

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE
AGUA POTABLE CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y
CON ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA LA
LOCALIDAD DE CHAUPI SAHUACASI, PROVINCIA DE
AZÁNGARO – PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

ALEXANDER FRIEDRICH MEDINA MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA
POTABLE CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y CON ENERGÍA
ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA LA LOCALIDAD DE CHAUPI
SAHUACASI, PROVINCIA DE AZÁNGARO – PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

ALEXANDER FRIEDRICH MEDINA MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

ING. GUILLERMO NÉSTOR FERNÁNDEZ SILA

PRIMER MIEMBRO:

ING. ZENÓN MELLADO VARGAS

SEGUNDO MIEMBRO:

ING. SAMUEL LAURA HUANCA

DIRECTOR / ASESOR:

DR. SAMUEL HUAQUISTO CÁCERES

**TEMA: Comparación de bombeo de agua potable con energía solar y con energía eléctrica
convencional**

ÁREA: Hidráulica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica y Medio Ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de marzo del 2019



DEDICATORIA:

A mi madre Olga Mendoza Flores por motivarme para superarme cada vez que he tenido caídas; a mi padre Lolin Medina Arpasi por brindarme todo su apoyo incondicional en mi formación profesional. A mis hermanas menores Ruth Tania Medina Mendoza y Fanny Milagros Medina Mendoza que espero ser un ejemplo para ellas y viceversa.

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente, a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, con toda su plana de docentes que fueron parte primordial en mi formación profesional.

Asimismo, a mis compañeros del código 09, los mismos que compartieron conmigo cinco años maravillosos de formación universitaria

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
LISTAS DE ECUACIONES	10
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I	14
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1 Justificación del estudio.....	15
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
CAPÍTULO II.....	17
II. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1 ANTECEDENTES.....	17
2.1.1 Internacionales	17
2.1.2 A nivel nacional	18
2.2 MARCO LEGAL DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2.1 Abastecimiento de agua potable en zonas rurales	19
2.2.2 Estaciones de bombeo (agua potable).....	21
2.3 BASES TEÓRICAS Y DEFINICIONES BÁSICAS	22
2.3.1 Energía solar fotovoltaica	22
2.3.1.1 Energía solar	22
2.3.1.2 Espectro solar	22
2.3.1.3 Irradiancia - hora solar pico (hsp)	24
2.3.1.4 Movimiento de la tierra	25

2.3.1.5	Cartas solares	26
2.3.1.6	Masa de aire.....	28
2.3.1.7	Posición de un módulo fotovoltaico:.....	28
2.3.1.8	Ondas electromagnéticas.....	29
2.3.1.9	Efecto fotoeléctrico y paneles solares	29
2.3.1.10	Condiciones de prueba estándar (STC)	31
2.3.2	Diseño de un sistema de bombeo solar.....	32
2.3.2.1	Estimación de consumo.....	33
2.3.2.2	Datos del lugar.....	33
2.3.2.3	Dimensionado del generador fotovoltaico.....	33
2.3.2.4	Dimensionado del sistema de acumulación.....	34
2.3.2.5	Dimensionado del regulador.....	35
2.3.2.6	Dimensionado del inversor.....	35
2.3.3	Funcionalidad.....	35
2.3.4	Rentabilidad.....	36
2.3.5	Costos de inversión.....	37
2.3.6	Costos de operación y mantenimiento	37
CAPITULO III.....		39
III. MATERIALES Y MÉTODOS		39
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	39
3.1.1	Ubicación sistema fotovoltaico.....	39
3.1.2	Línea de postes para el sistema convencional	41
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	41
3.3	DISEÑO ESTADÍSTICO	41
3.4	PROCEDIMIENTO	41
3.4.1	Recolección de datos.	42
3.4.2	Procesamiento de datos.....	43
3.4.3	Cálculo de la funcionalidad	44
3.4.4	Diseño del sistema solar	47

3.4.4.1	Línea de impulsión	47
3.4.4.2	Estimación de consumo y irradiancia.....	49
3.4.4.3	Dimensionamiento de paneles.....	50
3.4.4.4	Dimensionamiento del sistema de acumulación.....	50
3.4.4.5	Dimensionamiento del regulador	51
3.4.4.6	Dimensionamiento del inversor.....	51
3.4.5	Inclinación del panel solar	52
3.4.6	Quinta etapa: calculo rentabilidad	54
3.4.6.1	Costos de inversión sistema fotovoltaico	55
3.4.6.2	Costos de inversión sistema convencional	57
3.4.6.3	Costos de mantenimiento	58
CAPITULO IV		60
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		60
4.1	FUNCIONALIDAD.....	60
4.2	RENTABILIDAD	60
CAPITULO V		61
V. CONCLUSIONES		61
CAPITULO VI		62
VI. RECOMENDACIONES		62
CAPITULO VII.....		63
VII. REFERENCIAS		63
ANEXOS		63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Espectro de irradiación solar sobre la atmósfera	23
Figura N° 2 Tipos de Radiación	24
Figura N° 3 Curva Irradiancia -Hora	24
Figura N° 4 Recorrido de la Tierra	25
Figura N° 5 Declinación Solar.....	26
Figura N° 6 Ubicación del Sol Respecto a la Tierra.....	27
Figura N° 7 Carta Solar	27
Figura N° 8 Masa Aire.....	28
Figura N° 9 Efecto Fotoeléctrico	30
Figura N° 10 Unión P-N	30
Figura N° 11 Especificaciones Tecnicas del panel solar	31
Figura N° 12 Componentes de un sistema aislado	32
Figura N° 13 Distribución de $N(\mu, \sigma^2)$	36
Figura N° 14 tarifas venta de energía en Azangaro	38
Figura N° 15 Ubicacion del Proyecto	39
Figura N° 16 Ubicacion estacion de bombeo	40
Figura N° 17 Línea de postes 48 KM	41
Figura N° 18 Línea de postes 48 KM	42
Figura N° 19 Radiacion Solar del 08/11/2014.....	43
Figura N° 20 Distribución normal Radiación Solar.....	45
Figura N° 21 Probabilidad de dos días de autonomía.....	46
Figura N° 22 Probabilidad de tres días de autonomía	47
Figura N° 23 Programa para hallar inclinación por mes	53
Figura N° 24 Distribución componentes y cerco.....	54
Figura N° 25 Diagrama de rentabilidad.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Periodo de Diseño de Infraestructura Sanitariaodo.....	19
Tabla N° 2 Dotación de agua según opción tecnológica y región (l/hab.d)	20
Tabla N° 3 Tipos de Radiación.....	23
Tabla N° 4 Componentes de recambio	38
Tabla N° 5 Radiacion Solar del 08/11/2014	43
Tabla N° 6 Radiacion Solar de noviembre del 2014	44
Tabla N° 7 Resumen HSP por año.....	44
Tabla N° 8 Un día de autonomia dist. Normal	44
Tabla N° 9 Dos días de autonomia dist. Normal (2014).....	45
Tabla N° 10 Tres días de autonomia dist. Normal (2014).....	46
Tabla N° 11 Datos para linea de impulsion	47
Tabla N° 12 Altura dinamica total.....	48
Tabla N° 13 Consumo medio diario	49
Tabla N° 14 Consumo medio diario real	49
Tabla N° 15 # de paneles en serie y paralelo.....	50
Tabla N° 16 Dimensionamiento de baterias	50
Tabla N° 17 Dimensionamiento ddel regulador	51
Tabla N° 18 Dimensionamiento del inversor	51
Tabla N° 19 Resultado del diseño.....	52
Tabla N° 20 Resultados carta solar figura 23	53
Tabla N° 21 Diferencias entre sistemas.....	55
Tabla N° 22 Partidas del sistema fotovoltaico.....	55
Tabla N° 23 Costo de inversion sistema fotovoltaico.....	56
Tabla N° 24 Partidas del sistema convencional.....	57
Tabla N° 25 Costo de inversion sistema convencional.....	58
Tabla N° 26 Costo mantenimiento (Sistema convencional).....	59
Tabla N° 27 Costo mantenimiento (Sistema fotovoltaicol).....	59
Tabla N° 28 Rentabilidad a 20 años (ver anexo B)	60

LISTAS DE ECUACIONES

Ecuación (1): Población de diseño.....	19
Ecuación (2): Caudal promedio diario anual	20
Ecuación (3): Caudal máximo diario	20
Ecuación (4): Caudal máximo horario.....	20
Ecuación (5): Caudal de bombeo.....	21
Ecuación (6): Altura dinámica o altura de bombeo de succion	21
Ecuación (7): Altura dinámica total en el sistema de bombeo	21
Ecuación (8): Masa Aire	28
Ecuación (9): Inclinación Optima.....	29
Ecuación (10): Consumo medios diarios	33
Ecuación (11): Numero de Paneles.....	33
Ecuación (12): Población de diseño.....	34
Ecuación (13): Población de diseño.....	34
Ecuación (14): Capacidad nominal diaria Wh.....	34
Ecuación (15): Capacidad nominal diaria Ah.....	34
Ecuación (16): Capacidad nominal estacional Wh.....	34
Ecuación (17): Capacidad nominal estacional Ah.....	34
Ecuación (18): Corriente de entrada	35
Ecuación (19): Corriente de salida.....	35
Ecuación (20): Potencia del inversor	35
Ecuación (21): Distribución Normal.....	45
Ecuación (22): Hazen-Williams.....	48

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AC	
Corriente Alterna	49
H.D.T	
Altura Dinámica Total	48, 49
HSP	
Horas Solares Pico	9, 33, 44, 49
IGV	
Impuesto General a las Ventas.....	60, 61
INEI	
Instituto Nacional de Estadística e Informática	15
KWh	
Kilo Watts hora.....	49
LTD	
Limited Company	31
MPPT	
Maximum Power Point Tracker.....	62
MVCS	
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	19, 20, 21, 47
OSINERGMIN	
Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.....	38
PTAP	
Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	19
PWM	
Pulse-Width Modulation.....	62
RAE	
Real Academia Española	36
RM	
Resolución Ministerial.....	19, 20, 21, 47
s.f.	
Sin Fecha.....	24, 26, 30, 31, 32
SENAMHI	
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	14, 16, 42, 43
STC	
Standard Test Conditions.....	31
Wh	
Watts hora	10, 33, 34, 49, 50, 58

RESUMEN

La presente investigación estuvo orientada a dar una solución eficiente y rentable para el abastecimiento de agua potable en la comunidad de Chaupi Sahuacasi con 107 viviendas, donde las fuentes de agua se encuentran muy por debajo de la cota terreno de las viviendas, siendo necesario el uso de energía para trasladar el recurso hídrico hacia un punto elevado, así pues, se puede usar un sistema de bombeo convencional eléctrico o hacer uso de la tecnología solar fotovoltaica. Para elegir la mejor opción, se determinó la funcionalidad del sistema fotovoltaico solar y la rentabilidad de cada alternativa. Primero, se recolectó la energía disponible por cada hora en un día durante 4 años y medio, con el análisis de datos obtenidos se diseñó un sistema de bombeo fotovoltaico con el mes más crítico del año 2014. Segundo, se determinó la rentabilidad de ambas opciones por un periodo de 20 años; para ello se calculó el costo de inversión (insumos, materiales, equipos, mano de obra, etc.), asimismo se calculó el costo de mantenimiento y operación (reparaciones, recambios, tarifas eléctricas, limpieza, etc.). Tercero, en base a los resultados se concluyó que el sistema de bombeo solar fotovoltaico es funcional y más rentable que un sistema eléctrico convencional.

Palabras clave: Sistema de Bombeo, Fotovoltaico, Rentabilidad, Funcionalidad

ABSTRACT

The present investigation was oriented to give an efficient and profitable solution for the supply of potable water at community from Chaupi Sahuacasi with 107 homes, where the water are very under the houses, then the energy is necessary to move the water to a high place; it is possible to use a conventional electric pumping system or use the solar photovoltaic technology; to choose the best option, the functionality of the solar photovoltaic system and the profitability of each alternative were determined. First, the available energy was collected for each hour in a day for 4 and a half years, with the analysis of data obtained, the photovoltaic pumping system was designed with the most critical month of 2014. Second, the profitability of both options was determined for a period of 20 years; for this, the investment cost (inputs, materials, equipment, labor, etc.) was calculated, as well as the cost of maintenance and operation (repairs, spare parts, electricity rates, cleaning, etc.). Third, based on the results, it was concluded that the photovoltaic solar pumping system is functional and more profitable than a conventional electrical system.

Key Words: Pumping System, Photovoltaic, Profitability, Functionality

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La electrificación ha sido de difícil implementar en nuestras comunidades rurales, más aún en zonas de difícil acceso, inclusive en aquellas que se ha logrado electrificar pudiéndose hacer uso del mismo para bombear agua con electricidad, en la práctica se ha constatado que estos sistemas que funcionan con electricidad no son sustentables con la economía que posee la población, ya que tienen que abonar mensualmente el consumo de electricidad para poder bombear agua hacia el reservorio.

Por tanto, muchos sistemas que fueron ejecutados con sistemas de bombeo eléctrico en zonas pobres y/o alejadas han sido un desperdicio en dinero e infraestructura, ya que dichos sistemas fueron cortados por electro-Puno y no están cumpliendo su cometido por el cual fueron construidos.

Por otro lado, la energía solar como nueva alternativa a la energía eléctrica convencional va posicionándose cada vez más accesible para implementarse en proyectos de agua potable debido al avance de la tecnología; asimismo el Perú cuenta con un gran potencial energético Horn (2006) afirma que:

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m²día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m²día, aumentando de norte a sur. (p. 9)

La radiación por departamento en el Perú muestra el mapa de puno; en el cual se aprecia que en Azángaro los meses de febrero, mayo y noviembre ronda los 5.5 kwh/m² a 6.0 kwh/m² y las tomadas en agosto son de 4.5 kwh/m² a 5.0 kwh/m². (SENAMHI, 2003)

Entonces habiendo la posibilidad de aprovechar este recurso nos resulta contradictorio que no se haya dado un uso masivo.

Además, con respecto a los costos de implementación Núñez & Cruz (2013) afirma que “Debido a la disminución experimentada en los costos de los sistemas de energía fotovoltaicos en los últimos años, estos sistemas se han hecho más accesibles y son una alternativa de solución para muchos lugares con carencias de energía” (p. 161)

Teniendo en cuenta los datos de las revistas mencionadas, estos pueden ser utilizados para el aprovechamiento de energía solar en la localidad de Chaupi Sahuacasi, sin embargo, no se tiene la certeza que tan posible y rentable es aplicar esta metodología.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las afirmaciones hechas en párrafos arriba nos llevan a preguntarnos si en la localidad de Chaupi Sahuacasi ¿se podrá diseñar un sistema de agua potable por bombeo mediante el uso de energía solar, el mismo que sea funcional y más rentable que un sistema eléctrico convencional?

Esta interrogante general nos lleva a analizar los siguientes ítems:

- ¿Será posible diseñar un sistema funcional y/o eficiente a base de energía solar para dotar de agua necesaria a las familias de Chaupi Sahuacasi?
- ¿Resulta rentable realizar un sistema de agua potable con el uso de energía solar con respecto al sistema eléctrico convencional?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El uso de energía solar fotovoltaica como nueva alternativa para el diseño de un sistema de bombeo de agua potable, llega a ser funcional y más rentable respecto a un sistema de bombeo eléctrico convencional, para la localidad de Chaupi Sahuacasi.

1.3.1 Justificación del estudio

El distrito de Azángaro padece del 56.4 % de pobreza según el INEI tomado en el año 2009, además según la misma institución en el año 2007 el acceso de agua potable solo era de 1 660 viviendas de un total de 10 817 viviendas.

