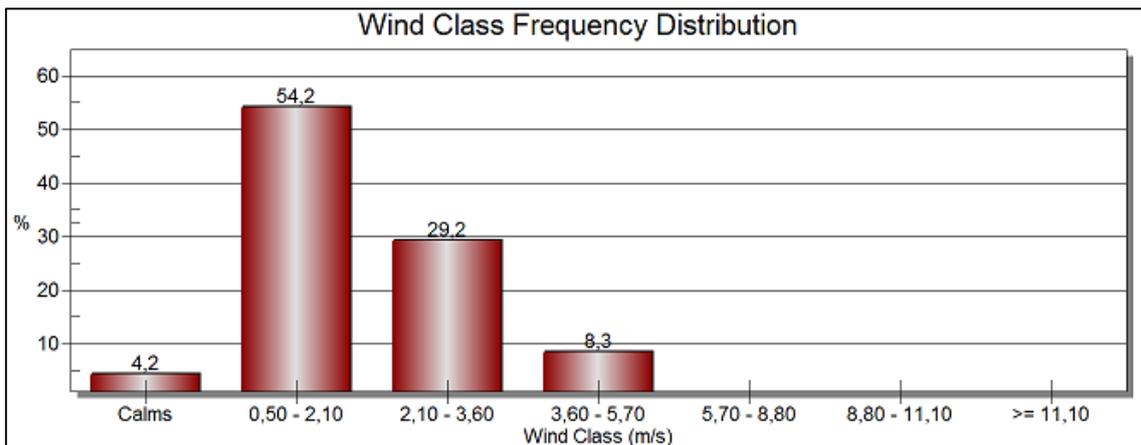


Figura 41. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento del 21 de junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

IV. Resultados

4.1. Contrastación de hipótesis

4.1.1. Potencial solar en el poblado de La Gramita, Casma - Ancash.

Para determinar el potencial solar, se midió la irradiancia (W/m^2), para así obtener la irradiación solar en superficie horizontal promedio ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{día}$), de la zona de estudio.

4.1.1.1. Resultados de Irradiancia solar, utilizando foto radiómetro.

Se realizó las mediciones de la irradiancia solar, para evaluar el potencial solar, utilizando el foto radiómetro Deltaohm, en la zona de investigación (ver anexo 4), considerando la posición horizontal del equipo, los datos obtenidos se muestran en la tabla 24.

Tabla 24

Irradiancia solar 10/02/2019

HORA	Irradiancia W/m^2 .
8:00	367,20
9:00	480,50
10:00	970,50
11:00	1100,15
12:00	1180,35
13:00	1065,20
14:00	988,32
15:00	750,72
16:00	472,50
17:00	283,10
18:00	127,34

Fuente: Elaboración propia.

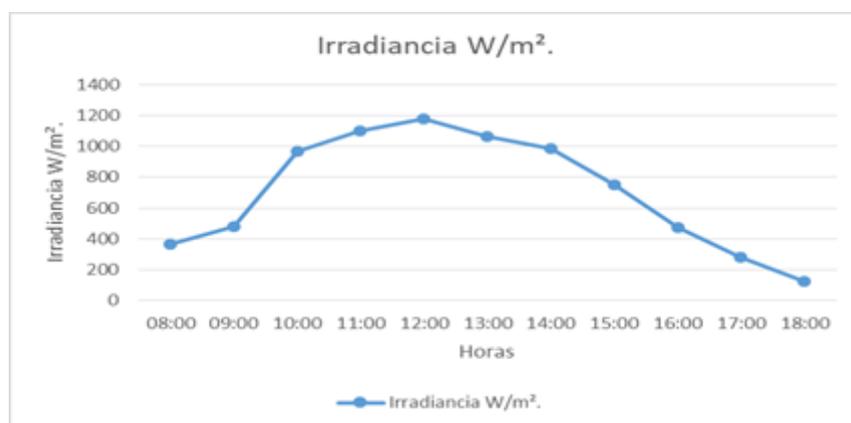


Figura 42. Irradiancia solar 10/02/2019.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 42, la mayor cantidad de energía captada el día 10 de febrero se da entre las 10 a 15 horas del día, teniendo una irradiancia mínima de 127,34 W/m² y como máximo de 1180,35 W/m², obteniendo una irradiación total de 7,785 kWh/m²/día.

4.1.1.2. Evaluación del potencial solar, con datos regresivos de la NASA

Para determinar el potencial solar, se han considerado los datos de Radiación Solar de los últimos 5 años (2013 – 2017) obtenidos de la NASA Meteorology ingresando las coordenadas geográficas de la zona de estudio (Latitud -9,7114 y Longitud -782938) de la zona de estudio (La Gramita – Casma- Ancash) con los cuales se obtuvieron los siguientes gráficos:

Irradiación solar promedio del año 2013

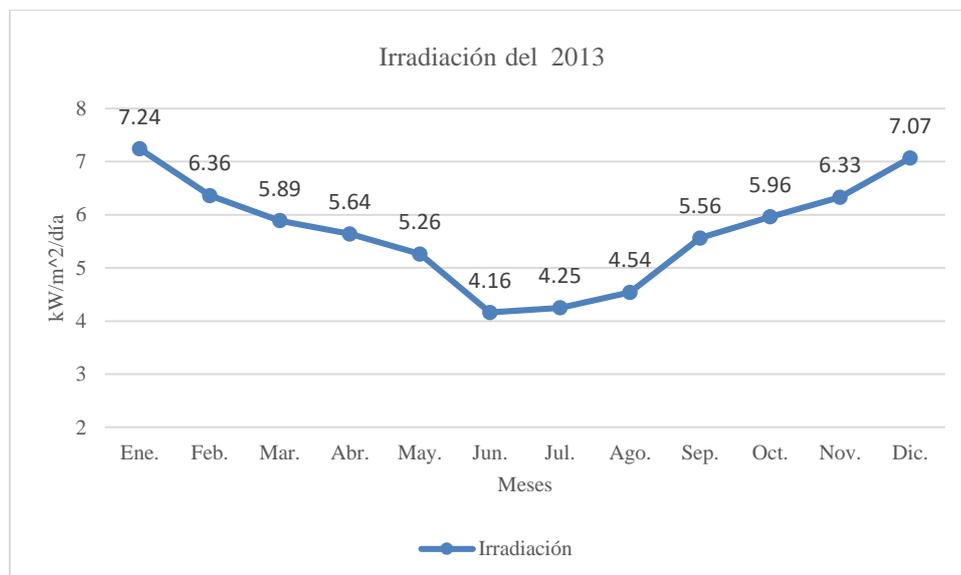


Figura 43. Irradiación Solar del año 2013

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 43, se observa que entre los meses de enero y abril la irradiación solar se mantiene entre los rangos 7,24 a 5,64 kWh/m²/día en promedio, a partir del mes de mayo la irradiación empieza a descender, manteniéndose en un rango de 4,16 a 4,54 kWh/m²/día en promedio, entre los meses de junio a agosto, debido a la estación de invierno, ascendiendo en el mes de setiembre de 5,56 hasta 7,07 kWh/m²/día en promedio, hasta el mes de diciembre, esto debido a las estaciones de primavera y verano.

Irradiación solar promedio del año 2014

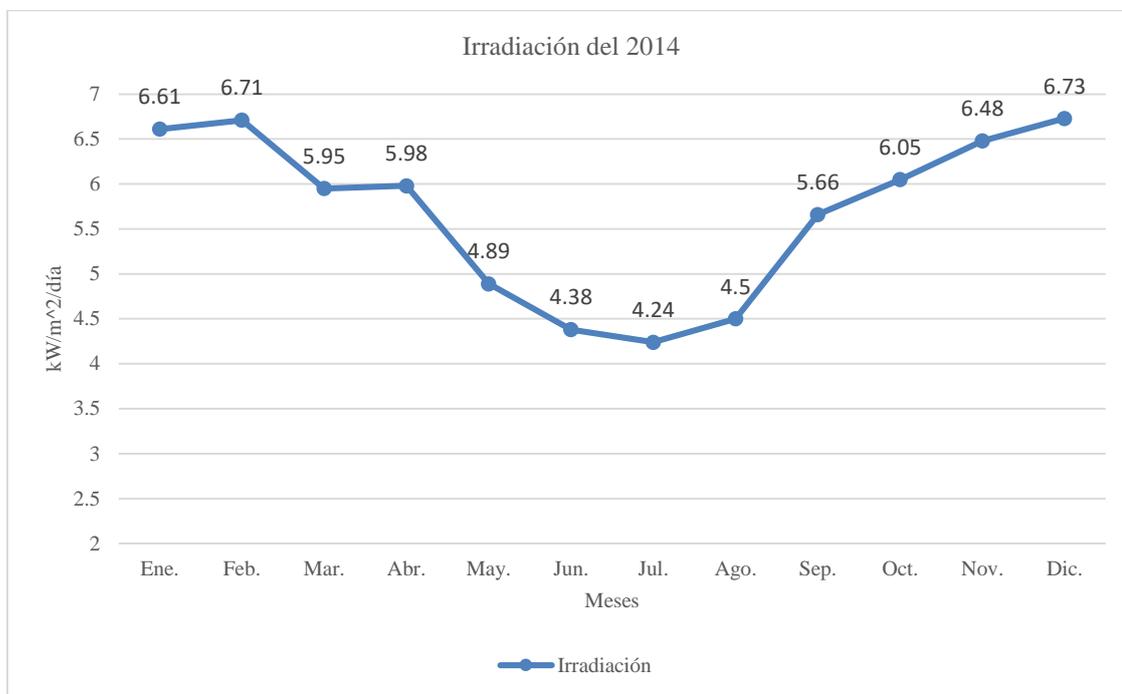


Figura 44. Irradiación Solar del año 2014.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44, se observa que entre los meses de enero y abril la irradiación solar se mantiene entre los rangos 6,61 a 5,98 kWh/m²/día en promedio, a partir del mes de mayo la irradiación empieza a descender, manteniéndose en un rango de 4,89 a 4,5 kWh/m²/día en promedio entre los meses de mayo a agosto, debido a la estación de invierno, ascendiendo en el mes de setiembre de 5,66 hasta 7,73 kWh/m²/día en promedio, hasta el mes de diciembre, esto debido a las estaciones de primavera y verano.

Irradiación solar promedio del año 2015

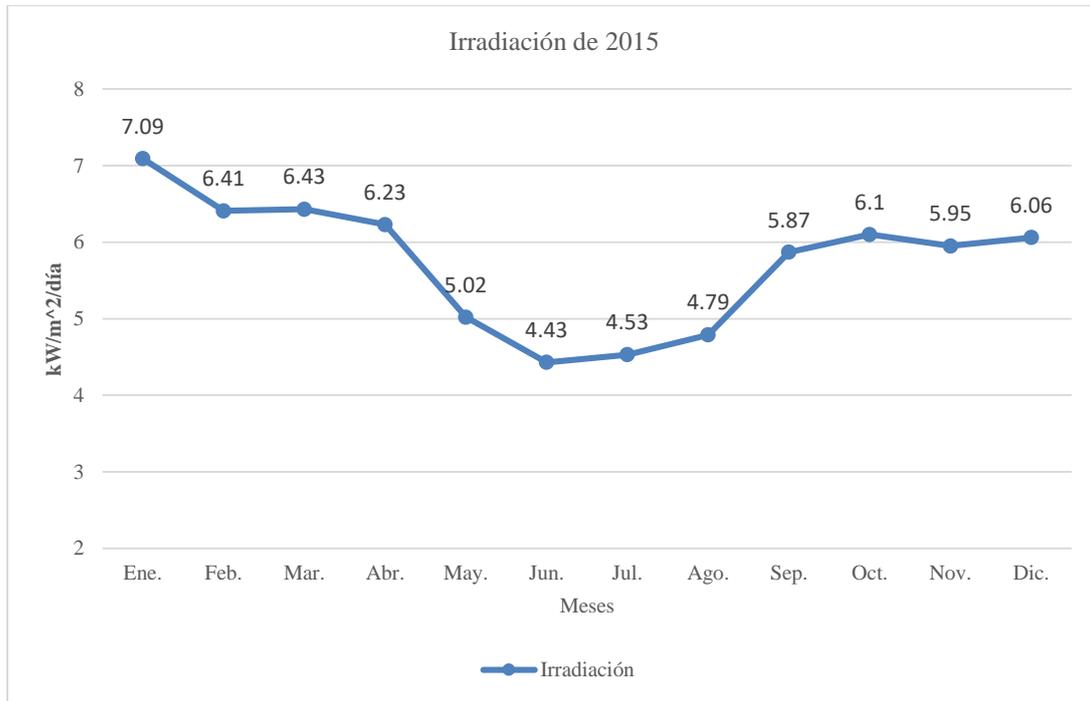


Figura 45. Irradiación Solar del año 2015.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45, se observa que entre los meses de enero y abril la irradiación solar se mantiene entre los rangos 7,09 a 6,23 kWh/m²/día en promedio, a partir del mes de mayo la irradiación empieza a descender, manteniéndose en un rango de 5,02 a 4.79 kWh/m²/día en promedio entre los meses de mayo a agosto, debido a la estación de invierno, ascendiendo en el mes de setiembre de 5,87 hasta 6,06 kWh/m²/día en promedio, hasta el mes de diciembre, esto debido a las estaciones de primavera y verano.

