

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA UN POZO
DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL
DISTRITO DE SAMA – TACNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. Junior Mario Choque Ramos

Para optar al Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA UN POZO
DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL
DISTRITO DE SAMA - TACNA**

Tesis sustentada el 05 de enero del 2022, estando integrado el jurado calificador por:

PRESIDENTE



Dr. Jesús Placido Medina Salas

SECRETARIO



Ing. Daniel Cárdenas García

VOCAL



Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

ASESOR



MCs. Reynaldo Clemente Telles Ríos

DEDICATORIA

A mis padres, que desde muy niño me inculcaron valores y me enseñaron la importancia de los estudios, desde el cielo ahora me protegen y siempre estarán en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis hermanos y mi pareja que estuvieron siempre a mi lado apoyándome en todo momento.

Además, agradecer a mis docentes que me enseñaron a valorar y querer más mi carrera, en especial al Ing. Daniel Cárdenas por sus consejos y a mi asesor Ing. Reynaldo Tellez por compartir sus conocimientos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ABSTRACT (Traducir nuevamente)	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1.1 Antecedentes del problema	2
1.1.2 Problemática de la investigación.....	5
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	6
1.3.1 Justificación ambiental.....	6
1.3.2 Justificación económica	6
1.3.3 Justificación social	7
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
1.5 OBJETIVOS.....	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos	9
1.6 HIPÓTESIS	9
1.6.1 Hipótesis general.....	9
1.6.2 Hipótesis específicas	9
CAPÍTULO II	11

MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	11
2.2 BASES TEÓRICAS	14
2.2.1 Energía fotovoltaica	14
2.2.2 Conceptos básicos de electricidad.....	29
2.2.3 Hidráulica del sistema de bombeo	41
2.2.4 Pérdidas primarias	51
2.2.5 Tipos de régimen de flujo:	52
2.2.6 Pérdidas secundarias	56
2.2.7 Bombeo fotovoltaico	58
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DEL DISEÑO	73
3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	73
3.1.1 Tipo de la investigación	73
3.1.2 Diseño de la investigación	73
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	73
3.3 VARIABLES.....	74
3.3.1 Identificación de las variables	74
3.3.2 Operacionalización de las variables	75
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	76
3.4.1 Estrategias para el objetivo	76
3.4.2 Técnicas de recolección de datos	77
3.4.3 Instrumentos y equipos	78
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	78
CAPÍTULO IV CÁLCULOS DE DISEÑO E INSTALACIÓN	80
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	80
4.1.1 Definición de la ubicación	80
4.1.2 Determinación de CDT	82

4.1.3	Selección de electro bomba solar	88
4.2	DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	91
4.2.1	Dimensionamiento	91
4.2.2	Selección del controlador	95
4.2.3	Arreglo fotovoltaico	99
4.3	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO	102
4.3.1	Procedimiento de instalación del sistema	103
4.3.2	Cronograma de avance de instalación.....	114
4.3.3	Aspectos de seguridad en la instalación.....	114
CAPÍTULO V		118
ASPECTOS ECONÓMICOS		118
5.1	ANÁLISIS DE COSTOS	118
5.1.1	Costos directos	118
5.1.3.	Costo total de instalación del sistema de bombeo fotovoltaico	120
5.2	FINANCIAMIENTO	122
CAPÍTULO VI ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		123
6.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	123
CONCLUSIONES		125
RECOMENDACIONES		127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		128
ANEXOS		134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de seguridad.....	49
Tabla 2. Bombas fotovoltaicas	70
Tabla 3. Operacionalización de las variables	75
Tabla 4. HSP del Lugar - Resumen meteorológico.....	81
Tabla 5. Resumen de longitudes	83
Tabla 6. Cuadro de propiedades de tuberías de acero.....	84
Tabla 7. Coeficientes de Hazen – Williams para materiales distintos	87
Tabla 8. Características de los modelos de bomba	90
Tabla 9. Datos de prestación de motores sumergibles	92
Tabla 10. Consumo de amperios.....	93
Tabla 11. Datos de módulos solares.....	94
Tabla 12. Selección de variadores.....	96
Tabla 13. Cuadros ESP IP20.....	98
Tabla 14. Cronograma de actividades	114
Tabla 15. Costos de la instalación del sistema bombeo fotovoltaico.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instalación del primer sistema de bombeo en la asociación Nuevas Tierras del Sur, Sama - Tacna	4
Figura 2. Sistema fotovoltaico en un proceso de bombeo de agua.	15
Figura 3. Irradiación y horas solares pico (insolación) en un día soleado.	19
Figura 4. Coordenadas en un mismo punto y de fechas distintas	22
Figura 5. Representación física del efecto fotovoltaico en una celda solar.	23
Figura 6. Generación eléctrica de una celda fotovoltaica	28
Figura 7. Curva de corriente – voltaje.....	34
Figura 8. La temperatura en la curva I-V.....	35
Figura 9. Temperatura en el punto de máxima potencia.....	36
Figura 10. Semejanza entre un sistema eléctrico y un sistema hidráulico con respecto a sus conexiones.....	37
Figura 11. Semejanza entre un sistema eléctrico y un sistema hidráulico con respecto a sus conexiones en paralelo.....	38
Figura 12. Estructura fija para maximizar la captación de radiación.....	39
Figura 13. Parámetros para poder definir la carga dinámica total del sistema de bombeo.....	43
Figura 14. Cargas estáticas en un sistema con altura estática de succión	44
Figura 15. Carga estática de succión.....	45
Figura 16. NPSH con altura estática de succión	50
Figura 17. Diagrama de Moody para coeficiente de fricción en conductos de paredes lisas y rugosas	54
Figura 18. Rugosidad relativa de algunos materiales.....	55
Figura 19. Instalación típica de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua (esquema).	59
Figura 20. Bomba centrífuga superficial.....	61

Figura 21. Esquema de una bomba tipo centrífuga superficial.....	62
Figura 22. Bomba centrífuga sumergible.....	62
Figura 23. Bomba sumergible (vista interna).....	63
Figura 24. Bombas centrífugas sumergibles	64
Figura 25. Esquema de una bomba tipo volumétrica de cilindro.....	65
Figura 26. Esquema de una bomba de diafragma sumergible	67
Figura 27. Bombas de diafragma superficiales	67
Figura 28. Selección según carga dinámica.	69
Figura 29. Ubicación del pozo.	80
Figura 30. Croquis de longitudes de pozo.....	82
Figura 31. Selección de tipo de bombas.....	88
Figura 32. Curvas y datos de prestaciones	89
Figura 33. Diagrama de componentes de cuadro ESP	97
Figura 34. Arreglos fotovoltaicos	100
Figura 35. Conexión de módulos en serie.....	101
Figura 36. Conexión de strings en paralelo.....	102
Figura 37. Distancia entre pilares.....	104
Figura 38. Instalación de pilares	104
Figura 39. Fijación de vigas a los pilares.....	105
Figura 40. Fijación de omegas	106
Figura 41. Fijación y conexión de módulos	107
Figura 42. Inicio de la instalación de la bomba	108
Figura 43. Instalación de tuberías	109
Figura 44. Instalación final de la tapa	110
Figura 45. Caseta de control.....	111
Figura 46. Controlador conectado.....	112
Figura 47. Instalación de filtro de armónicos.....	113

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar e instalar un sistema de bombeo fotovoltaico para un pozo de agua subterránea, ubicado en la asociación de irrigación Nuevas Tierras del Sur del Proyecto Agua Dulce, perteneciente al distrito de Sama – Tacna. El trabajo permitirá que los integrantes de dicha asociación concreten un proyecto de muchos años; además, servirá de muestra para asociaciones vecinas con una nueva alternativa en el tema de implementación de pozos subterráneos con profundidad de más de 100 metros. Para alcanzar el propósito, se elaboró una metodología de diseño para el uso en sistemas de bombeo fotovoltaico, efectuando cálculos en la parte hidráulica a partir de dos datos proporcionados por los dueños del pozo, caudal demandado y profundidad del pozo; en la parte fotovoltaica con datos adquiridos previamente como la potencia de la bomba calculada y la radiación solar media diaria del lugar.

Palabras clave: Bombeo fotovoltaico, Caudal, Hidráulica, Pozo subterráneo.

ABSTRACT

This research work was developed with the aim of design and install a photovoltaic pumping system for an underground water well, which is located in the Nuevas Tierras del Sur irrigation association of the Agua Dulce Project, belonging to the district of Sama - Tacna. The present investigation will allow the members of said association to materialize a project of many years; In addition, it will serve as a sample for neighboring associations with a new alternative in the implementation of underground wells with depths of more than 100 meters. To fulfill the objective, a design methodology was developed for the photovoltaic pumping system, making calculations in the hydraulic part from two data provided by the owners of the well, demanded flow and depth of the well; in the photovoltaic part with previously acquired data such as the calculated pump power and the average daily solar radiation of the place.

Keywords: Photovoltaic pumping, Flow, Hydraulic, Underground well.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la ciudad de Tacna se encuentra con problemas hídricos, que ha afectado a la población, la flora de la región y la agricultura (teniendo en cuenta que convirtió los terrenos fértiles en áridos). A partir de ello, diferentes proyectos de forestación tuvieron la intención de solucionar la falta de recursos hídricos y su calidad.

La energía proveniente del sol es un recurso que se está aprovechando en distintas partes del mundo. Su atractivo radica en que el mecanismo funciona con una fuente inagotable de energía fácilmente disponible (Prasad, Singh, & Nagar, 2017). Tacna es una zona con potencial para captar la radiación solar; por ello, se instalaron plantas fotovoltaicas cuya función fue alimentar el sistema eléctrico de la región.

Teniendo en cuenta las carencias y las oportunidades de la región, el presente estudio busca diseñar e instalar un sistema de bombeo fotovoltaico para un pozo de agua subterránea en el distrito de Sama ubicado en la región de Tacna.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

A la fecha, en la ciudad de Tacna acontecen problemas hídricos como la escasez de agua que, ante la demanda intensa para consumo del hombre y las diversas actividades agrícolas, se ha visto agravado con el tiempo. Ante ello, se generaron varios proyectos que intentaron resolver el problema de escasez. Uno de estos fue el proyecto llamado Agua Dulce cuya intención fue aprovechar las precipitaciones por quince años. Sin embargo, al estar ubicado en el desierto de Atacama, la disponibilidad de agua por medio de esta fuente es baja. Sumado a esto, no se invirtió el apoyo y esfuerzo suficientes para alargar la vida de Agua Dulce. Esta situación estimuló la búsqueda de agua por otras fuentes para satisfacer una de las necesidades primarias del hombre. El agua subterránea representó la alternativa más viable, pero a la vez resultó ser un punto de conflicto por falta de leyes y normas que regulen las actividades en el plano subterráneo (Pino, Conflictos por el uso del agua en una región árida:

Caso Tacna, Perú, 2021); por ejemplo, el acuífero de La Yarada, fue explotado incontrolablemente por más de cincuenta años (Pino, 2019). Por ello, el proyecto Agua Dulce cambió de estrategia, orientándose a la construcción de tres pozos que posteriormente fueron registrados en el ANA para empezar con los trabajos de excavación y profundización.

La fase de equipamiento de los pozos de agua subterránea por parte del proyecto Agua Dulce fue ejecutada con un sistema de bombeo convencional impulsado por motor diésel, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se aprecia el momento de instalación de dicho sistema. No obstante, la potencia de dicho motor fue exageradamente elevada, provocando que el caudal suministrado fuese mayor al caudal de recuperación del pozo, el cual, se secaba en media hora. Además, el costo de poner en marcha el sistema de bombeo resultó ser muy alto.

Figura 1

Instalación del primer sistema de bombeo en la asociación Nuevas tierras del Sur



Los sistemas que cuentan con el bombeo fotovoltaico o con energía solar son una opción para las zonas que se encuentran aisladas de los sistemas convencionales hídricos. A nivel mundial, el 17% de las ventas de módulos fotovoltaicos se dirigió a los sistemas de bombeo; además, varios estudios demostraron que dicho sistema resulta más competitivo en el mercado que el motor diésel por los costos y el nivel de impacto ambiental (Alonso & Chenlo, 2011).

A nivel nacional, los sistemas de bombeo fotovoltaico son empleados en distintas regiones como Puno, Arequipa y San Martín,

etc. Por el éxito de dicho mecanismo, el presente estudio planteó diseñar e implementar sistema de bombeo fotovoltaico instalado en el distrito de Sama, región Tacna.

1.1.2 Problemática de la investigación

Uno de los principales problemas de la presente investigación fue obtener la confianza de los integrantes de la asociación Nuevas Tierras del Sur para aceptar el proyecto debido al desconocimiento de algunos socios en este nuevo sistema de bombeo y su desconfianza por los intentos fallidos para implementar el pozo ya que se gastó capital sin poder recuperarlo.

Otro tipo de dificultades son los costos destinados dentro la implementación del sistema de bombeo fotovoltaico que resultaron ser elevados. Algunos componentes del sistema son caros dado que no pueden adquirirse en la localidad. Además, contar con personal calificado para su instalación aumentan los costos.

La obtención de información sobre el estado en el que se encontraba el pozo también dificultó la investigación dado que se debieron hacer pruebas hídricas al pozo para poder determinar su capacidad hídrica. Dichas pruebas son costosas y no se efectuaron correctamente. Por ello, se tomó solo como referencia el tiempo de

recuperación del pozo para establecer el caudal con el que posteriormente se trabajó.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible realizar el diseño e instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico para un pozo de agua subterránea en el distrito de Sama – Tacna?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La justificación e importancia que conforman esta investigación abarcan diferentes puntos de vista.

1.3.1 Justificación ambiental

La iniciativa impulsada estuvo basada en un sistema de alimentación por energía renovable; por ello, no generará un impacto ambiental negativo. Además, permitirá que la asociación de irrigación Nuevas Tierras del Sur, perteneciente al proyecto Agua Dulce, concrete el proyecto de forestación cuyo propósito es adecuar los terrenos desérticos para realizar cultivos aprovechando el de subsuelo que termina en el litoral.

1.3.2 Justificación económica

El sistema de bombeo fotovoltaico es ligeramente costoso. Sin embargo, en comparación con el sistema de bombeo convencional

impulsado por motores diésel, el sistema solar ahorraría bastante dinero a largo plazo a la asociación dado que su vida útil es más extensa y la fuente de energía es gratuita.

1.3.3 Justificación social

Los resultados de la presente investigación servirán para que las asociaciones se arriesguen por la construcción de un sistema de bombeo fotovoltaico cuya intención sería obtener agua subterránea en beneficio de la población y agricultura. Además, impulsará a que interesados en proyectos de energía renovable visiten el campo y aprendan más sobre el tema.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

El tema de implementar un pozo con un sistema de bombeo fotovoltaico es muy amplio. Abarca desde el estudio acerca del suelo donde se realizó la excavación, la cantidad de agua en el lugar y el equipamiento del pozo.

La presente investigación se centró en la parte de estudio de equipamiento utilizando como referencia el caudal que demanda la asociación y profundidad el pozo. Esta fase comprende desde la cimentación de las estructuras de anclaje para el sistema hasta la automatización del mismo de

modo que el sistema pueda ser ejecutado y operado por las personas pertenecientes a la asociación.

Se realizaron cálculos mecánicos de hidráulica básica, se definieron los parámetros de funcionamiento continuo de ocho horas (tiempo en el que se puede aprovechar la energía proporcionada por el sol), se estableció la cantidad de módulos solares para alimentar el sistema de bombeo según su capacidad y se determinaron otros componentes necesarios para la misma.

El proyecto se efectuó en solo uno de los tres pozos registrados por la asociación de irrigación Nuevas Tierras del Sur. Esto se debe a que ya se excavó y profundizó dicho pozo, estando disponible para la instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico. Sin embargo, no se descarta realizar el procedimiento completo para los otros dos pozos no considerados según los resultados del primero.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Diseñar e instalar un sistema de bombeo fotovoltaico para un pozo de agua subterránea en el distrito de Sama – Tacna.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema hidráulico para el sistema de bombeo fotovoltaico considerando la altura del pozo y el caudal demandado por la asociación.
- Calcular y dimensionar el sistema fotovoltaico que alimentará el sistema hidráulico que se instalará en el pozo, desde la cantidad de módulos a utilizar hasta otros equipos complementarios.
- Instalar el sistema de bombeo fotovoltaico y hacer las pruebas correspondientes para obtener resultados óptimos, y poder establecer parámetros para su operación y mantenimiento.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis general

El diseño e instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico en un pozo de agua subterránea en el distrito de Sama – Tacna permitirá que la asociación Nuevas Tierras del Sur pueda obtener agua para la irrigación de sus terrenos.

1.6.2 Hipótesis específicas

- El sistema de bombeo fotovoltaico cubrirá las demandas de agua requeridas por la asociación Nuevas Tierras del Sur en el distrito de Sama – Tacna.

- El sistema de bombeo fotovoltaico será libre de contaminación debido a solo se requerirá energía renovable que proviene del sol.
- Este sistema de bombeo impulsará a demás asociaciones a implementar futuros pozos para la obtención de agua de subsuelo y poder concretar un proyecto ya de muchos años.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La investigación de Salman, Obed y Abid (2021) tuvo el objetivo de representar un sistema fotovoltaico de bombeo de agua en Irak para reemplazar los sistemas que funcionan con motores diésel. El estudio fue de tipo aplicado de diseño, y se obtuvieron los siguientes resultados: el pozo tuvo una profundidad de 40 m reservando, por ello, se optó por una bomba sumergible que sería capaz de extraer 30 m³ de agua por día. Además, dicho sistema estaría compuesto por seis módulos cuya potencia fue de 300 Wp. En comparación con los sistemas con diésel, los sistemas fotovoltaicos obtuvieron una mayor eficiencia (42.6%) y utilizaron menos energía (-48.8%).

La investigación de Martínez (2020) presentó un sistema de bombeo fotovoltaico que proporcionaría agua. El tipo de estudio fue aplicado y con diseño experimental. Expuso los siguientes resultados: la radiación emitida por el sol máximo fue de 1,000 W/m², que impulsó un caudal de 4.1 m³ por hora gracias al pozo con una altura de 10 m y a cuatro módulos fotovoltaicos de 250 W de potencia.

Farfán y Campos (2019) analizaron el uso de la energía emitida por el sol fotovoltaica para bombear agua subterránea y destinarla a tierras agrícolas localizadas en la Cuenca Motupe, Lambayeque. El estudio fue de tipo aplicado con un diseño no experimental. Ofrecieron los siguientes resultados: la radiación del sol disponible fue de 4.21 Kwh/m^2 por día, lo que permitió el bombeo de un caudal de 15 m^3 al día con ayuda de una bomba tipo centrífuga sumergible y 8 módulos fotovoltaicos que requirió de 2.48 Kw-hora para energizar cada panel.

La investigación de Ksentini y Azzag (2019) tuvo como objetivo mejorar un sistema de bombeo de agua instalado en Argelia, reemplazando el motor diésel por módulos fotovoltaicos para obtener energía solar. El tipo de estudio fue aplicado y con diseño no experimental. Se obtuvieron los siguientes resultados: la irradiación solar diaria en promedio fue de 4.067 kWh/m^2 que impulsó 40 litros de agua por minuto a través de una bomba centrífuga y módulos con una potencia y tensión de 110 W y 3.15 A, respectivamente.

La investigación de Rua et al. (2018) diseñó un sistema de bombeo fotovoltaico portátil con fines agrícolas en Boyacá, Colombia. El estudio fue de tipo aplicado y no experimental. Expuso los siguientes resultados: la radiación solar promedio por día alcanzó los 5.04 Kw-hora/m^2 , impulsando un caudal de 64.4 litros de agua por día mediante un sistema compuesto por

una bomba sumergible y cuatro módulos, cuya potencia y tensión fue de 250 W y 24 V, respectivamente. Asimismo, se integraron dos baterías de 12 V y 120 A de modo que puedan suministrar energía dos días a la semana.