Para la localidad de Chaupi Sahuacasi estos indicadores son más crudos, las 107 viviendas no cuentan con el servicio eléctrico, asimismo no tienen agua potable. Por otro lado, la única fuente de agua disponible en la localidad es el río Azángaro.

Las afirmaciones anteriores sugieren que se puede plantear un sistema de bombeo eléctrico convencional o implementar un sistema de bombeo fotovoltaico para cubrir las necesidades de agua potable. No obstante, para la segunda opción implica conocer la cantidad de radiación solar aprovechable en la zona de aplicación, el cual es el principal elemento para el dimensionamiento del sistema, por ende, su costo tanto para la inversión y el mantenimiento.

En la actualidad en proyectos similares se toma como valor de radiación los valores de 4.5 kwh/m² a 5.0 kwh/m² publicadas por el SENAMHI en el 2003, por último recurren a los valores de la NASA, por ello conocer la radiación solar por mes en nuestra región permite un mejor dimensionamiento del sistema y mejor aún si los datos son diarios – horarios, el cual muestra de manera correcta la variación real de la radiación solar.

Como beneficio inmediato de la investigación es la cobertura de agua potable a la localidad, anudado a esto la tesis va llegar a ser una guía metodológica para el diseño de un sistema de agua potable mediante el uso de energía solar; y por último los resultados obtenidos de la relación costo beneficio con respecto a otras técnicas nos permitirá tomar mejores decisiones para el tipo de bombeo a utilizar.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Comparar que tan rentable y funcional es un sistema solar fotovoltaico de bombeo de Agua Potable, con respecto a un sistema eléctrico convencional; para la localidad de Chaupi Sahuacasi.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener datos de la cantidad de energía solar disponible en la localidad de Chaupi Sahuacasi.
- Diseñar un sistema solar fotovoltaico de bombeo que sea funcional para abastecer con agua potable a la localidad de Chaupi Sahuacasi.
- Comparar la rentabilidad; es decir los costos de construcción, operación y mantenimiento para un sistema solar fotovoltaico de bombeo de agua potable respecto a un sistema eléctrico convencional.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales

Lara (2007); realizo el “Diseño de un Sistema de Riego por medio de Energía Solar, a través de Paneles fv” el cual presenta un trabajo acerca de un sistema de riego fotovoltaico para la zona de Buchupureo, la cual es una localidad rural ubicada hacia la costa de la ciudad de Chillán, en la Octava Región del país.

El objetivo principal fue diseñar un sistema de riego por goteo, mediante paneles solares para el riego de tomates, en una parcela de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de hectárea.

Para ello se determinó además la evapotranspiración del cultivo el tipo del suelo del lugar para determinar la cantidad de agua que requirió en dicha zona.

Después se hizo un trabajo topográfico para conocer las cotas y determinar la altura de bombeo solar, posteriormente se seleccionó los accesorios de riego, los paneles y el tipo de bomba.

Al finalizar estimo el costo que requirió la instalación de dicho sistema.

Cerdán (2010); realizo el Diseño de un Sistema de Bombeo Solar – Eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya, Veracruz, México; en este trabajo el lugar donde se piensa construir cabañas ecoturísticas no cuenta con servicios de electricidad y agua potable, cuya solución planteada fue el diseño de un sistema de bombeo que funcione mediante energía solar y eólica para poder abastecer a los habitantes de las cabañas, así como las necesidades de riego de las áreas verdes.

Primeramente, se hizo un perfil sociodemográfico del lugar, actividades económicas y atractivos culturales y turísticos

Segundo se realizó una recolección de datos de la situación de la oferta de energía fotovoltaica en México, de manera similar con la energía eólica.

Con los datos se realizó el dimensionamiento del sistema encontrándose con problemas de falta de energía eólica ya que los vientos eran menores a 4 m/s el mismo que produce

una potencia menor a los 20 watts, también se vio afectado el mes de febrero, debido a que en esa temporada escasean las lluvias y se requiere mayor demanda para el riego de áreas verdes.

Estrada & Arancibia (2010); en su artículo primeramente nos da unos datos de como los mexicanos son tan dependientes de los hidrocarburos casi en un 92%, como también la población sigue creciendo a razón de 6,600 a. 8000 millones de personas al 2030.

Llegan a la conclusión que se terminara los combustibles fósiles y la única forma de no ser tan dependiente es generando energía renovable de forma sustentable.

Además, exhorta a los gobiernos en realizar programas a largo plazo que garanticen la energía necesaria para los próximos años

2.1.2 A nivel nacional

Cruz (2012) presento un artículo sobre Los sistemas de energía solar fotovoltaica en el Perú; donde definió las principales características y aplicaciones de los sistemas de energía fotovoltaica, concluyendo que es una energía abundante y muy útil que puede ser usado en lugares rurales de difícil acceso a la electricidad.

Alata (2015) desarrollo el “Dimensionamiento de un Sistema de Bombeo con Paneles Solares- Caso UNALM “, el cual presento un trabajo para poder abastecer los servicios higiénicos de un pabellón de la Universidad Nacional Agraria La Molina, mediante el uso de una bomba solar con paneles solares fotovoltaicos, para ello realiza un dimensionamiento de una bomba solar.

Finalmente Díaz (2016); realizo el Proyecto de Inversión Social para el Abastecimiento de Agua Potable para el Caserío de Huaca Bandera – Distrito de Pacora – Provincia de Lambayeque usando un Sistema de Bombeo Solar”, el cual primeramente se realizó un diagnostico general de la población beneficiada y calculando un caudal necesario además se realizó su respectivo levantamiento topográfico para averiguar las cotas, con estos datos se procedió a dimensionar una bomba con las demandas requeridas.

2.2 MARCO LEGAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1 Abastecimiento de agua potable en zonas rurales

En el año 2018 el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS); mediante la Resolución Ministerial N° 192 aprobó la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural.

Por tanto, el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento para poblaciones rurales queda supeditado por la norma mencionada en el párrafo anterior, el mismo que sirve como guía de diseño.

El periodo de diseño va acorde a los años que va estar en funcionamiento correcto de los componentes que conforman el sistema de abastecimiento de agua potable. Los periodos máximos son los siguientes:

Tabla N° 1
Periodo de Diseño de Infraestructura Sanitaria

Estructura	Periodo de Diseño
Fuente de abastecimiento	20 años
Obra de captación	20 años
Pozos	20 años
Planta de tratamiento de agua para consumo humano (PTAP)	20 años
Reservorio	20 años
Líneas de conducción, aducción, impulsión y distribución	20 años
Estación de bombeo	10 años
Equipos de bombeo	10 años

Fuente: Adaptado del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento Resolución Ministerial N° 192 (2018).

La población de diseño o población futura se puede determinar con varios métodos; tales como método aritmético, geométrico, exponencial, curva logística, etc. Así pues, el método aplicado va depender de las características socioeconómicas y ambientales de la población, el RM No 192 del MVCS (2018); propone utilizar el método aritmético:

$$Pd = Pi * \left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

Ecuación (1): Población de diseño

Donde:

Pi: Población inicial (habitantes)

Pd: Población futura o de diseño (habitantes)

r: Tasa de crecimiento anual (%)

t: Período de diseño (años)

La dotación es el volumen de consumo de una vivienda en un día, en tal sentido la RM N° 192 del MVCS (2018); divide la dotación según la opción tecnología para la disposición de excretas y la región en donde será aplicado:

Tabla N° 2

Dotación de agua según opción tecnológica y región (l/hab.d)

	SIN ARRASTRE	CON ARRASTRE HIDRÁULICO
COSTA	60	90
SIERRA	50	80
SELVA	70	100

Fuente: Adaptado del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento Resolución Ministerial N° 192 (2018).

Las variaciones consumo de agua varia a lo largo de los días de un año por tal motivo es necesario saber el promedio, el mismo que se usa para el dimensionamiento de los componentes de un sistema de agua potable; para tal efecto la MVCS RM N° 192 (2018); establece:

$$Qp = \frac{(Dot * Pd)}{86400} \qquad \text{Ecuación (2): Caudal promedio diario anual}$$

$$Qmd = 1.3 * Qp \qquad \text{Ecuación (3): Caudal máximo diario}$$

$$Qmh = 2 * Qp \qquad \text{Ecuación (4): Caudal máximo horario}$$

Donde:

Qp : Caudal promedio diario anual en l/s

Qmd : Caudal máximo diario en l/s

Qmh : Caudal máximo horario en l/s

Dot : Dotación en l/hab.d

Pd : Población de diseño en habitantes (hab)

2.2.2 Estaciones de bombeo (agua potable)

Según el MVCS RM N° 192 (2018); recomienda adoptar un periodo de bombeo de 8 horas diarias, que serán distribuidas en el horario más ventajoso, en situaciones excepcionales se adoptarán un periodo mayor, pero considerando un máximo de 12 horas.

$$Q_b = Q_{md} * \left(\frac{24}{N}\right) \quad \text{Ecuación (5): Caudal de bombeo}$$

Donde:

Q_b : Caudal de bombeo, lps

Q_{md} : Caudal máximo diario, lps

N : Números de horas de bombeo hrs

La Carga Dinámica o Altura Manométrica Total según el MVCS RM N° 192, 2018; es el incremento total de la carga del flujo a través de la bomba. Así se define:

$$H_b = H_{s1} + H_i \quad \text{Ecuación (6): Altura dinámica o altura de bombeo de succión}$$

$$H_{dt} = H_g + H_{s2} + H_f \text{ total} + P_s \quad \text{Ecuación (7): Altura dinámica total en el sistema de bombeo}$$

Donde:

H_b : Altura dinámica o altura de bombeo, m.

H_i : Carga de impulsión, m.

H_{s1} y H_{s2} : Carga de succión y Altura de aspiración.

H_g : Altura geométrica

H_f : Pérdida de carga (totales).

P_s : Presión de llegada al reservorio/planta (se recomienda 2 m).

H_{dt} : Altura dinámica total en el sistema de bombeo.

2.3 BASES TEÓRICAS Y DEFINICIONES BÁSICAS

2.3.1 Energía solar fotovoltaica

2.3.1.1 Energía solar

El sol es la estrella de nuestro sistema solar, este funciona como un reactor termonuclear y está compuesto principalmente por helio e hidrogeno, estos últimos debido a las reacciones pierden masa, pero en realidad esa masa no se pierde porque la masa no se crea ni se destruye solo se transforma en energía en forma de radiación electromagnética y térmica. “El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 5 500 °C, ... La radiación en el sol es 63 450 720 W/m²” (Méndez, Cuervo & BUREAU VERITAS FORMACIÓN, 2012)

Parte de la energía producida por el sol se pierde en su camino hacia la tierra, la energía presente en la atmosfera de la tierra proveniente del sol se le llama constante solar; esta tiene un valor de 1353 W/m², variable en +- 3% debido a la forma elíptica de la órbita terrestre (Méndez et al, 2012, p. 33)

2.3.1.2 Espectro solar

El sol emite radiación solar en cual está compuesta de ondas electromagnéticas diversas, los cuales solo ingresan a la superficie ondas con una determinada energía. Por ello se denomina “espectro solar es su descomposición en longitudes de onda o colores” (Labouret & Villos, 2008).

Según Mascaros (2015, p. 39), la irradiación extraterrestre tiene su distribución espectral compuesta por infrarrojo 51%, luz visible 40%, y ultravioleta 9%, tal como se aprecia en la figura 1:

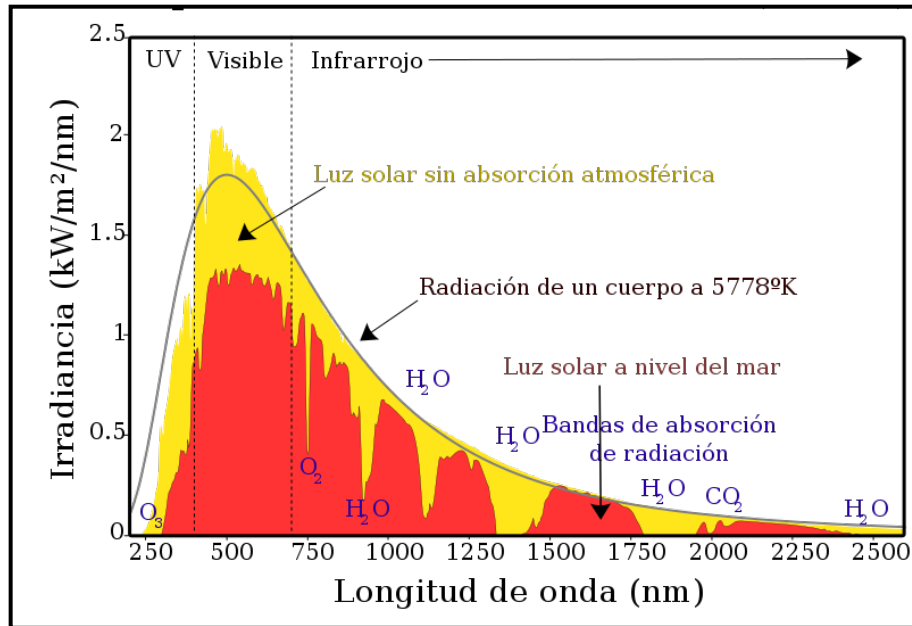


Figura N° 1: Espectro de irradiación solar sobre la atmósfera
Fuente: Fundación Wikimedia, Inc. (2016)

Tipos de radiación solar:

Según Méndez et al. (2012, p. 35) hay tres componentes de la radiación solar

Tabla N° 3

Tipos de Radiación

Tipos	Descripción
Directa	Es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
Difusa	Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
Albedo	Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

Fuente: Méndez et al. (2012, p. 35)

En la figura 2 se muestra que no toda la radiación llega a la superficie de la tierra, el 53% de la radiación es absorbida por la atmósfera o reflejada al espacio exterior, solo el 47% de la radiación solar es aprovechable.

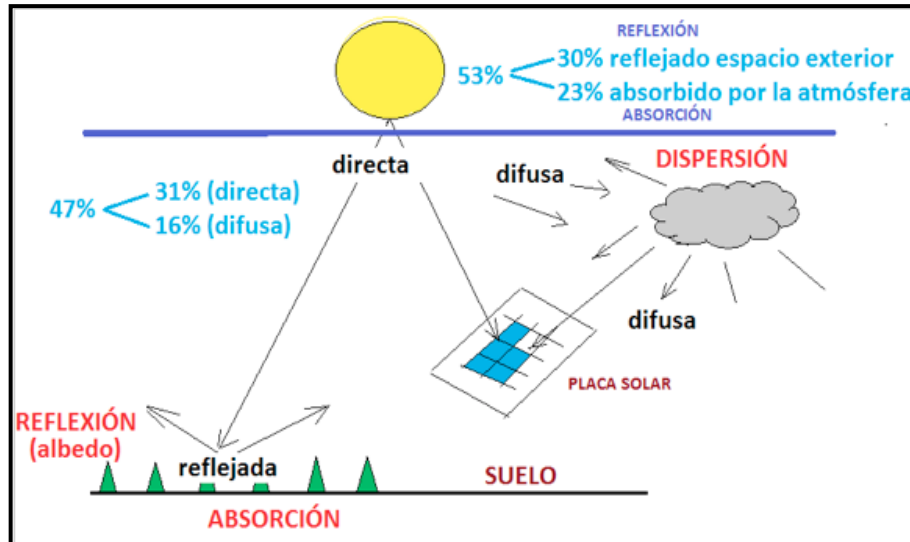


Figura N° 2 Tipos de Radiación
Fuente: Grupo T-Solar S.A.(2018)

2.3.1.3 Irradiancia - hora solar pico (hsp)

Según la Real Academia de Ingeniería (s.f.) ; Irradiancia es Potencia radiante recibida sobre una superficie por unidad de área, su unidad es W/m^2 ; por otro lado la Irradiación es cantidad de energía electromagnética, en forma de radiación térmica, recibida por unida de superficie en la unidad de tiempo.