Irradiación solar promedio del año 2016

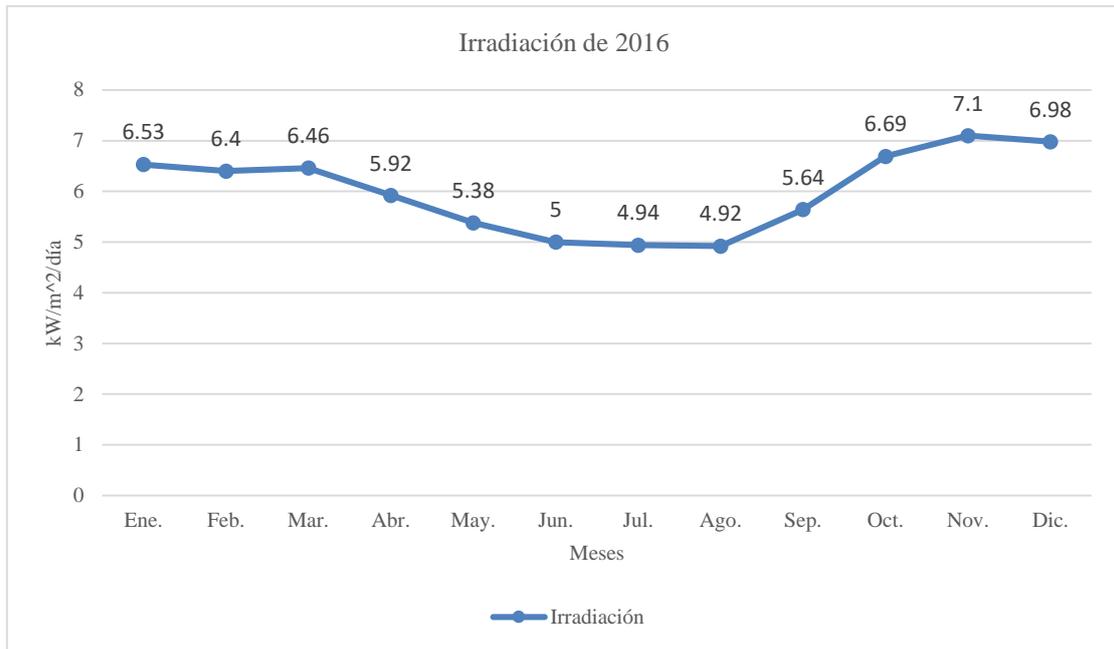


Figura 46. Irradiación Solar del año 2016.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 46, se observa que entre los meses de enero y abril la irradiación solar se mantiene entre los rangos 6,53 a 5,92 kWh/m²/día en promedio, a partir del mes de mayo la irradiación empieza a descender, manteniéndose en un rango de 5,38 a 4,92 kWh/m²/día en promedio entre los meses de mayo a agosto, debido a la estación de invierno, ascendiendo en el mes de setiembre de 5,64 hasta 7,98 kWh/m²/día en promedio, hasta el mes de diciembre, esto debido a las estaciones de primavera y verano.

Irradiación solar promedio del año 2017



Figura 47. Irradiación Solar del año 2017.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 47, se observa que entre los meses de enero y abril la irradiación solar se mantiene entre los rangos 6,46 a 6,2 kWh/m²/día en promedio, a partir del mes de mayo la irradiación empieza a descender, manteniéndose en un rango de 5,21 a 4,77 kWh/m²/día en promedio entre los meses de mayo a agosto, debido a la estación de invierno, ascendiendo en el mes de setiembre de 5,17 hasta 6,52 kWh/m²/día en promedio, hasta el mes de diciembre, esto debido a las estaciones de primavera y verano.

4.1.2. Demanda de energía eléctrica de la planta desalinizadora

En la Tabla 25, se muestran tres modelos de planta de tratamiento con distintas capacidades y características.

Tabla 25

Tipos de sistemas de desalinización por osmosis inversa

Tipos de Sistemas y características			
<i>Descripción</i>	<i>ECHO Tec. System 1800-BHL-4</i>	<i>Horizon Reverse Osmosis SFC 1800-2 Modular</i>	<i>PS-RO 4050</i>
Producción de agua	6800 LPD	6814 LPD	5000 LPD
Presión del sistema de operación	800 psi	850 psi	70 kg/cm ²
Caudal de alimentación de agua cruda	4,2 gal/min	3,5 gal/min	
Presión máxima de alimentación	50 psi	35 psi	6 kg/cm ²
Presión mínima de alimentación	15 psi	6 psi	1 kg/cm ²
Rango de Salinidad (TDS)	Hasta 50 000 ppm	Hasta 50 000 ppm	Hasta 40 000 ppm
Rango de pH	No indica	3 - 11	
Rango de Temperatura	5 – 35 °C	5 – 50 °C	2 – 40 °C
Tolerancia al cloro		0.1 ppm	
Rechazo de sal	mínimo 99.5%	99.2%	99.4%
Producto / Permeado STD	200 – 500 ppm (excede los estándares WHO)		
Dimensiones	Altura 118cm x frente 70cm x fondo 47cm	Dimensiones WxH : 50" x 22"	Altura 67.5cm x frente 119cm x fondo 27cm
Consumo de poder	5,5 A a 220V 60 Hz, trifasico	2.640 kW (12 A a 220V 60 Hz)	3.0 KW
Precio del equipo más consumibles y repuestos. Incluido IGV.	USD 12 180.00	USD 30 448.81	USD 13 341.00

Nota: LPD : Litros por Día, STD: Solidos totales disueltos, IGV: Impuesto general de ventas

Fuente: Elaboración propia.

De los tipos de sistema descritos en la Tabla 26, se ha elegido el modelo ***ECHO Tec. System 1800-BHL-4*** que tiene un menor consumo de energía con respecto a los otros sistemas y se adecua a los requerimientos del proyecto.

4.1.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

4.1.3.1. Dimensionado del sistema fotovoltaico para el equipo desalinizador

Para el dimensionado del sistema fotovoltaico para el equipo desalinizador se han considerado los siguientes pasos:

Características geográficas de la zona de estudio

Tabla 26

Características de la Ubicación

Características	Datos / Unds.	
Coordenadas (ϕ, L)	-9.71703	-78.2939
Desviación respecto al ecuador (α)	180°	°
Ángulo de inclinación óptimo anual (β)	10.4047507°	°
Irradiación global horizontal diaria, media anual (tabla)	6000	Wh/m ²
Irradiación global diaria a β ópt, media anual	6107.02	Wh/m ²
Irradiación incidente sobre el plano inclinado β ($G_{dm}(\beta)$)	6107.02	Wh/m ²

Fuente: Elaboración propia.

Consumo energético del sistema desalinizador

Tabla 27

Consumo Energético

Equipo	Unidades	Potencia (W)	Horas de uso diario (h)	Consumo diario (Wh)
Desalinizador modelo <i>ECHO Tec. System 1800-BHL-4</i>	1	2 191	24	52 584

Fuente: Elaboración propia.

- Consumo de energía: 5,5A a 230V/trifásico, de acuerdo con datos del fabricante.
- Potencia trifásica: $\sqrt{3} \times 5,5 \times 230 = 2\,191\text{W}$
- Carga diaria de consumo: $2\,191 \times 24 = 52\,584\text{Wh}$, es la cantidad de energía que requiere la planta de desalinización para su producción diaria de agua dulce.

Según lo calculado para la energía diaria que demandará la Planta desalinizadora y almacenamiento de la misma en un tanque elevado 16 m sobre el nivel de la planta y resulta ser igual a 52 584 Wh, para las 24 horas de funcionamiento continuo de esta planta.

Resultados del cálculo de baterías o sistemas de acumulación

El método de cálculo aplicado es el balance de energía, que sin ser llamado específicamente así, es el respaldo técnico del dimensionamiento de todo sistema fotovoltaico.

La unidad de acumulación (banco de baterías) almacena la carga eléctrica equivalente a 52 584Wh más la carga eléctrica equivalente al total de energía que se perderá desde el generador fotovoltaico (GF), hasta la Planta desalinizadora que es equivalente al 30% de requerimiento por lo tanto debe cumplirse lo siguiente:

$$\frac{52\,584}{0.7} = 75\,120\,Wh$$

Más, adicionalmente debe considerarse la característica de profundidad de descarga (PD) que corresponde usar en esta aplicación la PD equivalente a 65%, es decir:

$$\frac{75\,120}{0.65} = 115\,569.2\,Wh$$

Para calcular la carga eléctrica correspondiente, con una instalación a 48V, la capacidad de la unidad de acumulación es:

$$\frac{115\,569.2}{48} = 2\,407.7Ah$$

Los resultados según la capacidad de la unidad de acumulación (baterías), se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28

Resultados del Cálculo de la batería o sistemas de acumulación

Descripción	Valores / Unds.
Tensión nominal del sistema	48 V
Voltaje Nominal de la batería	2 V
Capacidad nominal de la batería a C20	2407,7 Ah
Número de baterías en paralelo	1
Número de baterías en serie	24
Número total de baterías	24
Capacidad del sistema de acumulación	2400 Ah

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del cálculo de Paneles o Módulos

Considerando que en Casma la irradiación media mensual máxima (según tabla de la NASA) (ver anexo 8) es 6 kWh/m²-día, tendríamos para dicho lugar 6 Horas sol – pico (HSP) con irradiancia de 1 000W/m².

El Generador Fotovoltaico debe producir diariamente energía equivalente a 75 120 Wh., por lo que de acuerdo con esta condición de generación y la condición del clima de Casma de contar con 6 HSP el GF debe tener la potencia resultante del siguiente cálculo:

$$\frac{75\ 120Wh}{6h} = 12\ 520W$$

En base a las referencias teóricas, los antecedentes y la recomendación de los especialistas, se ha elegido los módulos Fotovoltaicos FV, de 280 Wp, marca Yingli Solar modelo YL280C-30b, cuyas características técnicas principales se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29

Características técnicas módulos Fotovoltaicos FV, de marca Yingli Solar

Características	Valores Obtenidos	Unidades
Potencia máxima (P _{máx})	280	W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	39.1	V
Voltaje de máxima potencia (V _{mpp})	31.3	V
Corriente de corto circuito (Isc)	9.5	A
Corriente de máxima potencia (Impp)	8.96	A

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo de paneles, dividimos la potencia del generador fotovoltaico entre la potencia máxima del módulo seleccionado de 280Wp.

$$\frac{12\ 520\ W}{280\ Wp} = 45\ \text{modulos}$$

Obteniendo el número de paneles (módulos), determinamos la distribución o arreglo de los módulos y potencia máxima del generador fotovoltaico, las cuales se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30

Resultados del cálculo de paneles y potencia máxima del generador fotovoltaico

Descripción	Unidades
Número total de módulos FV	45
Número de arreglos FV en paralelo	3
Número de cadenas FV en paralelo en cada arreglo	5
Número de módulos FV en serie por cadena de cada arreglo	3
Potencia máxima del GF	12 600W
Potencia máxima de cada arreglo FV	4 200W
Corriente máxima de cada arreglo FV	44,8A
Voltaje máximo de cada arreglo FV	93,9V

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del inversor-regulador integrado

La selección del regulador-inversor integrado considerará los parámetros eléctricos de salida del arreglo FV (93,9V y 44,8A), la potencia y frecuencia de suministro trifásico (2 191W, 60Hz) y la tensión de acumulación (48V).