La investigación de Luza (2018) propone un sistema de bombeo con el uso de energía solar en el distrito de Carmen Alto, ubicado en la región de Arequipa. El tipo de estudio fue aplicado y con un diseño experimental. El autor obtuvo los siguientes resultados: la radiación solar promedio por día fue de 6.32 Kw-hora/m², lo que impulsó un caudal de 16 m³ con ayuda de cuatro módulos solares cuya potencia máxima alcanzó los 250 W. Además, el investigador sugirió adicionar baterías para que mejoren el desempeño del sistema propuesto

La investigación de Muhsen et al. (2016) plantea perfeccionar el proceso de dimensionamiento para optimizar el sistema de bombeo fotovoltaico. El tipo de estudio fue básico y el diseño no experimental. Obtuvo los siguientes resultados: la radiación solar diaria máxima fue de 958.3 W/m², impulsando un caudal de 10.185 m³ por hora a través de 9 paneles (cinco módulos estuvieron conectados en serie y cuatro módulos estuvieron conectados en paralelo). Es así que, con una altura de 20 m, el pozo proporcionó 30 m³ de agua al día.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Energía fotovoltaica

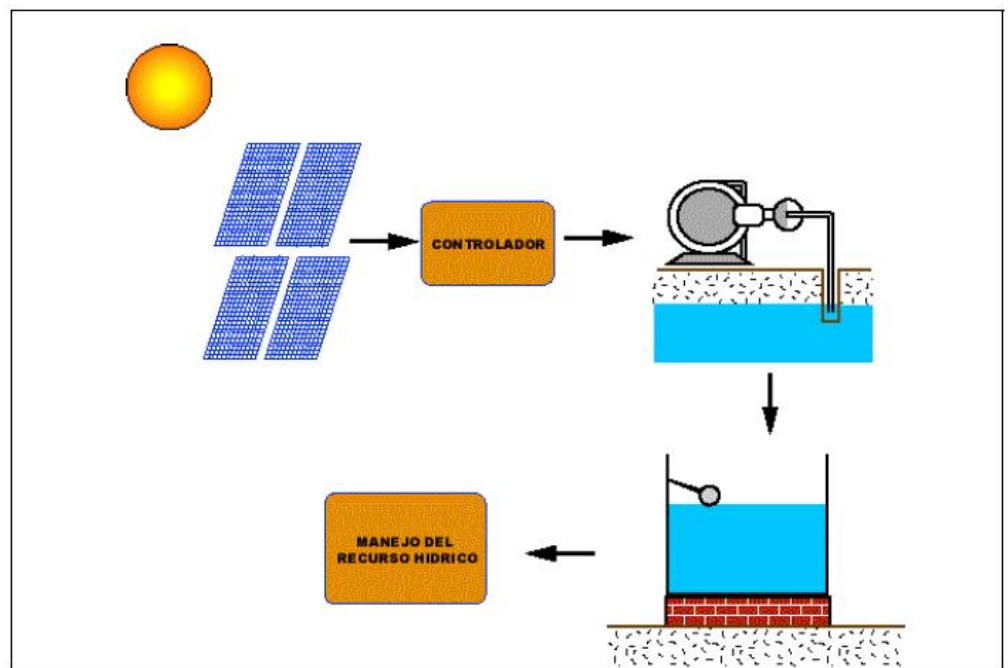
La energía necesaria para activar los sistemas de bombeo fotovoltaicos proviene del sol. La radiación solar representa una alternativa de energía inagotable, disponible, ecológica y gratuita (Farfán & Campos, 2019), por ello, comenzó a sustituir los sistemas de bombeo convencionales, los cuales empleaban energía eléctrica con motores diésel. La energía solar no solamente procede de una fuente renovable, sino que tiene un alcance mayor de la población dado que beneficia a habitantes del medio semi rural y rural (Rochín, Ortiz, & Ellis, 2000), donde la energía eléctrica no está instalada del todo.

Se capta la energía solar la misma que atraviesa un proceso de transformación a través de la utilización de celdas solares hasta llegar a convertirse en energía eléctrica, estos dispositivos son fundamentales para el diseño de los módulos fotovoltaicos (Sandia National Laboratories, 2000). Como parte de las fuentes naturales, el Sol representa uno de los principales recursos energéticos para la tierra, y es fascinante entender y comprender esta naturaleza, para ello, debemos conocer algunas herramientas y conceptos básicos de

electricidad, pues, esto nos llevará a descubrir el proceso de operación en un módulo fotovoltaico.

Figura 1

Sistema fotovoltaico en un proceso de bombeo de agua



Nota. Adaptada de Sandia National Laboratories, 2000.

El recurso solar. Se le conoce al sol como fuente inacabable de energía generado a partir de constantes reacciones de fusión nuclear desencadenados desde el núcleo hacia el exterior (Cunia, 2012). Ya que el sol cuenta con una enorme masa, se podría aseverar que su tiempo de vida sería “infinita” en comparación al periodo de existencia humana en la Tierra. La energía emanada por el sol como

radiación electromagnética, se compone esencialmente de luz y calor (Osorio, 2009).

Se denomina irradiancia a la potencia de radiación solar que puede llegar a recibir un captador generalmente es cuantificada a través de unidades de W/m^2 (Polo & Miranda, 2020).

Bajo un entendimiento general, la distancia “fija” entre el sol y la tierra permite establecer un índice de irradiancia exterior a la atmósfera terrestre, la misma que se estima en $1,353 \text{ W/m}^2$ (Sánchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sánchez, 2017).

Aproximadamente en el siglo XVI, periodo en el cual, la mayor conjetura era la geocéntrica, basándose en que el sol era quien giraba, quien tenía movimiento, explicando el misterio de luz en el día y oscuridad en la noche, como si el sol se prendiera y apagara, Galileo Galilei sostenía firmemente que ocurría un fenómeno contrario, pues aseveraba que el planeta tierra, giraba alrededor del sol.

Dicho fundamento es la base del fenómeno fotovoltaico, para ello, es necesario comprender todo el proceso de radiación solar, pues ocurre mucho desde la emisión pura de energía solar, hasta que llega a ser percibida por el hombre o tocar superficie terrestre.

Lo primero que analizaremos es la cobertura gaseosa de la tierra llamada “atmósfera terrestre”, que, a su vez se divide en cinco

zonas y nos centraremos en la estratósfera, la cual, abarca la capa de ozono siendo la primera protección ante las emisiones energéticas solares, pues la capa de ozono es nuestra principal defensa natural, protegiéndonos de los rayos ultravioleta y de tanta energía solar pura, en cuanto los rayos atraviesan la troposfera estos pueden llegar a chocar con gases, nubes, vapor de agua, entre otras y diversas partículas provocando distintos procesos, o muchos de ellos llegan directamente hasta la superficie terrestre, a esto se le conoce como radiación directa, cuando choca, sufre procesos de absorción, reflexión y refracción, en consecuencia, la radiación disminuye, a esto se le denomina radiación difusa, y por ultimo existe una radiación llamada albedo, y es la energía que se percibe después de un proceso de absorción, reflexión o refracción.

En la actualidad, un captador puede recibir hasta $1,000 \text{ W/m}^2$. (Sánchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sánchez, 2017). En un día despejado, sin la presencia de nubes, la componente que se recibirá en su mayoría por el captador es directa; por el contrario, en un día con presencia de nubes, la componente es difusa ya que es obstruida por la presencia de nubes.

Existe una variación constante en la irradiancia percibida, la cual, obedece a la hora del día, así como a las condiciones

atmosféricas dadas, siendo que los valores mínimos recogidos se dan durante el amanecer y atardecer, mientras que es al mediodía donde se presentan los máximos valores.

Así mismo, otro concepto a tener en cuenta es la **insolación**, según Juárez (2016), es un índice de acumulación de la irradiancia establecido para un periodo determinado tiempo. Si la magnitud temporal se mide en base a horas (h), entonces, la insolación asumirá las unidades de W-hora por metro cuadrado (W-h/m^2). Por lo general los datos son manejados, además de forma horaria, Tener presente que a la insolación también se puede expresar como **horas solares pico**. Una hora solar pico equivale a la energía captada durante una hora, con una irradiancia promedio de $1,000 \text{ W/m}^2$. La **energía** del producto del arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que capta.

Figura 3

Irradiación y horas solares pico (insolación) en un día soleado



Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

La trayectoria solar. Complementario a las condiciones atmosféricas, existe otro factor relevante a tomar en cuenta como parte del análisis de la radiación en función a la captación solar; es así, como el movimiento solar en el día y durante el año requiere ser tomado en cuenta. Se entiende que la tierra gira alrededor del sol (Arizaga, Cerda, & Balvantín, 2018). Concordando con la afirmación de Galileo Galilei con respecto a la rotación de la tierra, es vital entender la geometría y relación solar para comprender un sistema fotovoltaico, este último;

la energía solar es el combustible de nuestro proyecto, se conoce que la tierra depende de dicha energía y se sabe también que, la tierra cuenta con una dualidad de movimientos, uno rotativo, el que provee de un periodo diurno y uno nocturno, y otro de traslación, que es el movimiento alrededor del sol; no en círculos como se creyó por muchos años, si no en forma de elipse; y que da lugar a las estaciones del año. Es así, como percibimos esos dos movimientos con el día, la noche y las estaciones del año.

Ahora, en cuanto más nos alejemos de la línea de Ecuador, más notamos las estaciones del año. Por eso, en los países que están cercanos a Ecuador, prácticamente tienen la misma temperatura todo el año. Sin embargo, si nos vamos al norte, por ejemplo, a Noruega o países nórdicos veremos que tienen 6 meses de luz y 6 meses de penumbra y esto debido a que están muy próximos a los polos y por la inclinación de la tierra hay 6 meses en los que les da mucha luz y 6 meses de poca luz.

Es muy importante saber y entender el comportamiento de la tierra, el sol y sus posiciones a la hora de diseñar el sistema fotovoltaico pues determinaremos la inclinación que le debemos dar a los módulos, aprovechando más el verano y parte del invierno. Entonces, debemos conocer las coordenadas básicas e internacionales;

latitud y longitud; de nuestro futuro diseño, entendiendo que la latitud nos es más que, la distancia que existe de tu punto hacia la línea de Ecuador, en otras palabras, la latitud son las líneas paralelas a la línea de Ecuador que van hacia el norte y hacia el sur, por otro lado, tenemos la longitud que son esas líneas paralelas que van desde el meridiano cero o meridiano de Greenwich y van de este a oeste.

Otro aspecto importante es que, en el presente, se reconocen otros tipos de sistemas de coordenadas, que básicamente constan de medir la corteza terrestre en cuadritos más grandes o pequeños, para tener una mejor ubicación, sin embargo, en términos generales la latitud y longitud funcionan perfectamente.

Lo que sí, es fundamental en fotovoltaica definir la posición del sol, pues será la guía de nuestra futura instalación y esto se determina mediante dos ángulos, el ángulo cenital y acimut.

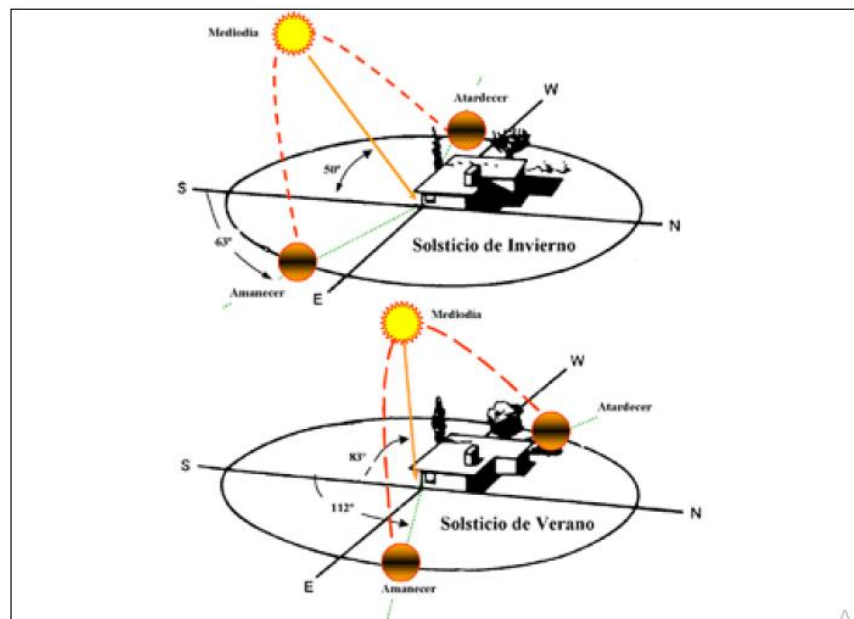
El ángulo cenital, es la posición desde la línea de Ecuador, hasta donde está el sol y el ángulo acimut se mide desde la posición del sol en ese momento, respecto al sur o al meridiano cero.

Con dichos ángulos; cenit y acimut; definimos la posición del sol evidentemente se va moviendo, pero son esos ángulos de referencia, con los que medimos su posición.

En el siguiente gráfico se reflejan coordenadas, es un ejemplo de movimiento del sol en un mismo lugar con dos fechas distintas, la primera el 21 de diciembre y la segunda el 21 de junio con una latitud de 16°N (CosmoAmautas, 2021).

Figura 2

Coordenadas en un mismo punto y de fechas distintas



Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

Efecto fotovoltaico. Este efecto se basa en otro llamado fotoeléctrico que accidentalmente fue descubierto por Hertz, pero desarrollado y complejamente explicado por Einstein hace más de 200 años, solo para poner en contexto, se explica que, en aquella época la

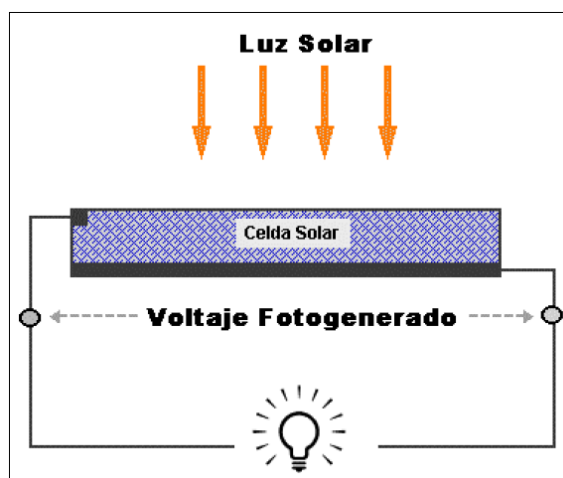
luz era considerada como una onda electromagnética y fue Einstein quien por primera vez y usando conceptos cuánticos para explicar fenómenos físicos, demostraría uno de los conceptos más intrigantes de la cuántica, la dualidad onda partícula concretamente el fotón.

Ahora bien, básicamente el efecto fotovoltaico es todo aquello que produce energía eléctrica gracias a la energía solar.

Dicho efecto se produce cuando los terminales son sometidos a la iluminación, bajo lo cual, logra producir voltaje. De este modo, si se conecta algún dispositivo electrónico como una lámpara, por ejemplo, esta podrá ser encendida puesto que accederá a corriente eléctrica; esta dinámica permite evidenciar de forma práctica el efecto fotovoltaico.

Figura 3

Representación física del efecto fotovoltaico en una celda solar



Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

El resultado fotovoltaico, para Rodríguez, Moure y Quiñones (2020), se puede producir en distintos materiales que pueden ser, sólidos, tal vez líquidos o hasta gaseosos; Sin embargo, en sólidos o materiales semiconductores, se encuentra mayor eficacia en la conversión de energía, dicho de otro modo, la luminosa eléctrica. Por otro lado, existen distintos materiales semiconductores que hacen posible la fabricación de módulos o celdas solares, a pesar de lo mencionado anteriormente, es el silicio que resulta óptimo en sus diferentes formas de fabricación para el desarrollo fotovoltaico. Sandia National Laboratories (2000) detalla cada una de estas formas:

Silicio monocristalino. Dentro de las dinámicas de gestión de energía solar, este tipo de silicio es utilizado dentro de la fabricación de células fotovoltaicas alcanzando una eficiencia del 17 %. Bajo estas condiciones diferentes fabricantes sustentan su durabilidad máxima de 25 años.

Silicio policristalino. Como señala su propio nombre, este tipo de celdas se componen por grupos de cristales de silicio. Este tipo de dispositivo fue creado con el objetivo de reducir costos de fabricación. Sin embargo, estas celdas son ligeramente menos eficientes con respecto a las monocristalinas. Dependiendo del

fabricante, la garantía estimada puede variar dentro de periodos máximos de 20 años.

Silicio amorfo. Son denominados de este modo por no presentar el patrón ordenado como en el silicio cristalino. Y es que su tecnología ha pasado por una serie de modificaciones constantes durante los años más recientes. Actualmente su eficiencia esta entre 5 y 10 %. En cuanto a la garantía se aproxima entre los 10 años siempre tomando en cuenta los establecido por cada fabricante.

Principios de la conversión fotovoltaica. Un átomo, en el núcleo y los electrones específicamente, gracias a la carga positiva del núcleo y negativa de los electrones, generan un conjunto eléctricamente neutro. Ahora bien, es importante poner atención a los denominados electrones valencia, los cuales, vienen a ser los que cuentan con niveles de energía externos (Sánchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sánchez, 2017).

Los materiales semiconductores como el silicio principalmente, son elementos esenciales dentro de la manufactura de celdas solares, pues la energía que impacta con los electrones de valencia al núcleo llega a ser parecida en cuanto a energía de los fotones que no es más que luz solar directa. De esta manera, en el momento en que el semiconductor es afectado por la luz del sol, sus

fotones rompen los enlaces de los electrones de valencia y quedan libres para circular por el material. Ahora en este proceso se genera un hoyo que adopta comportamientos similares a la de una partícula con carga positiva y en el instante en que el semiconductor genera pares de electrón-hueco, ocurre una foto generación de portadores de carga negativos y positivos, lo que contribuye a reducir la resistencia eléctrica del material (Vivas, 2013). Todo este proceso es conocido también como el principio básico de la fotorresistencia.

En la Figura 6, se logra visualizar una representación simplificada de una celda solar y el principio básico de la conversión fotovoltaica. En la celda solar se logra distinguir la presencia de dos capas unidas compuestas por materiales semiconductores tipo p y n, los cuales están provistos de contactos eléctricos en la parte superior e inferior.

La Capa P está conformada de impurezas de boro incrustadas en el silicio que crean una zona positiva, en otras palabras, contiene un electrón menos que el silicio por lo que se generan los huecos (+).

La Capa N contiene impurezas de fosforo incrustadas en el silicio creando una zona negativa de electrones libres de carga negativa.

Sánchez et al. (2017) establecen que el espesor de esta estructura de capas es variable, por valores menores a una micra en el caso de semiconductores con características muy absorbentes, por unos cientos de micra en el caso de semiconductores de poca absorción. El enlace entre las capas p (lado positivo) y n (lado negativo) es el resultado de que se origine un campo eléctrico en su interior.

Durante la absorción de radiación luminosa (fotones) a través de semiconductores, se gesta una abundante concentración equilibrada de parejas de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales requieren ser aislados los unos de los otros, de forma que permitan su aprovechamiento energético. El transporte de los portadores fotogenerados se realiza por medio de un gradiente de concentración hasta alcanzar una combinación dividida por el campo eléctrico. Esta división direcciona todos los electrones fotogenerados hacia la capa n y también hasta los huecos fotogenerados en la capa p, generando una diferencia de potencial de las superficies superiores e inferiores (Sánchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sánchez, 2017).

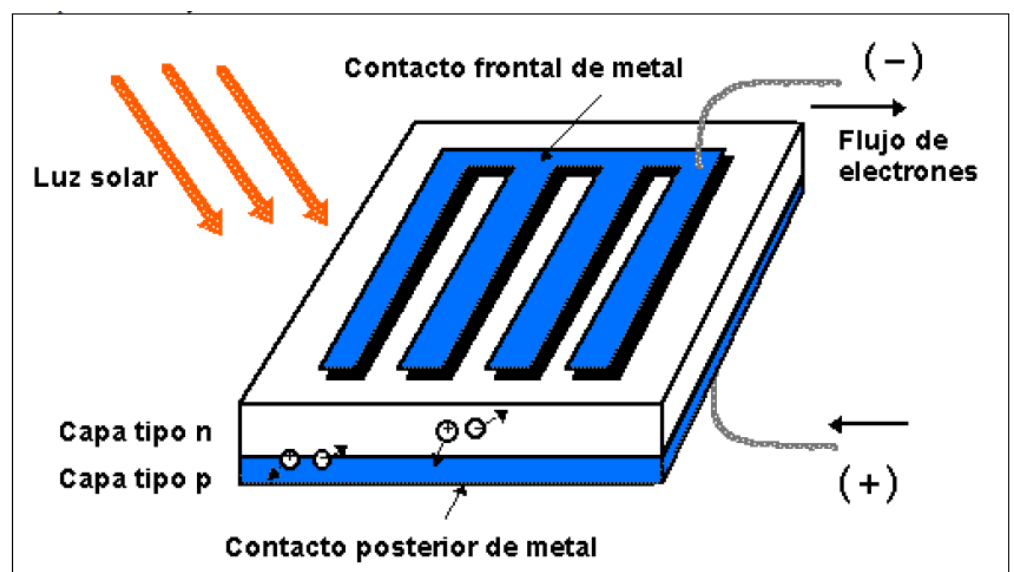
El almacenamiento de cargas en la periferia del artefacto brinda como resultante un voltaje eléctrico el cual es susceptible a medición externa, que es conocido como el efecto fotovoltaico. Este

voltaje fotogenerado es el comúnmente conocido efecto fotovoltaico. La construcción de circuitos eléctricos exteriores, vinculados a la pareja de capas, permite gestionar la circulación de electrones a través del circuito con reingreso a punto de origen. Dicho flujo de electrones forma algo llamado corriente fotovoltaica o foto-generada.

En un circuito abierto, el efecto fotovoltaico ocasiona una diferencia de potencial que se da entre la parte superior e inferior de la estructura.

Mientras que, en condiciones de corto circuito, el proceso provoca una corriente eléctrica que va de la parte positiva hasta la negativa.

Figura 4
Generación eléctrica de una celda fotovoltaica



Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

2.2.2 Conceptos básicos de electricidad

Enríquez (2005) determina los siguientes conceptos básicos de la electricidad:

La corriente eléctrica (i). Hace referencia a la circulación (a través de un material conductor) de carga eléctrica por unidad de tiempo y se le designa la letra I; por la intensidad del flujo de electrones, adopta la medición a través de las unidades Amper.

Voltaje eléctrico o diferencial de potencial (v). Imaginemos un lago donde obviamente el agua está estancada y no puede cambiar de posición, pero, si lo inclinamos el agua tendera a caer, entonces lo que determinaría el movimiento del agua en un lago sería una pendiente, esta pendiente sería nuestra diferencia de potencial o voltaje eléctrico.

Cuando son introducidos en un conductor, los electrones son dotados de una energía potencial o diferencia potencial, esta le permite modificar la posición de los electrones ubicados dentro del conductor (Fernández, Leggeri, & Soldevilla, 2019).

Potencia eléctrica (p). La potencia es definida comúnmente a través de la letra P, siendo su unidad de medida el watt (W). Veamos la siguiente fórmula que nos ayudará a calcular la potencia eléctrica:

$$P = I \times V$$

Donde:

P = potencia en watts

I = corriente en amperes

V = voltaje en volts

Energía eléctrica. Hace referencia a aquella potencia eléctrica consumida en un tiempo específico, la unidad de medida manejada en este caso son los watts/hora o kilowatts/hora; a continuación, veremos su fórmula:

$$E = I \times V \times t$$

Donde: t es el tiempo en horas.