Por consiguiente, la Irradiancia es la densidad de potencia instantánea, mientras que la irradiación es la suma integral de las Irradiancia instantáneas. Así se muestra en la figura.

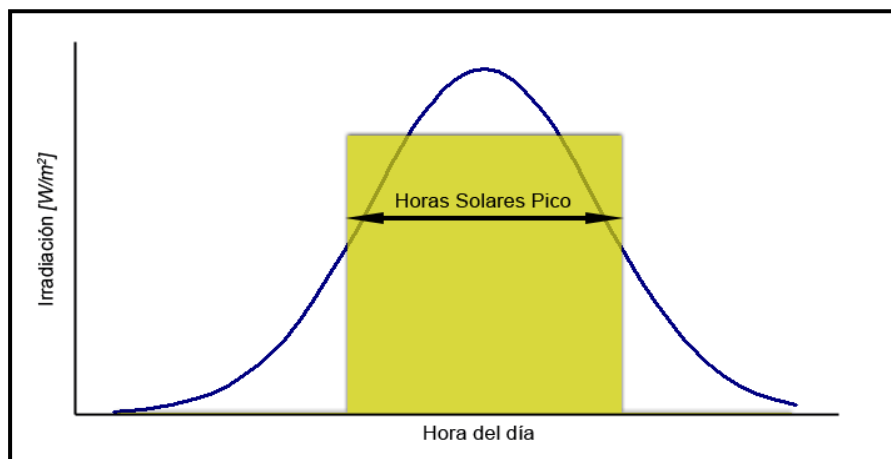


Figura N° 3 Curva Irradiancia -Hora
Fuente: Fundación Wikimedia, Inc. (2008)

En la figura 3 para saber la irradiación diaria se tendría que calcular el área bajo la curva, no obstante, resulta muy complicado realizar esto, porque supone integrar la función de la curva.

Para salvar esta situación se halla la Hora Solar Pico o Insolación que es “referido a una superficie con una orientación α y una inclinación β , como el número de horas de un día con una Irradiancia ficticia de 1000 W/m^2 que tendría la misma irradiación total que la irradiación real de ese día” (Mascaros, 2015, p. 48)

2.3.1.4 Movimiento de la tierra

Es sabido que la tierra no gira de manera circular alrededor del sol ni tampoco que gira sobre su eje que pasa por el norte geográfico; porque “la tierra describe alrededor del sol una trayectoria ligeramente elíptica, ... debido a la ligeramente excentricidad de la órbita terrestre, ... eje de rotación de la tierra sobre ella misma está inclinado $23^{\circ}27'$ ” (Labouret & Viloz, 2008).

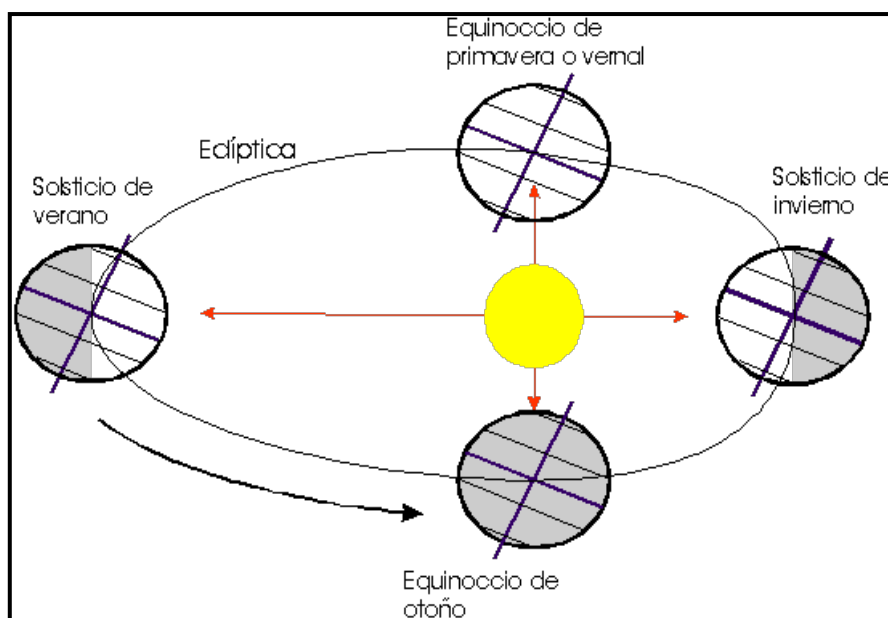


Figura N° 4 Recorrido de la Tierra
Fuente: Fundación Wikimedia, Inc.(2007)

En la figura 4 muestra los movimientos que permiten que exista las cuatro estaciones del año, pero además es parte fundamental en la instalación de los paneles solares, y mucho va depender de la ubicación geográfica del lugar.

En la figura 5 desde el punto de vista de un observador en tierra la trayectoria del sol se puede describir con la altura angular “ h ”, el cual es el Angulo entre la dirección del sol y el plano horizontal del lugar; así mismo el azimut “ α ”, que es el Angulo entre el meridiano del lugar y el plano vertical que pasa por el sol. (Labouret & Viloz, 2008, p. 29)

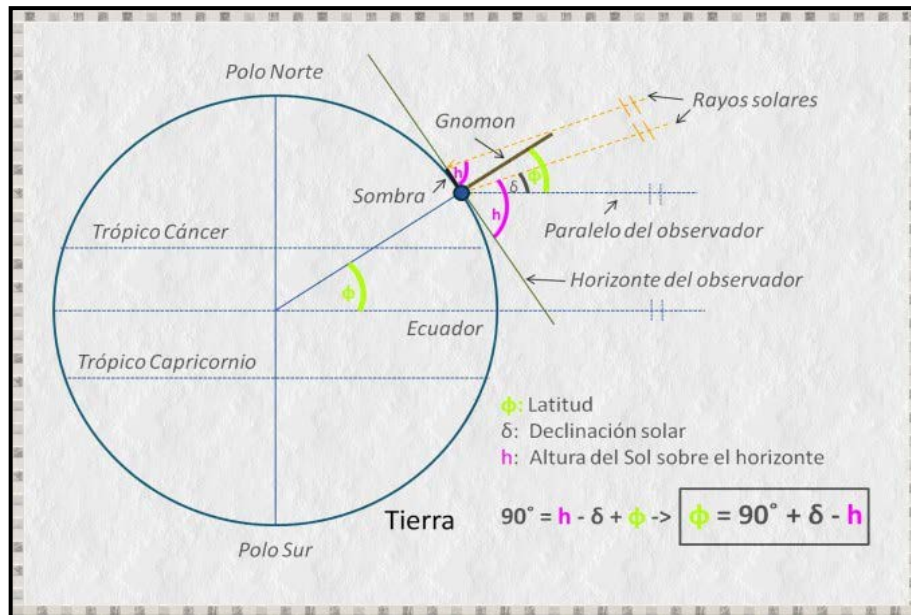


Figura N° 5 Declinación Solar
Fuente: Morales (s.f.)

2.3.1.5 Cartas solares

El sol con respecto a nosotros en la superficie terrestre no permanece estático, este varia durante en día, anudado a esto el sol cambia de trayectoria durante el año, por tal motivo se hace muy importante contar con un registro de la altura solar durante un día y de los cambios de acimut durante el año.

Los cambios varían de acuerdo al punto en que nos encontremos sobre la superficie terrestre. Si estamos ubicados en el hemisferio sur, siempre veremos la trayectoria del sol hacia el norte, ello implica que nuestros paneles solares deben ser orientados hacia el norte, de la misma manera es si estas ubicado en el hemisferio norte el sol lo vez del lado sur.

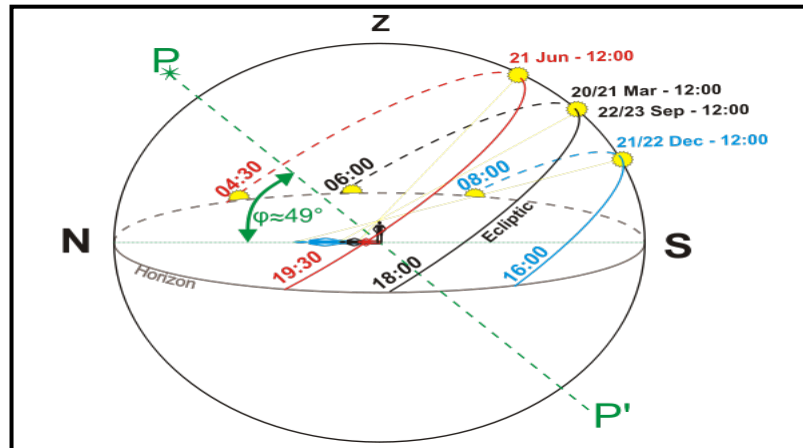


Figura N° 6 Ubicación del Sol Respecto a la Tierra
Fuente : Fundación Wikimedia, Inc. (2009)

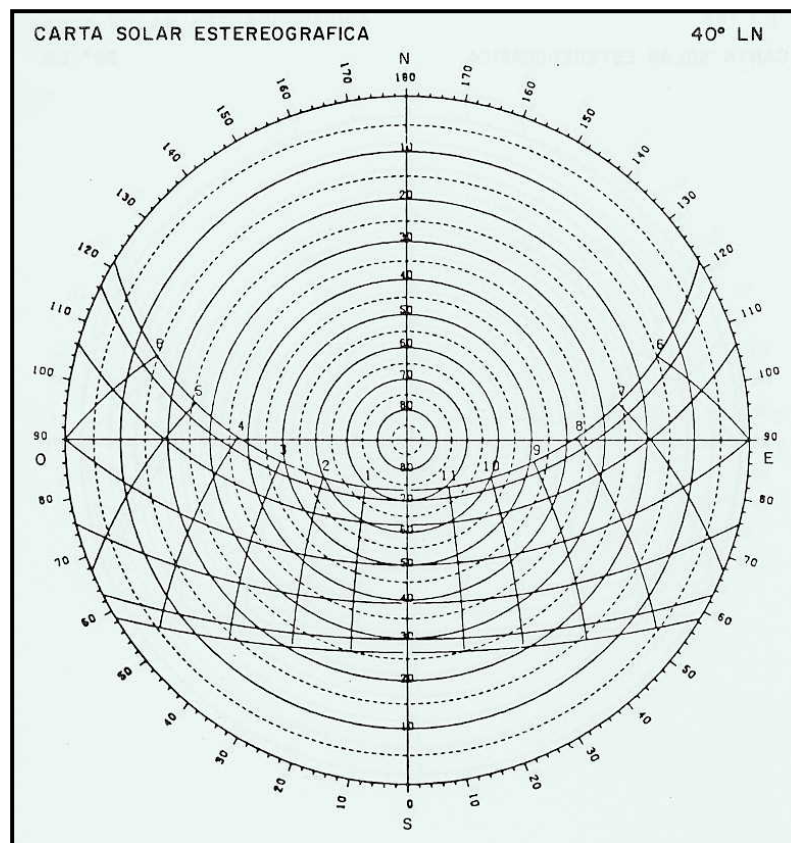


Figura N° 7 Carta Solar
Fuente: Pérez (2015)

En la figura 6 se muestra la trayectoria del sol vista desde el hemisferio Norte, determinar esto en cada mes resulta complicado. Para ello nos valemos de las cartas solares figura 7. Una carta solar es “un gráfico bidimensional que representa la trayectoria diaria del sol, ... el eje de las abscisas se representa los valores del azimut, mientras que, el eje de las ordenadas se representa la altura solar” (Mascaros, 2015).

2.3.1.6 Masa de aire

En la figura 8 cuando tu ubicación en la tierra es un punto alejado del ecuador la radiación solar va tiene que recorrer más distancia, en tal sentido “se denomina masa de aire (Air Mass en inglés), al cociente entre el espesor de la atmosfera atravesada por la radiación del sol (OM) y el espesor atravesando en la vertical del lugar (OA)” (Labouret & Viloz, 2008, p. 21)

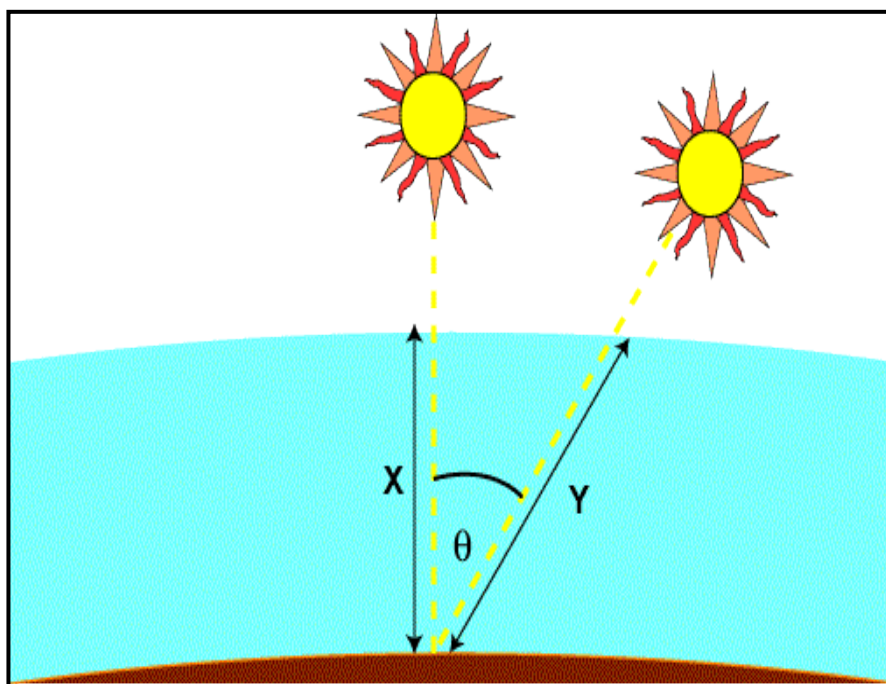


Figura N° 8 Masa Aire
Fuente: Copyright 2019 PVEducation

Por geometría en la figura 8 se tiene:

$$MA = \frac{OM}{OA} = \frac{Y}{X} = 1/\cos \theta \quad \text{Ecuación (8): Masa Aire}$$

2.3.1.7 Posición de un módulo fotovoltaico:

la posición de un panel solar lo determina dos factores primero el acimut y segundo la altura solar, lo ideal es que la superficie del panel reciba de forma perpendicular los rayos del sol, para ello dependiendo del lugar donde nos encontremos va variar los ángulos. El Perú está ubicado en Sudamérica, lo cual nos tiene por debajo de la línea ecuatorial es por esta razón que en panel este orientado hacia el norte, debido a esto el acimut óptimo es 0°.

Ahora la inclinación óptima según Mascaros (2015, p. 32); está dado por:

$$\beta_{optimo} = 3.7 + 0.69 * (|\varphi|) \quad \text{Ecuación (9): Inclinación Óptima}$$

Donde:

β_{optimo} : Es la inclinación óptima para maximizar la captación de energía anual

φ : Es la latitud del lugar, en grados sexagesimales

2.3.1.8 Ondas electromagnéticas.

A lo largo de la historia la luz ha sido tema de discusión por renombrados científicos Issac Newton, Faraday, Maxwell, Einstein, etc., pero tras varios intentos de describir la naturaleza de la luz llegaron las ecuaciones de Faraday y Maxwell, probándose que la luz es una onda electromagnética. Esta afirmación respondía muchos fenómenos hasta ese entonces imposible de explicar, todo bien hasta ahí, es más muchos científicos afirmaron que ya no había nada más que investigar en la física.