Se ha seleccionado el inversor-regulador integrado Steca Solarix PLI 5000-48 cuyas características técnicas principales se presentan en la tabla 31.

Tabla 31

Cálculo del inversor-regulador integrado

Características	Valores
Potencia activa requerida (W)	5 000W
Frecuencia (Hz)	60Hz
Tensión AC	230V
Tensión mínima de la entrada al regulador MPPT	60V
Tensión máxima de la entrada al regulador MPPT	115V
Máxima corriente a la entrada al regulador	80A

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de cableado y de protección

El cableado que se utilizará en la instalación de componentes de todo el proyecto es aproximado a 1600 metros, entre los calibres de 6, 8 y 10 con sus diámetros respectivos para consumos según el requerimiento del equipo como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32

Tipos de cables para la instalación de componentes

Calibre / AWG (American Wire Gauge)	Diámetro en mm	Consumo de corriente
6	16 mm	Muy alto
8	10 mm	Alto
10	8 mm	Medio-alto

Fuente: Elaboración propia.

Selección de los componentes del dimensionamiento

Los componentes resultantes del dimensionamiento se presentan en la Tabla 33, así mismo la configuración final del sistema fotovoltaico autónomo (Ver anexo 9).

Tabla 33

Selección de los componentes del dimensionamiento

Equipo o componente	Cantidad
Módulos FV marca Yingli Solar modelo YL280C-30b	45
Inversor-controlador marca Steca, modelo Solarix PLI 5000-48	3
Kit de configuración trifásica para el inversor Steca Solarix PLI	1
Celdas de 2V y 2 400Ah cada una	24
Cable AWG 10 en rollo	1
Cable AWG 10 para línea a tierra en metros	5
Cable AWG 6 en metros	50
Cable AWG 2 en metros	15
Interruptor termo magnético DC	3
Porta fusible	18
Fusible 20A	18
Estructura de soporte	1
Caja de conexiones con IP66	1
Kit pozo a tierra	1

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.2. Dimensionamiento FV para el sistema de bombeo solar en superficie (SBSS)

Para el dimensionamiento del sistema de bombeo solar en superficie, se consideraron las siguientes características (ver anexo 10), como se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34

Parámetros Dimensionamiento FV para el sistema de bombeo solar

Parámetro		Características			
Lugar:	Poblado La Gramita-Ancash (9.717° Sur; 78.294° Oeste)	Rango de temperatura del agua:	5 a 35 °C	Altitud	20 m
Rendimiento diario requerido:	23 m ³ ; Dimensionamiento para mes promedio	Pérdida por suciedad :	5,0 %	Cable motor:	105 m
Tipo de tubería (Lado de descarga):	plástico	Altura de impulsión:	16 m	Longitud de tubería (Lado de descarga):	104 m
Tipo de tubería (Lado de succión):	plástico	Altura de succión:	2 m	Longitud de tubería (Lado de succión):	3.0 m

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3. Componentes del sistema de bombeo solar en superficie (SBSS)

Los principales componentes se detallan en la Tabla 35.

Tabla 35

Componentes del SBSS

Productos	Cantidad	Detalles	
PS2-600 CS-F3-7	1 pz.	Sistema bombeo en superficie, incluido regulador con DataModule, motor y extremo de la bomba	
LC100-M36	6 pz.	Panel fotovoltaico de 600 Wp; 6 x 1 módulos PV; 15 ° inclinado	
Cable motor	105 m	25 mm ² Cable trifásico para la corriente y cable monofásico para la conexión a tierra	
Tubería (Lado de descarga)	104 m	40 mm (diámetro interior)	
Tubería (Lado de succión)	3 m	25 mm (diámetro interior)	
Accesorios	1 conjunto	Water Sensor, Float Switch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-1, Sun Sensor Module	

Fuente: Elaboración propia.

Rendimiento del SBSS

Para la selección de componentes y configuración del SBSS se ha tenido como base de cálculo la mejor irradiancia a lo largo del año en Casma que se produce durante los primeros meses del año (verano) durante los cuales se logrará acumular diariamente cerca de 25m³ de agua (el requerimiento es 23m³), lo que significará que durante los meses junio a setiembre se acumule solamente entre 13 y 17m³ como se presenta en la Figura 48.

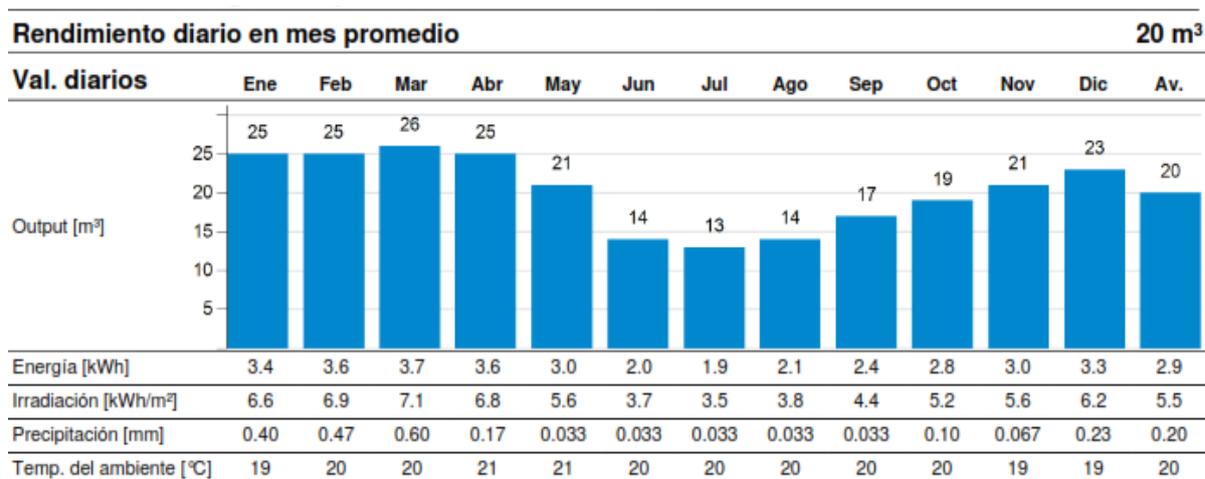


Figura N° 48. Rendimiento diario en mes promedio de agua en m³.

Fuente: elaborado con software Compass Lorentz.

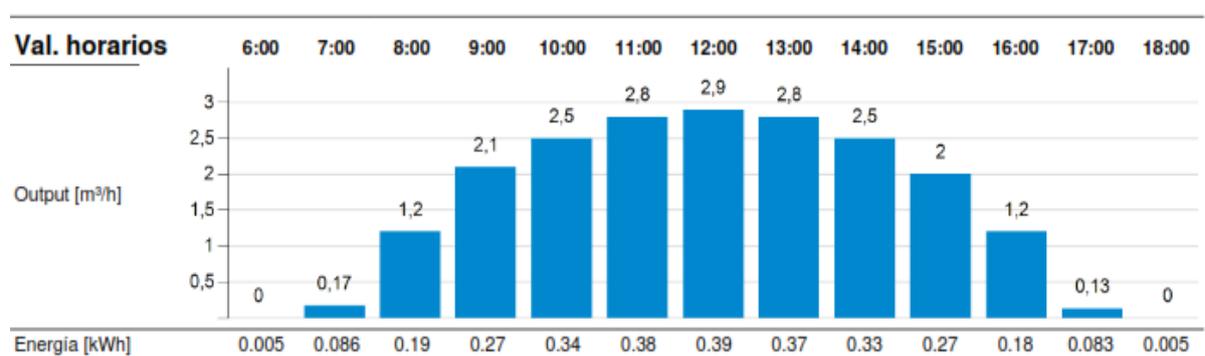


Figura N° 49. Rendimiento horario promedio por día de agua en m³.

Fuente: Elaborado con software Compass Lorentz.

Los rendimientos medios mensuales en m³ de agua por día correspondientes a la energía disponible cuyos valores se presentan en la Figura 49, al pie de las barras superiores. Las barras inferiores representan el rendimiento medio horario (m³/hora) de acuerdo con la irradiancia horaria disponible que se lee en la tabla al pie de las barras.

El criterio de configurar el tamaño del SBSS para el mejor mes se explica desde el punto de vista económico ya que de esta manera resulta menos costoso, pues una selección respecto al peor mes resultaría un SBSS del doble de tamaño.

4.1.4. Beneficios e impactos ambientales, económicos y sociales

Los beneficios que generaría el presente proyecto, es una proyección de lo que podría ocurrir una vez que se implementara el proyecto. A continuación se describe los diferentes beneficios e impactos.

4.1.4.1. Beneficios e impactos ambientales

- Beneficios:

- El proyecto utiliza energías renovables para el tratamiento de agua.
- Utiliza agua de mar como recurso inagotable.
- Disminución del polvo sedimentable por transporte de agua por cisterna.
- Generación de áreas verdes.

- Impactos negativos:

A continuación se presentan los impactos negativos, los cuales pueden ser atenuados con medidas correctivas.

- Generación de aguas residuales por el proceso de tratamiento de agua de mar.
- Generación de polvo sedimentable por movimientos de tierra en la etapa de construcción.
- Alteración de la ornitofauna (aves de la zona) por ruidos durante la construcción y funcionamiento de la planta.

4.1.4.2. Beneficios e impactos económicos

- Beneficios:

- Apertura a nuevas fuentes de negocios.
- Incremento de la demanda turística.
- Disminución de costos en servicios de agua.
- Aumento de ingresos por mejor prestación de servicios a visitantes.

4.1.4.3. Beneficios e impactos sociales

- Beneficios:
 - Mejora de la calidad de agua para el consumo humano.
 - Incremento de los puestos de trabajo
 - Mejora de la calidad de vida de la población.
 - Disminución de problemas de salud relacionados con la higiene y la falta de consumo de agua potable.

- Impactos negativos:
 - Molestias en la población por ruidos y polvo durante la construcción de la planta.
 - Aumento en el costo de los terrenos.

4.1.4.4. Análisis económico del proyecto

Para el análisis económico del proyecto, se describen a continuación los costos de los componentes FV, materiales, equipos e infraestructura.

Tabla 36

Costos de los componentes del sistema Fotovoltaico para el equipo desalinizador

Item	Descripción	Cant.	P. Parc. \$
1	Paneles solares de 325Wp policristalino. Marca Yingli solar.	45	14,625.00
2	Inversor inusoidal con regulador de carga Stea Solarix PLI 5000-48.	3	3,285.00
3	Kit de configuración trifásica para PLI 5000-48.	1	180.00
4	Banco de baterías tubular de 2V, 2500 Ah@C10. Marca Narada modelo 200PzV-2500.	1	33,840.00
5	Soporte metálico ligero tipo triangular con ángulo de inclinación de 15°.	1	4,500.00
6	Caja de combinación tipo PACS (SES) para montaje exterior.	1	250.00
7	Kit de Pozo tierra vertical.	1	950.00
8	Accesorios de instalación: Cables, ITM's en DC, portafusibles, etc.	1	1,850.00
9	Embalaje y traslado de materiales a las instalaciones de CER.	1	250.00
		Subtotal	70,481.40

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37

Costos del Equipo desalinizador y componentes

Item	Descripción	Cant.	P. Parc. \$
1	Equipo OSMOSIS INVERSA Modelo 1800-BHL-4, Bastidor Vertical, ex fábrica Trinidad y Tobago.	1	9.890,00
2	Filtros 9 3/4" x 4 1/2" BB de 5 micrones de repuesto.	15	352,50
3	Filtros 9 3/4" x 4 1/2" BB de 20 micrones de repuesto.	15	352,50
4	Filtros de carbón activado.	2	38,00
5	Cartucho neutralizador de pH.	1	68,50
6	Kit de sellos "O-ring" para sistema completo (excepto bomba).	1	48,50
7	Kit de sellos para la bomba de alta presión (Aceite y Agua).	1	225,00
8	Kit de mantención extendida.	1	85,00
9	Kit de válvulas para la bomba de alta presión – solo por emergencia ya que no es parte de la mantención programada.	1	135,00
10	Flete aéreo estimado (incluye embalaje y documentos de exportación) Trinidad – Aeropuerto Internacional de Lima, Perú (SAL).	-	985,00
Subtotal			12.180,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 38

Costos de la bomba de agua y componentes

Item	Descripción	Cant.	P. Parc. \$
1	Bomba de agua PS2-000 CS-F3-7 de superficie incluye controlador y 6 Paneles	1	3895,00
	Panel solar Yingli de 12V100Wp policristalino	6	
Subtotal			3895,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 39

Resumen del costo total del proyecto en dólares

Item	Descripción	P. Parc. \$
1	Paneles solares y componentes	70,481.40
2	Equipo OSMOSIS INVERSA y componentes	12,180.00
3	Bomba de agua PS2-000 CS-F3-7 de superficie + componentes y paneles	3,895.00
4	Expediente (estudios)	6,000.00
5	Infraestructura	40,000.00
6	Materiales para conexiones	5,000.00
7	Mano de obra calificada	10,000.00
Total \$		147,556.40

Fuente: elaboración propia.