Celda solar de silicio cristalino. El silicio es el material fundamental que se utiliza dentro de la construcción de celdas solares, cuando este se encuentra en forma de lingote, es rebanado en láminas delgadas a las que se les denomina obleas y el espesor aproximado es de 400 nm (0.4 um). Un dato importante es que a una fracción muy pequeña de espesor 0.5 nm, se le impregna átomos de fósforo, la capa descrita es de tipo-n mientras que al resto de la oblea se le impregna átomos de boro, formándose una nueva capa de tipo-p.

Las capas de tipo-n y tipo-p, cuando se unen forman un campo eléctrico que se requiere para separar a los portadores que se foto generan.

Por último, dicha celda se compone también de dos terminales, que son las encargadas de extraer la corriente producida a través de un circuito externo (Kahn, Bakshi, & Mahmud, 2014). La cara que se expone a la luz denominada oblea, consta de un enrejado metálico muy fino que puede ser de titanio, paladio, plata, que cubre entre el 5 y 10% del área de la oblea teniendo como función principal, recolectar los electrones fotogenerados. Dicha superficie o capa, compete la terminal negativa, mientras tanto la otra cara se recubre totalmente por una capa de aluminio y se le denomina terminal positiva (Sánchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sánchez, 2017). Entonces, otro conductor del circuito exterior, se conecta a esta capa, esto se da para reducir las pérdidas que se ocasionan por reflexión la cara de la celda que se expone a la luz se cubre de un tipo de capa antirreflejante, comúnmente es óxido de talio, que también cumple la función de capa anticorrosiva (Said, Hassan, Walwil & Aqeeli, 2018). Por otro lado, el compuesto antirreflejante, así como la estética externa destinada a la capa n, contribuyen a fijar el color representativo de los módulos o celdas solares (Shanmugan et al., 2020).

Pues bien, un módulo o celda solar comprende características eléctricas que debemos conocer, por un lado, está el voltaje a circuito abierto, por otro, la corriente a corto circuito y por último la potencia máxima generada, siendo esta última hace posible implementar la evaluación de conversión eficiente de luz en electricidad. Veamos:

Corriente a corto circuito (I_{cc}). Se Habla de la máxima corriente generada por la celda solar, esto se determina por medio de la conexión a un circuito exterior al módulo o celda con una resistencia nula y su valor resultante obedece netamente a la radiación luminosa y área superficial. La unidad de densidad de corriente es Amp/cm^2 (Inganzo, De la Torre, Gómez & Inganzo, 2016).

Voltaje a circuito abierto (V_{ca}). (V_{oc} por sus siglas en inglés): Se trata del mayor voltaje que puede genera una celda solar. Dicho voltaje es determinado o medido sin la necesidad de contar con un circuito externo vinculado a la celda. Para llevar a cabo esta medición se toman en cuenta condiciones normalizadas asociadas a los valores voltaicos típicos regularmente obtenidos en un circuito abierto con una celda solar, y que contenga silicio cristalino es de orden 0.600 V (Inganzo et al., 2016a).

Máxima potencia generada (P_m): Su cálculo es definido por una pareja de valores I_m y V_m cuyo resultado es máximo. La eficacia

de conversión de una celda, η , se calcula con el cociente entre el valor de la mayor potencia generada, P_m , y la potencia de la radiación luminosa, P_I o radiación por área de la celda (Inganzo et al., 2016b).

Factor de forma (FF): Veamos en la siguiente relación la curva Intensidad- Voltaje (I-V).

$$FF = \frac{P_m}{V_{ac} \times I_{cc}}$$

P_m . Potencia máxima

V_{ca} . Voltaje a circuito abierto

I_{cc} . Corriente a circuito abierto

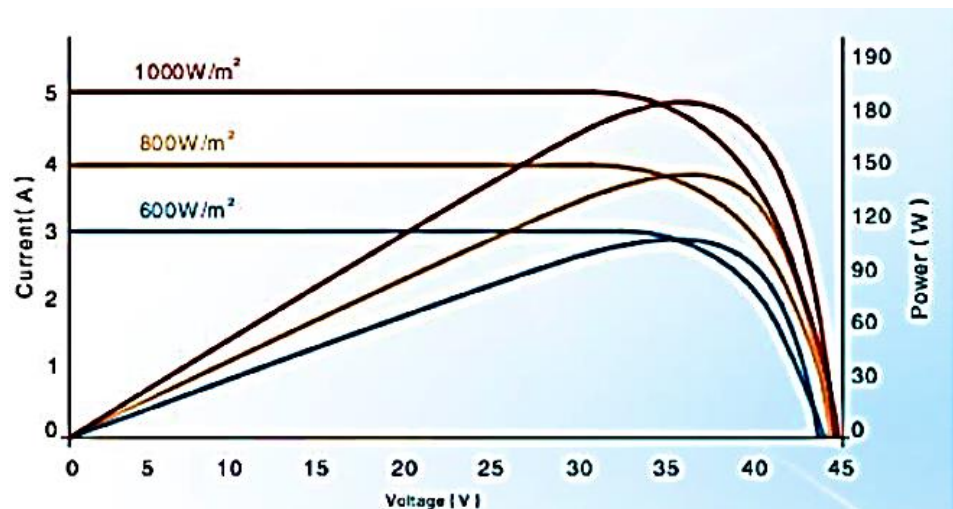
Módulo fotovoltaico. Es necesario medir la eficiencia de un panel solar y la mejor manera de llevar un monitoreo es a través de la curva Corriente-Voltaje (I-V) del panel solar, por ser un elemento fotovoltaico representa los posibles puntos de operación de corriente y voltaje, los cuales sufren variaciones basadas en los factores medioambientales (Vargas & Abrahamse, 2014).

Las curvas de corriente – voltaje, publicadas por los fabricantes se dan bajo radiación solar incidente y temperatura ambiente. La determinación del punto de corriente y voltaje destinado

para trabajo del dispositivo fotovoltaico, dependerá de la carga conectada (Vargas & Navia, 2015).

Para medir la curva de corriente y voltaje, se debe aumentar la carga exterior o resistencia y medir la corriente y voltaje de la carga. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las líneas de carga para distintos valores de resistencia.

Figura 5
Curva de corriente – voltaje



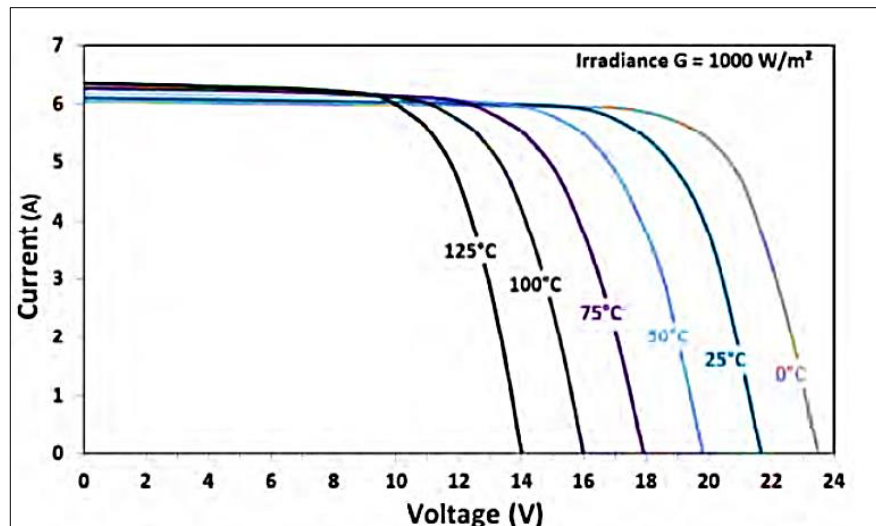
Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

En cuanto un panel se calienta por la energía de la radiación, la tensión del circuito abierto y la tensión del punto de máxima potencia baja. Por su parte, la intensidad suele contar con una significativa estabilidad. Bajo términos gráficos: la curva intensidad -

voltaje va a la izquierda con el aumento de la temperatura, tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 6

La temperatura en la curva I-V

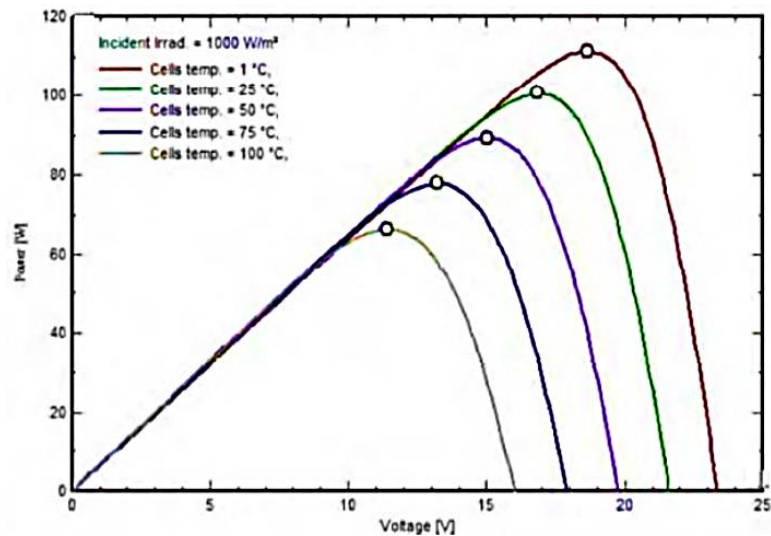


Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

Del mismo modo, el punto de máxima potencia, se extiende a la izquierda, hasta un punto donde empieza a descender, ello implica que el producto del voltaje y la corriente baja cuando aumenta la temperatura.

Figura 9

Temperatura en el punto de máxima potencia



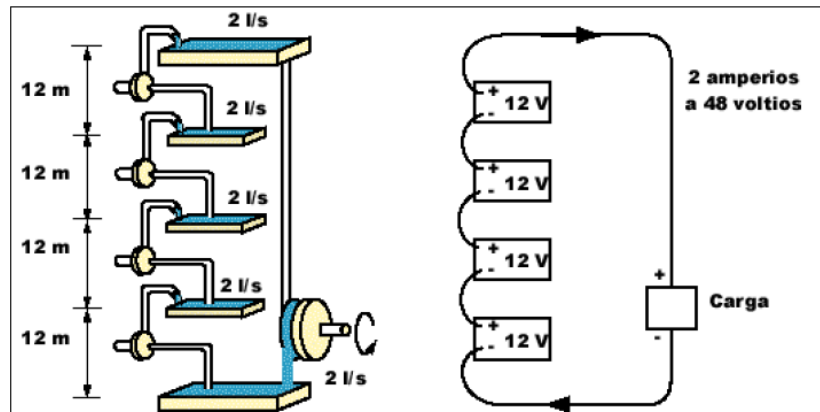
Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

Arreglos fotovoltaicos. Se le denomina así, al conjunto de módulos que se conectan en serie o en paralelo (Comisión Nacional de Riego, 2018).

Incremento de voltaje: La obtención de altos voltajes de salida requiere que los módulos solares deban conectarse en serie y se adicionarán los voltajes que genere cada uno de los módulos (Vilca, 2021).

Figura 10

Semejanza entre un sistema eléctrico y un sistema hidráulico con respecto a sus conexiones

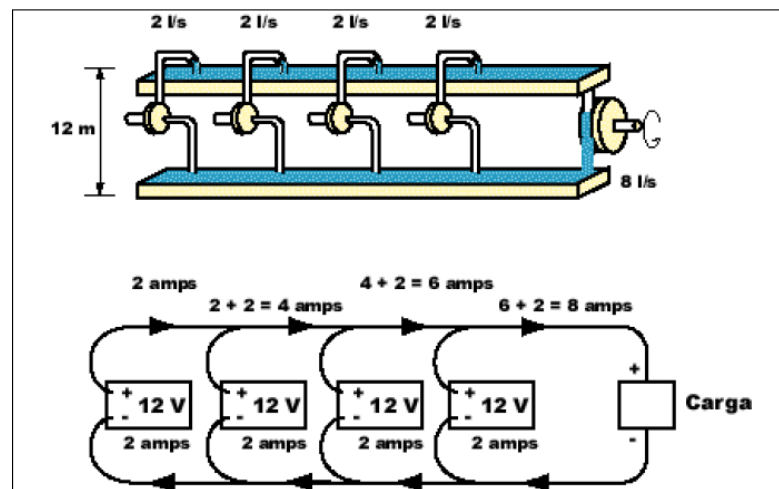


Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

Incremento de corriente: Para obtener corrientes más grandes los módulos solares se deben conectar en paralelo, logrando que el voltaje del conjunto sea el mismo que el de un módulo logrando que, la corriente de salida sea la suma de cada unidad conectada en paralelo (Sánchez F. , 2019).

Figura 7

Semejanza entre un sistema eléctrico y un sistema hidráulico con respecto a sus conexiones en paralelo



Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

Inclinación del arreglo fotovoltaico. Cuando los rayos solares llegan perpendicularmente hasta el captador se logra conseguir el límite superior energético, bajo esta condición, la gestión de arreglos fotovoltaicos requiere concretar este aprovechamiento a través de la utilización de estructuras de montaje móviles los cuales permiten que los módulos se vayan acomodando perpendicularmente a la posición del sol durante los periodos de luz (Pineda, 2016).

En la actualidad, ya se han desarrollado seguidores que son las estructuras que se ajustan automáticamente según el ángulo del azimut. Por lo general, se conserva un ángulo de elevación constante y en otras ocasiones se recurre a la implementación de seguidores

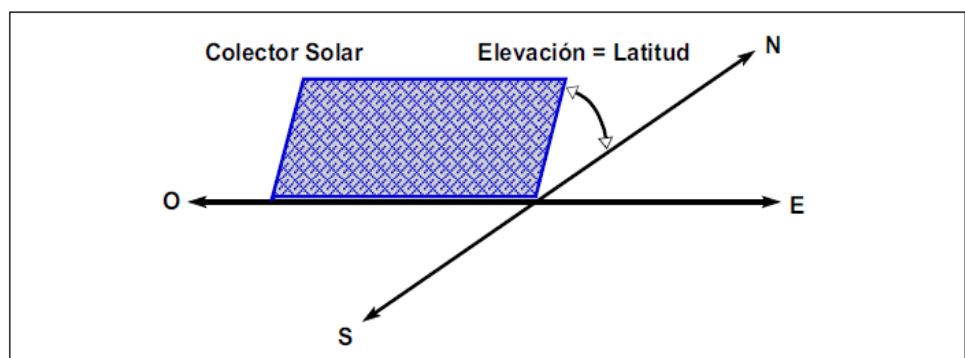
azimutales. Esto dependerá de la latitud de la localidad, siendo que los seguidores azimutales tienen la capacidad de aumentar la insolación promedio anual considerablemente hasta llegar a un 25% (Hernández, 2014).

En la Figura 12, se grafica el diseño que se acopla como parte de una estructura fija, la cual, toma en consideración el ángulo de elevación que va modificándose a lo largo del año, se debe ser cuidadoso al calcular dicho ángulo para así poder aprovechar lo más posible la producción de energía eléctrica (Vilca, 2021).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que en el hemisferio Norte el sol se inclina hacia el sur, motivo por el cual, los arreglos fijos se deben colocar con una inclinación dirigida hacia el sur.

Figura 8

Estructura fija para maximizar la captación de radiación



Nota. Tomada de Sandia National Laboratories, 2000.

Regla de mano. La inclinación de nuestro diseño es determinada en función a la demanda de agua anual. Sin embargo, en caso de ser necesario el bombeo total de las reservas anuales de agua, se deberá implementar el valor de la latitud local de la zona dentro de la inclinación (Sandia National Laboratories, 2000).

Por otro lado, la energía que otorga un módulo o arreglo fotovoltaico depende netamente de la radiación que puede ser difusa, de albedo o mayormente de la radiación directa (Sagua, 2017). Por ello, es posible calcular la energía eléctrica (en kWh/día) utilizando las siguientes aproximaciones Vilca (2021):

- A. La capacidad real nominal de un módulo fotovoltaico debería ser de 85%, sin embargo, después de las pruebas realizadas en la estructura anclada al suelo se detectan 55 °C durante el día, lo que significa que está 30 °C por encima de las condiciones estándares de prueba, indicando que la capacidad real del arreglo es aproximadamente 15 % menor a su potencia nominal.
- B. La energía eléctrica depende dos factores elementales, los cuales son la capacidad real del arreglo y el ángulo de elevación del arreglo.
- C. Tener en cuenta que si se usa un seguidor azimutal, la energía se incrementará en un 25 %.

2.2.3 Hidráulica del sistema de bombeo

Es importante comprender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra para poder determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, dicho tamaño se relaciona directamente con el producto de carga dinámica total y el volumen de agua diario necesario.

Si sumamos la carga estática y dinámica obtenemos la dinámica total:

Para calcular la carga total de bombeo se tiene que determinar la energía necesaria para impulsar el fluido desde el punto de succión hasta el punto de descarga, sin tener la resistencia de la tubería y accesorios, al paso del fluido (Madu & Nwankwo, 2018).

Carga dinámica total (CDT). Se puede calcular con la suma de todas las resistencias del sistema, pertenecientes a la carga estática total, por la pérdida de carga por la fricción en la tubería de succión y descarga y a la carga de velocidad (Pérez, 2015).

$$CDT = H_e + H_f + H_v$$

Para hallar la carga dinámica total del sistema se utilizar la ecuación de Bernoulli y si se aplica en su sistema de bombeo (Bhatia, 2015). Obtenemos la expresión siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_s + CDT - H_{f1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_d$$

Donde:

P_1 y P_2 : Presión que existe en la superficie del líquido específicamente en los puntos 1 y 2

V_1 : Velocidad de fluido en el punto 1

V_2 : Velocidad de fluido en el punto 2

h_s y h_d : Las alturas de la succión y descarga respectivas

CDT :Es el total de la carga dinámica que la bomba debe desarrollar para enviar el fluido del depósito 1 al depósito 2 a la capacidad definida.

H_{f1-2} :Son el total de pérdidas de carga que sufre el líquido en la tubería de succión y descarga.

γ :Densidad del fluido a la temperatura del bombeo

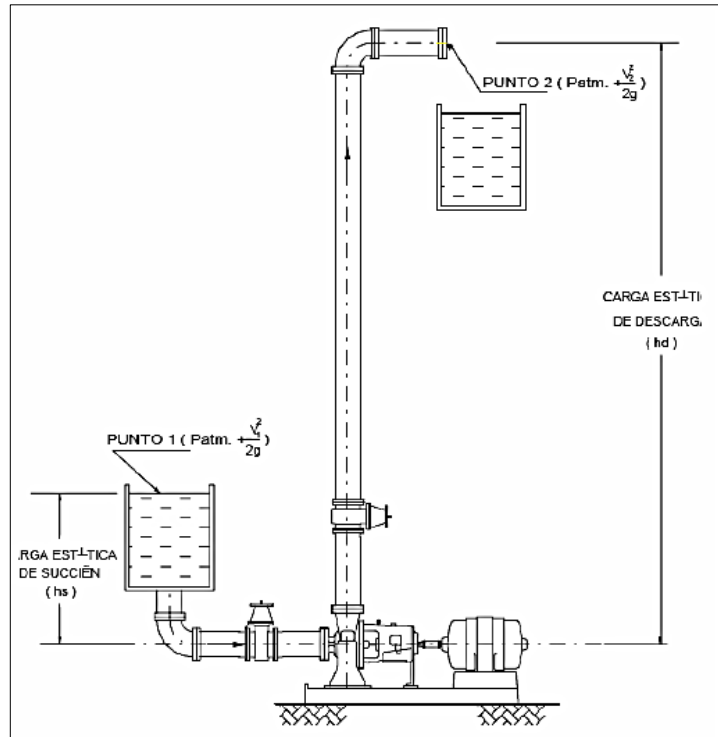
G :Aceleración originado por la gravedad

De la anterior ecuación se tiene que la carga dinámica total sea:

$$CDT = \frac{P_2 + P_1}{\gamma} + (h_d + h_s) + H_{f1-2} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Figura 9

Parámetros para poder definir la carga dinámica total del sistema de bombeo



Nota. Tomada de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

Para sistemas atmosféricos $P_1 = P_2$ y para hacer el desarrollo más sencillo considerar la velocidad de succión despreciable, teniendo así:

Para sistemas con carga de succión.

$$CDT = (h_d - h_s) + H_{f1-2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

En sistemas con altura de succión.

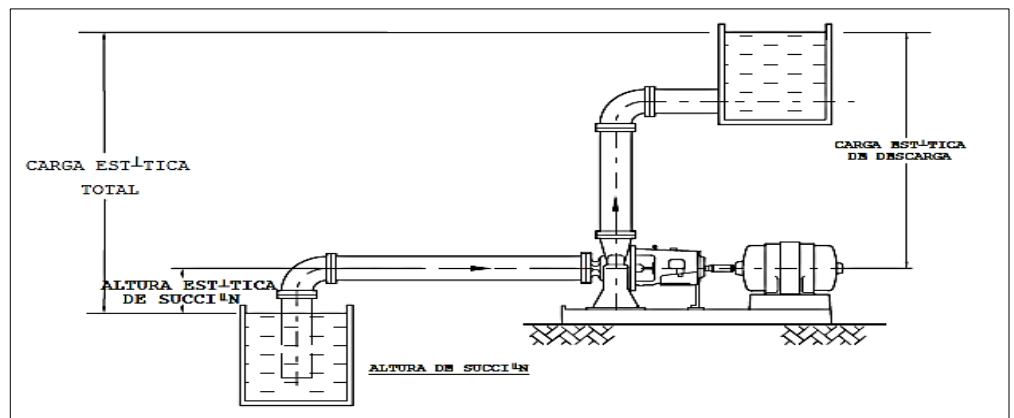
$$CDT = (h_d + h_s) + H_{f1-2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Nota: los componentes de la carga dinámica total, se describen a continuación:

Altura estática de succión (h_s). (-). Se le denomina así, a la distancia vertical entre la línea central de la bomba y el nivel del líquido a ser bombeado (Lopera, 2018).