Pero después llegó el efecto fotoeléctrico el cual solo se podía explicar si la luz se comporta como una partícula, el efecto fotoeléctrico es la razón por la que Albert Einstein ganó su premio nobel de física. En consecuencia, ahora tras varios años de discusión se acepta que la luz tiene un comportamiento dual (onda –cuerpo).

2.3.1.9 Efecto fotoeléctrico y paneles solares

Una de las aplicaciones más conocidas del efecto fotoeléctrico son los paneles solares, pero ¿qué es efecto fotoeléctrico? Figura 9 “Se define como efecto fotoeléctrico a la aparición de una corriente eléctrica en ciertos materiales cuando estos se ven iluminados por radiación electromagnética” (Fernández, 2010, p. 263).

En la figura 9 la luz del sol emite fotones con energía, parte de esta energía se utiliza en arrancar un electrón del metal, y la restante sale como energía cinética una vez expulsado el electrón.

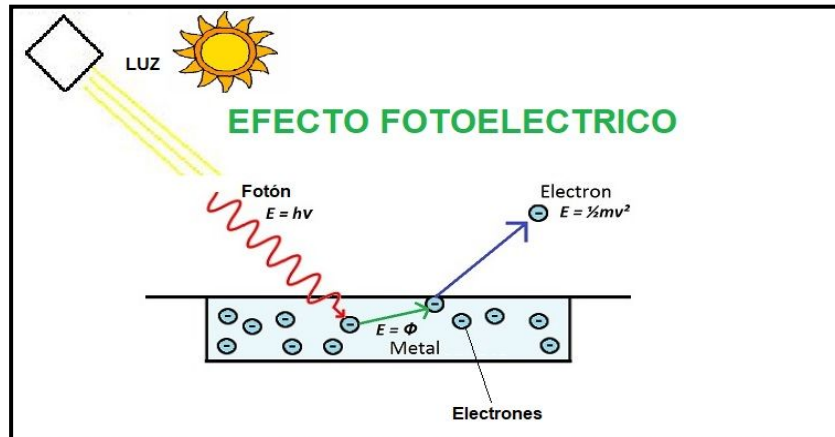


Figura N° 9 Efecto Fotoeléctrico
Fuente: Area Tecnologia (s.f.)

Para la fabricación de paneles solares se fabrican dos tipos de semiconductores dopados para una celda solar figura 10. La primera es de tipo N el mismo que contiene silicio más impurezas pentavalentes; por otra parte, el segundo semiconductor es de tipo P, el cual contiene silicio más impurezas trivalentes. Esta configuración permite que el tipo N contenga un electrón libre tratando de completar el octeto y el tipo P contiene un hueco tratando de llenarse completando el octeto también. El funcionamiento del panel solar se da “cuando la luz incide sobre la célula los fotones rompen el par electrón hueco. El campo eléctrico de la unión los separa para evitar que se recombinen, llevando los electrones a la zona N y los huecos a la zona P” (Méndez et al, 2012, p. 62). De esta manera se crea un potencial eléctrico que si conectamos con un conductor externo fluiría corriente eléctrica y esta va depender de la intensidad de sol que incida sobre el panel.

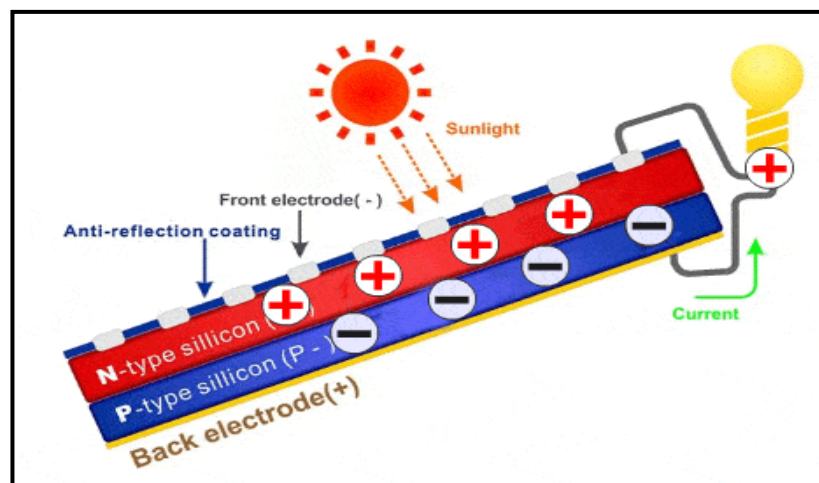


Figura N° 10 Unión P-N
Fuente: Area Tecnologia (s.f.)

2.3.1.10 Condiciones de prueba estándar (STC)

Si cada fabricante de paneles solares vende su producto con especificaciones distintas, sería muy complicado poder elegir el mejor tanto en capacidad energética y costos, por ejemplo, el fabricante A produce un panel que proporciona 200 Watts a 40°C con una radiación de 800 w/m² en Arabia Saudita; por otro lado, el fabricante B produce un panel de 220 Watts a 10°C con una radiación de 500 w/m² en Sudáfrica. De lo expuesto en el párrafo anterior naces el STC para poder diferenciar entre paneles y marcas.

En la figura 11 las condiciones estándar de funcionamiento son con una radiación solar de 1000w/m², a una temperatura de 25 °C y a una masa de aire de 1.5; si las condiciones de radiación y temperatura varían estos se adaptan a las curvas de corriente y voltaje figura 11.

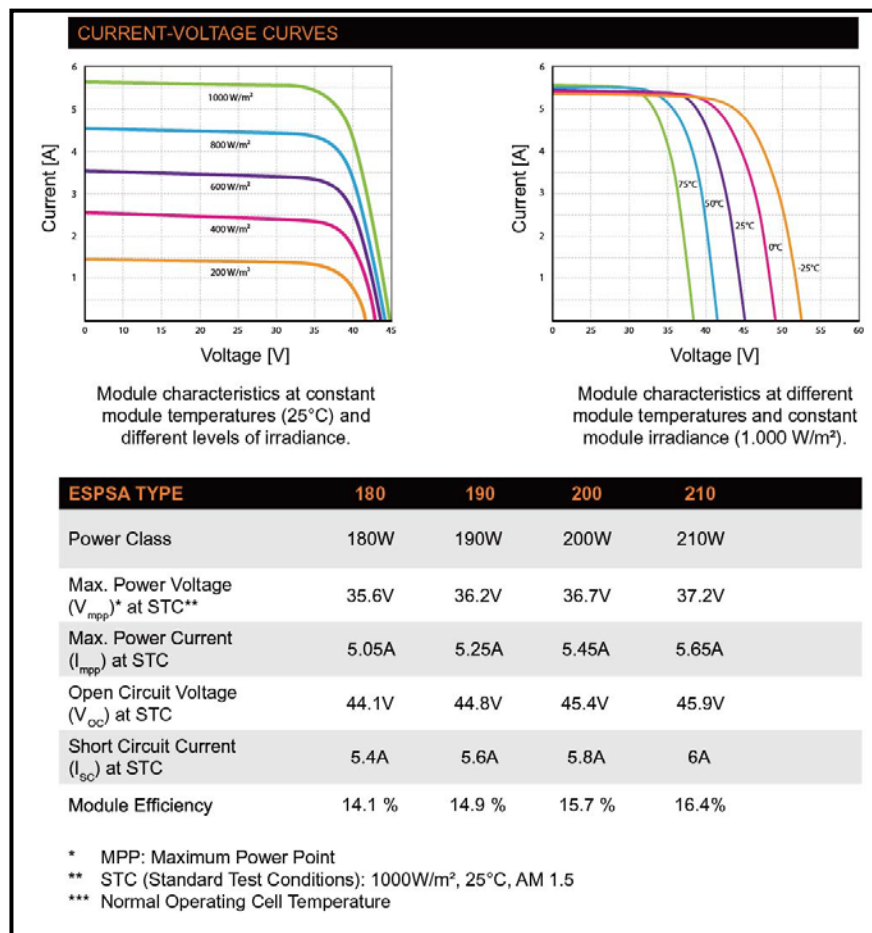


Figura N° 11 Especificaciones Técnicas del panel solar
 Fuente: ZHEJIANG ERA SOLAR TECHNOLOGY CO., LTD (s.f.)

2.3.2 Diseño de un sistema de bombeo solar

El diseño de sistemas de instalaciones aislada figura 12 comprende los siguientes componentes:

- Módulos fotovoltaicos
- Sistema de regulación
- Sistema de adaptación de corriente
- Sistema de acumulación
- Consumo

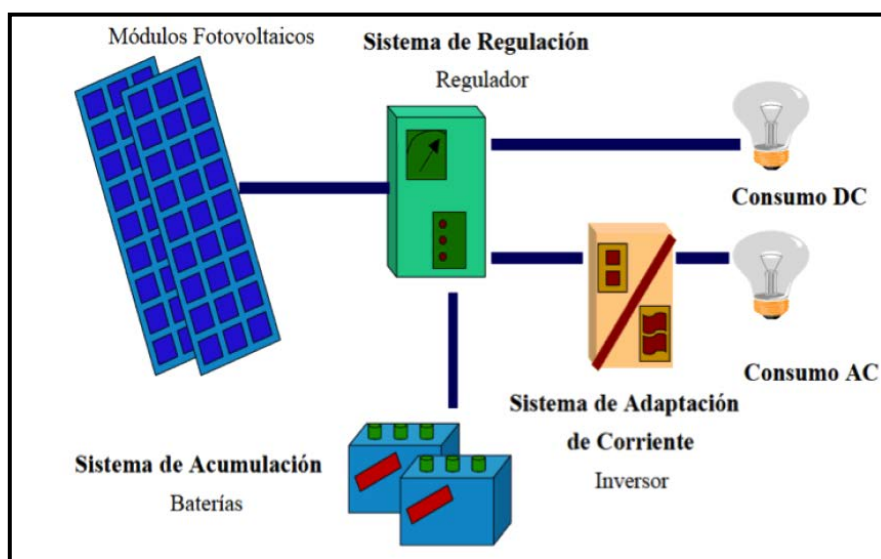


Figura N° 12 Componentes de un sistema aislado
Fuente: Alonso (s.f.)

Alonso (s.f.); en el manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados describe los siguientes pasos para el diseño:

- Estimación de consumo.
- Datos del lugar.
- Dimensionado del generador fotovoltaico.
- Dimensionado del sistema de acumulación.
- Dimensionado del regulador.
- Dimensionado del inversor.

2.3.2.1 Estimación de consumo.

Para ello se calcula el consumo en un día promedio o de máximo consumo, además a ello se le agrega un 20% de margen de seguridad. Seguidamente se hay los consumos medios considerando eficiencias de los componentes:

$$L_{md} = \frac{L_{mdAC}}{n_{bat} * n_{inv} * n_{con}} \quad \text{Ecuación (10): Consumo medios diarios}$$

Donde:

L_{md} : Consumo medios diarios

n_{bat} : Eficiencia de batería

n_{inve} : Eficiencia de inversor

n_{con} : Eficiencia de conductor

2.3.2.2 Datos del lugar.

La radiación solar puede ser obtenida de mapas solares o recurrir a los datos de las instituciones que realizan mediciones meteorológicas de la zona, los datos que se extraen son en Horas Solares Pico (HSP) en Wh/m²/día.

2.3.2.3 Dimensionado del generador fotovoltaico.

El número de paneles está supeditado por las características propias de las especificaciones del fabricante, el mismo generalmente va determinado por la potencia nominal; teniendo en cuenta eso se calcula el número de paneles solares:

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} * HPS * PR} \quad \text{Ecuación (11): Numero de Paneles}$$

Donde:

N_T : Numero de módulos solares

L_{md} : Consumo medios diarios

P_{MPP} : Potencia pico de modulo

HSP : Horas de sol pico

PR : Factor global de funcionamiento

La agrupación de paneles en serie y en paralelo:

$$N_{SERIE} = \frac{V_{BAT}}{V_{MAX}} \quad \text{Ecuación (12): Población de diseño}$$

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIES}} \quad \text{Ecuación (13): Población de diseño}$$

Donde:

N_{SERIE} : Numero de módulos solares

V_{BAT} : Tensión de batería

V_{MAX} : Tensión de máxima del modulo

$N_{PARALELO}$: Numero de módulos solares

N_T : Numero de módulos solares

2.3.2.4 Dimensionado del sistema de acumulación.

Los sistemas de acumulación son necesarios debido a que la energía proporcionada por el sol no llega de forma constante a lo largo del día, asimismo varia de un día a otro, para ello necesitamos acumular energía para días con poca energía solar, el dimensionamiento depende principalmente de los niveles de descargar y los días de autonomía, entonces:

- Capacidad nominal en función de descarga máxima

$$C_{md} = \frac{L_{md}}{PD_{maxd} * F} \quad \text{Ecuación (14): Capacidad nominal diaria Wh}$$

$$C_{md} = \frac{C_{md}}{V_{bat}} \quad \text{Ecuación (15): Capacidad nominal diaria Ah}$$

- Capacidad nominal de batería en función de la máxima descarga estacional.

$$C_{me} = \frac{L_{md} * N}{PD_{maxd} * F} \quad \text{Ecuación (16): Capacidad nominal estacional Wh}$$

$$C_{me} = \frac{C_{md}}{V_{bat}} \quad \text{Ecuación (17): Capacidad nominal estacional Ah}$$

Donde:

- Lmd : Consumo medios diarios
 PD_maxe : Descarga Máxima Estacional
 PD_maxd : Descarga Máxima Diaria
 N : Número de días de Autonomía
 F : Factor de Modulo
 V_bat : Tensión de batería

2.3.2.5 Dimensionado del regulador.

El regulador controla la cantidad de electricidad que circula, de tal manera que proteja a los componentes y principalmente las baterías. Se dimensiona de acuerdo a la carga que debe soportar, entonces:

$$I_{entrada} = 1,25 * I_{cc} * NP \quad \text{Ecuación (18): Corriente de entrada}$$

$$I_{salida} = \frac{1,25 * \left(\frac{P_{ac}}{n_{reg}}\right)}{V_{BAT}} \quad \text{Ecuación (19): Corriente de salida}$$

2.3.2.6 Dimensionado del inversor.

Las bombas hidráulicas generalmente funcionan con corriente alterna para ello se es imprescindible el uso de inversores; para el dimensionamiento con un factor de seguridad de 1.20, entonces:

$$P_{inv} = 1,2 * P_{ac} * S \quad \text{Ecuación (20): Potencia del inversor}$$

Donde:

- P_inv : Potencia de Cargas en alterna
 S : Factor para picos de arranque

2.3.3 Funcionalidad

La variable a medir es la funcionalidad, el Diccionario de la Lengua Española (2005) define como:

- Conjunto de características que hacen que algo sea práctico y utilitario

Asimismo, según la Real Academia Española (2014) define como funcional:

- Dicho de una cosa: Diseñada u organizada atendiendo, sobre todo, a la facilidad, utilidad y comodidad de su empleo.
- Dicho de una obra o de una técnica: Eficazmente adecuada a sus fines.

En consecuencia, los sistemas de bombeo solar o convencional cumplen un conjunto de características para que llegue a ser funcional.

Para que un generador fotovoltaico sea funcional debe ser energéticamente eficiente. Es decir que el diseño genere la cantidad de energía necesaria, por ello no será menor a la cantidad requerida por el sistema.

Sin embargo, para el diseño se parte con el dato del promedio de radiación mensual más crítica del año, y no con el promedio de la radiación diaria más crítica; por tanto, hay días en los cuales nunca se podrá cumplir con la demanda de energía. Para mostrar que cantidad de días del año que es autosuficiente se desarrolla una distribución normal de la radiación solar.