Tabla 40

Resumen del costo total del proyecto en soles

Item	Descripción	P. Parc.
1	Paneles solares y componentes	236,112.59
2	Equipo OSMOSIS INVERSA y componentes	40,803.00
3	Bomba de agua PS2-000 CS-F3-7 de superficie + componentes y paneles	13,048.25
4	Expediente (estudios)	20,100.00
5	Infraestructura	72,062.00
6	Materiales para conexiones	16,750.00
7	Mano de obra calificada	33,500.00
TOTAL		432,376.84

Fuente: elaboración propia.

Análisis económico del flujo de caja del proyecto.

El valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) analizados para el proyecto considerando una tasa de interés de 10%, (ver anexo 14) resultado de la siguiente manera.

La tasa interna de retorno obtenida, para un periodo de 12 años es negativa, lo cual indica que el proyecto podría generar pérdidas, considerando las ventas totales del proyecto.

La recuperación del capital está proyectado en un horizonte de 24 años, lo cual sería rentable posterior a ello.

El valor actual neto (VAN) obtenido, no agrega valor económico por haber resultado negativo, evaluando un horizonte de 12 años. La inversión inicial es rentable después de un horizonte de 24 años, motivo por el cual, este proyecto se propone como un proyecto social, financiado por el gobierno regional.

Los costos para la ejecución del proyecto, deben ser asumidos por las autoridades Municipales y Regionales, con fondos del Canon Minero, ya que La Gramita es una población con bajos recursos económicos.

El agua tratada debe ser entregada a las unidades familiares a costos sociales (subvencionado) y la operación y mantenimiento de la planta desalinizadora, debe estar a cargo de una empresa prestadora de servicios.

4.2. Análisis e interpretación

De los datos obtenidos en las mediciones de campo se han elaborado los gráficos y tablas respectivamente de acuerdo a los objetivos de la investigación, considerando los beneficios e impactos que genera proyecto, presentándose de la siguiente manera:

El comportamiento que presenta el potencial solar evaluado en los últimos 5 años es de 6 kWh/m²/día en promedio en la zona de estudio, el cual es favorable para generar energía fotovoltaica suficiente mediante paneles solares.

La planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa, propuesta para la investigación, presenta una demanda de energía eléctrica de 52,58 kWh al día, la cual tiene una capacidad de 6800 litros/ hora/ día. Con las dimensiones obtenidas para el sistema fotovoltaico se lograría alimentar de energía suficiente para su funcionamiento.

La implementación del proyecto generaría como consecuencia mayores oportunidades laborales y el incremento de la calidad de vida, cubriendo las necesidades básicas de la población en estudio.

V. Discusión de Resultados

5.1. Discusión

En comparación con lo investigado por Chercca en el 2014, en su tesis titulada “Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂ en el poblado rural La Gramita de Casma”, que tuvo como objetivo el aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂, mediante la combinación óptima de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico teniendo como resultado la energía total diaria estimada por el sistema fotovoltaico de 38,64 KWh y una energía generada anual de 14103,6 KWh; llegando a la conclusión que mediante el aprovechamiento del recurso eólico y solar con la implementación de sistema híbridos eólicos-fotovoltaicos se logra una solución técnica y económicamente viable, porque genera beneficios a toda la comunidad y mejora de la calidad de vida, sin embargo desde el punto de análisis como proyecto privado es necesario efectuar un subsidio no retornable que equivale al 80% de la inversión para que el proyecto sea rentable, estimando un tiempo de recuperación de la inversión de 20 años a una tasa interna de retorno del 16,80%.

En esta investigación se han considerado datos de irradiación solar con regresión de 5 años de antigüedad a diferencia de la investigación de Chercca que solo consideró un año con promedios mensuales. Así mismo se realizó el diagnóstico situacional del poblado La Gramita identificando problemas sociales y ambientales de los habitantes, lo cual sirvió para adecuar el proyecto a los requerimientos.

Asimismo, Raboso en el año 2012 realizó su tesis titulada “Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma”, que tuvo como objetivo diseñar una planta potabilizadora portátil alimentada con energía solar fotovoltaica, mediante la determinación de parámetros, el método del dimensionado, la simulación de la solución fotovoltaica utilizando los programas de software PVSYST; teniendo como resultado del dimensionamiento, 6 módulos (paneles solares) con potencia de $250 W_p$ para una demanda de energía de la potabilizadora desalinizadora autónoma de 5,0 kWh, lo cual genera 0.83 kWh por cada panel, a diferencia de la investigación realizada, se ha dimensionado 45 paneles fotovoltaicos con una potencia de $280 W_p$ para una demanda de energía de 52,58 kWh para el funcionamiento de la planta desalinizadora por ósmosis inversa, llegando a la conclusión que por cada módulo se genera 1.17 kWh.

5.2. Conclusiones

El potencial solar evaluado en el poblado La Gramita – Casma, es favorable para generar energía fotovoltaica suficiente, mediante módulos solares, ya que presenta un comportamiento permanente en los últimos 5 años de 6 kWh/m²/día en promedio.

La demanda de energía eléctrica para el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar, por osmosis inversa (modelo 1800 – BHL – 4) es de 52,58 kWh al día, que tiene una capacidad de 6800 litros/ hora/ día, volumen requerido para cubrir la demanda de agua potable en el poblado La Gramita, en un 75% en invierno y en 72% en verano.

Las dimensiones de los componentes del sistema fotovoltaico calculados mediante el método de balance de energía fueron: 24 baterías de 2400 Ah en serie, así mismo tres inversores-reguladores integrados de una potencia de 5000 VA, y 45 Paneles fotovoltaicos de marca Yingli Solar modelo YL280C-30b.

La dotación de agua potable con energía renovable favorece al desarrollo sostenible de la población La Gramita. Los impactos sociales son los más resaltantes, siendo estos favorables por la generación de empleo y cubrimiento de necesidades básicas, así mismo, los impactos negativos identificados pueden ser atenuados con medidas correctivas, ya que son impactos moderados. El agua tratada debe ser entregada a las unidades familiares a costos sociales (subvencionado), por debajo de los costos de agua abastecida por cisterna y la operación y mantenimiento de la planta desalinizadora, debe estar a cargo de una empresa prestadora de servicios.

5.3. Recomendaciones

- Instalar una estación meteorológica en la zona de estudio, ya que actualmente no existe, lo cual facilitaría tener un historial de datos meteorológicos.
- Se recomienda que este proyecto se replique en zonas con similares características ubicadas en la costa peruana, para dotar de agua potable a poblaciones que carecen de este líquido vital, que se encuentran sin conexión a redes de agua y no cuenten con energía eléctrica.
- Se recomienda que el proyecto sea ejecutado como proyecto social, para que el agua tratada sea entregada a los pobladores a precios sociales (subvencionado).

VI. Referencias

- Abella, M. (2005). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autonomos. Madrid, España.
- Abella, M. A., Díaz, U. J. E., & Polo, S. L. (2001). Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica. SAPT Publicaciones Técnicas. Madrid, España.
- Abella, M. & Romero, F. (s.f.). Sistema de Bombeo Fotovoltaico. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas – CIEMAT. Madrid, España.
- Acosta, F. (2012). Diseño óptimo de un sistema de electrificación autónomo híbrido eólico-fotovoltaico para redes de telecomunicación en zonas rurales. Madrid, España.
- Aguilera, J., & Hontoria, L. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Jaén – España.
- Avila Prats, D., Alesanco García, R., & Veliz Alonso, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *Ingeniería Mecánica*, 14(1), 22-30. Obtenido de <http://www.scielo.sld.cu>
- Axaopoulos, P. (s.f.) Radiación solar sobre superficies inclinadas. Atenas, Grecia.
Recuperado de:
http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es04/chapter_4_ES.pdf
- Cabero García, J. (Universidad del País Vasco de diciembre de 2015). Proceso de desalación de agua de mar mediante un sistema de ósmosis inversa de muy alta conversión en tres etapas con recirculación de permeado y doble sistema de recuperación de energía. (Tesis doctoral). Bilbao, España.
- Carrillo Medrano, L. (2015). Generación de energía con un sistema híbrido renovable para abastecimiento básico en Vereda sin energización de Yopal-Casanare (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Castillo Meraz, R., Martínez Montejano, R. C., Delgado Aranda, F., & Campos Cantón, I. (2013). Dimensionamiento fotovoltaico-eólico para la generación de energía eléctrica. *TLAEMOANI*.
- Cerdán A. (2011). Diseño de un sistema de bombeo solar – eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la pitaya, Veracruz, México. Universidad Internacional de Andalucía. México.

- Checa, F. E., & De La Cruz, O. E. (2015). Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia. Libros Editorial UNIMAR.
- Chercca Ramirez, J. A. (2014). Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂ en el poblado rural La Gramita de Casma (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.
- Chicaguala A., (2017). Análisis técnico económico proyecto fotovoltaico para autoconsumo de un Datacenter(Tesis de pregrado). Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Santiago - Chile.
- Colegio oficial de Ingenieros de telecomunicación, (2002). Energía Solar Fotovoltaica, Madrid – España.
- Colomina, M J. (2016). Diseño de una planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa para producir 20000 m³/día. Tesis para obtener el grado de Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Valencia – España.
- Corporación de desarrollo tecnológico, (2013). Diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados a red, Cámara chilena de la construcción. Santiago - Chile.
- Delgado, D.V. (2007). Análisis Comparativo de los procesos de desalinización del agua: destilación súbita por efecto flash (MSF) frente osmosis inversa (OI), bajo la metodología de evaluación de ciclo de vida. Guayaquil, Ecuador.
- Dévora Isiordia, G. E., Gonzáles Enríquez, R., & Ruiz Cruz, S. (2013). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. Tecnologías y Ciencias del Agua, IV(3), 27-46.
- ECHO MARINE LTD. (2018). Manual de Sistemas terrestres para desalinizar agua de mar. Trinidad y Tobago.
- Espinoza R. , Nakama V. , Manza D. & Alejandro Y. (2017). La ingeniería fotovoltaica. Centro de Energías Renovables, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Guevara A. (2013). Energías renovables en acorde con el medio ambiente, Instituto Geológico Minero y metalúrgico – INGEMMET, Lima – Perú.
- Horn, M., & Espinoza, R. (2017). El potencial de la energía solar en el Perú y el aporte de la UNI. Simposio llevado a cabo en el I Congreso de Energías Renovables y Arquitectura Bioclimática, Lima, Perú.
- Jiménez Ayerra, E. (2013). Diseño de una instalación desaladora de agua abastecida con una planta fotovoltaica, Universidad de Navarra, Pamplona - España.