Figura 10

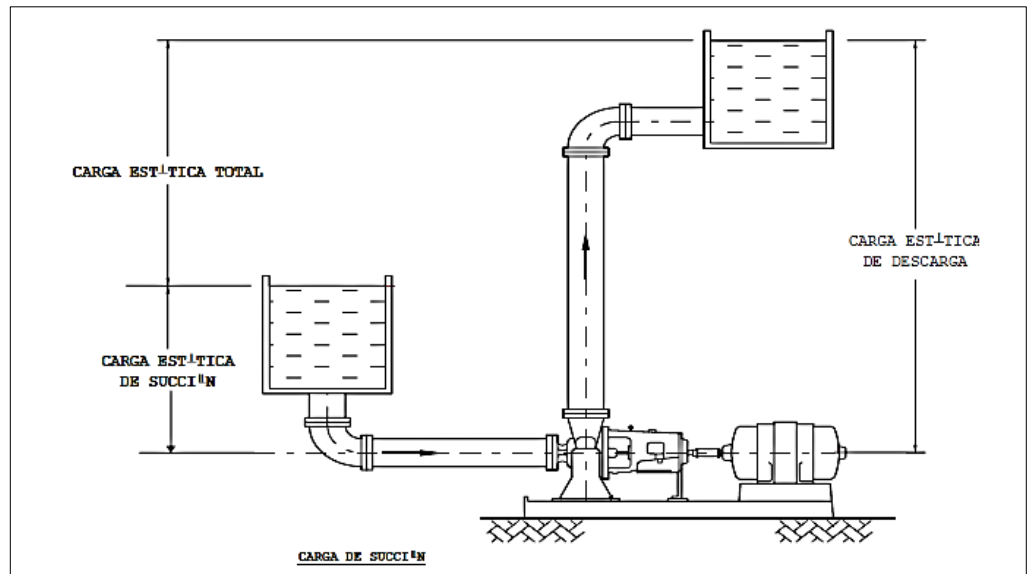
Cargas estáticas en un sistema con altura estática de succión



Nota. Tomada de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

Carga estática de succión (h_s). (+). Se le denomina así, a la distancia vertical que hay desde la línea central de la bomba hasta el nivel del líquido a ser bombeado (Barrientos, 2017).

Figura 11
Carga estática de succión



Nota. Tomada de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

Carga estática de descarga (h_d). Se obtiene de la distancia vertical entre eje central de la bomba y el punto de descarga o de la superficie del fluido en el contenedor de descarga (Barrientos, 2017).

Carga estática total (H_e). Se define como la suma algebraica de las formas que preceden la carga estática, se grafica en las Figuras 14 y 15.

$$H_e = h_d \pm h_s$$

Carga de fricción (H_f). Es la carga requerida para vencer la resistencia del líquido que fluye en la tubería y sus accesorios,

actuando como variables el tamaño y tipo de tubo, accesorios, y la naturaleza del líquido (Barrientos, 2017).

$$H_f = H_{fs} + H_{fd}$$

Donde:

H_{fs}: Es la carga por fricción en la succión

H_{fd}: Es la carga por fricción en la descarga

La carga de velocidad (H_v) Energía resultante del movimiento de un líquido a cierta velocidad (V). Es la carga que se necesita para que un líquido acelere (Comisión Nacional del Agua, 2007) y la podremos calcular usando la siguiente fórmula:

$$H_v = \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

V: Velocidad del líquido

g: Aceleración de la gravedad

La carga de presión. Esta carga se determina en cuanto un sistema de bombeo inicia o termina dentro de un tanque presurizado, e inmediatamente debe convertirse a columna del líquido (Comisión Nacional del Agua, 2007). La carga total del sistema de cualquier

flujo, llega a ser la combinación de distintos conceptos, tanto de carga estática, fricción, velocidad y presión, también conocidas como cargas dinámicas.

Altura dinámica de succión (Hs). En este punto es muy importante entender que, para tomar la altura estática de succión, no debemos considerar ni carga de velocidad en la brida, ni la carga de velocidad de succión de la bomba (Barrientos, 2017).

$$H_s = h_s - \frac{V_s^2}{2g} + H_{fs}$$

Entonces, para determinar la altura dinámica de succión, esta debe tomarse con el manómetro colocado en la brida de succión, y debe ser convertida a columna o altura del líquido y corregida en la línea central de la bomba, siempre teniendo en cuenta el detalle de no incluir la carga de velocidad en el punto de unión del manómetro.

Carga dinámica de succión (Hs.) Ver su fórmula:

$$H_s = h_s + \frac{V_s^2}{2g} + H_{fs}$$

Nuevamente dicha lectura debe ser tomada desde manómetro en la brida de succión (altura del líquido) y corregida en la línea central de la bomba, en este caso, si se debe tomar en cuenta la carga de velocidad en el punto de unión del manómetro.

Carga “dinámica” de descarga (Hd). Ver la fórmula para poder analizarla:

$$H_d = h_d + \frac{V_d^2}{2g} + H_{fd}$$

La carga dinámica total de descarga comprende la lectura del manómetro en la brida de descarga, convirtiéndola en la columna del líquido y corregida en la línea central de la bomba, agregando la ‘carga’ de velocidad en el punto de unión del manómetro.

Carga total o carga dinámica total (CDT). En las siguientes fórmulas se tomará en cuenta que en la primera se considera la altura de succión y en la segunda la carga de succión.

$$CDT = H_d + H_s$$

$$CDT = H_d - H_s$$

Capacidad o gasto (Q). Por lo general, se expresa en m³/s o GMP (galones por minuto) y se determina según el volumen de líquido que puede mover la bomba en un determinado tiempo (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Carga neta positiva de succión (NPSH). Gracias a la NPSH se puede determinar la cantidad de carga que puede llegar a existir en la succión para evitar la vaporización del líquido en el menor punto de presión con respecto a la bomba teniendo en cuenta que no debe

considerarse las pérdidas de fricción en la línea de succión transformadas en carga.

Consideremos que la NPSH es una función del sistema en que la bomba opera y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el sistema típico de succión vertical con la fórmula de NPSH.

Ahora, como dato importante se agregar un factor de seguridad al valor del NPSH calculado. Recomendamos los siguientes factores de seguridad:

(Comisión Nacional del Agua, 2007).

Tabla 1

Factores de seguridad

Servicio	Factor
Para condiciones de instalación bien definidas. (ya instaladas)	1.0
Para diseño de servicios nuevos	1.1 mínimo

Nota. Tomado de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

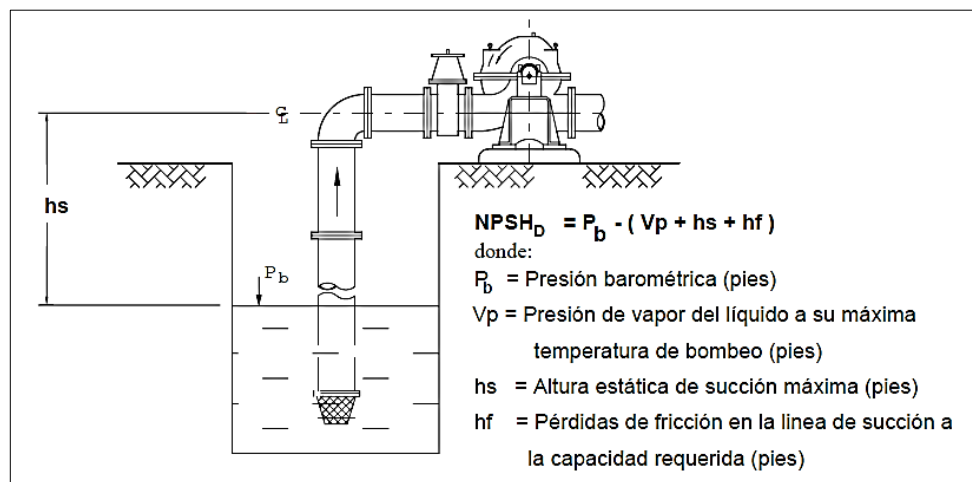
NPSH requerido (NPSHR). El tipo de carga requerido depende de la ubicación de la bomba y el depósito de almacenamiento; si la primera se localiza por debajo del segundo, entonces la carga de

succión es positiva; si la bomba está por encima, la succión es negativa.

La NPSHR carga positiva medida en metros de columna del líquido bombeado y necesita succión de la bomba para superar las caídas de presión en la bomba y así poder mantener el líquido arriba de su presión de vapor. La NPSHR depende netamente del diseño y de la bomba (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Figura 12

NPSH con altura estática de succión



Nota. Tomado de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

En conclusión, la NPSHR es la carga hidrostática mínima que se requiere en el proceso de succión para hacer posible que el líquido llegue al impulsor sin vaporización.

Pérdidas de carga en tuberías. Para comprenderlas mejor se dividen en pérdidas primarias y pérdidas secundarias (Comisión Nacional del Agua, 2007).

2.2.4 Pérdidas primarias

Es la resultante del rozamiento del fluido en movimiento con la pared de una tubería y al rozamiento entre las partículas (Loría & Falcón, 2017). Para poder determinar este tipo de pérdidas hay que tener presente los siguientes factores:

- A. Características del material y que acabado interno cuenta la tubería (liso o rugoso.
- B. Si el fluido tiene un flujo laminar o turbulento.

El parámetro importante para determinar el tipo de flujo del fluido es el número de Reynold (Chucuya & Saldaña, 2018), para el cual, se necesita la velocidad, viscosidad del fluido y la medida del diámetro interior de la tubería.

Podemos determinar el número de Reynolds con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{Vd}{\nu}$$

Donde:

V: Velocidad promedio del fluido dentro de la tubería (m/s)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

ν : Viscosidad cinemática (m^2/s)

2.2.5 Tipos de régimen de flujo:

- A. El régimen laminar debe ser representado con números de Reynolds que estén por debajo de 2000.
- B. La zona llamada crítica, debe estar comprendida entre los números de Reynolds de $2000 < R < 4000$.
- C. El área designada de transición abarca entre $4000 < R < 11000$.
- D. El régimen de flujo turbulento deberá ser superior a 11000 en números de Reynolds.

Al momento de calcular las pérdidas primarias se debe contar con los datos de rugosidad absoluta y el diámetro interno de la tubería. Además, como dato adicional, a continuación, se muestra la fórmula para determinar la rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{d}$$

Donde:

ε = Rugosidad absoluta (mm)

d = Diámetro interno (mm)

Con la información anterior ya podemos determinar el coeficiente de rozamiento en el diagrama de Moody (Figura 18).

Por otro lado, dicho coeficiente será útil para hallar las pérdidas primarias, utilizando la ecuación de Darcy Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

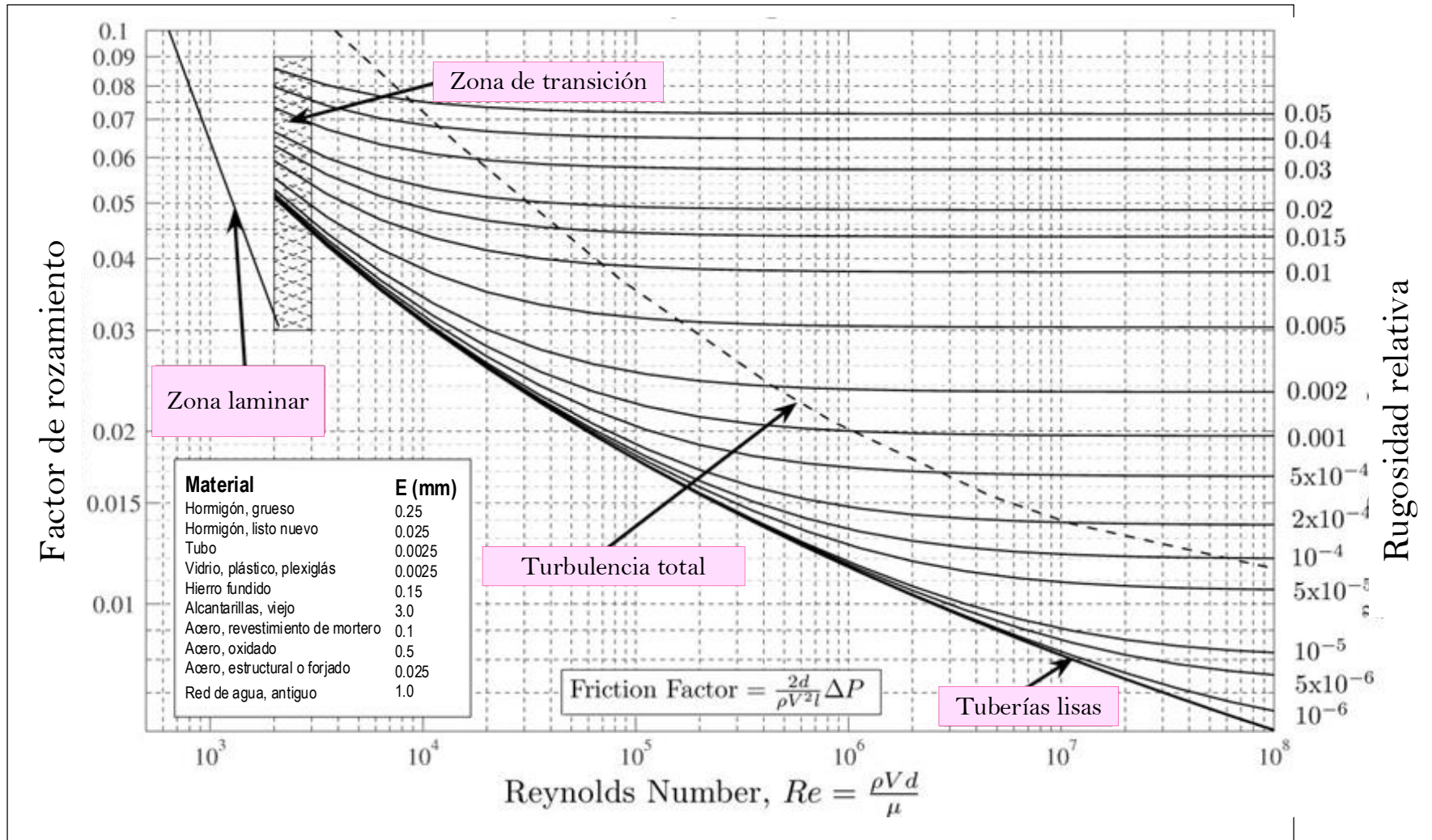
Donde:

- h_f : Pérdida de carga en tramos rectos del tubo
- f : Coeficiente de rozamiento
- L : Longitud total de tubería manteniendo el diámetro
- V : Velocidad promedio del fluido
- d : Diámetro interno de la tubería
- g : Aceleración de la gravedad

Si ocurren cambios de sección transversal (diámetros de tubería), entonces debe calcularse las cargas perdidas en cada sección.

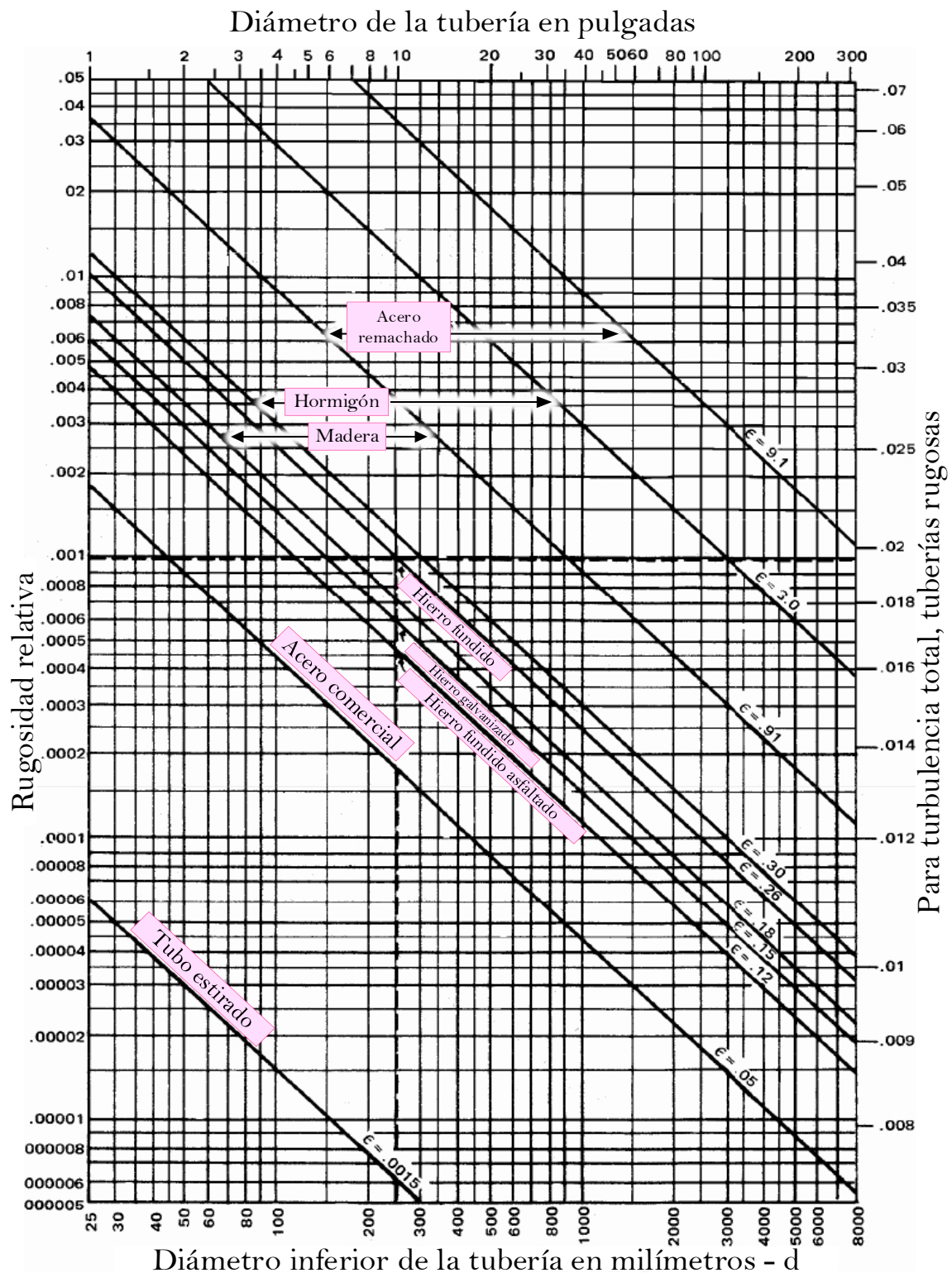
Figura 17

Diagrama de Moody para coeficiente de fricción en conductos de paredes lisas y rugosas



Nota. Tomado de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

Figura 18
Rugosidad relativa de algunos materiales



Nota. Tomado de Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

2.2.6 Pérdidas secundarias

Mayormente son ocasionadas por la resistencia del paso del fluido por la tubería y los accesorios del arreglo, como reducciones, válvulas, estrangulaciones, cambios de dirección, etc. (Loría & Falcón, 2017).

Dicho cálculo se puede obtener de las pérdidas locales de los accesorios cuya velocidad del fluido, se determina por medio de la siguiente expresión:

$$h_d = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

H_a : Pérdida de carga local de los accesorios (m)

K : Coeficiente de resistencia de los accesorios (adimensional)

v : Velocidad del fluido m/s

g : Aceleración de la gravedad m/s^2

El valor de K solo depende de dos factores, uno es la geometría del accesorio y otro el coeficiente de fricción f_t , entonces, la pérdida de carga para los accesorios se evalúa de manera individual (ONUDI & UPME, 2018), a través de las tablas y gráficas, que indican los valores de K .

Debemos señalar que las pérdidas secundarias pueden hallarse a través de varios métodos. Sin embargo, solo mencionaremos dos métodos:

El método del coeficiente total de pérdidas, que consiste en, sumar los coeficientes individuales de K (tubo y accesorios) y así obtener el diámetro de las pérdidas primarias, secundarias y el total de todos los elementos conectados en serie (Paredes, 2016).