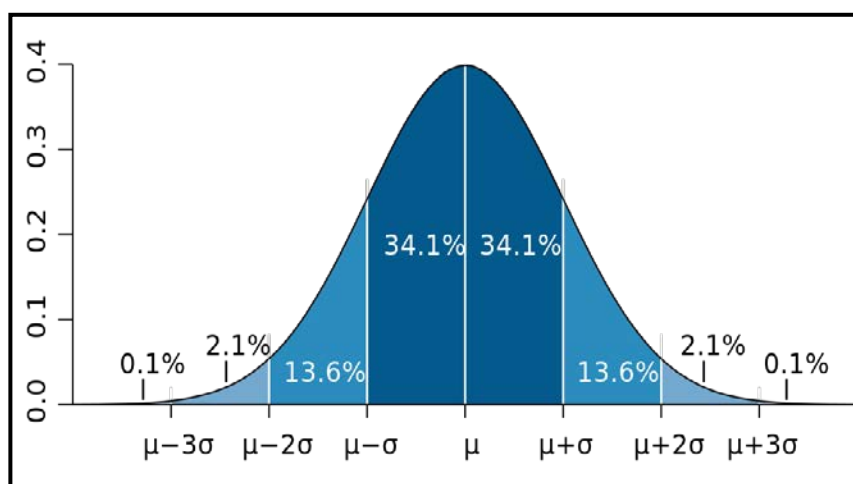


Figura N° 13 Distribución de $N(\mu, \sigma^2)$
Fuente: (Fundación Wikimedia, Inc., 2007)

2.3.4 Rentabilidad

Según la RAE define a la rentabilidad como la cualidad de rentable; que produce renta. es decir, utilidad beneficio que produce una inversión.

Como se puede apreciar en el párrafo anterior la definición es más orientada a una rentabilidad económica y financiera; sin embargo, la rentabilidad social en proyectos de inversión pública, es un concepto muy difícil de cuantificar, debido a que se pueden tomar una gran variedad de indicadores como: impacto social, ambiental, de salud, económicos, etc.

Según Jerí (2014) afirma que:

Frecuentemente en la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública, cuando hablamos de bienes o servicios sociales, inmediatamente pensamos en la ratio Costo/Efectividad. Exactamente, ¿qué refleja esta ratio? La ratio C/E sólo compara el costo de inversión a precios sociales con el número de beneficiarios directos que impactamos con el proyecto. Aparentemente, este sería el indicador ideal para la rentabilidad social... pero no lo es. (párr.2)

En relación a estas implicaciones resulta muy difícil medir los beneficios de un proyecto de inversión; por el contrario, para medir que tipo de inversión es mejor con respecto al mismo beneficio, resulta más sencillo simplemente comparar los costos de inversión y mantenimiento.

2.3.5 Costos de inversión

Según Orellana y Zanga opcit (citado en Herrera, 2006, p.48), clasifica los costos de capital de un sistema fotovoltaico como:

- Paneles Fotovoltaicos
- Baterías
- Reguladores /inversores
- Bombas/ motores
- Otros accesorios

2.3.6 Costos de operación y mantenimiento

Los costos de mantenimiento y operación según Sandia National Laboratories (2001), corresponden a los costos de refacciones, limpieza, salario del operador, piezas de reemplazo y transporte al lugar del sistema (citado en Herrera, 2006, p.49); en la tabla 4 se muestra las variaciones según el tipo de componente:

Tabla N° 4
Componentes de recambio

Equipo	vida útil	variantes o tipos
- Baterías de (Acido Plomo, Gel y Estacionarias)	20	- Las baterías de ácido Plomo 1 año con motor, las de GEL vida útil 12 años, las baterías estacionarias 20 años.
- Inversor	20	- Rendimiento baja 60% con 10 mil horas de uso.
- Bomba eléctrica	10	- Cambiar Cada 10 años.
- Paneles solares	25	- Cada 10 años baja el 10 % de su capacidad.

Fuente: Adaptado de Electrosol Energia S.L. (2017)

Otro costo que tenemos que tener en cuenta es la tarifa que se paga por la electricidad que varía de acuerdo al uso y cantidad de energía consumida.

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad			
Empresa: Electro Puno			
Pliego	Vigencia	Sector	Interconexion
AZANGARO RURAL	4/Dic/2018	5	SEIN
MEDIA TENSION		UNIDAD	TARIFA
TARIFA MT2: TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P			Sin IGV
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	16.29
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	24.30
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.97
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	54.91
TARIFA BT5B: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E			
No Residencial	Cargo Fijo Mensual	S./mes	4.20
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	84.87

Figura N° 14 tarifas venta de energía en Azangaro
Fuente: OSINERGMIN (2018)

Para el pago mensual se muestra en la figura 14 que el cargo por energía activa para la tarifa BT5B es de ctm. S./kW.h 85.93

CAPITULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

Localización

- Departamento: Puno
- Provincia: Azángaro
- Distrito: Azángaro
- Comunidad: Chaupi Sahuacasi

Estación de bombeo

- Latitud: 14°51'17.09"S
- Longitud: 70° 9'38.81"O

3.1.1 Ubicación sistema fotovoltaico

Se realizó el levantamiento topográfico perfil longitudinal de la zona ver anexo D planos.

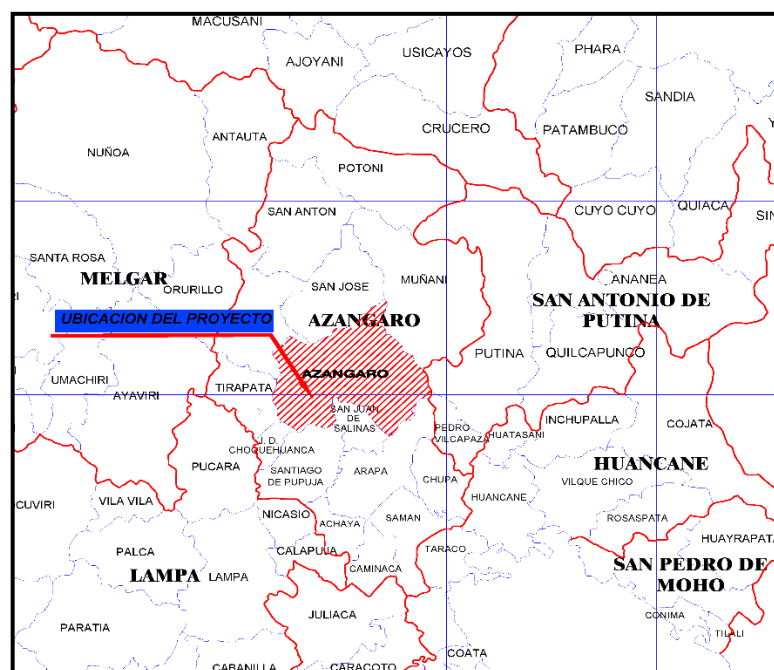


Figura N° 15 Ubicación del Proyecto
Fuente: Elaboración Propia

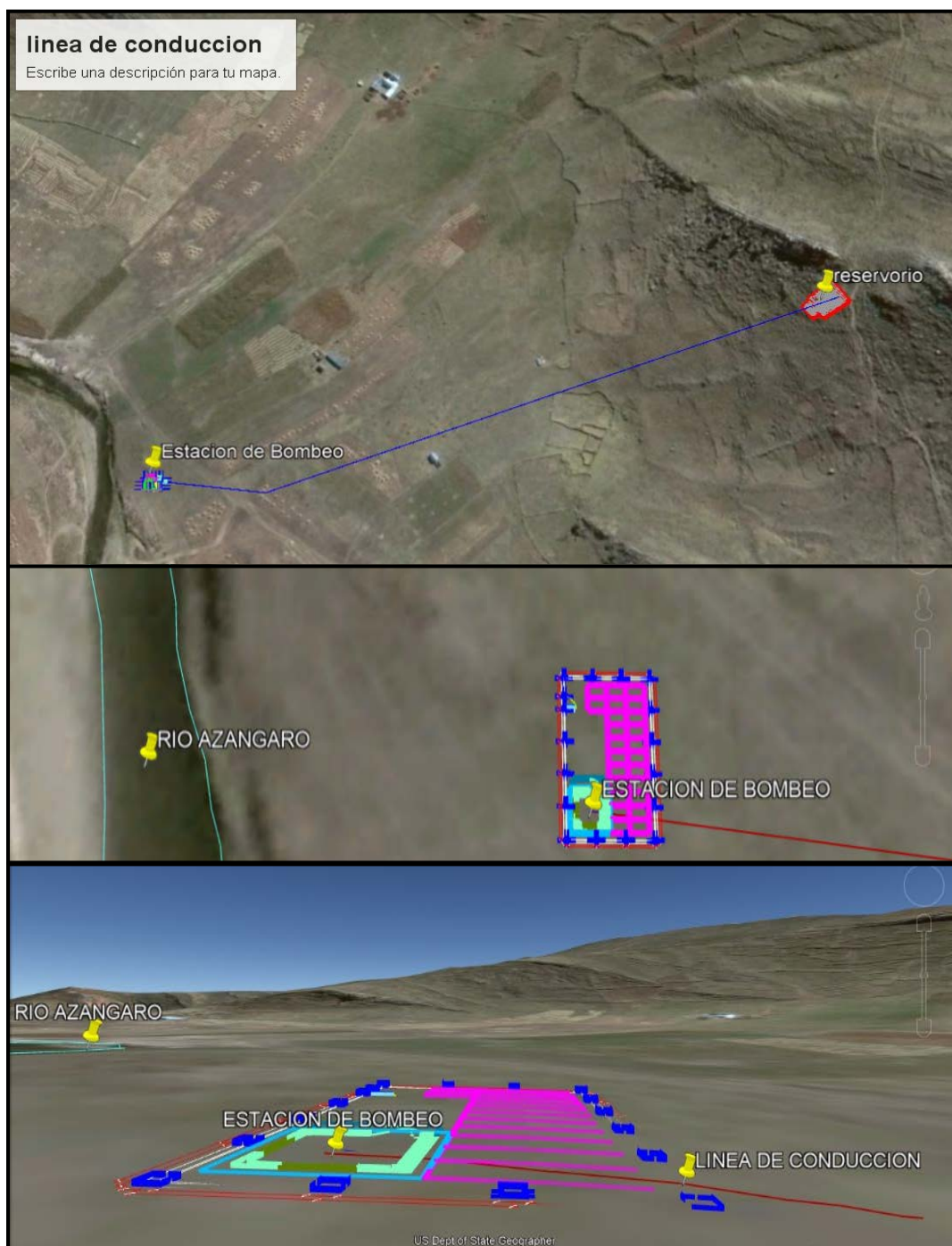


Figura N° 16 Ubicacion estacion de bombeo
 Fuente: Adaptado de Google Earth

La figura 16 la línea de conducción de 444.61 metros en la primera imagen, la distribución de la estación de bombeo en planta está ubicado a 30 metros del rio Azángaro. La altura para bombear parte desde una cota 3888.00 m.s.m. hasta 3929.617 m.s.m.

3.1.2 Línea de postes para el sistema convencional

La zona de estudio no cuenta con el servicio de electricidad, por ello se proyecta una red de postes para transportar la energía eléctrica para el sistema convencional; la figura 17 muestra el trazo de los postes, esta tiene una longitud aproximada de 48 kilómetros y la alineación de los postes va con una separación de 1 km entre poste y poste.



Figura N° 17 Línea de postes 48 KM
Fuente: Adaptado de Google Earth

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

- Población 1 : La población Distrito de Azángaro
- Muestra 1 : La localidad de Chaupi Sahuacasi de 107 viviendas.
- Población 2 : Radiación solar en el Perú
- Muestra 2 : Radiación solar horaria en la localidad de Chaupi Sahuacasi, ver ANEXO C

3.3 DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño se realizó usando la distribución normal de un año para medir la variación de la radiación solar.

Los parámetros medidos son la media, la variación estándar, la varianza, el rango, el valor mínimo, máximo y la probabilidad de radiación disponible en un año con respecto al diseño. Los años medidos son el 2013,2014,2015,2017 y 2018.

3.4 PROCEDIMIENTO

Para desarrollar la comparación entre ambos sistemas se desarrolló un orden con diferentes etapas, la figura 18 muestra la secuencia seguida:

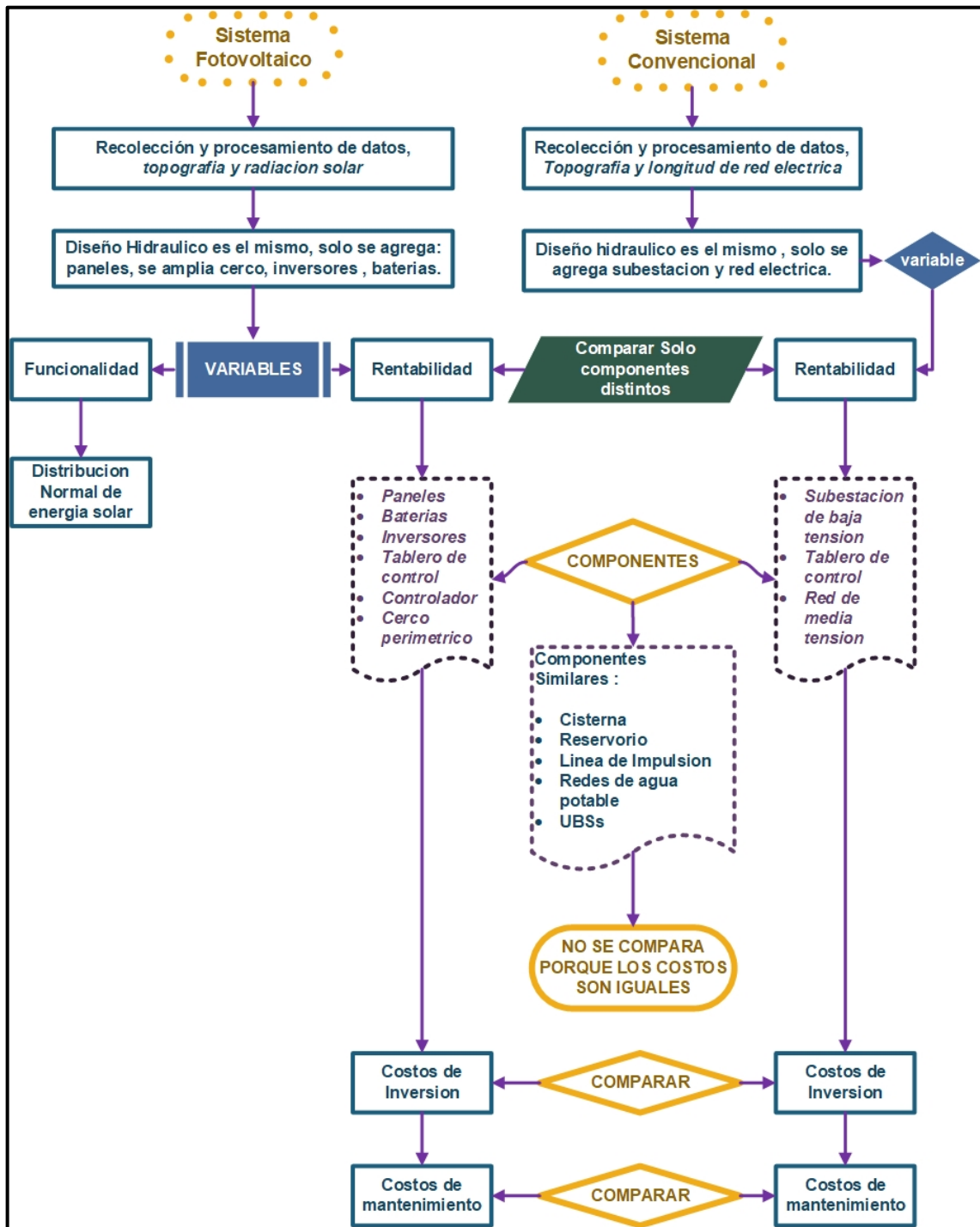


Figura N° 18 Línea de postes 48 KM
Fuente: Elaboracion propia

3.4.1 Recolección de datos.

Los datos que proporciona el SENAMHI pueden ser anuales, mensuales o diarias. Para un mejor diseño y medición de la variable funcionalidad se solicitó datos Horarios de la

radiación solar medidos con un Piranómetro, tabla 5 es un extracto de datos correspondiente al día 8 de noviembre del 2014.