- López, J. y Mejías, M. (2000). "Las aguas salobres. Una alternativa al abastecimiento en regiones semiáridas." Club del Agua, julio 2000, pp. 16-17
- Luyo, J. (2016). Comentario y propuestas complementarias al Estudio: "Futuro de la energía en Perú: Estrategias Energéticas Sostenibles" del Dr. Alberto Ríos Villacorta. Obtenido de https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/estudio_-_futuro_de_la_energia_en_peru_-_alberto_rios._fsp_-_ir_0.pdf
- Manuel, F. I. (1999). Osmosis Inversa fundamentos, tecnología y aplicaciones. *Serie Electrotecnologías*, 18.
- Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Eficiencia Energética. (2014). Resumen Ejecutivo "Plan Energético Nacional 2014-2025". Lima, Peru.
- Ministerio de Energía y Minas. (2005). "Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp".
- Montañés Arribas, A. (2016). Diseño y análisis térmico de una planta desalinizadora solar de torre de concentración (Bachelor's thesis). Leganés, España.
- Muhaidat, A., Kabariti, M., Touryan, K., & Hoffman, A. (2010). Design, sizing and simulation of solar powered desalination unit for brackish water in Jordan. Obtenido de <http://www.researchgate>.
- OSINERGMIN. (2014). Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria. Generación eléctrica con Recursos Energéticos renovables no convencionales en el Perú.
- Pérez, G. M. (2007). Diseño de una planta desalinizadora de 20.000 m³/día basada en una tecnología de destilación multiefecto (MED). Universidad de Sevilla – España.
- Perpiñam O., (2018). La Energía Fotovoltaica. España.
- Prats Viñas, L.(2013). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Raboso López, A. M. (2012). Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora autónoma (Tesis de maestría).Universidad Internacional de Andalucía. Madrid, España.
- Shashabi P, M., Mchugh, A., Anda, M., & Ho, G. (2014.). Evaluación de ciclo de vida medioambiental de desaladora mediante osmosis inversa agua de mar con energías renovables. 53-58. *Energías Renovables*, 67: 53-58.

Soto Álvarez. G, Soto Benavides. M (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo. PHI-VII / Documento Técnico N°33. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe.

UNESCO. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema de Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para la provisión de agua potable en Isla Damas, Region de Coquimbo. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 33.

Linkografía

<https://jmirez.wordpress.com/2015/09/25/j862-imagen-completa-de-mapa-solar-del-peru/>

Fuente:/www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm

<http://www.modmyrv.com/2009/11/18/rv-solar-energy-system>

<http://www.sitiosolar.com/el-bombeo-solar-fotovoltaico/>

<https://www.tmsmx.com/>

Anexos

Anexo 1. Vista del poblado La Gramita.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Llegada al poblado La Gramita



Fuente: Elaboración propia

Anexos

Anexo 3. Encuestando a los pobladores de La Gramita



Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Mediciones de la irradiación solar utilizando el radiómetro



Fuente: Elaboración propia

Anexos

Anexo 5. Ubicación de los pozos para la distribución del agua



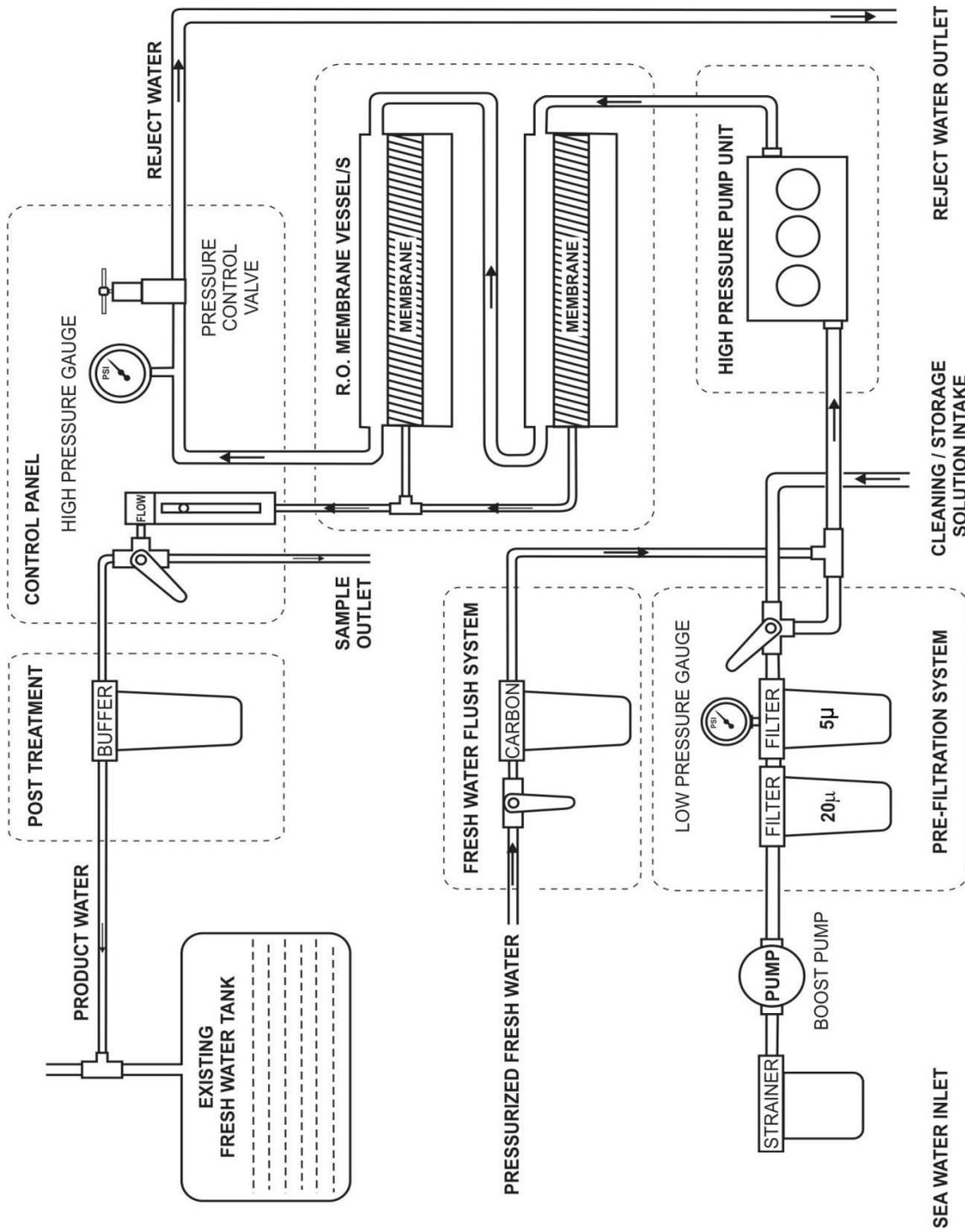
Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Mediciones de los parámetros meteorológicos



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Diagrama de Flujo de la planta de tratamiento por ósmosis inversa



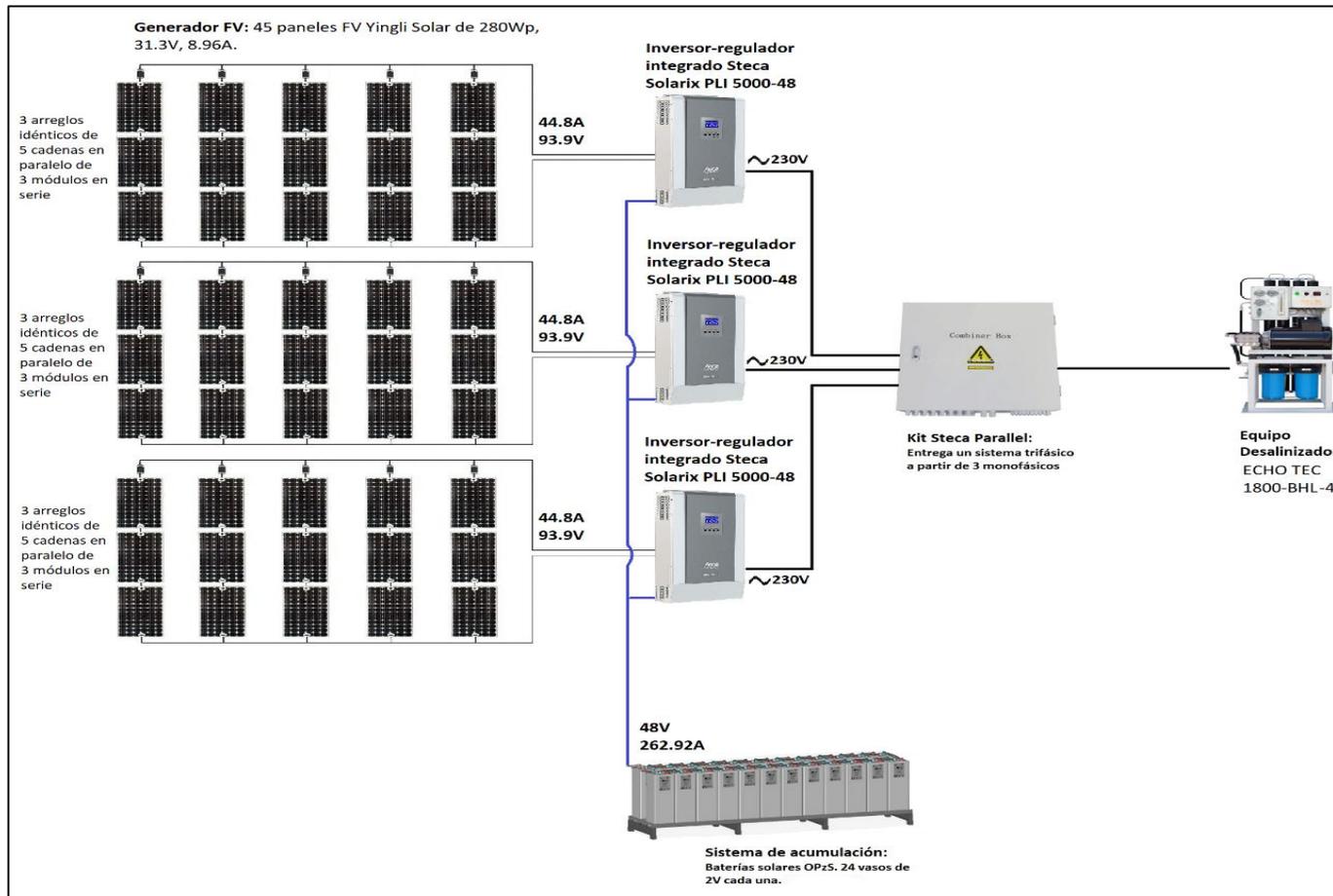
Fuente: ECHO MARINE LTD. (2018). Manual de Sistemas terrestres para desalinizar agua de mar.

Anexo 8. Parámetro de Irradiación Solar en superficie horizontal (kWh/m²/día) en La Gramita (Latitud -9.7114 , Longitud -78.2938).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1997	7,31	7,54	7,47	6,3	5,77	5,09	4,97	4,86	5,04	6,57	5,6	6,16	6,05
1998	7,11	6,25	6,61	6,55	5,27	4,39	4,85	4,44	3,63	4,97	6,38	6,89	5,61
1999	6,63	6,88	7,05	6,53	5,89	3,59	4,09	4,1	4,46	6,02	6,59	6,79	5,71
2000	7,02	6,7	6,99	6,34	4,83	3,18	2,96	3,93	4,38	5,94	6,49	6,21	5,41
2001	6,48	6,86	6,68	5,54	3,81	2,63	2,92	3,31	4,06	5,5	6,49	6,51	5,06
2002	7,43	6,53	7,06	6,1	5,86	3,85	3,62	3,51	4,44	5,22	6,06	6,45	5,51
2003	6,49	7,24	7,27	6,62	4,75	3,72	3,66	3,7	3,7	5,01	6,28	7	5,44
2004	7,5	6,98	7,21	6,57	5,07	3,32	3,11	4,35	4,49	5,35	6,39	7,42	5,64
2005	7,82	7,54	7,06	6,75	4,21	2,9	3,15	3,72	3,82	4,82	5,57	6,89	5,34
2006	7,36	7,19	6,94	6,31	5,62	2,86	3,49	3,52	4,66	5,18	6,42	6,86	5,52
2007	7,08	7,22	6,91	6,46	5,86	3,3	2,63	3	3,76	4,04	6,02	6,48	5,22
2008	6,28	6,61	6,17	5,87	4,95	3,76	4,34	4,36	5,76	6,31	6,38	6,83	5,63
2009	6,51	6,33	6,02	5,99	5,14	3,96	4,08	4,67	5,33	6,21	6,01	6,03	5,52
2010	6,31	6,21	6,49	5,96	5,02	4,81	4,39	4,68	5,68	6,32	6,85	6,71	5,78
2011	6,59	6,34	6,01	5,73	5,33	4,41	4,2	4,66	5,86	6,4	6,84	6,63	5,75
2012	6,85	6,75	6,37	6,06	5,52	4,54	4,57	5,01	5,99	6,32	6,68	6,68	5,94
2013	7,24	6,36	5,89	5,64	5,26	4,16	4,25	4,54	5,56	5,96	6,33	7,07	5,68
2014	6,61	6,71	5,95	5,98	4,89	4,38	4,24	4,5	5,66	6,05	6,48	6,73	5,67
2015	7,09	6,41	6,43	6,23	5,02	4,43	4,53	4,79	5,87	6,1	5,95	6,06	5,74
2016	6,53	6,4	6,46	5,92	5,38	5	4,94	4,92	5,64	6,69	7,1	6,98	6
2017	6,46	6,71	6,25	6,2	5,21	4,42	4,36	4,77	5,17	6,14	6,55	6,52	5,72