El método de longitud equivalente, con que el que se evalúa la caída de presión que ocurre en algún accesorio de la tubería, para poder hallar la longitud de tubería recta. (Comisión Nacional del Agua, 2007), Determinaremos el valor de la carga de presión a través de la siguiente fórmula.

$$h_d = f \left(\sum Le \right) \frac{v^2}{2gd}$$

Donde:

H_d : Pérdida de carga

$\sum Le$: Suma del total de longitudes de tubería

V : Velocidad del fluido

F : Coeficiente de fricción de la tubería

D : Diámetro interno del tubo

G : Aceleración de la gravedad

2.2.7 Bombeo fotovoltaico

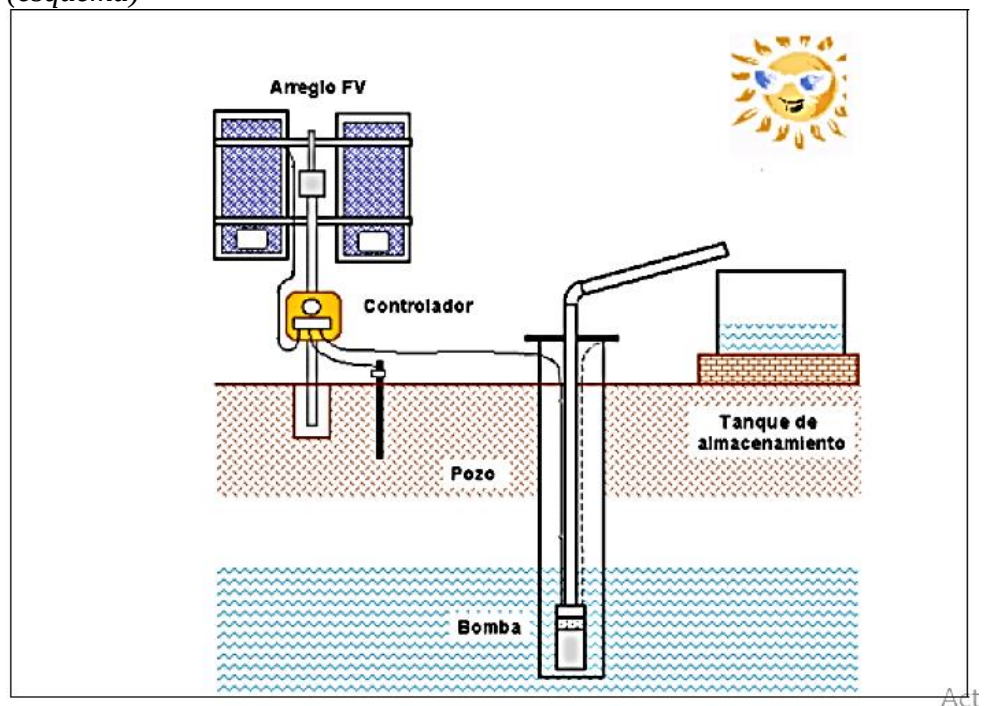
En la actualidad existe una amplia variedad de tipos de sistema de bombeo FV, implementados como parte de los procesos productivos de granjas y ranchos, entre otros, a lo largo del globo, pues los sistemas fotovoltaicos tienen la capacidad de dar soporte a un sinnúmero de requerimientos orientados a la atención de reducidos rebaños de ganado e, inclusive, a exigencias moderadas de irrigación. Los FV son afables, seguros y necesitan poco mantenimiento, estas son consideradas como ventajas al momento de contrastar costos de sistemas entre el bombeo solar y los tradicionales (Consultora 11 Colors, 2021).

Un sistema de bombeo FV cuenta con muchas características semejantes a los sistemas convencionales, siendo que el gran diferencial refiere a la fuente de alimentación de energía (Consultora Yuba, 2015). Un sistema FV tradicional se grafica en la figura 20. Una estructura básica asociada a este tipo de sistema cuenta con los siguientes componentes: un controlador, un arreglo de módulos FV, un motor y una bomba. Según Tinta (2017), el arreglo se puede implementar en un seguidor pasivo para aumentar el volumen y el tiempo de bombeo. Se usan motores de corriente alterna (CA) y de corriente continua (CC). Las bombas pueden ser de tipo centrífugas o

volumétricas; por lo general el recurso líquido es almacenado dentro de un depósito (Hernández, 2014).

Figura 19

Instalación típica de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua (esquema)



Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Almacenamiento de energía. En este punto nos encontramos en una disyuntiva, pues, los sistemas fotovoltaicos que no tienen almacenamiento se verán limitados a proveer energía solamente en presencia de luz solar, por ello, se recomienda la implementación de un tanque de almacenamiento. Se estima necesario el contar con un almacén de agua para un abasto mínimo de tres días y esto se justifica con la comparación de costos asociados de almacenamiento, donde

almacenar energía en baterías es mucho más costoso que el almacenamiento de agua en tanques.

Y es que, posterior a los cinco años aproximadamente, las baterías necesariamente deben ser remplazadas (Chonto, 2018).

Entonces entenderemos que lo óptimo sería almacenar energía en las baterías cuando, exclusivamente en el caso que el rendimiento máximo del pozo (en horario de presencia solar) no sea el suficiente para cubrir los requerimientos diarios de agua. (Hernández, 2014). Bajo esta consideración suele establecerse que los sistemas FV no requieren de la implementación de baterías.

Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos. Se han diseñado bombas especiales para el uso fotovoltaico, bombas centrífugas y volumétricas Y esto se origina porque las bombas comunes son diseñadas bajo el fundamento de una potencia constante, sin tomar en consideración que, la potencia que produce un módulo FV es directamente proporcional a la radiación solar (Alonso & Chenlo, 2011).

Bombas centrífugas. Las bombas tienen dos partes principales la bomba en sí y el motor de inducción eléctrica, este último hace posible la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, la cual, es utilizada para poner en marcha la bomba y lograr

la circulación del agua, la bomba succiona el agua por medio de una vía de entrada y la impulsa desde afuera a través de la salida, y si desmontamos un equipo veremos un ventilador y una carcasa protectora montada en la parte posterior del motor eléctrico y dentro del motor se encuentra el estator que contiene las bobinas de cobre, también observaremos el rotor y el eje que corre a lo largo de todo el motor y bomba.

Las bombas de succión superficial son instaladas al ras del piso facilitando su inspección. Sin embargo, presenta un punto en contra, y es que, si la instalación excede los 8 metros de profundidad pierde la garantía de trabajo (Vilca, 2021).

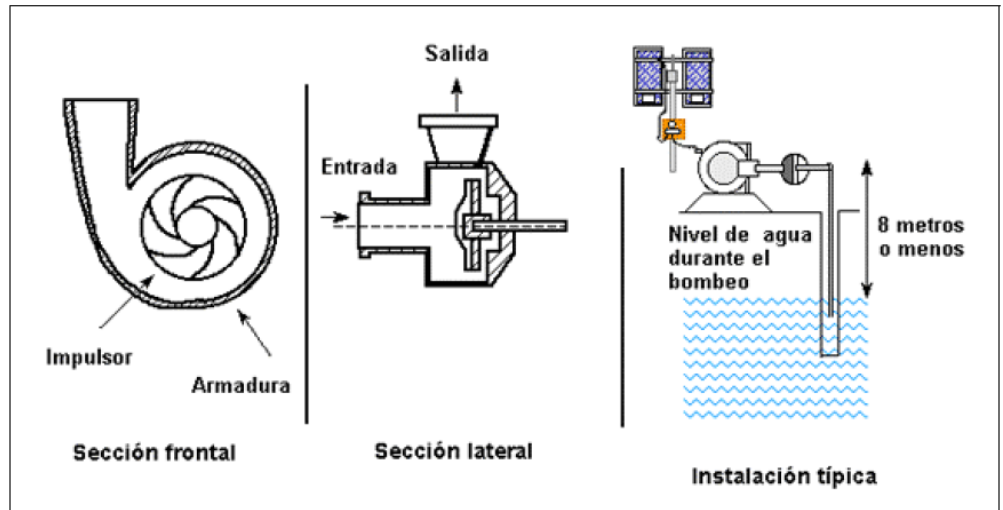
Figura 13
Bomba centrífuga superficial



Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Figura 14

Esquema de una bomba tipo centrífuga superficial

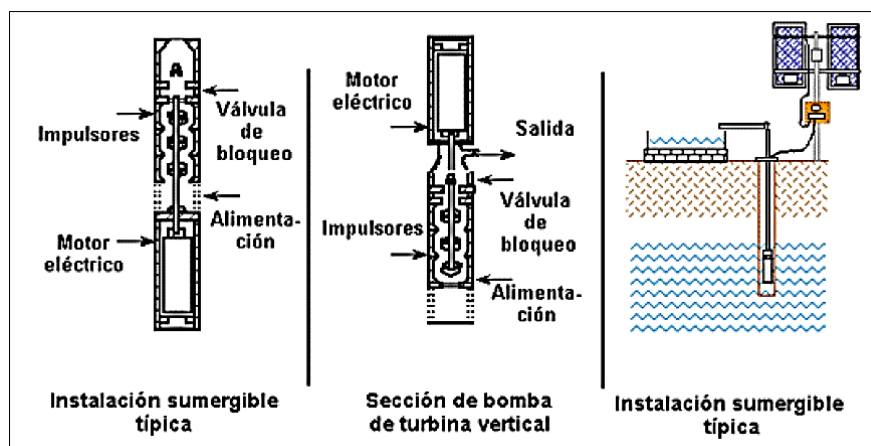


Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Dentro del mercado de las bombas centrífugas sumergibles se cuenta con una abundante diversidad, las también conocidas como bombas de paso múltiple o de etapas (Vilca, 2021).

Figura 15

Bomba centrífuga sumergible

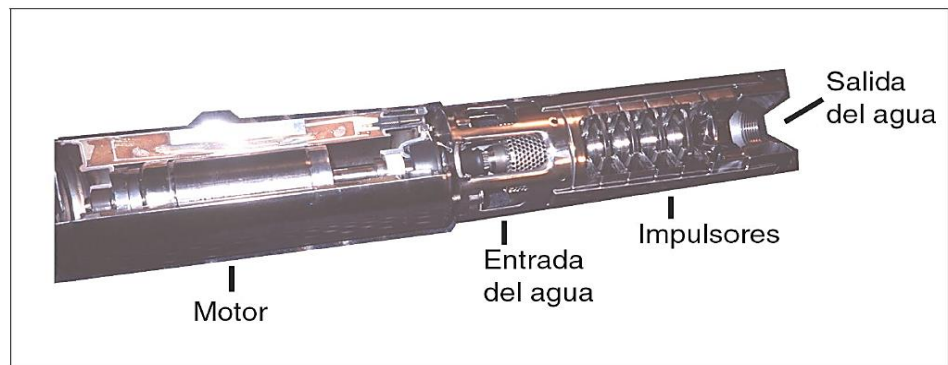


Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Un dato importante, es que la totalidad de bombas sumergibles cuentan con un sello, para evitar contaminación del agua. Y debemos tener en cuenta que estas bombas, no deben operar en seco ya que pueden llegar a sufrir sobrecalentamiento y quemarse (Hernández, 2014).

Figura 16

Bomba sumergible (vista interna)



Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Figura 17
Bombas centrífugas sumergibles



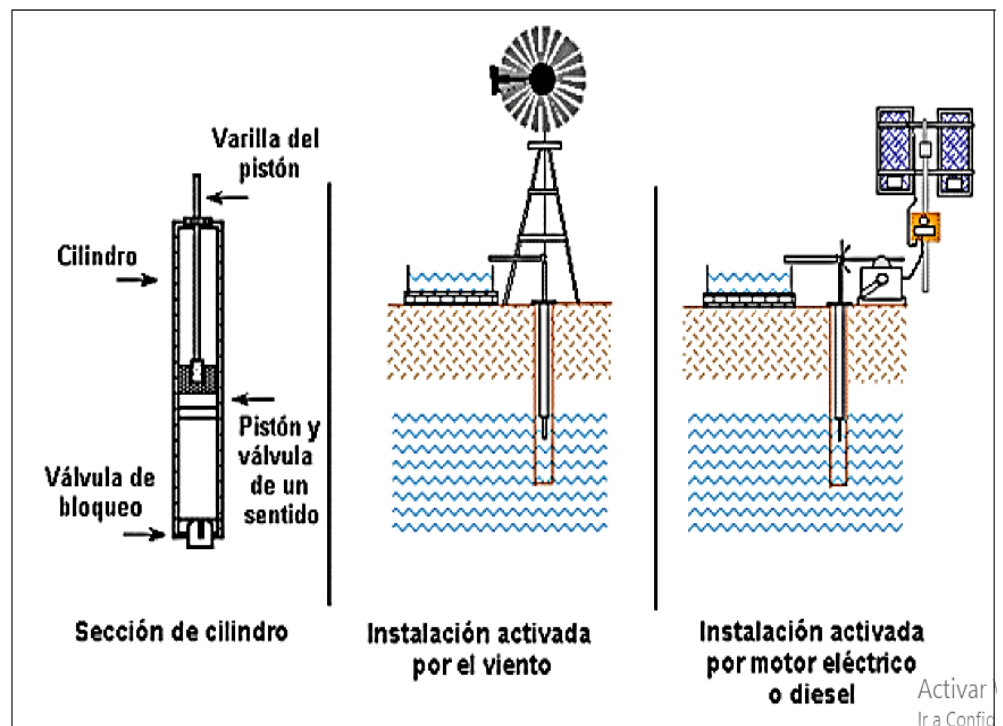
Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Bombas volumétricas. Estas son llamadas también bombas de desplazamiento positivo y se utilizan mayormente para el bombeo de bajos caudales y/o de gran profundidad. Muchas de las bombas usan un cilindro y pistón para mover flujos de agua como paquetes mediante una cámara sellada y otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada uno de los ciclos logra movilizar una reducida cantidad de líquido que va a la parte superior.

Sabemos que el caudal es proporcional al volumen de agua, en otras palabras, se comprende como el funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas y cuando la radiación solar se incrementa, también observamos que la velocidad del motor se

incrementa, por ende, el flujo de agua bombeada resulta siendo mucho mayor (Martín, Salcedo, & Font, 2011).

Figura 18
Esquema de una bomba tipo volumétrica de cilindro



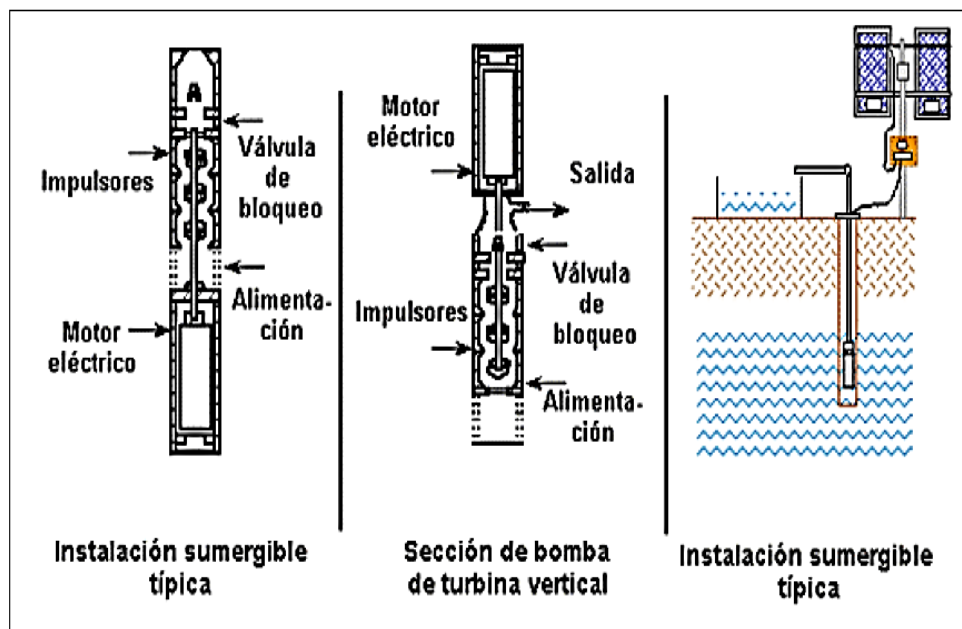
Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Bombas de cilindro. El tipo de bombas de cilindro fueron muy populares para el bombeo mecánico accionadas por el viento, tracción, animal o humana. Su funcionamiento se basa en la dinámica generada por el descenso de un pistón, el cual, permite el ingreso de líquido desde el pozo hacia una cavidad, y cuando el pistón asciende el líquido es trasladado a la superficie. La energía que se requiere para

su puesta en marcha solo se utiliza exclusivamente en un periodo del ciclo de bombeo. La categoría de este tipo de bombas siempre permanecerá enchufado a un controlador de corriente que permita su máximo rendimiento al arreglo fotovoltaico (Vilca, 2021).

Bombas de diafragma. Esta clase de bombas desplaza el agua a través de diafragmas fabricados con recursos dotados de flexibilidad y resistencia. Los diafragmas comúnmente son fabricados de material sintético de caucho reforzado. Actualmente, los materiales utilizados tienen una mayor resistencia permitiendo alcanzar una duración de dos a tres años en un uso continuo antes de necesitar cambio, siempre tomando en cuenta el tipo de agua. Se puede encontrar dos tipos de modelos tanto sumergibles y de superficie (Vilca, 2021).

Figura 19
Esquema de una bomba de diafragma sumergible



Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Figura 20
Bombas de diafragma superficiales



Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

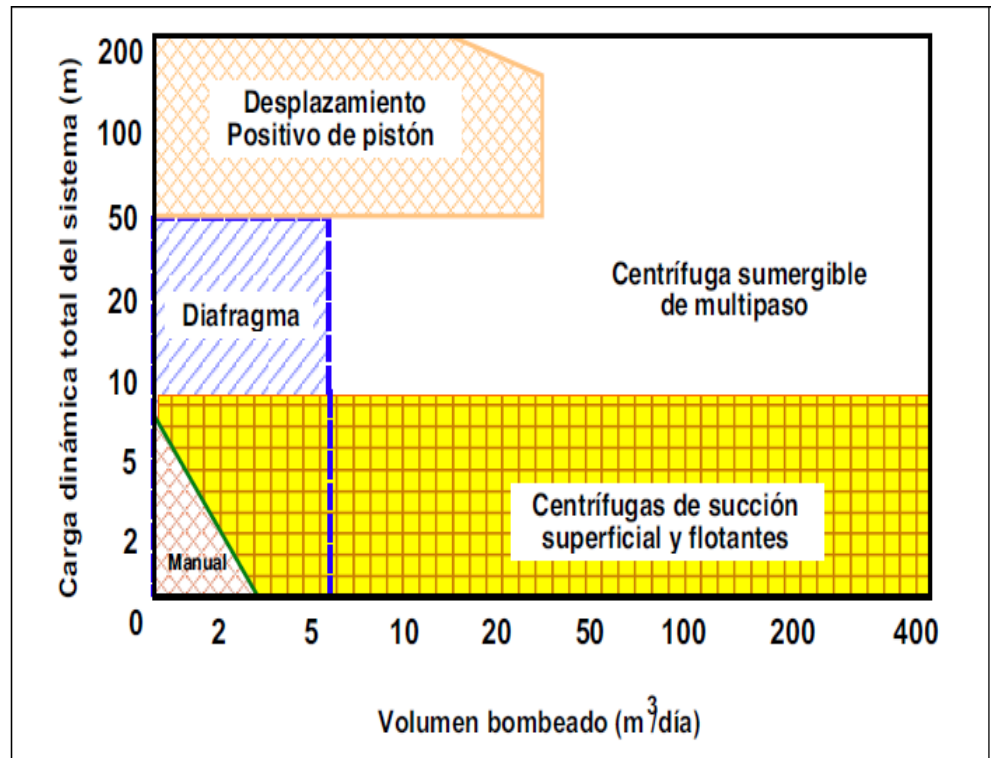
El tipo de bombas con diafragmas son más económicas. Cuando se utilice este tipo de bombas se debe tener presente el gasto destinado, cada dos o tres años, para la renovación de diafragmas. Por

lo general, este tipo de bombas usan un motor de corriente continua con escobillas, estas últimas, requieren ser cambiadas cada cierto periodo. Estas bombas cuentan con múltiples piezas de recambio, lo que hace que la vida útil de estos sea cercana a los 5 años (Chonto, 2018).

Selección de la bomba. Actualmente existe una infinidad de bombas, por lo que es sumamente importante hallar y determinar los valores exactos y las necesidades requeridas, las bombas más eficientes para este tipo de proyectos son las de desplazamiento positivo de pistón, sin embargo, su aprovechamiento no se adecua para gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total. Veámoslo en un ejemplo, una bomba de palanca puede llegar a tener una eficiencia de más de 40%, por otro lado, una bomba centrífuga puede tener una eficiencia tan baja como de 15%. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se grafica la selección según su carga dinámica y en la Tabla 2 se presentan las ventajas y desventajas de las diferentes bombas utilizadas en este tipo de proyectos (Hernández, 2014).

Figura 21

Selección según carga dinámica



Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Tabla 2
Bombas fotovoltaicas

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Pueden utilizar el agua como lubricante. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA Manejan flujos altos. Operan a cargas dinámicas grandes. Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Se dañan si trabajan en seco. Deben extraerse para darles mantenimiento. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.
Centrífugas de succión superficial	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	Soportan cargas dinámicas muy grandes. La producción puede variar ajustando la carrera.	Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. No toleran arenas o sedimentos. La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro. Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos. No dan grandes flujos.
Diafragma	Operan a cargas menores de 40 metros. Son muy económicas.	No toleran arenas o sedimentos. No trabajan a cargas dinámicas grandes. Bajos flujos.

Nota. Tomado de Sandia National Laboratories, 2000.

Tipos de motores. La selección de un motor se define a través de muchos factores, solo por mencionar algunos tenemos, la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad, acoplamiento a bombas, costos entre otros. Y comúnmente se suelen utilizar dos tipos de motores para este tipo de proyectos: De corriente continua y de corriente alterna (Cunia, 2012).

Ahora, según el diseño de nuestro sistema fotovoltaico se proporcionará la potencia requerida en corriente continua y la facilidad de un motor con esas características es que pueden conectarse directamente, por el contrario, los motores de corriente alterna deben instalar adicionalmente un conversor (Flores, Huesca, Romero, & Jiménez, 2019).

Los motores de imán permanente, necesitan que sus escobillas sean reemplazadas periódicamente, sin embargo, son mucho más sencillos y eficientes para cargas pequeñas. Ahora por otro lado, encontramos a los motores de campos bobinados, sin escobillas y requieren poco mantenimiento, pero son usados en aplicaciones de mayor capacidad (Flores, Huesca, Romero, & Jiménez, 2019).