Tabla N° 5
Radiacion Solar del 08/11/2014

FECHA - HORA	RADIACIÓN SOLAR (W/m ²)
8/11/2014 - 05:00	0
8/11/2014 - 06:00	54
8/11/2014 - 07:00	355
8/11/2014 - 08:00	630
8/11/2014 - 09:00	867
8/11/2014 - 10:00	1044
8/11/2014 - 11:00	1158
8/11/2014 - 12:00	1158
8/11/2014 - 13:00	1135
8/11/2014 - 14:00	1034
8/11/2014 - 15:00	827
8/11/2014 - 16:00	582
8/11/2014 - 17:00	336
8/11/2014 - 18:00	64
8/11/2014 - 19:00	0
Total del día aprox. =	9244

Fuente: Adaptado de SENAMHI (2014)

Los datos completos se encuentran en el anexo C, que corresponden de un total de 51 925 datos medidos, figura 19 variación de la radiación solar en el día

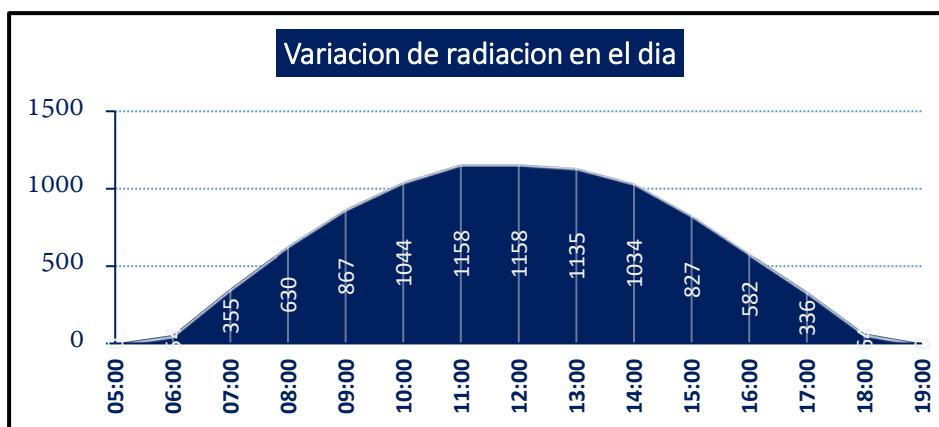


Figura N° 19 Radiacion Solar del 08/11/2014
Fuente: Elaboracion propia

3.4.2 Procesamiento de datos

Debido a la amplitud de datos; se agrupo los datos realizando una suma diaria para cada día y mes, los datos se encuentran alojados en el anexo C

En la tabla 5 la suma de radiación solar del todo el día es de 9 244 W/m² que representa a 9.244 Horas Solares Pico, de esta forma se va realizando para cada mes del año.

Tabla N° 6
Radiacion Solar de noviembre del 2014

Dia del mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	28	29	30
Radiación solar del día en W/m ²	8150	6714	9100	9188	8614	8760	9150	9244	8524	...	6887	7390	7338

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 6 los la suma de todo el mes = 229544 W/m², el promedio del mes es (229544 W/m²) / (30 días) = 7651 W/m²; por tanto, las HSP del mes de noviembre es de 7.65 horas. Esto se realizó para cada mes y se puede ver más detallado en el anexo C

De este análisis nos resultó que el mes más crítico de cada año es junio, por ello se tomó como HSP de diseño del año 2014 que es de 4.85 horas, este es la base de energía solar para el diseño de los demás componentes.

Tabla N° 7
Resumen HSP por año

AÑO	MES CRITICO	HSP PROMEDIO
2013	Faltan datos	-----
2014	Junio	4.85
2015	Junio	4.93
2016	Junio	4.92
2017	Junio	5.38
2018	Faltan datos	-----

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Cálculo de la funcionalidad

Se sacó los datos estadísticos de la radiación de todo el año 2014

Tabla N° 8
Un dia de autonomia dist. Normal (2014)

Dato calculado	Resultado
Media (Kw/m2)	6.16895312
Desviación estándar	1.44306035
Varianza de la muestra	2.08242317
Rango	7.003
Mínimo	2.547
Máximo	9.55

Fuente: Elaboración Propia

Con esto realizamos la distribución normal del año 2014:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ecuación (21): Distribución Normal

Donde:

σ : Desviación estándar

μ : Media aritmética

Reemplazando se tiene la figura 20 que muestra una probabilidad del 81.79% a partir de una radiación de diseño de 4.85 KW/m²

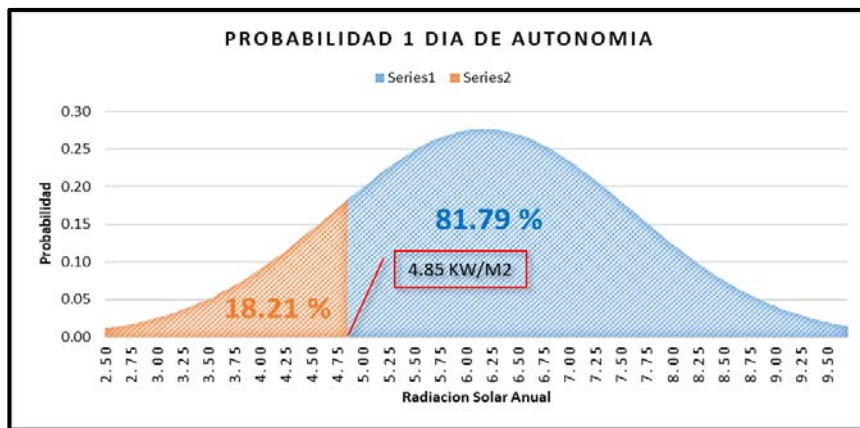


Figura N° 20 Distribución normal Radiación Solar
Fuente: Elaboración Propia

Ahora esto solo es válido por un día de autonomía, si se agrega batería para dos días de autonomía, es decir se promedia dos días consecutivos nos resulta la tabla 9:

Tabla N° 9
Dos días de autonomía dist. Normal (2014)

Dato calculado	Resultado
Media (Kw/m2)	6.168953125
Desviación estándar	1.22620769
Varianza de la muestra	1.5035853
Rango	5.727
Mínimo	3.47
Máximo	9.197

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 9 el mínimo de energía para un día subió de 2.55 a 3.47 KW/m², el rango disminuyó de 7.003 a 5.727, ello muestra una mayor concentración de datos en el centro. Además, en la figura 21 la probabilidad subió de 85.79% a 85.90%; el 14.10% de los días la energía no va ser suficiente para abastecer la demanda energía del sistema fotovoltaico

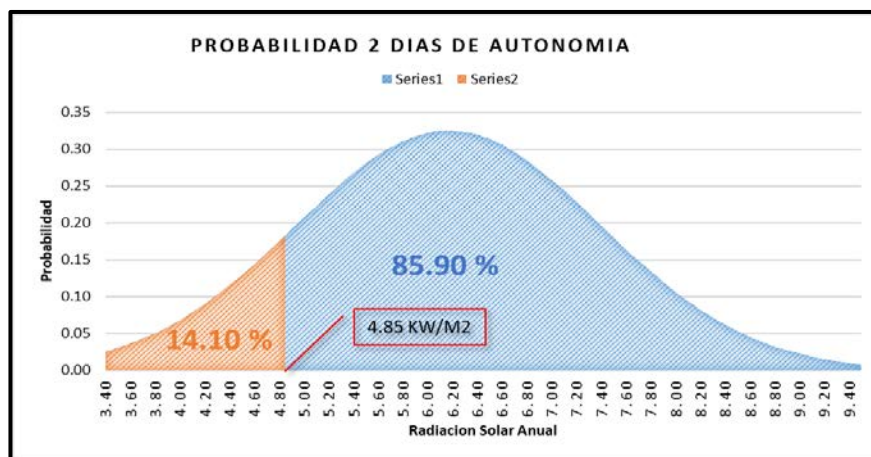


Figura N° 21 Probabilidad de dos días de autonomía
Fuente: Elaboración Propia

El diseño se calculó para tres días de autonomía tabla 10 y figura 22, los resultados muestran que el día más crítico del año se tendrá una radiación de 3.47 Kw/m².

Tabla N° 10

Tres días de autonomía dist. Normal (2014)

Dato calculado	Resultado
Media (Kw/m ²)	6.149735202
Desviación estándar	1.16642976
Varianza de la muestra	1.36055839
Rango	4.82833333
Mínimo	4.013
Máximo	8.84133333

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra que el mínimo de energía para un día subió de 2.55 a 4.03 KW/m²

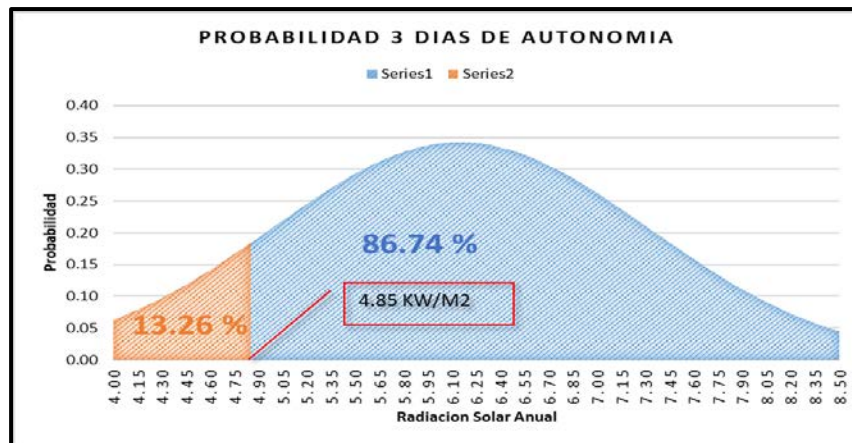


Figura N° 22 Probabilidad de tres días de autonomía
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la funcionalidad del diseño para una radiación de 4.85 Kw/m2 es al 81.96% en el año 2014, otro el máximo valor de radiación 8.84 Kw/m2 casi el doble de la energía necesaria.

3.4.4 Diseño del sistema solar

3.4.4.1 Línea de impulsión

Para determinar la potencia de la bomba primero necesitamos saber las horas de bombeo, según MVCS recomienda entre 8 y 12 horas, se toma el valor medio de 10 horas el caudal de bombeo lo hallamos usando la ecuación (5).

Asimismo, la según la RM N°192 del MVSC para la sierra la dotación es de 80lts/hab.; considerando una densidad de 4 personas por familia tenemos un caudal máximo diario de 0.53 lts/seg.

Tabla N° 11

Datos para línea de impulsión

Descripción	Valor	Unidad de medida
Qbombeo horas =	4.57	m3/h
Qmd =	0.53	Lts/seg
Qbombeo =	1.27	Lts/seg
# de bombas =	1.00	Und.
Horas de bombeo =	10.00	h
Presión de llegada =	2.00	(m.c.a.)
Cota terreno Cisterna =	3888.00	m.s.n.m.

... continuacion de la Tabla N°11

Cota succión =	3886.00	m.s.n.m.
Cota terreno reservorio	3939.21	m.s.n.m.
Cota nivel máximo de agua =	3940.91	m.s.n.m.
Cota nivel ingreso =	3941.21	m.s.n.m.
Altura geometrica =	55.21	m.
Longitud =	444.61	m.

Fuente: Elaboración Propia

Para calcular las perdidas hacemos uso de la ecuación de Hazen-Williams:

$$hf = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D} \quad \text{Ecuación (22): Hazen-Williams}$$

Donde:

Hf : Perdida de carga en m.

Q y C : Caudal en m3/seg y coeficiente de material.

L y D : Longitud y diámetro de la tubería en m.

Haciendo uso de la ecuación (6) y (7) para el cálculo de perdidas. Asimismo, el caudal está en m3/seg, C es 150, y reemplazamos los demás datos tenemos en la línea de impulsión la tabla 12.

Tabla N° 12

Altura dinamica total

Diámetro (pulg)	1	1.5	2	3
Velocidad (m/seg)	2.50	1.11	0.63	0.28
Pérdida por fricción horizontal (m)	113.22	15.72	3.87	0.54
Pérdida de carga fricción vertical(m)	14.06	1.95	0.48	0.07
Pérdida carga por accesorio (m)	25.46	3.53	0.87	0.12
Pérdida de carga total (m)	152.73	21.20	5.22	0.73
H.D.T. (m) =	209.94	78.41	62.43	57.94

Fuente: Elaboración Propia

Perdida totales $< 0.1 * H.D.T$ según Méndez et al (2012), entonces perdidas $< 0.1 * 62.43 = 6.24$, por tal motivo seleccionamos 2".

3.4.4.2 Estimación de consumo y irradiancia

Según el catálogo de Pedrollo S.p.A de bombas sumergibles hay bombas según caudal y altura dinámica total, según la tabla 12 la H.D.T. 62.43 metros; además en la tabla 11 el caudal de bombeo 1.27 lts/seg que es equivalente a 76.2 lts/min, por tanto, en nuestro diseño elegimos el modelo 4SR25Gm/15 monofásico es de 1.1 KW para una altura dinámica total de 64 metros con un caudal de 80 lts/min.

Tabla N° 13
Consumo medio diario

Descripción	Electrobomba	Lampara 15 W
Cantidad	1.00	2.00
Potencia instalada (W)	1100.00	15.00
Tiempo de uso al día (hrs)	10.00	2.00
Energía inst. (Wh/día)	11000.00	60.00
Margen de seguridad	20%	20%
Consumo diario (Wh/día)	13200.00	72.00
Consumo diario (KWh/día)	13.20	0.07
Consumo diario total (Wh/día)	13200.00	72.00

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se calculó el consumo del sistema fotovoltaico con la ecuación (10):

Tabla N° 14
Consumo medio diario real

Descripción	Datos	Unidades
Tipo de Uso	: Sistema de Bombeo	Wp
Panel Solar	320	Wp
Voltaje Nominal	48	V
Electrobomba	1100.00	W
Lampara 15W	15.00	W
<i>Consumo medio diario (AC)</i>	13272.00	Wh/día
Eficiencia de batería (<i>n bat</i>)	0.80	
Eficiencia de inversor (<i>n inv</i>)	0.85	
Eficiencia de conductor (<i>n con</i>)	0.97	
Consumo medios diarios final (Lmd)	20121.29	Wh/día
Hora Solar Pico (HSP)	4.85	Wh/m2/día

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.3 Dimensionamiento de paneles.

Para determinar la distribución en serie y en paralelo usamos la ecuación (11) , ecuación (12) y ecuación (13) entonces se obtuvo la tabla 15.

Tabla N° 15
de paneles en serie y paralelo

Descripción	Abreviatura	Resultados	Unidades
Consumo medios diarios	<i>Lmd</i>	20121.29	Wh/dia
Potencia pico de modulo	<i>P MPP</i>	320.00	Wp
Horas de sol pico	<i>HPS</i>	4.85	Wh/m2/dia
Factor global de funcionamiento	<i>PR</i>	0.95	
# de módulos solares	<i>NT</i>	14.00	Und.
Tension de bateria	<i>V BAT</i>	48.00	V
Tension de maxima del modulo	<i>V max</i>	37.65	V
Numero de modulos solares	<i>N SERIE</i>	2.00	Und.
# modulos solares en paralelo	N PARALELO	7	Und.

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, se halló 07 paneles colocados en paralelo y 02 en serie tabla 15

3.4.4.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación.