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/> (Nasa Meteorology)

Anexo 9. Configuración final del Sistema Fotovoltaico Autónomo para equipo desalinizador



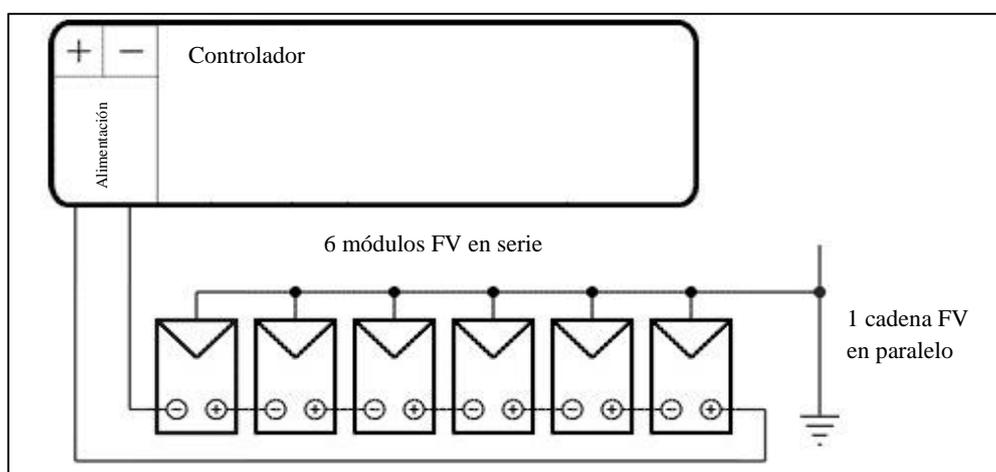
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 10. Características técnicas del generador fotovoltaico (FV) del sistema de bombeo solar en superficie (SBSS)

Características técnicas del generador			Min.	800 W/m ² , Max./STC*	
Generador PV	Temperatura de celda	[°C]		46	25
	Pérdida de temperatura	[%]		8.4	-
	Pérdida por suciedad	[%]		5.0	-
	Pmax	[Wp]		418	600
	Vmp	[V]		103	112
	Imp	[A]		4.1	5
	Voc	[V]		126	138
	Isc	[A]		4.4	6
	Pout	[W]		418	-
	Vout	[V]		103	-
Iout	[A]		4.1	-	
Cable motor	Pérdida de potencia	[%]	1.5	2.8	3.0
Sistemas de bombeo	Potencia motor	[W]	88	404	697
	Voltaje motor	[V EC]	29	46	59
	Corriente motor	[A]	3.0	8.9	12
	Revoluciones motor	[rpm]	1,915	2,485	2,980
	Flujo	[m ³ /h]	0	3.1	4.5
	Eficiencia	[%]	0	41	41
Tubería	Velocidad de flujo	[m/s]	0	0.68	1.00
	Pérdida por fricción	[m]	0.001	1.5	2.9
	Pérdida por fricción suction	[m]	0.000	0.80	1.5
	NPSH	[m]	1.01	1.45	2.38

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11. Detalles técnicos del SBSS y diagrama de cableado del generador FV.



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 12. Formato de encuesta.

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSTGRADO

ENCUESTA

Nombre: _____ **Edad:**

Dirección: _____ **Sexo:** M F

Grado de Instrucción: _____

La presente encuesta se realiza para medir el grado de aceptación de la instalación y el funcionamiento de una planta desalinizadora de agua de mar, por ósmosis inversa en base a energías renovables (Paneles fotovoltaicos).

Tema de investigación: “Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora por ósmosis inversa en la Gramita, Casma-Ancash”.

1. ¿Qué problemas ambientales identifica en el poblado la Gramita?

- a. Inadecuada disposición de residuos sólidos.
- b. Contaminación del suelo por presencia de letrinas
- c. Contaminación de playas por residuos sólidos.
- d. Otros:

1.1. ¿Qué problemas sociales identifica en el poblado la Gramita?

- a. Falta de redes de alcantarillado (desagüe)
- b. Falta redes de agua potable
- c. Desinterés de las autoridades
- d. Ausencia de electrificación
- e. Otros:

2. ¿Conoce una planta desalinizadora por ósmosis inversa?

SI NO

3. ¿Le gustaría que se implemente una planta desalinizadora por ósmosis inversa en el poblado la Gramita?

SI NO

4. ¿Conoce el sistema fotovoltaico o paneles solares?

SI NO

5. ¿Le gustaría que se implemente paneles solares para generar energía eléctrica en el poblado la Gramita?

SI NO

6. ¿Qué cantidad de agua aproximadamente utiliza en una semana?

.....

7.- ¿Cuántas personas viven en su domicilio?

.....

Anexo 13. Formato de cálculo para dimensionamiento fotovoltaico.

DIMENSIONAMIENTO DE SFA				
Cálculos del dimensionamiento fotovoltaico para la planta desalinizadora				
Cargas de consumo				
EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS DE USO/DIA (h)	CONSUMO DIARIO (Wh)
Desalinizador	1	2191.04	24	52585.06
CÁLCULOS DE ENERGÍA			CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA (VASO) ELEGIDA	
Energía demandada:	52585.06	Wh	Voltaje nominal:	2 V
Irradiación diaria media mensual	6100	Wh/m ² .día	Capacidad a C20:	3500 Ah
Rendimiento del sistema (PR):	0.7		Profundidad de descarga máxima:	65 %
Energía que producirá el GFV	75121.52	Wh/m ² .día		
DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN			CARACTERÍSTICA DEL MÓDULO ELEGIDO	
Voltaje	48	V	Potencia pico:	280 W
Profundidad de descarga:	65	%	Voltaje de máxima potencia:	31.30 V
Capacida nominal	1565.03	Ah	Corriente de máxima potencia:	8.96 A
Capacidad real:	2407.74	Ah	Voltaje de circuito abierto:	39.10 V
Número de baterías en serie:	24	Und.	Corriente de corto circuito:	9.50 A
DIMENSIONADO DEL GENERADOR FV			CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR ELEGIDO	
			Voltaje del sistema de acumulación:	48 V
Potencia máxima requerida:	12520.25	W	Mínimo voltaje mppt:	60 V
Cantidad de módulos requeridos:	45	Und.	Máximo voltaje mppt:	115 V
Cantidad de módulos definidos:	45	Und.	Máximo voltaje de circuito abierto:	145 V
Potencia máxima resultante:	12600.00	W	Máxima corriente de entrada FV	80 A
CONFIGURACIÓN DEL GFV			CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR ELEGIDO	
Panel de N módulos en serie N =	3		Potencia:	5000 W
M cadenas de N módulos en serie M =	5		Frecuencia:	60 Hz
T arreglos de N x M cada uno T =	3		tensión AC:	230 V
DIMENSIONADO DEL CONTROLADOR				
Corriente de entrada	44.8	A		
Tensión de entrada	93.9	V		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Flujo de Caja

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Ingresos													
Ventas	S/0,00	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60
Total de Ingresos S/.	S/0,00	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60	46.483,60
Egresos													
Inversión Inicial	382.125,84												
Paneles solares y componentes	236.112,59												
Equipo de Osmosis inversa	40.803,00												
Bomba de agua con paneles	13.048,25												
Estudios de expediente Técnico	20.100,00												
Infraestructura mano de obra	72.062,00												
Materiales para coneccionado	16.750,00												
Sueldos	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00
Mantenimiento	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Gastos administrativos	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Impuestos	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00
Total de Egresos	410.925,84	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00	28.800,00
Flujo de caja S/.	-410.925,84	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60	17.683,60

VAN

-290.435,24

Tasa de interés ref.

10%

TIR

-9%

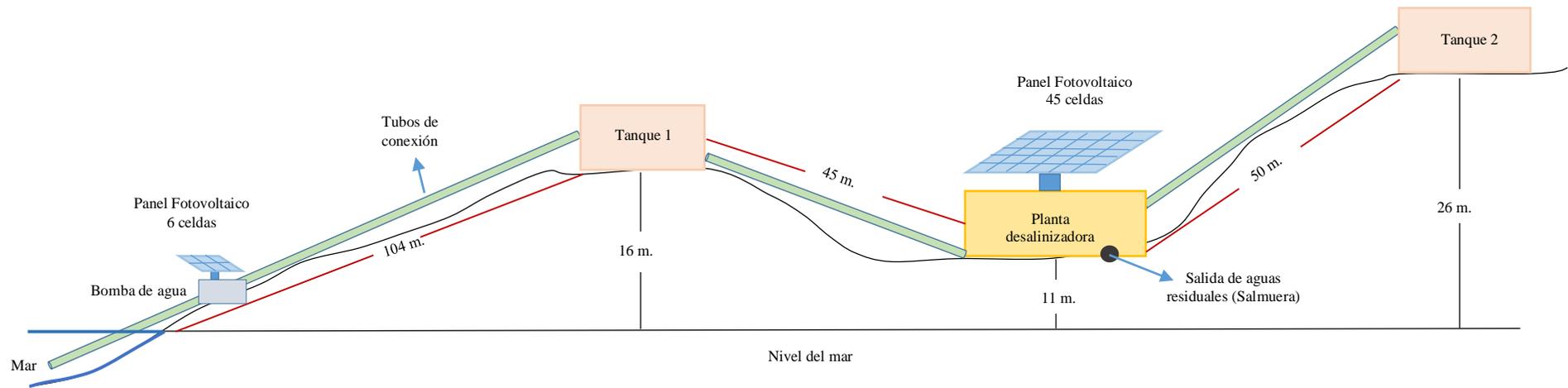
El valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) analizados para el proyecto considerando una tasa de interés de 10%, (ver anexo 14) resulto de la siguiente manera. La tasa interna de retorno obtenida, para un periodo de 12 años es negativa, lo cual indica que el proyecto podría generar pérdidas, considerando las ventas totales del proyecto. La recuperación del capital está proyectado en un horizonte de 24 años, lo cual sería rentable posterior a ello.

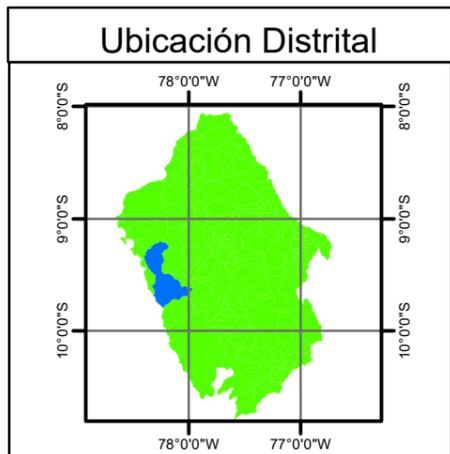
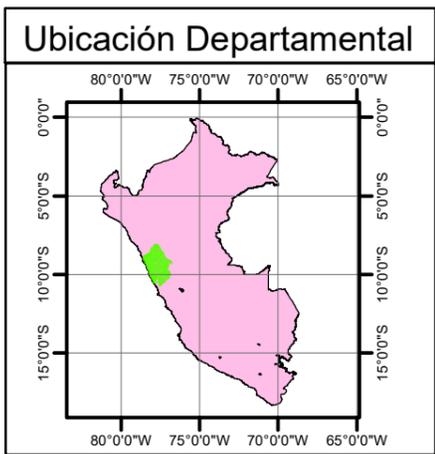
El valor actual neto (VAN) obtenido, no agrega valor económico por haber resultado negativo, evaluando un horizonte de 12 años. La inversión inicial es rentable después de un horizonte de 24 años, motivo por el cual, este proyecto se propone como un proyecto social, financiado por el gobierno regional.