Los motores de corriente alterna son los adecuados para cargas grandes en un intervalo de diez o más caballos de fuerza (Flores, Huesca, Romero, & Jiménez, 2019).

Controladores. Mejoran el rendimiento de un sistema de bombeo solar, del 10 al 15 % aproximadamente, teniendo en cuenta que dichos controladores se usan, en áreas con niveles de agua y condiciones atmosféricas fluctuantes.

Los controladores electrónicos consumen entre 4 y 7 % de la energía generada por el arreglo. Por ello es común que las bombas fotovoltaicas, se vendan junto a un controlador (Chonto, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL DISEÑO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de la investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativo – aplicativo porque se analizó un problema real con el propósito de intervenir y otorgarle una solución a través del uso de los conocimientos teóricos obtenidos mediante el estudio.

3.1.2 Diseño de la investigación

El diseño del estudio es experimental ya que se manipularon las variables en análisis, estableciendo una relación de causa-efecto del diseño e instalación de un sistema de bombeo solar en una zona árida.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La presente investigación trata un solo caso: el pozo perteneciente a la Asociación de irrigación Nuevas Tierras del Sur – Proyecto Agua Dulce – Sama – Tacna. Por ello, la población es unitaria y no basada en muestras.

3.3 VARIABLES

3.3.1 Identificación de las variables

A. Variables dependientes

- Sistema hidráulico de bombeo
- Sistema fotovoltaico
- Sistema de bombeo fotovoltaico

B. Variables independientes

- Capacidad hídrica del pozo
- Profundidad del pozo
- Intensidad de la radiación solar en la zona

3.3.2 Operacionalización de las variables

Tabla 3

Operacionalización de las variables

Variable	Tipo	Definición	Indicadores	Métodos
Diseño del sistema hidráulico de bombeo		Es un sistema basado en la redirección de fluidos por medio del manejo de la presión ejercida y la preservación de la intensidad.	Caudal Profundidad Nivel estático Nivel dinámico Potencia Diámetro de tuberías	Cálculo mediante fórmulas establecidas
Diseño del Sistema Fotovoltaico		Hace referencia a la estructura compuesta por una variedad de equipos que buscan el aprovechamiento de la energía solar para la transformación de la misma en electricidad. Para esta labor hacen uso de celdas fotovoltaicas y la capacidad de estas para la generación de energía eléctrica.	Pérdidas de Presión Potencia de motor Potencia de los módulos Controlador Conexión de módulos	Selección utilizando tablas del fabricante
Diseño e instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico	Dep.	Sistema dirigido a la transformación de la energía del sol en electricidad con la finalidad de proveer la energía necesaria para poner en funcionamiento una bomba de agua.	Estructuras de soporte Equipos complementarios Tiempo de operación Procedimientos	Cálculos mediante fórmulas establecidas y trabajo de campo
Capacidad hídrica del pozo		Tasa de provisión de agua de un pozo en litros por segundo o metros cúbicos por segundo	Caudal Tiempo de recuperación	Estudios previos del pozo
Profundidad del pozo		Longitud establecida entre la superficie y la fuente de agua.	Distancias de recorrido	Estudios previos del pozo
Intensidad de la radiación solar en la zona	Indep.	Refiere a las emisiones de energía gestadas por el Sol a partir de reacciones de fusión nuclear de hidrógeno, las mismas que se extienden en diferentes trayectorias a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas	Capacidad del sol Tiempo de operación	Estudios climáticos de la zona

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Estrategias para el objetivo

A. Para el objetivo I

Diseñar el sistema hidráulico para el sistema de bombeo fotovoltaico teniendo como base la altura del pozo y el caudal demandado por la asociación.

- Obtener la profundidad del pozo en expedientes técnicos.
- Definir el caudal demandado por la población.
- Seleccionar la bomba.
- Seleccionar el diámetro y material de tuberías.
- Seleccionar los accesorios hidráulicos para la instalación.
- Determinar las cargas dinámicas.
- Determinar la disposición de equipos.

B. Para el objetivo II

Calcular y dimensionar el sistema fotovoltaico que alimentará el sistema hidráulico que se instalará en el pozo, desde la cantidad de módulos a utilizar hasta otros equipos complementarios.

- Determinar la potencia de la bomba.
- Determinar la cantidad de módulos solares a instalar.

- Definir el ángulo de inclinación de la estructura que soportará los módulos.
- Determinar el material de la estructura que soportará el peso de los módulos.
- Seleccionar equipos complementarios para la instalación.

C. Para el objetivo III

Instalar el sistema de bombeo fotovoltaico y hacer las pruebas correspondientes para obtener resultados óptimos, y poder establecer parámetros para su operación y mantenimiento.

- Definir los procedimientos para la instalación del sistema.
- Investigar sobre las labores diarias y complementarias que debe hacer un operario de estaciones de bombeo.
- Determinar cuáles serán las labores diarias y complementarias que realizara el operario en la estación de bombeo.
- Poner operativa la estación de bombeo.
- Elaborar un análisis de criticidad de los equipos y diseñar el plan de mantenimiento preventivo.

3.4.2 Técnicas de recolección de datos

Mediante la técnica documental e investigación se desarrollaron los objetivos específicos.

3.4.3 Instrumentos y equipos

A. Para el diseño

- Material documental de estudios previos
- Material bibliográfico
- Manuales de fabricantes
- Calculadora
- Computadora
- Software informático

B. Para la instalación

- Tecla
- Máquina de soldar
- Taladro
- Esmeril
- Llaves
- Alicates
- Destornilladores

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

A través de la inducción, deducción, análisis y síntesis, se obtienen los siguientes datos:

- Procesamiento de los datos obtenidos, ejecución de cálculos con la calculadora, estructuración de ideas e información obtenida de bibliografías, tabulación y orden de ideas.
- Procesamiento digital de los datos con ayuda de software, tabulación de cálculos obtenidos a través de tablas del software informático.

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS DE DISEÑO E INSTALACIÓN

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Para el diseño del sistema hidráulico se definieron ciertos aspectos como el caudal requerido por los dueños del pozo y las condiciones en las que se encontró.

4.1.1 Definición de la ubicación

El pozo se localiza en la Asociación de Irrigación Nuevas Tierras del Sur, perteneciente al proyecto Agua Dulce ubicado en el distrito de Sama Las Yaras – provincia de Tacna – región Tacna con coordenadas $17^{\circ}55'20.1''$ S, $70^{\circ}31'57.6''$ O, a 312 m.s.n.m., a 35 minutos del centro de Control Aduanero Tomasiri.

Figura 22
Ubicación del pozo



Tabla 4*HSP del Lugar - Resumen meteorológico*

LAT	LON	Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	Promedio
- 17.95	- 70.59	HSP	5.0 2	5.4 7	5.62	5.0 1	4.95	3.9 2	4.4 8	4.4	4.5 7	5.5 1	6.07	6.6 5	5.14
- 17.95	- 70.59	Dirección	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N
- 17.95	- 70.59	Ángulo	-7	0.5	13	27	39	40. 5	41	31	17. 5	4.5	-6	-13	15.5

Nota. Tomado de Meteorología de Superficie y Energía Solar, NASA, 2015.

De los datos expresados acerca de las instalaciones fotovoltaicas en la Tabla 4, se resume lo siguiente:

- El promedio de HSP es igual a 5.14 Kw-hr/m² día.
- La dirección del sistema es hacia el Norte.
- La inclinación óptima del sistema es de 15.5 grados.

4.1.2 Determinación de CDT

Figura 30

Croquis de longitudes de pozo

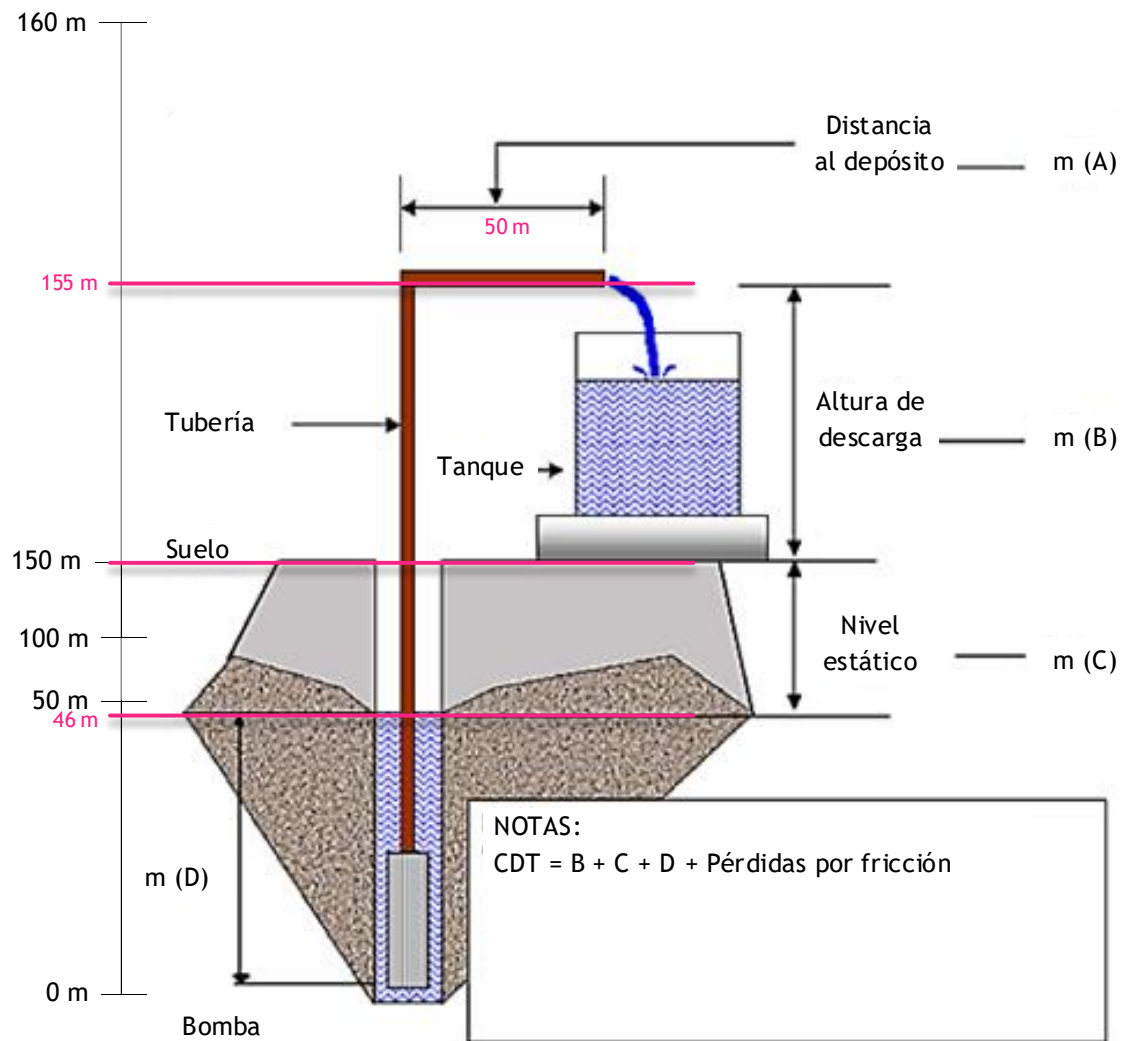


Tabla 5

Resumen de longitudes

Distancia al depósito (A)	Altura de descarga (B)	Nivel estático (C)	Nivel dinámico (D)
50 m	5 m	106 m	44 m

Pérdidas por fricción:

Se estableció la utilización de tuberías de fierro al carbono cédula 40 de 3 pulgadas de diámetro nominal porque la Asociación de irrigación Nuevas Tierras del Sur ya cuenta con dichas tuberías.

Tabla 6

Cuadro de propiedades de tuberías de acero

Diámetro Nominal		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del tubo		ASTM A53 Presión de prueba			
NPS	DN	m		m		Weight class	Schedule	lb/ft	kg/m	Grado A	Grado B		
In	mm	in	m	in	m					psi	kg/c m ²	psi	kg/c m ²
½	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	70	49	70	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	85	60	85	60
				0.173	4.40	XXS	160	1.31	1.91	100	70	100	70
¾	20	1.050	26.7	0.137	3.48	STD	40	1.13	1.65	70	49	70	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.22	85	60	85	60
				0.181	4.59	XXS	160	1.79	2.59	100	70	100	70
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	70	49	70	49
				0.159	4.02	XS	80	2.17	3.22	85	60	85	60
				0.187	4.75	XXS	160	2.67	3.92	100	70	100	70
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.55	STD	40	2.27	3.33	12	84	13	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.41	18	127	19	134
				0.225	5.71	XXS	160	3.75	5.49	25	176	25	176
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.00	12	84	13	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.40	18	127	19	134
				0.236	5.99	XXS	160	4.59	6.77	25	176	25	176
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.40	23	162	25	176
				0.188	4.78	XS	80	5.02	7.44	25	176	25	176
				0.225	5.71	XXS	160	6.25	9.14	30	207	30	207
2-1/2	65	2.875	73.0	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	25	176	25	176
				0.260	6.60	XS	80	7.68	11.30	25	176	25	176
				0.312	7.92	XXS	160	9.57	14.00	30	207	30	207
3	80	3.500	88.9	0.250	6.35	STD	40	9.43	13.96	30	207	30	207
				0.312	7.92	XS	80	12.35	18.20	30	207	30	207
				0.375	9.53	XXS	160	15.43	22.70	30	207	30	207

0.1	3.9			5.5	8.2	16		18	
56	6			7	9	00	112	70	131
0.1	4.7			6.6	9.9	19		22	
88	8			5	2	30	136	60	159
0.2	5.4	STD	40	7.5	11.	22		25	
16	9			8	29	20	156	00	176
0.2	6.3			8.6	12.	25		25	
50	5			8	93	00	176	00	176
0.2	7.1			9.6	14.	25		25	
81	4			6	40	00	176	00	176
0.3	7.6	XS	80	10.	15.	25		25	
00	2			25	27	00	176	00	176

Nota. Con apoyo de Grupo Vemacero, 2006.

Se empleó la fórmula de Hazen - Williams para determinar la pérdida por fricción de las tuberías debido a que esta fórmula es la más adecuada para los cálculos de pérdidas en tuberías que trabajan a presión.

$$H_f = \frac{10.67 \times Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} L$$

Donde:

- (Q) Caudal: 5 litros / segundo (caudal requerido por la Asociación)
- (D) Diámetro interior: 83.41 mm (dato obtenido de Tabla 6)
- (L) Longitud de tuberías: 205 metros (Croquis de las condiciones del pozo)
- (C) Coeficiente de rugosidad del acero fundido: 130 (Tabla 7)

Tabla 7

Coefficientes de Hazen – Williams para materiales distintos

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-40	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Nota. Tomado de Hidráulica de tuberías.

Bajo estos datos, se obtuvo las pérdidas por fricción:

$$H_f = 8.66 \text{ m}$$

Por lo tanto, el CDT es:

$$CDT = B + C + D + H_f = 163.66 \text{ mts.}$$

Redondeando para mejores cálculos se consideró el valor de CDT a 170 metros.

No se tomaron en cuenta pérdidas secundarias por accesorios ya que son mínimos y no afectarían mucho en los cálculos posteriores.

4.1.3 Selección de electro bomba solar

Para seleccionar el tipo de bomba a utilizar, se acudió a un cuadro de selección de bombas teniendo como base la siguiente información:

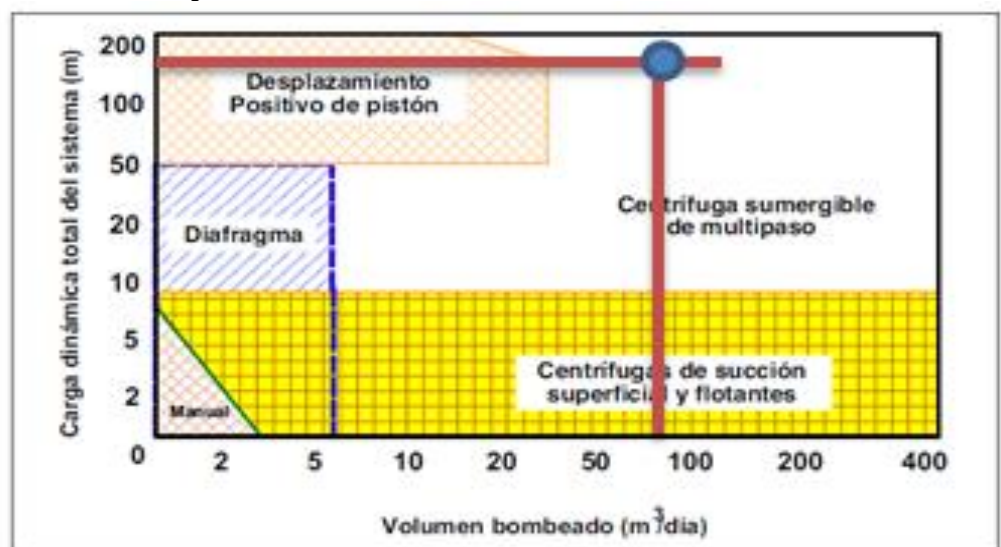
- CDT: 170 metros
- CAUDAL: 5 lts/s = 18 m³/h

Para entrar al cuadro de selección, se necesitó el volumen de agua bombeada por día, el cual fue:

Volumen bombeado =

$$18 \text{ m}^3/\text{hr} \times HSP \text{ (Horas sol pico)}(5.14) = 92.52 \text{ m}^3/\text{dia}$$

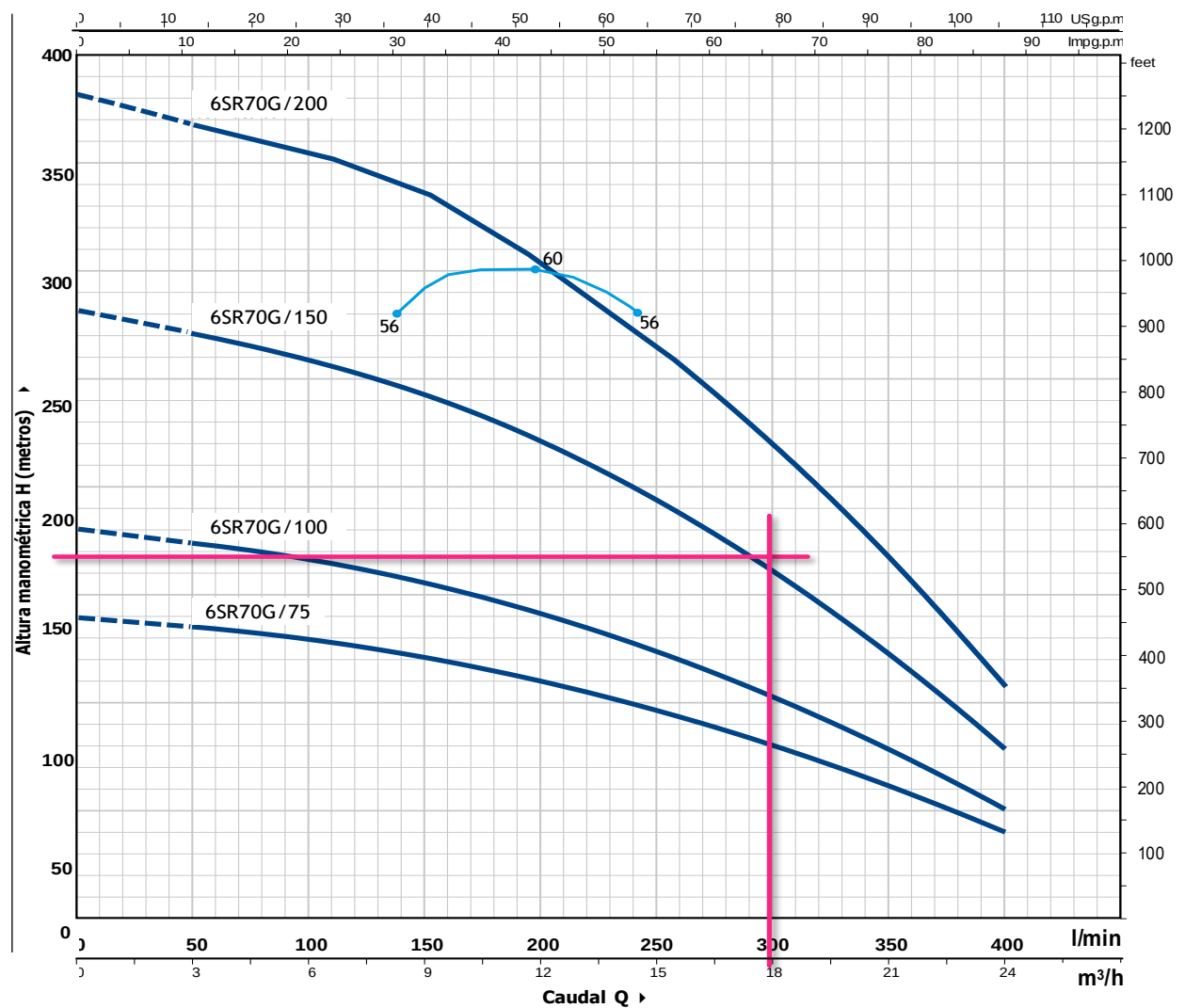
Figura 31
Selección de tipo de bombas



Ingresando los datos anteriores al cuadro, se seleccionó la bomba centrífuga sumergible de multipaso.

Teniendo en cuenta la información anterior, se reconocieron las características técnicas de cuatro modelos de bomba.

Figura 23
Curvas y datos de prestaciones



Nota. Adaptado de Pedrollo, 2019.