Para nuestro caso en particular se usó las baterías estacionales por su vida útil de 20 años de una capacidad de 600Ah y un arreglo de 48 voltios.

Tabla N° 16
Dimensionamiento de baterias

Descripción	Abreviatura	Resultados	Unidades
Consumo medios diarios	<i>Lmd</i>	20121.29	Wh/dia
Descarga Máxima Estacional	<i>PD maxe</i>	0.70	
Descarga Máxima Diaria	<i>PD maxd</i>	0.15	
Número de días de Autonomía	<i>N</i>	3.00	
Factor de Modulo	<i>F</i>	0.95	
Tensión de batería	<i>V BAT</i>	48.00	V
Capacidad nominal diaria	<i>C md</i>	141202.00	Wh
Capacidad nominal diaria	C md	2941.708425	Ah
Capacidad nominal estacionaria	C md	90772.71712	Wh
Capacidad nominal estacionaria	C md	1891.098273	Ah
Capacidad de Baterías	C	600	Ah
Voltaje de la batería	V	48.00	
Numero de Baterías	N b	5	Und.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.5 Dimensionamiento del regulador

El regulador es el encargado de que los componentes del sistema no reciban sobrecargas para ello usamos las ecuaciones (18) y (19), el regulador debe soportar 80 amperios como mínimo tabla 17.

Tabla N° 17

Dimensionamiento del regulador

Descripción	Abreviatura	Resultados	Unidades
Factor de seguridad del regulador		1.25	
Corriente de Corto Circuito	I_{cc}	9.10	A
Numero de ramas en paralelo	$N P$	7.00	
Potencia de Cargas en alterna	Pac	1115.00	W
Tensión de batería	V_{BAT}	48.00	V
Eficiencia de regulador	n_{reg}	0.95	
Corriente de entrada al regulador	I entrada	79.625	A
Corriente de entrada al regulador	I salida	30.56469298	A
Corriente del regulador	I r	79.625	A

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4.6 Dimensionamiento del inversor

Reemplazando los datos en la ecuación (20), el inversor nos da un valor de 1115.00 Wats de potencia tabla, sin embargo, dependiendo de la bomba este necesita unos picos de arranque por seguridad. Nuestro factor será de 5 veces la potencia nominal de la motobomba.

Tabla N° 18

Dimensionamiento del inversor

Descripción	Abreviatura	Resultados	Unidades
Factor de seguridad del inversor	20%		
Potencia de Cargas en alterna	Pac	1115.00	W
Factor para picos de arranque	S	5.00	
Potencia del Inversor	P inv	1338	W
Potencia del Inversor con S	P inv	6690	W

Fuente: Elaboración Propia

El dimensionamiento nos resultó 14 paneles de 320 w cada uno; de los cuales 7 es en paralelo y 2 en serie. Además de 5 baterías estacionarias de 48v y 600ah y finalmente un inversor con regulador de 1500 watts, pero que puede soportar hasta 6690 watts y 80 amperios tabla 19

Tabla N° 19

Resultado del diseño

Descripción	Cantidad
# de paneles (inclinación ver anexo a)	14 unidades
Potencia de cada panel	320 w
Potencia mínima del inversor	1500 w con pico de 6690 w
Capacidad de las baterías	05 baterías de 600 ah de 48v
Potencia mínima de la motobomba	1.5 hp-1100 w
Corriente min del regulador	80 a
HPS	4.85 hrs.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Inclinación del panel solar

Estamos ubicados en el sur por lo tanto el panel solar estará orientado hacia el norte, sin embargo, para hallar el ángulo de inclinación del panel hay varias opciones.

Una aproximación de la inclinación óptima según Mascaros (2015, p. 32); está dado por la inclinación óptima de la ecuación (9). Para ello necesitamos la latitud en decimales.

Según el mapa de ubicación la estación de bombeo tiene una latitud de 14°51'17.09"S que es igual a -14.854747°. Reemplazando tenemos en la ecuación (9) se tiene una inclinación óptima de 13.94 grados orientado hacia el hemisferio norte.

Otro método se puede realizar mediante el uso de cartas solares, el resultado es por mes por ello es un método más exacto. Para ello vamos a la siguiente página <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>

Seguidamente ingresamos la latitud, la longitud y la zona horaria de la estación de bombeo; además existen más opciones de formato y presentación para imprimir las cartas.

Una vez descargado las cartas se procede a calcular el complemento de cada mes como se muestra en la figura 23

Tabla N° 20
Resultados carta solar figura 23

Mes del año	Angulo de inclinación	Mes del año	Angulo de inclinación	Mes del año	Angulo de inclinación
Enero	8	Mayo	35	Septiembre	15
Febrero	5	Junio	40	Octubre	4
Marzo	15	Julio	35	Noviembre	5
Abril	28	Agosto	28	Diciembre	8

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 20 muestra la inclinación óptima para cada mes del año, lo más conveniente es inclinar según la tabla 20 cada mes para aprovechar al máximo la energía solar disponible, no obstante, el diseño es con estructura metálica fija. Por tanto, realizamos un promedio para todo el año y nos da 18.83 por lo tanto asumimos 20 grados como inclinación para todo el año.

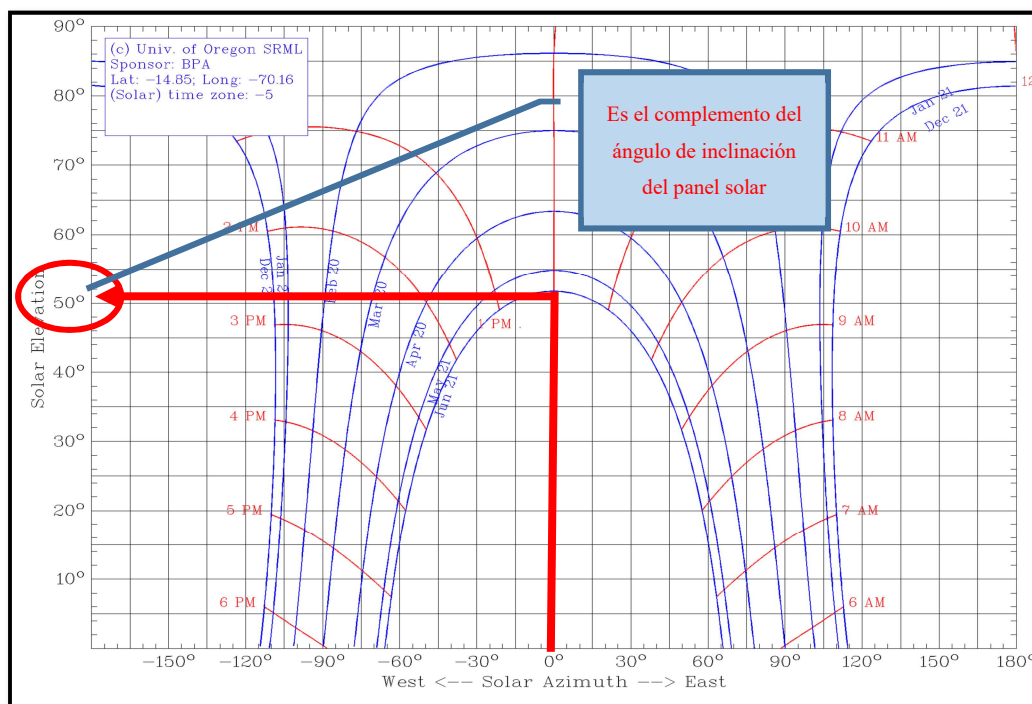


Figura N° 23 Programa para hallar inclinación por mes
Fuente: Adaptado de © 2015 UO Solar Radiation Monitoring Laboratory.

En la figura 23 para el mes más crítico junio, el ángulo de inclinación es: $90-50=40$ grados, y así para cada mes se puede hallar su ángulo óptimo, la figura 23 muestra las dimensiones de los componentes, los demás planos detallados en anexo D.

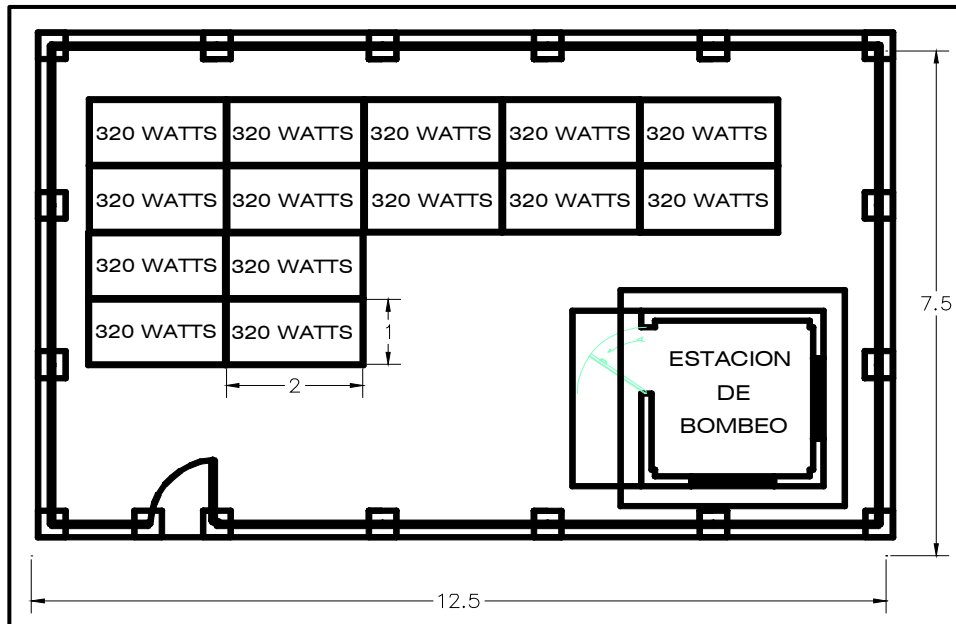


Figura N° 24 Distribución componentes y cerco
Fuente: Elaboracion propia

3.4.6 Quinta etapa: calculo rentabilidad

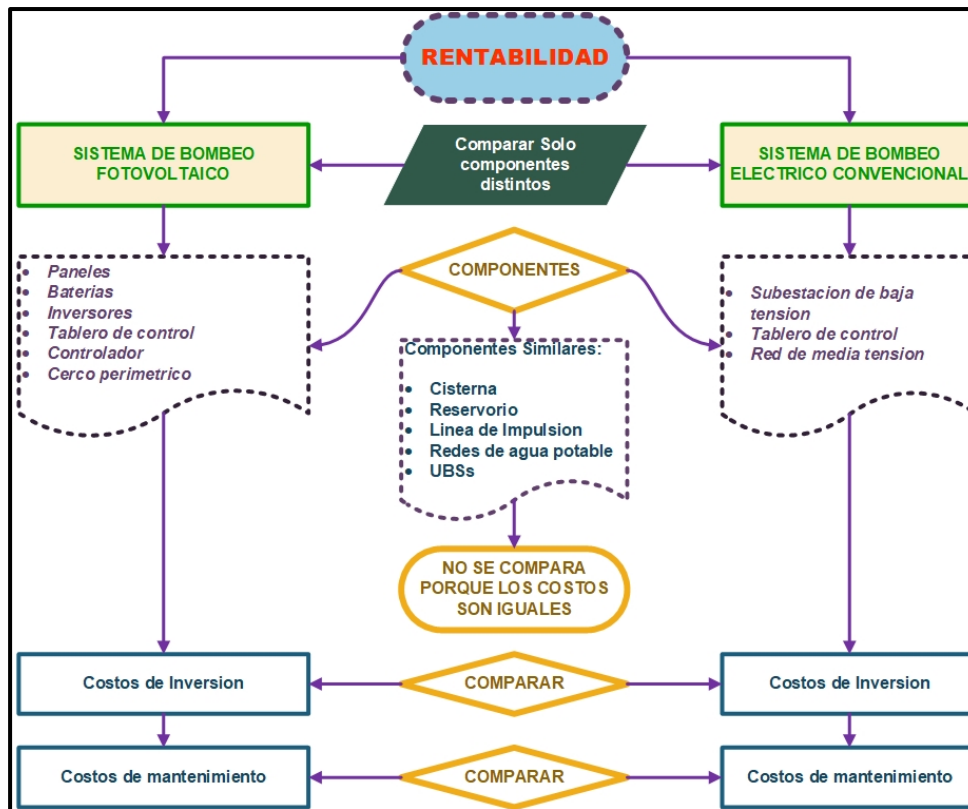


Figura N° 25 Diagrama de rentabilidad
Fuente: Elaboracion propia

Para calcular la rentabilidad solo se tuvo en consideración las partidas que varían entre las dos opciones del sistema de bombeo.

En la tabla 21 el cerco perimétrico del sistema fotovoltaico es mayor debido a los paneles solares; que son 14 en total y tienen una dimensión 2mx1m cada uno

Tabla N° 21
Diferencias entre sistemas

Descripción	Sistema fotovoltaico	Sistema convencional
Estación de bombeo	<ul style="list-style-type: none"> • Paneles baterías bombas etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas, tableros, etc
Red de media tensión	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene 	<ul style="list-style-type: none"> • 48 kilómetros y 48 postes.
Cerco perimétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Per. de 40 mts. 	<ul style="list-style-type: none"> • Per. de 27 mts.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.6.1 Costos de inversión sistema fotovoltaico

Para determinar los costos de inversión es necesario crear partidas tabla 22; el análisis de costos unitarios se encuentra en el anexo B.

Tabla N° 22
Partidas del sistema fotovoltaico.

ítem	descripción	und
1.1.1	sistema de bombeo con paneles solares	
1.1.1.1	suministro e instalacion de paneles solares	und
1.1.1.2	excavacion manual en terreno normal	m3
1.1.1.3	dado de concreto f'c = 175 kg/cm2	m3
1.1.1.4	estructura metalica 2 paneles	und
1.1.1.5	suministro e instalacion de bomba y accesorios	und
1.1.2	cerco perimetrico	
1.1.2.1	trazo nivelacion y replanteo	m2
1.1.2.2	excavacion manual en terreno semirocoso	m3
1.1.2.3	dado de concreto f'c = 175 kg/cm2	m3
1.1.2.4	suministro y colocacion de postes de f°g° de 2" diam.	m
1.1.2.5	suministro y colocacion de tubos de f°g° de 1" diam.	m
1.1.2.6	fierro angular de 1 1/2" x 1 1/2" fijación de poste	m
1.1.2.7	suministro y colocacion de malla galvanizada n°12	m2
1.1.2.8	cerradura de puerta metalica + candado	und
1.1.3	suministros e instalaciones de tuberias	
1.1.3.1	instalacion de tuberia de pvc sp 2" incluye accesorios	und

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 23 se muestra que la colocación de paneles solares con su respectiva estructura metálica y bomba hidráulica eléctrica resulto en un costo de 78,980.1 soles. El costo del cerco perimétrico es de 2,691.23 soles.

Y finalmente se colocó la partida de suministros de tuberías y accesorios para completar los elementos completos de la estación de bombeo.

El costo directo del sistema de bombeo fotovoltaico tabla 23 resulta un total de 85,933.63 soles esto solo representa el costo de inversión, es decir la mano de obra y materiales.

Tabla N° 23

Costo de inversion sistema fotovoltaico.