Anexo N° 15:

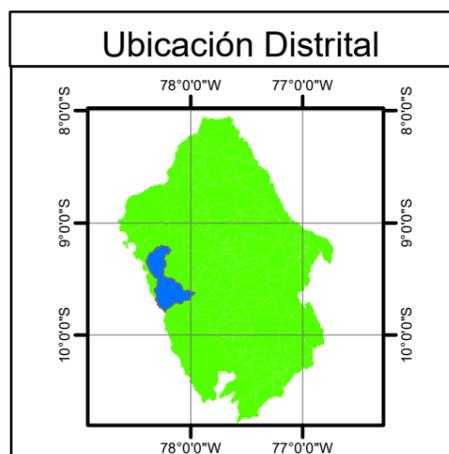
CORTE TRANSVERSAL DEL PROYECTO

Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora por osmosis inversa en La Gramita - Casma

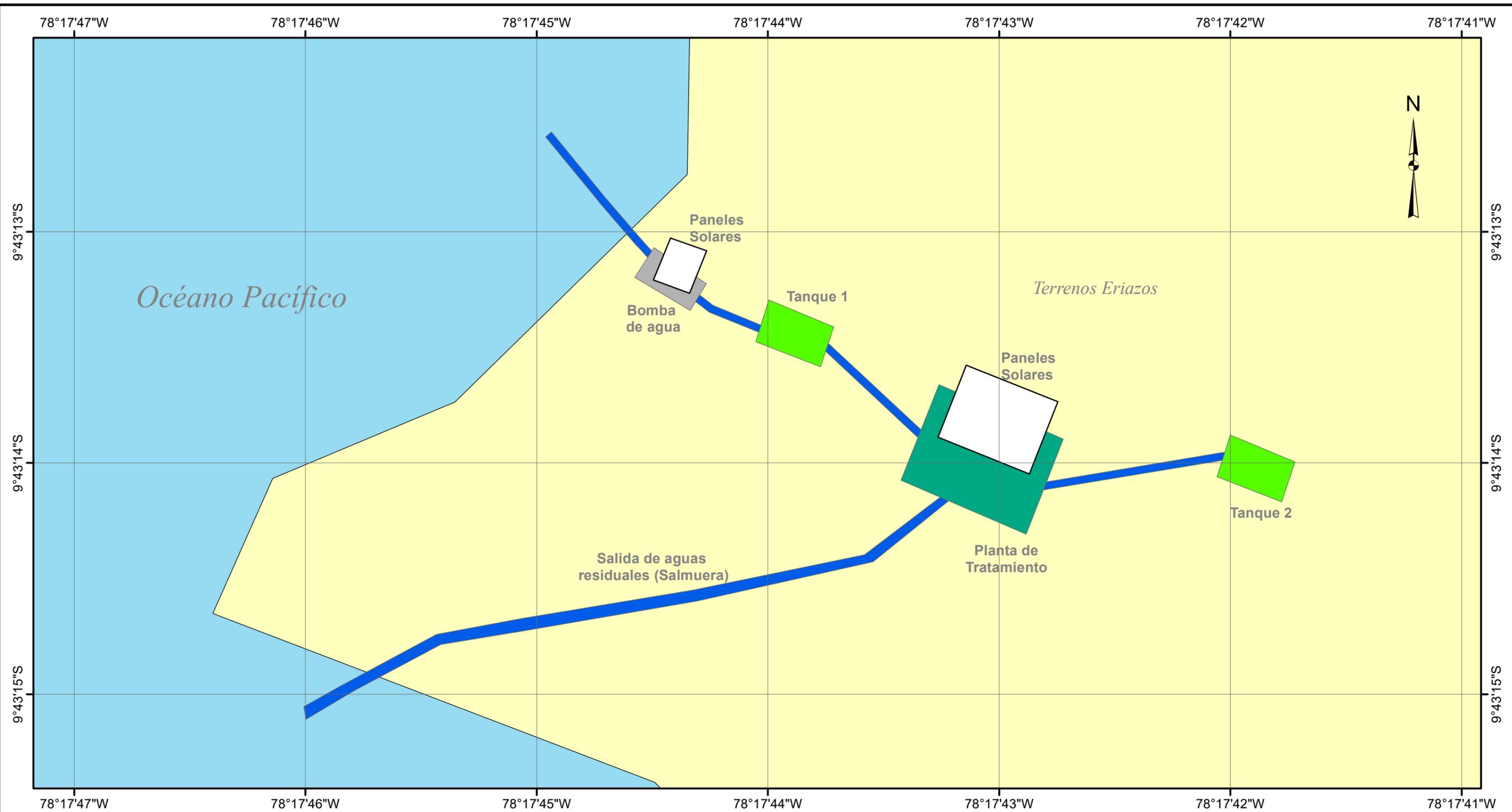




UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL Escuela Universitaria de Posgrado Maestría en Ingeniería Ambiental		
Tesis: Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora por osmosis inversa en La Gramita - Casma		
Plano de:	DISTRIBUCIÓN DE VIVIENDAS DEL POBLADO LA GRAMITA - CASMA	Plano N° 01
Elaboración: Amanda Cerrón	JULIO 2018	Escala: 1 / 1, 600
Sistema de Coordinada: Geografica sexagesimal WGS 84- 17S	Fuente: Basado en mapa de catastro de Municipio de Casma	



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL Escuela Universitaria de Posgrado Maestría en Ingeniería Ambiental		
Tesis: Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora por osmosis inversa en La Gramita - Casma		
Plano de: Ubicación de los componentes del Proyecto en La Gramita	Plano N° 02	
Elaboración: Amanda Cerrón	JULIO 2018	Escala: 1 / 2, 200
Sistema de Coordinada: Geográfica sexagesimal WGS 84- 17S	Fuente: Elaboracion propia, basada en mapa de castro del municipio de Casma	



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL Escuela Universitaria de Posgrado Maestría en Ingeniería Ambiental		
Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento funcionamiento de una planta desalinizadora por osmosis inversa en La Gramita - Casma		
Plano de:	Componentes del Proyecto	Plano N°: 03
Elaboración:	Amanda Cerrón	JULIO 2018
		Escala: 1 / 500
Sistema de Coordenadas:	Fuente: Elaboracion propia, basado en	
Geográfica sexagecimal WGS 84- 17S	mapa de catastro del municipio de Casma	

Leyenda	
nombre	
	BOMBA DE AGUA
	PANELES SOLARES
	PLANTA DE TRATAMIENTO
	TANQUE 1 Recepción de agua de mar
	TANQUE 2 Recepción de agua tratada
	CONDUCTOS

INFORME DE ENSAYO IE18/AAMB-0007

CLIENTE AMANDA CERRON CONTRERAS
DIRECCION
TELEFONO 999 229 205
Email amandacerroncc@yahoo.com
TIPO DE MUESTRA Agua de mar

LUGAR / ZONA La Gramita -Casma.
ENSAYOS SOLICITADOS ANÁLISIS COMPLETO DE AGUA
FECHA DE MUESTREO 11/03/2018
FECHA DE INICIO / FIN DE ENSAYO 11/03/2018 al 17/03/2018

	Código Muestra	AA18/0023
	ID Cliente	Agua de mar
PARAMETROS	Unidades	Resultado

FISICOS - QUIMICOS

pH (1/1)	Und. pH	7,58
CE (1/1)	dS/m	49,60
TDS	mg/L	31872
Salinidad	‰	24,10

CATIONES SOLUBLES

Calcio	meq/L	15,75
Magnesio	meq/L	119,17
Sodio	meq/L	534,78
Potasio	meq/L	11,82

ANIONES SOLUBLES

Carbonatos	meq/L	<0,1
Bicarbonatos	meq/L	2,99
Cloruros	meq/L	587,50
Sulfatos	meq/L	77,08
Nitratos	meq/L	0,01

	Código Muestra	AA18/0023
	ID Cliente	Agua de mar
PARAMETROS	Unidades	Resultado

MICRO ELEMENTOS SOLUBLES

Cobre	mg/L	0,073
Zinc	mg/L	0,018
Manganeso	mg/L	0,098
Hierro	mg/L	0,069
Boro	mg/L	5,32




 Quim. Angel Norabuena Segovia

CQP N° 737

CRM Soluciones Industriales

Compra y Venta - Servicios Generales

RUC: 10423765459

Tel: 966165808. Email: croccam@uni.pe

CCI BBVA (Soles): 011 - 335 - 000200281847 - 70

C-020-18

Lima, 19 de Septiembre de 2018

Señor

AMANDA C ERRON CONTRERAS

PRESENTE.

Atn. **Ing. Erick Alfaro**
Ref.: **Sistema Fotovoltaico**

De nuestra consideración:

En atención a su amable solicitud, por la presente tenemos el agrado de hacerle llegar nuestro presupuesto por el suministro de un SFV solicitados con el resumen siguiente:

Item	Descripción	Unid.	Cant.	P.U.	\$	P. Parc. \$
1	Paneles solares de 325Wp policristalino. Marca Yingli solar.	Und	45	325.00		14,625.00
2	Inversor inusoidal con regulador de carga Steca Solarix PLI 5000-48.	Und	3	1,095.00		3,285.00
3	Kit de configuración trifasica para PLI 5000-48.	Und	1	180.00		180.00
4	Banco de baterías tubular de 2V, 2500Ah@C10. Marca Narada modelo 200PzV-2500. Incluye puentes.	Und	1	33,840.00		33,840.00
5	Soporte metálico ligero tipo triangular con ángulo de inclinación de 15°, fabricado en base de ángulos de 1.1/2" y canal tipo U en acero A36, preparado para anclar en azotea y para albergar 45 paneles, todo en Galvanizado en caliente resistente para climas de la costa. Incluye elementos de sujeción: pernos tuerca y arandelas galvanizados en G°5, pernos de anclaje y tacos de expansión metálicos.	Und	1	4,500.00		4,500.00
6	Caja de combinación tipo PACS (SES) para montaje exterior, con borneras "+" y "-" debidamente aisladas, cada una de un mínimo de 10 "in puts" de hasta N° 10 AWG y 2 "out puts" de hasta N° 4 AWG, además de un Supresor de Voltajes Inducidos "SURGE ARRESTER" (procedencia USA) para DC de 50,000 amp de capacidad.	Und	1	250.00		250.00
7	Kit de Pozo tierra vertical.	Und	1	950.00		950.00
8	Accesorios de instalación: Cables, ITM's en DC, portafusibles, etc.	Und	1	1,850.00		1,850.00
9	Embalaje y traslado de materiales a las instalaciones del CER.	Und	1	250.00		250.00
				Sub Total:	\$	59,730.00
				IGV (18%)	\$	10,751.40
				TOTAL	\$	70,481.40

NOTA:

No incluye mano de obra por instalación.

Condiciones Comerciales:

FORMA DE PAGO	:	Deposito al contado o en nuestro Nro. De Cuenta.
PLAZO DE ENTREGA	:	Inversores y accesorios: 7 semanas. Paneles solares: 4 días. Accesorios: 15 días. Fabricación de soportes: 3 semanas.
GARANTÍAS	:	Un año.
Validez de Oferta	:	30 días.

Atentos a sus indicaciones o consultas y en espera de sus gratas órdenes, nos suscribimos de Uds. Atentamente.

Ing. Christian Rocca Martinez



RUC: 20448031510
 DIRECCION: Jr. Túpac Cantari 345 Int.6. Huáscar - Puno
 TELEFONOS: 051-367991 RPM: #951600122
 E-MAIL: electrosolpuno@hotmail.com

CLIENTE : Amanda Cerron Contreras COTIZACION 02121-18
 REFERENCIA : Cotización bomba solar de superficie FECHA 23/09/2018
 PAGINAS 1 de 1
 DIRECCION: :
 CIUDAD: : Lima TELEFONO:
 CELULAR:
 E-MAIL:

Cotizacion Kit bomba solar de superficie

ITEM	UND.	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Kit	1	Bomba de agua PS2-600 CS-F3-7 de superficie incluye controlador (LORENTZ)	3,895.00	3895.00
		1	PV Disconnect 440-40-1		
		1	MNSPD protector 300V		
		1	Sensor de luz		
		1	sensor de pozo seco proteccion de bomba		
		2	surge protector		
		1	Sensor de presión		
		6	Panel solar Yingli de 12V100Wp policristalino		
		1	Estructura metalica para 6 paneles		

Sub Total 3300.85 IGV (18%) 594.15 Total a Pagar (US\$.) 3895.00

Son: Tres mil ochocientos noventa y cinco con 00/100 DOLARES

Nota : No incluye flete envio de Puno a Lima, indicar medio de transporte para el envio.