Tabla 8*Características de los modelos de bomba*

Modelo trifásica	Potencia (P ₂)		Caudal								
	kW	HP	0 m ³ /h	3 m ³ /h	6 m ³ /h	9 m ³ /h	12 m ³ /h	15 m ³ /h	18 m ³ /h	21 m ³ /h	24 m ³ /h
			0 l/min	50 l/min	100 l/min	150 l/min	200 l/min	250 l/min	300 l/min	350 l/min	400 l/min
6SR70G/75	5.5	7.5	140 m	135 m	130 m	122 m	110 m	98 m	80 m	60 m	40 m
6SR70G/100	7.5	10	182 m	174 m	168 m	155 m	140 m	125 m	104 m	80 m	50 m
6SR70G/150	11	15	281 m	270 m	260 m	240 m	220 m	198 m	162 m	122 m	78 m
6SR70G/200	15	20	381 m	365 m	351 m	325 m	300 m	265 m	220 m	168 m	108 m

Nota. Tomado de Pedrollo, 2019.

Basándose en la y la Tabla 8, se obtiene la potencia de la bomba; se observó que la intersección sucede en 20 HP o 1000 W.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la bomba sumergible **Pedrollo 6SR70G 20HP**, modelo 6SR70G/200, cuyas características físicas son:

- Cuenta con un diámetro total de 6''
- Incorpora una válvula de retención en acero AIS 304 ubicado en la proximidad de la boca de expulsión
- Motor trifásico rebobinable recubierto de aceite en su interior, de 20HP (15 kW) de 380V y 60Hz y de 6''
- Profundidad de inmersión máxima en agua de 100 m
- Cable de alimentación de 4 m de longitud.

- Contenido máximo de arena disuelta en el fluido de 100g/m³
- Temperatura máxima del fluido de 35°C
- Arranques máximos por hora: 20 a intervalos regulares.
- Boca de impulsión del agua de 3 pulgadas de diámetro
- Parte hidráulica cuenta con 19 etapas
- Longitud total del motor más hidráulica: 2135 mm
- Peso total del motor más hidráulica: 89 kg

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Con los datos de la bomba seleccionada, se prosiguió con ejecutar los cálculos para definir el sistema que alimentará dicha bomba.

4.2.1 Dimensionamiento

A continuación, se reconocen las características del motor de la bomba sumergible.

Tabla 9

Datos de prestación de motores sumergibles

Modelo trifásica	Potencia nominal		Carga axial	Tensión	Revs	Corriente arranque	Corriente	Rendimiento	Factor de potencia	Par nominal	Par arranque	h	Peso
	kW	HP			rpm					Nm	Par nominal	mm	
6PD/5.5	4	5.5		220	3450	4.8	72%	0.84	11.0		1.6	663	34
				230	3460	4.9	73%	0.81			1.7		
				380	3450	4.8	72%	0.84			1.6		
				460	3440	4.8	71%	0.84			1.6		
6PD/7.5	5.5	7.5		220	3460	5.2	76%	0.83	15.1		1.7	667	36
				230	3470	5.3	77%	0.79			1.6		
				380	3460	5.2	76%	0.83			1.6		
				460	3450	5.2	74%	0.81			1.6		
6PD/10	7.5	10		220	3450	5.3	77%	0.85	20.7		1.7	698	39
				230	3460	5.4	77%	0.82			1.8		
				380	3450	5.3	77%	0.85			1.7		
				460	3445	5.3	78%	0.84			1.7		
6PD/15	11	15	1000	220	3510	5.9	81%	0.76	29.9		2.0	826	50
				230	3520	6	79%	0.70			2.1		
				380	3510	5.9	81%	0.76			2.0		
				460	3500	5.9	83%	0.8			2.0		
6PD/20	15	20		220	3500	5.9	83%	0.78	40.8		2.0	894	57
				230	3510	6	82%	0.70			2.1		
				380	3500	5.9	83%	0.78			2.0		
				460	3485	5.9	82%	0.81			2.0		
6PD/25	18.5	25		220	3490	6	84%	0.80	50.7		2.1	959	65
				230	3500	6.1	83%	0.73			2.2		
				380	3490	6	84%	0.80			2.1		
				460	3470	6	82%	0.82			2.1		
6PD/30	22	30		220	3500	6.1	83%	0.74	60.0		2.2	1116	87
				230	3510	6.2	83%	0.66			2.3		
				380	3500	6.1	83%	0.78			2.2		
				460	3490	6.1	84%	0.76			2.2		
6PD/40	30	40		380	3460	5.9	83%	0.84	83		2.0	1243	91
				460	3435	5.9	85%	0.86			2.0		

Nota. Tomado de Pedrollo, 2019.

En la Tabla 9, se observa que el motor **6PD/20** tiene una potencia de 20 HP (o 15 Kw), trifásico de 380 V con un rendimiento del 83% y un peso de 27 kg.

A continuación, se reconoce el consumo en amperios del modelo de motor seleccionado.

Tabla 10

Consumo de amperios

Modelo trifásica	Tensión (trifásica)							
	220 V		230 V		380 V		460 V	
	SF=1	F=1.15	SF=1	SF=1.15	SF=1	SF=1.15	SF=1	
6PD/5.5	17.5	19.5	17.5	19.0	10.0	11.5	10.0	
6PD/7.5	22.7	26.0	22.8	25.9	13.0	15.0	13.6	
6PD/10	30.0	33.7	30.0	33.1	17.5	19.5	16.8	
6PD/15	47.5	51.5	51.0	54.0	27.5	29.8	24.9	
6PD/20	61.4	67.3	64.9	70.2	35.5	38.9	33.5	
6PD/25	73.5	81.0	76.5	83.5	42.5	47.0	40.5	
6PD/30	94.3	102.0	99.5	107.0	54.5	59.0	50.5	
6PD/40	-	-	-	-	66.5	74.5	60.4	

Nota. Tomado de Pedrollo, 2019.

El consumo para el motor Pedrollo modelo 6PD/20 es de 380 V y 35.5 A. Esta información sirvió para establecer el número de módulos fotovoltaicos.

Para el desarrollo del sistema, se dimensionó el nivel de consumo del motor. Por lo tanto, se multiplica el consumo por 1.3, resultando en:

$$\text{Potencia del motor } 15000 \text{ W} \times 1.3 = 19500 \text{ W}$$

Para tener el cálculo del número de módulos, se recurrió a las características de los módulos de **400 W**, que son descritas a continuación.

Tabla 11

Datos de módulos solares

ESPSC Type	380M	385M	390M	395M	400M
Power class	380 Wp	385 Wp	390 Wp	395 Wp	400 Wp
Max. Power voltage (Vmpp)* at STC	40.5 V	40.8 V	41.1 V	41.4 V	41.7 V
Max. Power current (Impp) at STC	9.39 A	9.44 A	9.49 A	9.55 A	9.60 A
Open circuit voltage Voc) at STC	48.9 V	49.1 V	49.3 V	49.5 V	49.8 V
Short circuit current (Isc) at STC	9.75 A	9.92 A	10.12 A	10.23 A	10.36 A
Module efficiency	19.16%	19.42%	19.67%	19.92%	20.17%

Nota. Tomado de ERA solar, 2019.

Para una potencia de bomba de 19500 W se necesita:

$$\begin{aligned} \text{Número de módulos} &= \frac{\text{Potencia del motor}}{\text{potencia del módulo}} = \frac{19500}{400} \\ &= 48.75 \end{aligned}$$

Redondeando a un número entero, la cantidad de módulos para un sistema de bombeo de 20 HP fue de 49 de 400 W cada uno. Estos presentaron la capacidad de trabajar durante un promedio de 5.14 horas (que son las horas pico de sol), ya que la asociación requiere un mayor tiempo de bombeo. Sin embargo, se propuso aumentar el número de módulos a 60.

4.2.2 Selección del controlador

Al igual que en la selección del número de módulos, para la escogencia del controlador o variador del sistema de bombeo se utilizó la capacidad de la bomba.

Tabla 12
Selección de variadores

	Potencia (kW)	Tensión (V)	Potencia (CV)	Corriente (A)	Tensión entrada aux (AC)	Talla	Descripción	PVP	Referencia FUJI	Disp
230 Vac	1.5	230	2	8	Monofásica	1	1.5/230M F	376	FRN0008E2E-7GA	Si
	2.2	230	3	11	Monofásica	1	2.2/230M F	439	FRN0011E2E-7GA	Si
	3	230	4	12	Trifásica	1	3/230 F	403	FRN0012E2S-2GA	Si
	5.5	230	7	20	Trifásica	1	5.5/230 F	656	FRN0020E2S-2GA	Si
	7.5	230	10	30	Trifásica	2	7.5/230 F	833	FRN0030E2S-2GA	No
	11	230	15	40	Trifásica	2	11/230 F	867	FRN0040E2S-2GA	No
	15	230	20	56	Trifásica	3	15/230 F	1208	FRN0056E2S-2GA	No
	18.5	230	25	69	Trifásica	3	18/230 F	1546	FRN0069E2S-2GA	No
	22	230	30	88	Trifásica	3	22/230 F	2118	FRN0088E2S-2GA	No
	30	230	41	115	Trifásica	3	30/230 F	2821	FRN0115E2S-2GA	No
400 Vac	1.1	400	1	3	Trifásica	1	1.1/400 F	405	FRN0004E2E-4GA	Si
	2.2	400	3	5	Trifásica	1	2.2/400 F	455	FRN0006E2E-4GA	Si
	3	400	4	6	Trifásica	1	3/400 F	510	FRN0007E2E-4GA	Si
	5.5	400	7	11	Trifásica	1	5.5/400 F	636	FRN0012E2E-4GA	Si
	7.5	400	10	18	Trifásica	2	7.5/400 F	734	FRN0022E2S-4E	Si
	11	400	15	23	Trifásica	2	11/400 F	824	FRN0029E2S-4E	Si
	15	400	20	31	Trifásica	3	15/400 F	945	FRN0037E2S-4E	Si
	18.5	400	25	38	Trifásica	3	18/400 F	1325	FRN0044E2S-4E	Si
	22	400	30	45	Trifásica	3	22/400 F	1683	FRN0059E2E-4E	Si
	30	400	41	60	Trifásica	3	30/400 F	2050	FRN0072E2E-4E	Si
	37	400	50	75	Trifásica	Esp	37/400 F	2724	FRN0085E2E-4E	Si
	45	400	61	91	Trifásica	Esp	45/400 F	3446	FRN0105E2E-4E	Si
	55	400	75	112	Trifásica	Esp	55/400 F	4173	FRN0139E2E-4E	Si
	75	400	102	150	Trifásica	Esp	75/400 F	4582	FRN0168E2E-4E	Si
	90	400	122	176	Trifásica	Esp	90/400 F	5708	FRN0203E2E-4E	Si
	110	400	150	210	Trifásica	Esp	110/400 F	6911	FRN0240E2E-4E	Si
	132	400	180	253	Trifásica	Esp	132/400 F	7857	FRN0290E2E-4E	Si
	160	400	218	304	Trifásica	Esp	160/400 F	9507	FRN0361E2E-4E	Si
	200	400	272	377	Trifásica	Esp	200/400 F	11524	FRN0415E2E-4E	Si
	220	400	299	415	Trifásica	Esp	220/400 F	12949	FRN0520E2E-4E	Si
	280	400	381	520	Trifásica	Esp	280/400 F	14425	FRN0590E2E-4E	Si

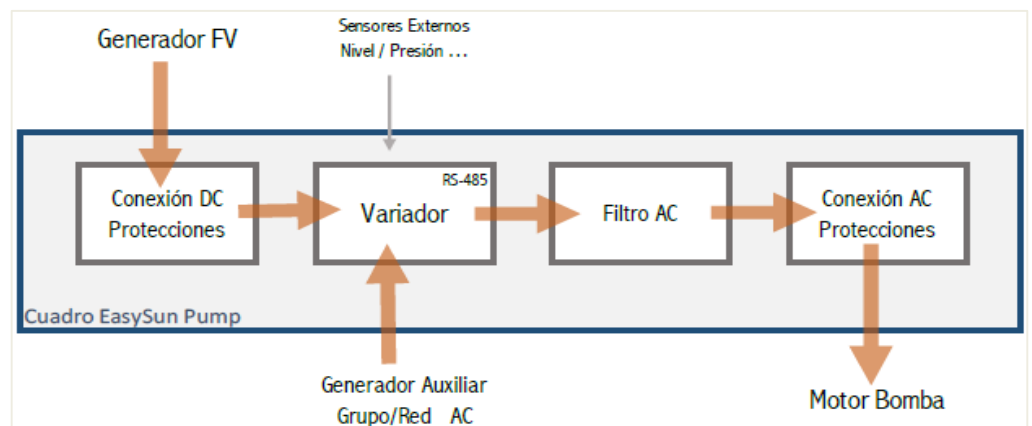
Nota. Adaptado de Artesa Grupo Elecnor, (2017).

Después de sobredimensionar el sistema de 19500 W y 380 V, se seleccionó un variador de 22000 W y 400 V de tensión.

Para lograr un mejor manejo del sistema de bombeo, se escogió un sistema de control y potencia ESP, incluyendo el variador ya seleccionado y otros componentes electromecánicos para la conexión y protección necesarias del cuadro eléctrico.

Figura 33

Diagrama de componentes de cuadro ESP



Nota. Adaptado de Artesa Grupo Elecnor, (2017).

El cuadro de control está implementado con protecciones y un filtro AC que permiten evitar picos de tensión utilizando grandes longitudes de cable hasta el motor de la bomba, así también un sistema en el variador para conectarse a una red eléctrica o un generador de corriente alterna para trabajos cuando no se cuente con buena radiación solar.

Se realizó un cuadro de control para el sistema elegido, el cual se presenta a continuación:

Tabla 13

Cuadros ESP IP20

	Potencia (kW)	Tensión (V)	Potencia (CV)	Corriente (A)	Tensión entrada aux (AC)	Talla	Descripción	PVP
400 Vac	1.1	400	1	3	Trifásica	1	ESP-1.1/400-IP20-F200	1,274
	2.2	400	3	5	Trifásica	1	ESP-2.2/400-IP20-F200	1,369
	3	400	4	6	Trifásica	1	ESP-3/400-IP20-F200	1,43
	5.5	400	7	11	Trifásica	1	ESP-5.5/400-IP20-F200	1,717
	7.5	400	10	18	Trifásica	2	ESP-7.5/400-IP20-F200	2,055
	11	400	15	23	Trifásica	2	ESP-11/400-IP20-F200	2,161
	15	400	20	31	Trifásica	3	ESP-15/400-IP20-F200	2,762
	18.5	400	25	38	Trifásica	3	ESP-18/400-IP20-F200	3,312
	22	400	30	45	Trifásica	3	ESP-22/400-IP20-F200	3,709
	30	400	41	60	Trifásica	3	ESP-30/400-IP20-F200	4,185

Nota. Adaptado de Artesa Grupo Elecnor, (2017).

De la Tabla 13 se seleccionó el modelo **ESP-22/400-IP20-F200**, cuyas características son: 22000 W de potencia, 400 V de tensión en AC, IP20 de protección cableado y montado en una base de aluminio para fijarse en pared de interiores y hasta 200 m de distancia de cable hasta el motor. Este modelo incluyó un filtro dV/dt

para mayor protección y soportó una intensidad de corriente de 45 A que está en el rango del motor de la bomba.

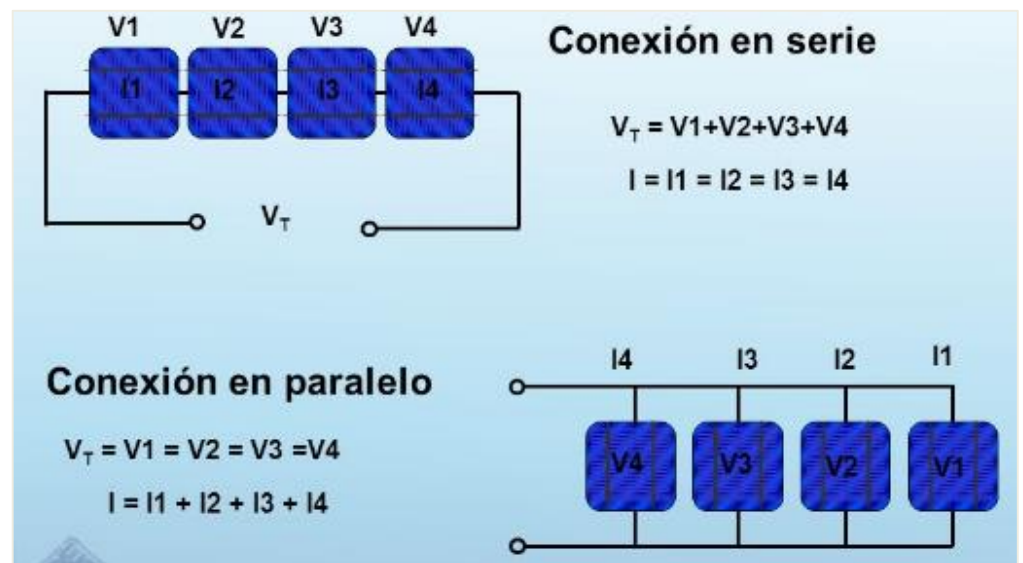
Otro dato importante del cuadro de control es la tensión de entrada en DC, el cual es de 400 a 800 V.

4.2.3 Arreglo fotovoltaico

Para el arreglo del sistema fotovoltaico, se partió del reconocimiento de la cantidad de módulos, tensión de entrada al cuadro de control e intensidad de corriente nominal de la bomba.

- Número de módulos: 60 de 400 W con V_{mp} de 41.7 voltios e I_{mp} de 9.6 A.
- Tensión de entrada en DC: 400 a 800 voltios
- Intensidad de corriente de la bomba: 35.5 amperios

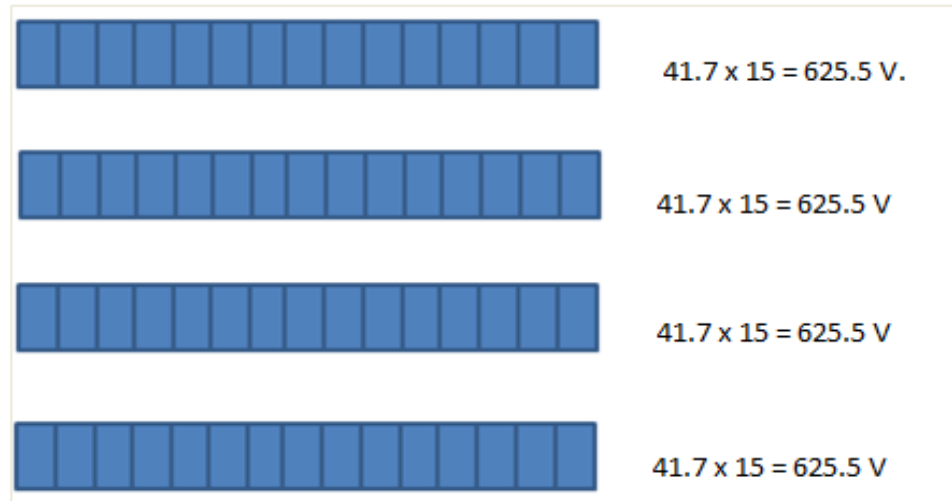
Figura 24
Arreglos fotovoltaicos



Nota. Tomado de Sánchez, 2019.

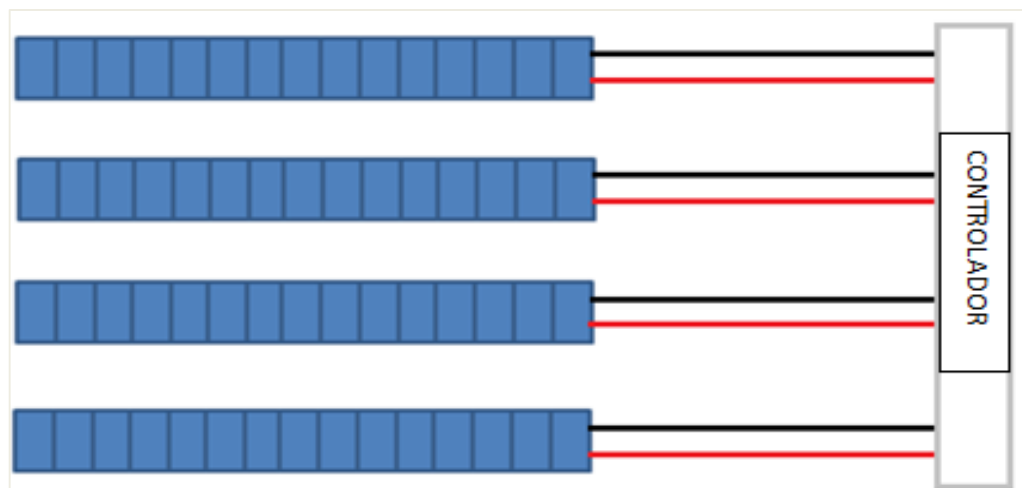
Se propone hacer un arreglo que se adecúe a lo requerido por el controlador, con entrada de entre 400 y 800 V en DC y una intensidad de corriente igual o menor a 45 A.

Figura 25
Conexión de módulos en serie



Se consideró la colocación de 15 módulos en serie, string, en donde la suma de las tensiones alcanzó a 625.5 V en DC, valor que estuvo en el rango de admisión del controlador; la intensidad de corriente fue de 9.6 A y la potencia fue de 6004.8 W. Por string que ahora son 4.

Figura 26
Conexión de strings en paralelo



Los 4 strings se conectaron en paralelo para entrar al controlador, en donde la tensión siguió siendo 625.5 V y la corriente se sumó siendo después 38.4 A.