Item	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
1.1			costo directo =		85933.63
1.1.1			sistema de bombeo con paneles solares =		78980.1
1.1.1.1	und	1	903.65	903.65	
1.1.1.2	m3	1.12	40.65	45.53	
1.1.1.3	m3	1.12	228.77	256.22	
1.1.1.4	und	7	798.82	5591.74	
1.1.1.5	und	1	72182.96	72182.96	
1.1.2			cerco perimetrico =		2691.23
1.1.2.1	m2	40	1.09	43.6	
1.1.2.2	m3	1.9	40.65	77.24	
1.1.2.3	m3	1.9	228.77	434.66	
1.1.2.4	m	43.7	9.65	421.71	
1.1.2.5	m	77.2	9.51	734.17	
1.1.2.6	m	6.8	6.82	46.38	
1.1.2.7	m2	63.69	13.68	871.28	
1.1.2.8	und	1	62.19	62.19	
1.1.3			suministros e instalaciones de tuberias =		4262.3
1.1.3.1	und	1	4262.3	4262.3	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.6.2 Costos de inversión sistema convencional

En el sistema convencional se halla los accesorios y componentes de la estación de bombeo; sin embargo, este funciona con electricidad, servicio que no cuenta actualmente la comunidad de Chaupi Sahuacasi.

Para solventar el inconveniente del párrafo anterior es necesario construir una red eléctrica hasta la estación de bombeo, esta red debe ser traída desde la red más cercana existente, el cual se encuentra a 48 km.

Haciendo el análisis de costos tabla 24 y 25 se halló que la estación de bombeo con el cerco perimétrico, más el suministro de tuberías nos da un valor de 14,364.21 soles; y a este monto hay que sumarle el costo para traer electricidad, que es de 164,854.96 soles, ver en detalle anexo B.

Tabla N° 24

Partidas del sistema convencional.

Item	descripción	Unid.
2.1	estacion de bombeo	
2.1.1	sistema de bombeo electrico convencional	
2.1.1.1	suministro e instalacion de bomba y accesorios	und
2.1.2	cerco perimetrico	
2.1.2.1	trazo nivelacion y replanteo	m2
2.1.2.2	excavacion manual en terreno semirocoso	m3
2.1.2.3	dado de concreto f'c = 175 kg/cm2	m3
2.1.2.4	suministro y colocacion de postes de f°g° de 2" diam.	m
2.1.2.5	suministro y colocacion de tubos de f°g° de 1" diam.	m
2.1.2.6	fierro angular de 1 1/2" x 1 1/2" fijación de poste	m
2.1.2.7	suministro y colocacion de malla galvanizada n°12	m2
2.1.2.8	cerradura de puerta metalica + candado	und
2.1.3	suministros e instalaciones de tuberias	
2.1.3.1	instalacion de tuberia de pvc sp 2" incluye accesorios	und
2.2	red primaria de media tension de 48km	
2.2.1	suministro de materiales	Glb.
2.2.2	montaje electromecanico	Glb.
2.2.3	transporte suministro 12 %	Glb.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 25

Costo de inversion sistema convencional.

Item	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
2			costo directo =		179219.17
2.1			estacion de bombeo =		14364.21
2.1.1			sistema de bombeo electrico convencional =		8459.85
2.1.1.1	und	1	8459.85	8459.85	
2.1.2			cercos perimetricos		1642.06
2.1.2.1	m2	22.4	1.09	24.42	
2.1.2.2	m3	0.72	40.65	29.27	
2.1.2.3	m3	0.72	228.77	164.71	
2.1.2.4	m	33.05	9.65	318.93	
2.1.2.5	m	42.6	9.51	405.13	
2.1.2.6	m	3.6	6.82	24.55	
2.1.2.7	m2	44.8	13.68	612.86	
2.1.2.8	und	1	62.19	62.19	
2.1.3			suministros e instalaciones de tuberias =		4262.3
2.1.3.1	und	1	4262.3	4262.3	
2.2			red primaria de media tension de 48km =		164854.96
2.2.1	Glb.	1	109194.93	109194.93	
2.2.2	Glb.	1	42556.64	42556.64	
2.2.3	Glb.	1	13103.39	13103.39	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.6.3 Costos de mantenimiento

Para el sistema convencional el pago mensual se toma de la figura 14 para la tarifa BT5B es de ctm. S./kW.h 85.93, además el consumo medio diario final del sistema es de 20,121.29 Wh/día usando la ecuación (10), teniendo estos datos se tiene un promedio de gasto de 6,311.00 nuevos soles al año tabla 26 .

Además, el mantenimiento periódico por refacciones y accesorios para electrificación rural es de 1 % del costo de inversión aproximadamente, esto en costo resulta 35,843.83 soles.

Finalmente, este costo de mantenimiento es 162,062.44 soles tabla 26:

Tabla N° 26
Costo mantenimiento (Sistema convencional)

	calculo	descripcion
a	$85.93 * 20,121.29 * \frac{365}{100} = 6,310.93 \text{ soles}$	consumo anual
b	$6,310.93 * 20 = 126,218.61 \text{ soles}$	consumo en 20 años
c	$0.01 * 179,219.17 * 20 = 35,843.83 \text{ soles; tabla 25}$	mantenimiento y refacciones 1% CI
b+c	$126,218.61 + 35,843.83 = 162,062.44 \text{ soles}$	Costo Total de mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

Para el sistema de bombeo fotovoltaico la vida útil de los materiales es superior a los 20 años proyectados. Por ejemplo, se escogió paneles que tienen una vida útil de 20 a 30 años, el inversor con regulador su vida útil es de 20 años, las baterías se escogieron estacionarias cuya cualidad principal es su larga vida útil superior a 20 años; la cotización de estos materiales se puede ver en anexo B.

Tabla N° 27
Costo mantenimiento (Sistema fotovoltaico)

	calculo	descripcion
a	$+4 \text{ paneles tabla 4; } 783.97 * 4 = 3,135.88 \text{ soles}$	Cada 10 años baja el 10 % de su capacidad
c	$0.02 * 85,933.63 * 20 = 34,373.45 \text{ soles; tabla 23}$	mantenimiento y refacciones 2% CI
a+c	$3,135.88 + 34,373.45 = 37,509.33 \text{ soles}$	Costo Total de mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FUNCIONALIDAD

La uniformidad de la radiación a lo largo del año es debido a la proximidad del Perú al Ecuador con respecto a otros países, mostrándonos una variación pequeña a lo largo del año con una funcionalidad del 86.64% de los días sin déficit de energía figura 22.

4.2 RENTABILIDAD

De la tabla 23, 25, 26 y 27 tenemos la tabla 28 sin IGV.

Tabla N° 28

Rentabilidad a 20 años (ver anexo B)

Descripción de costos	Sistema Eléctrico Convencional	Sistema de Bombeo Fotovoltaico
Costo de inversión	S/.179,219.17	S/.85,933.63
Costo de mantenimiento y operación	S/.162,062.44	S/.37,509.33
Total	S/.341,281.61	S/.123,442.96

Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos pueden variar de acuerdo a las especificaciones técnicas de los productos, así pues, se inclinó por la mejor relación calidad – precio y con el menor mantenimiento posible.

El costo de inversión en el sistema fotovoltaico es elevado por el precio de las baterías que asciende a 60,052.00 soles sin IGV. El costo de inversión en el sistema convencional es elevado por el costo de la Red de Media Tensión, el mismo que se encarga de traer la energía eléctrica a la estación de bombeo, este asciende a 164,854.96 soles sin IGV.

Si hubiese energía eléctrica disponible el costo de inversión del sistema convencional es 14,364.21 soles; además manteniendo el costo de mantenimiento, el resultado del costo total sería 176,426.65 soles.

CAPITULO V

V. CONCLUSIONES

- A lo largo de la presente investigación se demostró la funcionalidad del sistema de bombeo fotovoltaico mediante diseño adecuado; tomándose como base el mes de junio, siendo este el más crítico a lo largo del año, con un promedio de Irradiancia 4.85 kWh/m^2 . La funcionalidad 81.96% .
- El costo total de un sistema convencional y fotovoltaico es $341,281.61 \text{ S/}$. y $123,442.96 \text{ S/}$. respectivamente; el mismo que representa 2.8 veces más caro. por ello es muy rentable invertir en energías renovables para la localidad de Chaupi Sahucasi.
- En caso de que hubiese disponibilidad de electricidad en la zona el costo total de un sistema convencional y fotovoltaico es $176,426.65 \text{ S/}$. y $123,442.96 \text{ S/}$. respectivamente; el mismo que representa 1.4 veces más caro, por lo que aun así resulta más rentable invertir en energías renovables.
- En relación con los párrafos anteriores, hay que destacar que el costo más influyente de un sistema fotovoltaico son sus baterías, cuyo precio es de $60,052.00$ soles sin IGV que representa el 70% del costo de inversión. Asimismo, para el sistema convencional la Red Primaria de Media Tensión representa el 92% del costo de inversión.

CAPITULO VI

VI. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a las cartas solares (enlace en el anexo A) la inclinación óptima varía de 4 grados en octubre a 40 grados en junio, por ello resulta oportuno cambiar el ángulo de inclinación de los paneles solares si es posible, mínimo cuatro veces al año.
- En lo posible mantener una inclinación óptima del panel solar mayor a 15 grados, para que no se acumule suciedad; de no ser posible esto, realizar un mantenimiento más seguido para esa determinada época del año.
- También es bueno considerar que, de todos los componentes del sistema de bombeo solar, las baterías y paneles son los más sensibles a deteriorarse, la vida útil de la batería depende del número de ciclos de descarga que tenga, por ello es recomendable colocar pocas baterías de alta capacidad de almacenamiento en vez de varias baterías pequeñas de menor capacidad, ello permite que su vida útil sea aún mayor. Los controladores MPPT permiten que los paneles solares trabajen a su máxima potencia y conviene con respecto a usar las convencionales PWM que limitan la potencia.
- Ahora en la actualidad existen bombas solares, estos permiten bombear agua sin que sea necesario entregar energía constante, ya que se adaptan a la cantidad de energía disponible del día; ello permite que no sea necesario tener baterías, esto implica un ahorro importante, sin embargo, es conveniente redimensionar el reservorio y cisterna para este tipo de bombas.

CAPITULO VII

VII. REFERENCIAS

- Alonso, J. A. (s.f.). *Manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2017, de SunFields: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- Area Tecnologia. (s.f.). *Efecto Foelectrico*. Recuperado el 24 de Enero de 2018, de Tecnologia: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-foelectrico.html>
- Bowden, S., & Honsberg, C. (s.f.). *Masa de aire*. Recuperado el 27 de Febrero de 2018, de PVEDUCATION.ORG: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/masa-de-aire>
- Cerdán Cabrera, A. M. (2010). Diseño de un Sistema de Bombeo Solar – Eólico para Consumo de Agua en Cabañas Ecoturísticas en la Pitaya. IX Máster Propio Universitario en Energías Renovables, Arquitectura y Urbanismo la Ciudad Sostenible, Sevilla, España .
- Cruz Ornetta, V. (2012). Los Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica en el Peru. *Paradigmas*, 101-113.
- Díaz, J., & Ruiz, J. E. (2012). *Organización y Control del Mantenimiento de Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. (1ra ed.). España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Electrosol Energia S.L. (21 de Febrero de 2017). *¿Cuales son los años de vida de cada tipo de batería en una instalación solar?* Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de Damia Solar: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/cuales-son-los-anyos-de-vida-de-cada-bateria-solar_1
- Estrada Gasca, C., & Arancibia Bul, C. (2010). Las Energia Renobables: La Energia Solar Y sus Aplicaciones. *Revista Digital Universitaria*, 1-27.

- Fundación Wikimedia, Inc. (25 de Noviembre de 2007). *File:Standard deviation diagram micro.svg*. Recuperado el 26 de Marzo de 2018, de Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_deviation_diagram_micro.svg
- Fundación Wikimedia, Inc. (11 de Febrero de 2007). *File:Translacion.png*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Translacion.png>
- Fundación Wikimedia, Inc. (17 de Enero de 2008). *File:Horas solares pico.png*. Recuperado el 06 de Agosto de 2018, de Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horas_solares_pico.png
- Fundación Wikimedia, Inc. (07 de Diciembre de 2009). *File:Solstice and Equinox.svg*. Recuperado el 04 de Enero de 2018, de Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solstice_and_Equinox.svg
- Fundación Wikimedia, Inc. (2016). *File:Solar spectrum es.svg*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_spectrum_es.svg
- Grupo T-Solar S.A. (24 de Septiembre de 2018). *Aprovechamiento de la energía solar*. Recuperado el 25 de Octubre de 2018, de T-Solar: <https://www.tsolar.com/es/noticias/aprovechamiento-de-la-energia-solar.html>
- Herrera , W. G. (2006). *Determinación de Parámetros que Influyen en el Bombeo Fotovoltaico, en dos Sistemas de Riego: Directo a Baja Presión y con Tanque Elevado* . Lima: Rodríguez Impresores.
- Horn, M. J. (2006). Los retos energéticos del Perú. *perúeconómico*, 10-11.
- Jerí, C. J. (31 de Julio de 2014). *Rentabilidad Social en Proyectos de Inversión Pública*. Obtenido de Linked in: <https://www.linkedin.com/pulse/20140731153208-55318925-rentabilidad-social-en-proyectos-de-inversi%C3%B3n-p%C3%BAblica>
- Labouret, A., & Viloz, M. (2008). *Énergie Solaire Photovoltaïque. (4ta ed.)*. (A. M. Cenzano, Trans.). Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones & Mundi-Prensa Libros, S.A. (Trabajo original publicado en 2006).

- Mascaros, V. (2015). *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*. (1ra ed.). España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Méndez, J. M., Cuervo, R., & Formacion, B. V. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. (7ma ed.). Madrid: Fundación Confemetal.
- Morales, C. (s.f.). *Sombras y latitudes*. Recuperado el 13 de Julio de 2018, de Cesar Morales: <https://cesarmoralesescritor.com/2016/09/27/sombras-y-latitudes/>
- Real Academia de Ingeniería . (s.f.). *Irradiancia*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2018, de Diccionario español de ingeniería: <http://diccionario.raing.es/es/lema/irradiancia-1>
- Real Academia Española. (2014). *Funcional*. Obtenido de Diccionario de la Lengua Española 23 ed.: <http://dle.rae.es/?id=IbRm8lG>
- Resolucion Ministerial N° 192 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (17 de Mayo de 2018). Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. Lima, Perú. Obtenido de http://temis.vivienda.gob.pe/SIS_RESOLUCIONES/documentos.aspx
- SENAMHI. (2003). Atlas de la Energía Solar del Peru. *Electrificación Rural a base de Energía Fotovoltaica en el Perú*, 1-21.
- UO Solar Radiation Monitoring Laboratory. (2015). *Sun path chart program*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de University of Oregon Solar Radiation Monitoring Laboratory: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>
- Zhejiang Era Solar Technology co., Ltd. (s.f.). *Modulo Solar ESPSA 180-210*. Recuperado el 20 de Marzo de 2018, de Era Solar: http://www.erasolar.com.cn/archiv/Datasheet_ESPSA180_210.pdf

ANEXOS

ANEXO A: INCLINACIÓN DE PANELES SOLARES (CARTA SOLAR)

1. Realizado y Sacado de: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>

ANEXO B: COSTOS

1. Presupuestos sistema de bombeo eléctrico convencional
 - Análisis de costos unitarios
2. Presupuestos sistema de bombeo fotovoltaico
 - Análisis de costos unitarios
3. Costo inversión, mantenimiento y rentabilidad.
4. Cotizaciones.

ANEXO C: DATOS DE RADIACIÓN SOLAR HORARIA

1. Datos radiación solar (SENAMHI,2018).
2. Análisis de datos y resumen de radiación solar

ANEXO D: PLANOS

1. Sistema de bombeo fotovoltaico
 - Distribución en planta de los paneles solares
 - Plano hidráulico
 - Diagrama unifilar
 - Estructura, orientación e inclinación de paneles
2. Sistema de bombeo eléctrico convencional
 - Ubicación y trazo de la red de media tensión
 - Derivación de la red primaria
 - Llegada a la estación de bombeo
 - Detalles
3. Plano de conducción (Planta -Perfil)