Condiciones Generales

Precios : Dolares Americanos
Garantía : 12 Meses contra defectos de fábrica
Forma de Pago : 50% adelanto 50% contraentrega
Tiempo de Entrega : 6 semanas recibido la orden de compra.
Validez de la Oferta : Quince días
Para depósito Bancario : BCP Cta. Cte. N°495-2243378-0-81 soles.

VENDEDOR: Felipa Roque APROBACIÓN DEL
 AUTORIZADO POR: Jorge Huaraco CLIENTE:



DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas

Santiago, 2 de Diciembre de 2017

Señorita
Amanda Cerrón Contreras,
Lima, Peru,
Presente.

Ref: Equipo de Osmosis Inversa para desalinizar agua de mar + Consumibles.

Estimada Amanda,

Nos es muy grato presentarle esta propuesta de nuestra representada Echo Marine Ltd. por un sistema de desalinización por osmosis inversa para agua de mar (SWRO) de 6.800 litros por día, completo con filtros, instrumentación y los componentes, tuberías y conduit interconectantes requeridos. El sistema es montado en un bastidor de aluminio marino áspero para una resistencia máxima a la corrosión.

El modelo ECHO Tec. 1800-BHL-4 cotizado, es completo con toda la tubería interna, vasos de presión de membranas, membranas, controles eléctricos y de caudal, filtros cartucho e ítems accesorios necesarios para constituir plantas SWRO según lo especificado aquí.

La planta es diseñada para una recuperación de 30% de recuperación de agua proveniente del mar, utilizando membranas de alto rechazo, alta recuperación, para optimizar la eficiencia energética y lograr un costo de operación bajo. El sistema requiere un mínimo de mantención e interacción de operadores.

Dado que el agua tratada es extremadamente blanda y contiene muy pocas sales, ECHOTec ha sido el primer fabricante que **incluye un sistema de post tratamiento como estándar para mejorar la calidad del agua tratada**. El recientemente desarrollado dispensador de mineral devuelve algo de la dureza al agua, ofreciendo una práctica solución de baja mantención, que ahorra hasta 50% de agua potable. El elemento de post tratamiento de ECHOTec también contiene una mezcla de minerales que devuelven alcalinidad de bicarbonato, corrigiendo el pH suficientemente para lograr un equilibrio neutro. Esto reduce dramáticamente la corrosión de estanques metálicos, calderas, lavadoras y plomería debido a agua producto ácida. Al ser levemente remineralizada el agua, también mejorará el gusto del agua producto.





DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas

Especificaciones del Equipo e información de operación básica (para el caso de alimentación con agua de mar)

Tipo:	ECHO Tec. System 1800-BHL-4
Producción:	6800 lt por día (versión servicio continuo)
Rango de Temperatura:	5 -35°C
SDT Agua Cruda de alimentación:	35,000ppm aproximadamente
Recuperación:	30%
Producto / Permeado SDT:	200-500ppm (excede los estándares WHO)
Presión OI:	800psi
Caudal de Alimentación Agua Cruda:	3,0 gal / min
Presión Máxima de Alimentación:	50psi
Presión Mínima de Alimentación:	15psi
Fuente de Alimentación:	Agua de mar limpia, idealmente desde un pozo para que filtre el agua de mar antes.
Consumo de Poder:	11,2 Amps a 220V 50 Hz, 1 fase (uso continuo)

Dimensiones:

- H 52" x W 26" x D 19"

Alcance de los Componentes

- Skid vertical de Aluminio con bombas/motor de alta presión 316Ti , paneles de control eléctrico y de caudal
- Bastidores de vasos de presión 4 membranas de OI de compuestos de película delgada
- Carcasas de filtros cartucho de polyester plisado, 5 y 20 micrones, 4 1/2" x 10"
- Sistema de post tratamiento amortiguador de pH / endurecedor

Instrumentación

El sistema de desalinización es equipado con toda la instrumentación necesaria, para el control y supervisión de la operación de la unidad. La instrumentación incluye:

Medidores de Presión:

- Entrada de agua de alimentación al filtro (316SS lleno con glicerina)
- Agua de alimentación a la salida del filtro (316SS lleno con glicerina)
- Presión OI (316SS lleno con glicerina)

Medidor de Caudal: Descarga de producto

Medidor de Horas: Tiempo total de operación

Conductividad: Monitor digital de calidad del agua producto - ppm SDT





DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas

Las siguientes funciones automáticas están incluidas:

- Desconexión por baja presión de agua de alimentación (ej. Entradas de agua de mar o de pre-filtros obstruidas)
- Desconexión por presión alta de OI

Opcionales disponibles:

Enjuague Automático con agua dulce – US\$ 365 (recomendado por ECHOTec)

El enjuague automático se efectúa después de cada uso del sistema desalinizador por una duración de enjuague prefijada en fábrica y ajustable por el usuario. El reloj del enjuague automático puede también ser activado apretando un botón para extender el tiempo de almacenamiento de las membranas sin hacer partir el Sistema desalinizador.

Desviador de producto / Monitor de SDT - US\$ 485 (recomendado por ECHOTec)

El desviador automático de producto / monitor de SDT (Sólidos Disueltos Totales) muestra constantemente la salinidad del agua en la pantalla LCD. Al partir, una vez que el agua producto cumple con la calidad de agua según lo prefijado en fábrica o ajustado por el usuario, el producto es desviado al estanque de agua dulce. La demora asegura agua dulce de calidad, libre de cualquier olor independientemente del valor de SDT en el monitor. La válvula del desviador a prueba de fallas (nunca permite que producto inseguro ingrese al estanque) tiene una opción manual (permite testeo manual y llenado del estanque a través de una válvula estándar de 3 vías en el panel de control).

Los equipos ECH2O Tec. Watermakers utilizan filtros y membranas de tamaño estándar y de marcas de reconocida calidad internacional. El fabricante de los pre-filtros es Harmsco y las membranas son fabricadas por Koch o Filmtec, líderes norteamericanos en la fabricación de membranas para equipos de Osmosis Inversa para la desalinización de agua de mar. A su vez, ambos utilizan materias primas originales de Dupont. Los equipos vienen pre-armados y, por ser compactos, ocupan un espacio muy reducido.

La utilización de tamaños estándar garantiza una mayor disponibilidad y menores costos de los repuestos para la mantención de los equipos.

La serie ECHOTec BHL ha sido concebida para garantizar alta confiabilidad y fácil operación. Comandada electromecánicamente exclusivamente, elimina los usuales problemas de los circuitos electrónicos. La ejecución en bastidor vertical hace que esta serie sea de fácil instalación, ahorrando espacio vital. Las medidas del equipo son de 118cm (Altura) x 70cm (Frente) x 47cm (Fondo). El peso del equipo 1800-BHL-4 más consumibles embalado es de aproximadamente 175 Kgs.





DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas

COTIZACIÓN:

Unids		TOTAL US\$
1	Equipo O.I. Modelo 1800-BHL-4, Bastidor Vertical, ex fábrica Trinidad y Tobago.	9.890,00
	Repuestos y consumibles para aproximadamente 1 año de operación:	
15	Filtros 9 3/4" x 4 1/2" BB de 5 micrones de repuesto	352,50
15	Filtros 9 3/4" x 4 1/2" BB de 20 micrones de repuesto	352,50
2	Filtros de carbón activado	38,00
1	Cartucho neutralizador de pH	68,50
1	Kit de sellos "O-ring" para sistema completo (excepto bomba)	48,50
1	Kit de sellos para la bomba de alta presión (Aceite y Agua)	225,00
1	Kit de mantención extendida	85,00
1	Kit de válvulas para la bomba de alta presión – solo por emergencia ya que no es parte de la mantención programada	135,00
	Total	11.195,00
	Flete aéreo estimado (incluye embalaje y documentos de exportación) Trinidad – Aeropuerto Internacional de Lima, Perú (SAL)	985,00
	Total CIF Lima, Peru (valor aproximado)	12.180,00

Notas:

- 1) Esta cotización es por los equipos solamente. No incluye obras civiles, acometidas eléctricas, instalación o cualquier otro ítem requerido no especificado, como ser peras de nivel de estanque, etc, los cuales serán proveídos por el cliente.
- 2) Para el equipo de Osmosis Inversa no se incluye un set de 4 membranas de repuesto por equipo, ya que estas normalmente duran 4 a 5 años, y solo es necesario cambiarlos cuando el rechazo de sal decrece en 20% y este no mejora después de la limpieza de las membranas. El costo ex fábrica del set de 4 membranas es actualmente de US\$1.800.
- 3) No se incluye 24 Lts de aceite para la bomba de alta presión para el equipo 1800-BHL-4 por tratarse de SAE90, aceite de caja de cambios localmente disponible. Para un uso intensivo continuado se recomienda cambiar el aceite cada 400 horas y no cada 200 horas como se indica en el Manual del Propietario.
- 4) No se incluye Inicio de Marcha y Entrenamiento de operadores, por no ser normalmente necesario.
- 5) La importación será efectuada directamente por usted a nuestra representada, con nuestro apoyo.



DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas

Términos y Condiciones:

Validez de la Cotización: 30 días

Condiciones de Pago: 50% con Orden de Compra.
50% contra entrega ex fábrica Trinidad y Tobago

Plazo de entrega:

- 1800-BHL-4 - Aproximadamente 3 semanas ex-fábrica de recibida la orden de compra + 15 días entrega en Lima, Peru.

Costo de Operación y de Mantención:

A modo referencial y considerando el costo anual de operación y mantención durante un período de 8 años, el costo por m3 de agua producida será de aproximadamente US\$0,50 (esto incluye reemplazos de filtros, químicos de limpieza, bomba de alta presión – sellos, válvulas y repuestos – aceite de bomba de alta presión, y reemplazo de membranas).

Nota: No incluye el costo de energía eléctrica.

Instalación, Inicio de marcha y entrenamiento

Los sistemas ofrecidos son “Plug & Play” y por lo tanto su instalación es muy sencilla, consistiendo básicamente en proveer la entrada de agua de mar, estanque de agua de almacenamiento y decantación del agua cruda, un drenaje del agua de descarte, tuberías desde el equipo a un estanque de almacenamiento y las conexiones eléctricas. El Manual del Propietario entrega detalles de la instalación, operación, mantención y garantías del

equipo. Todo el material de instalación no incluido con el equipo, debe ser proporcionado por el cliente.

Temperatura y salinidad del agua de alimentación

Si la temperatura del agua de mar de alimentación es de 26°C, el equipo producirá hasta 6,8 m3/día para el equipo 1800-BHL-4. A su vez, si la salinidad es menor a 33.000 ppm de sólidos disueltos totales, el caudal de agua permeada aumentará.

Para aumentar la producción de agua producto se recomienda precalentar el agua a 30°C

Para proteger el equipo se recomienda que el agua de alimentación sea filtrada previamente con filtro de arena o similar.

Si están considerando almacenar el agua tratada y utilizarla como agua potable, se recomienda dosificarle cloro a la entrada al estanque de almacenamiento de agua tratada.



DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas

Garantía:

Echo Marine Ltd. garantiza, al comprador original por un periodo de doce (12) meses de la fecha de embarque, que el ECHOTec. Watermaker se desempeñará según las especificaciones. La responsabilidad de Echo Marine bajo esta garantía se restringe a la reparación o reemplazo del ECHOTec. Watermaker a opción de Echo-Marine.

Para mayor información sobre nuestra representada, los equipos Serie BHL, como también sus características, manual del propietario y garantías, lo invitamos a visitar su sitio web a través del siguiente link

<http://www.echotecwatermakers.com> ó <https://www.desalinizadores.com/casa-de-playa/>

Esperando que la solución propuesta cumpla con los requerimientos planteados y quedando a su disposición ante cualquier consulta, le saluda muy atentamente,

David Walbaum M.
Gerente General
DAS Chile Ltda.
Cel: +56 9 93452678





DAS Chile Ltda

Tratamiento y Recuperación de Aguas



ECHOTec. 1800-BHL-4 Vertical framed Continuous Duty Version