En resumen, el arreglo fotovoltaico fue de 15 módulos en serie y 4 strings en paralelo, con una tensión de entrada de 625.5 V en DC y una intensidad de corriente de 38.4 A, que estuvieron en el rango del controlador, y con una potencia de 24019.2 W en todo el sistema. Esto fue más que suficiente para hacer trabajar la bomba en días con poca radiación.

4.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

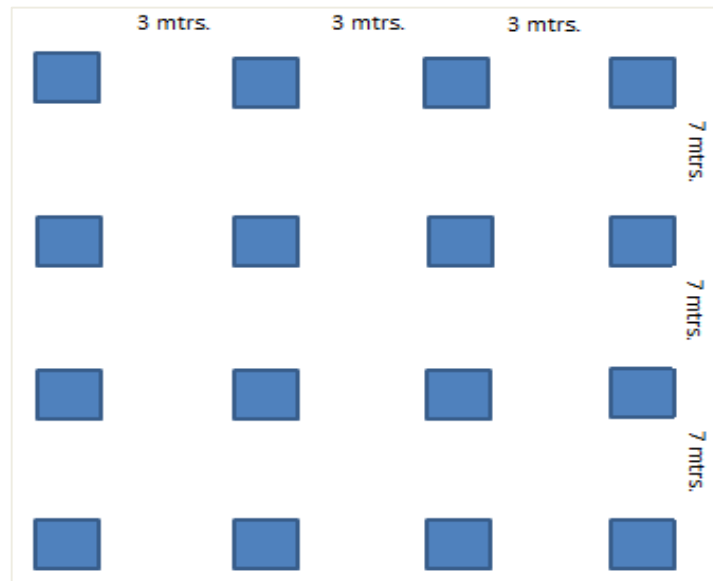
Una vez realizado el diseño y seleccionados los componentes, se procedió con la instalación de los mismos.

4.3.1 Procedimiento de instalación del sistema

A continuación, se describe la instalación del sistema con los parámetros ya establecidos en el diseño

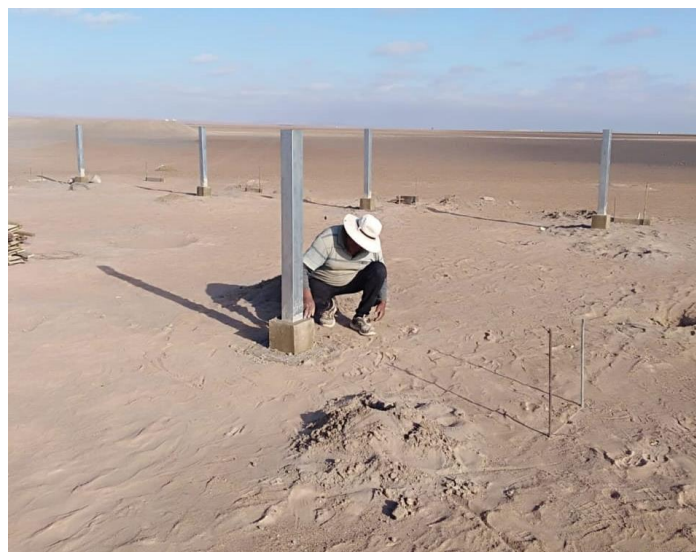
Paso 1. Se inició eligiendo el lugar propicio para la instalación del sistema fotovoltaico, el cual, fue en un terreno amplio y llano. Seguidamente, se plantaron los pilares a distancias adecuadas para la instalación de 15 módulos de 1 metro de ancho que sirvieron de soporte para los módulos. Dichos pilares son de tubo de fierro galvanizado de 4 pulgadas y fueron colocados en dirección al norte.

Figura 27
Distancia entre pilares



El anclaje de los pilares se hizo con material de concreto a una altura de 1.20 metros desde la base hasta la punta del pilar.

Figura 28
Instalación de pilares



Paso 2. Se procedió con la fijación de vigas a los pilares a través de soldadura por arco a una inclinación de 15 a 20 grados. En estas vigas se fijaron perfiles llamados omegas en donde se instalaron los módulos.

Figura 29
Fijación de vigas a los pilares



Paso 3. Se fijaron los omegas a las vigas a través de abrazaderas en U empernadas a la distancia de 0.97 metros; esta distancia fue la de los agujeros de anclaje en los módulos.

Figura 30
Fijación de omegas



Paso 4. Se instalaron los módulos en los omegas y conexión en serie de los mismos.

Figura 31

Fijación y conexión de módulos



Paso 5. Una vez efectuadas las conexiones necesarias para el sistema fotovoltaico, incluyendo el aterramiento para descargas y las líneas de transmisión hasta el lugar donde se planeó colocar el tablero de control, se procedió con la instalación de la bomba. Para este proceso se contrató personal con experiencia en instalaciones de

bombas sumergibles y se utilizó una grúa de 4 toneladas que fue suficiente para cargar con el peso del sistema y tuberías.

Figura 32

Inicio de la instalación de la bomba



La instalación de las tuberías se hizo paso a paso ajustando en cada tramo de 6 metros con uniones roscadas y fijando el cable a la tubería con precintos de seguridad.

Figura 33

Instalación de tuberías



Al final de la las tuberías se instaló la tapa que soportó todo el peso del sistema que fue aproximadamente de 2 toneladas y con el cable de alimentación dirigido hacia el tablero de control.

Figura 34

Instalación final de la tapa



Paso 6. Una vez instalado el sistema fotovoltaico y la bomba, se procedió con las conexiones al tablero de control que se empotró en una caseta ya antes construida, así también como el pozo a tierra que sirvió para descargas. Posteriormente, se llamó al fabricante del controlador para la programación correspondiente e inicio de operación.

Figura 35

Caseta de control



Figura 36

Controlador conectado



Figura 37
Instalación de filtro de armónicos



Como se observa en la foto el controlador pudo soportar la conexión de 4 strings más, para futuras conexiones en una ampliación, y el filtro que protege al sistema de los picos de tensión generados por la gran longitud del cable.

4.3.2 Cronograma de avance de instalación

El tiempo en el que se efectuó la instalación fue de una semana.

En la tabla siguiente, se detallan las actividades.

Tabla 14

Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANA DE ACTIVIDADES						
	día	día	día	día	día	día	día
	1	2	3	4	5	6	7
Traslado de materiales y herramientas	X						
Plantado de pilares		X	X				
Fijación de vigas			X				
Instalación de omegas			X	X			
Fijación de módulos				X			
Conexión de módulos				X			
Cableado y aterramiento				X			
Instalación de la bomba					X		
Conexionado del tablero de control					X		
Programación del sistema						X	
Prueba del sistema y puesta en marcha							X

4.3.3 Aspectos de seguridad en la instalación

Durante la instalación del sistema de bombeo fotovoltaico desde el traslado hasta la puesta en marcha, se cumplió con un procedimiento de trabajo seguro, en el cual, no solo se tomó en cuenta

la seguridad personal sino también la de los materiales. A continuación, se describe dichos aspectos:

A. Personal:

- 1 supervisor
- 2 operarios civiles
- 2 mecánicos montajistas
- 2 electricistas

B. Equipos de protección personal:

- zapatos dieléctricos
- guantes
- lentes
- casco
- protección auditiva
- ropa de trabajo

C. Herramientas y equipos:

- palas
- picos
- carretillas
- generador
- máquina de soldar
- atornilladores

- juego de dados
- esmeril
- taladro
- caja de herramientas manuales

D. Procedimiento:

- Traslado de personal, equipos a instalar y herramientas: se realizó en movilizaciones seguras y espaciosas con sumo cuidado ya que los equipos son frágiles.
- Se inspeccionó los equipos de protección personal, herramientas y equipos de poder verificando su correcta condición y funcionamiento.
- Se coordinó los trabajos realizados por cada personal específico en el área, evaluando los peligros a los que estuvieron expuestos dependiendo al tipo de trabajo.
- Se procedió con el inicio de actividades, asegurándose que todos los involucrados tuvieran sus equipos de protección personal.
- Vaciado de cimientos y estructuras civiles, realizado con el personal civil y con los parámetros propuestos, utilizando sus equipos de protección personal específicos para el trabajo.

- Montaje de estructuras fotovoltaicas y paneles: en este punto se utilizó equipos de poder y una máquina de soldar, para lo cual, el trabajador portó un equipo de protección personal específico (como la careta de soldar y guantes de cuero).
- Montaje de sistema de bombeo: el personal capacitado lo ejecutó con las medidas necesarias, utilizando una grúa de 4 toneladas con un operador certificado y un rigger. Este procedimiento se realizó con mucho cuidado y calma ya que los equipos son muy costosos.
- Cableado y conexión del sistema fotovoltaico: para protección de los equipos y el personal, se instaló un sistema de aterramiento con todos parámetros y normas establecidas con ayuda de herramientas dieléctricas para la instalación y puesta en marcha ya que el sistema ya contaba con carga.
- Se procedió con la eliminación de residuos para evitar la contaminación del terreno y retiro de los equipos utilizados.

CAPÍTULO V

ASPECTOS ECONÓMICOS

5.1 ANÁLISIS DE COSTOS

No se pudo diagnosticar los costos con toda seguridad, pero ellos otorgaron información veraz y sirvieron en gran manera para su planeación, control y la toma de decisiones administrativas.

5.1.1 Costos directos

Los costos directos son generados por los materiales y equipos empleados en la instalación del sistema de bombeo fotovoltaico.

- Bomba solar de 20 HP
- Controlador de 22 kW
- Paneles fotovoltaicos de 400 W de potencia
- Tuberías de acero negro de 3" cédula 40
- Uniones roscadas de acero negro de 3" cédula 40
- Tubos cuadrados de acero galvanizado 4" x 4" x 1.8 mm
- Perfiles Omega
- Cable unifilar de 6 mm² rojo y negro
- Cable de 10 mm² de 4 polos
- Cable desnudo de 10 mm² para aterramiento
- Varilla de cobre de ½ pulgadas

5.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son generados por la utilización de maquinarias y equipos, respecto a la mano de obra y otros gastos que no son incluidos en la instalación del sistema de bombeo fotovoltaico.

A. Costos de maquinaria: Es el valor por hora-trabajo individual por máquina que fue necesaria para la instalación del sistema de bombeo fotovoltaico.

- Camión grúa de 4 toneladas
- Generador eléctrico de 5000 W
- Máquina de soldar
- Taladro
- Esmeril de 4 ½ pulgadas
- Atornillador inalámbrico
- Maletín de herramientas
- Llaves Stilson de 24 pulgadas

B. Costo de mano de obra: Son gastos que corresponden a la mano de obra necesaria para el proyecto y otros gastos que no se involucran directamente, pero fueron necesarios para culminar con la instalación del sistema de bombeo fotovoltaico.

- Oficiales civiles
- Soldadores

- Mecánicos
- Electricistas
- Ayudantes

C. Costos varios: Son costos de actividades paralelas e indirectas pero necesarias para la ejecución del proyecto.

- Transporte
- Alimentación
- Gastos de material de escritorio

Donde el total del costo indirecto (C_{ind}) se evalúa con a través de la siguiente ecuación:

$$C_{ind} = C_m + C_{mo} + C_v$$

Donde:

C_m = Costos de la maquinaria

C_{mo} = Costo de mano la de obra

C_v = Costos diversos

5.1.3. Costo total de instalación del sistema de bombeo fotovoltaico

El total gastado en la instalación del sistema de bombeo fotovoltaico, se calculó por la suma de los valores de los costos directos e indirectos; así se obtuvo que:

$$CT = C_{di} + C_{ind}$$

Donde:

CT: El costo total

C_{di}: Los costos directos

C_{ind}: Los costos indirectos

Tabla 15

Costos de la instalación del sistema bombeo fotovoltaico

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Costo Ud.	Costo Parcial
I	Costos Directos				S/ 76,554.00
01.01	Materiales y equipos				S/ 76,554.00
01.01.01	Electrobomba solar de 20 HP, 380 VAC Ø 3"	Ud.	1	S/ 8,840.00	S/ 8,840.00
01.01.02	Módulos fotovoltaicos monocristalinos de 400 W	Ud.	60	S/ 564.00	S/ 33,840.00
01.01.03	Controlador solar de 22 Kw, 400 V, incluye filtro	Ud.	1	S/ 13,600.00	S/ 13,600.00
01.01.04	Tuberías de acero negro de 3" cédula 40 roscada	Ud.	26	S/ 350.00	S/ 9,100.00
01.01.05	Uniones roscadas IMC de 3" cédula 40	Ud.	25	S/ 20.00	S/ 500.00
01.01.06	Tubo cuadrado de acero galvanizado de 4"x4"x1.8mm	Ud.	15	S/ 240.00	S/ 3,600.00
01.01.07	Perfiles Omega de 1m	Ud.	64	S/ 6.00	S/ 384.00
01.01.08	Cable unifilar de 6mm2 rojo	MI	150	S/ 8.00	S/ 1,200.00
01.01.09	Cable unifilar de 6mm2 negro	MI	150	S/ 8.00	S/ 1,200.00
01.01.10	Cable de 10 mm2 de 4 polos	MI	180	S/ 22.00	S/ 3,960.00
01.01.11	Cable desnudo de 10mm2 para aterramiento	MI	30	S/ 6.00	S/ 180.00
01.01.12	Varilla de cobre de 1/2"	Ud.	1	S/ 150.00	S/ 150.00
II	Costos indirectos				S/ 7,820.00
02.01	Costos de maquinarias				S/ 2,120.00
02.01.01	Camión grúa de 4 toneladas	H	5	S/ 150.00	S/ 750.00
02.01.02	Generador eléctrico de 5000 W	Día	7	S/ 70.00	S/ 490.00
02.01.03	Máquina de soldar	Día	2	S/ 70.00	S/ 140.00
02.01.04	Taladro	Día	5	S/ 50.00	S/ 250.00
02.01.05	Esmeril de 4 1/2 pulgadas	Día	5	S/ 50.00	S/ 250.00
02.01.06	Atornillador inalámbrico	Día	5	S/ 30.00	S/ 150.00
02.01.07	2 llaves Stilson de 24 pulgadas	Día	1	S/ 20.00	S/ 20.00

02.01.08	Maleta de herramientas	Día	7	S/ 10.00	S/ 70.00
02.02	Costos de mano de obra				S/ 3,450.00
02.02.01	Oficiales civiles	Día	4	S/ 200.00	S/ 800.00
02.02.02	Soldadores	Día	2	S/ 100.00	S/ 200.00
02.02.03	Mecánicos	Día	7	S/ 90.00	S/ 630.00
02.02.04	Electricistas	Día	7	S/ 100.00	S/ 700.00
02.02.05	Ayudantes	Día	7	S/ 160.00	S/ 1,120.00
02.03	Costos Varios				S/ 2,250.00
02.03.01	Transporte	Día	7	S/ 200.00	S/ 1,400.00
02.03.02	Alimentación	Día	7	S/ 100.00	S/ 700.00
02.03.03	Gastos de material de escritorio	Gbl.	1	S/ 150.00	S/ 150.00
Costo Total					S/ 84,374.00

El valor total de instalación del sistema de bombeo fotovoltaico se aumentó un 5% del mismo para imprevistos, como algunos consumibles y extras, por lo tanto, se obtuvo como costo real: $CR = 105\%CT = S/ 88,592.70$.

5.2 FINANCIAMIENTO

La inversión y los gastos de instalación para el sistema de bombeo fotovoltaico en el pozo de propiedad de la Asociación de Irrigación Nuevas Tierras del Sur del distrito de Sama, fueron cubiertos por los miembros de dicha asociación, los cuales ascendieron a 60 personas.

Los costos de diseño fueron cubiertos por el autor del presente proyecto, ya que no fueron excesivos, porque solo se utilizó material de escritorio.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño e instalación para el sistema de bombeo fotovoltaico en un pozo de más de 150 m de profundidad permitiría satisfacer la necesidad de agua en la asociación de irrigación Nuevas Tierras del sur.

El caudal proporcionado por la bomba no fue exactamente el requerido por los dueños del pozo, pero, el resultado no fue desalentador ya que este equipo necesita trabajar progresivamente hasta llegar al caudal solicitado.

El sobredimensionamiento en la cantidad de módulos ha permitido que el sistema de bombeo trabaje más horas de las que podría trabajar sin el sobredimensionamiento, dejando satisfechos a los dueños del pozo. Esto se observó en la primera semana de prueba, en donde el sistema trabajó aproximadamente 8 horas al día con un caudal constante de 4 litros por segundo.

El sistema de bombeo fotovoltaico es una buena alternativa para este tipo de pozos en donde no se cuenta con electricidad y, a comparación con otros sistemas de bombeo impulsados con motores diésel, éste resulta más amigable con el medio ambiente y más económico en su operación.

6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sistema de bombeo fotovoltaico elaborado en la presente tesis, a comparación de otros iguales en asociaciones vecinas, tuvo mejores resultados ya que como se mencionó, presentó un mayor tiempo de bombeo a un caudal constante.

Lo concerniente a las actividades de mantenimiento del sistema de bombeo fotovoltaico, estas son mínimas dado que solo se deben limpiar los módulos.

El sistema de control de bombeo cuenta en puertos libres para una posible ampliación para una mayor potencia, esto podría realizarse más adelante dependiendo del comportamiento del pozo.

Actualmente el sistema de bombeo no se encuentra trabajando al 100% de su capacidad, pero, esto se puede arreglar con una nueva programación en el controlador, lo cual se irá probando más adelante.

CONCLUSIONES

Se diseñó e instaló un sistema de bombeo fotovoltaico para un pozo de agua subterránea en el distrito de Sama – Tacna; dicho pozo es parte del proyecto Agua Dulce, manejado por la Asociación de Irrigación Nuevas Tierras del Sur. Se diseñó el sistema hidráulico y el sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la capacidad de bombeo requerida, los materiales necesarios y su capacidad. La instalación hasta la puesta en marcha fue ejecutada en siete días y tuvo un costo de S/ 84,374.

Se diseñó el sistema hidráulico para el sistema de bombeo fotovoltaico, estableciendo previamente una altura de 170 m para el pozo y un caudal de 92.52 m³ por día. Por ello, se seleccionó la bomba sumergible Pedrollo 6SR70G 20HP, modelo 6SR70G/200, de 6" de diámetro, con un motor trifásico de 15 kW y 380 V y un peso total de 89 kg.

Se calculó y dimensionó el sistema fotovoltaico que alimentó el sistema hidráulico, estableciendo previamente la necesidad de un motor trifásico de 380 V, 35.5 V y con rendimiento del 83%. A partir de ello, se determinó la necesidad de 49 módulos de 400 W de potencia cada uno, capaces de trabajar por 5.14 horas; sin embargo, para poder suplir la demanda de agua, se fijó 60 módulos para el sistema. Asimismo, se seleccionó un variador de 22000 W y 400 V de tensión; y el arreglo fotovoltaico constó en la colocación de 4 strings con 15 módulos en serie de 625.5 V en DC.

Se instaló el sistema de bombeo fotovoltaico cumpliendo un procedimiento de 6 pasos, iniciando con la ubicación del sistema fotovoltaico y los pilares, continuando con la fijación de la estructura y finalizando con la instalación de la bomba, tuberías y la tapa. Además, se construyó una caseta de control en el que se posicionó el controlador y el filtro de amoniacos.

RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de un diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico adecuado para pozos tan profundos, se recomienda saber el estado exacto en el que se encuentra el pozo (como su eficiencia hídrica) a través de pruebas hídricas. Aunque es un proceso costoso, ayudará a elegir mejor los equipos.

Se recomienda siempre sobredimensionar el sistema para obtener mayores horas de trabajo del mismo en el día ya que, de regirse a lo establecido en los cálculos, solo se trabajaría en las horas donde la radiación del sol es mayor en la zona.

Se debe tener experiencia en el campo y conocimientos sobre sistemas fotovoltaicos para una correcta instalación de los equipos que integran el sistema, como mecánica y electricidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, M. y Chenlo, F. (2011). *Sistema de bombeo fotovoltaico*.
- Arizaga, M., Cerda, G. y Balvantín, A. (2018). Diseño de estructura de soporte móvil y ajustable para panel solar de experimentación. *Revista de Investigación Jóvenes en la Ciencia*, 4(1), 3171-3175.
- Artesa Grupo Elecnor. (2017). *Catálogo de Bombeo Solar*. Obtenido de <https://www.atersa.com/>
- Barrientos, J. (2017). *Capítulo 14: Bombas*.
- Bhatia, A. (2015). *HVAC pump characteristics and energy efficiency*. Continuing Education and Development.
- Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.
- Cata, J. y Rodríguez, F. (2015). *Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Chonto, L. (2018). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministrar agua en el Caserío Chillvaca en el distrito de Incahuasi-Ferreñafe - Lambayeque*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Chucuya, R. y Saldaña, L. (2018). Influencia de los regímenes de flujo en el coeficiente global de transferencia de calor en intercambiadores de calor tipo concéntricos y tubo coraza. *INGnosis*, 4(1), 94-104.
- Comisión Nacional de Riego. (2018). *Manual de inspección y revisión de sistemas fotovoltaicos*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México: Comisión Nacional del Agua.
- Consultora 11 Colors. (2021). *Bombeo solar*. <https://11colors.com/bombeo-solar/>
- Consultora Yuba. (10 de febrero de 2015). *Sistema fotovoltaico (FV)*. YUBA, empresa especializada en energías renovables.

[http://www.yubasolar.net/2015/02/sistema-fotovoltaico-fv.html#:~:text=Un%20sistema%20de%20bombeo%20FV,de%20corriente%20continua%20\(CC\).](http://www.yubasolar.net/2015/02/sistema-fotovoltaico-fv.html#:~:text=Un%20sistema%20de%20bombeo%20FV,de%20corriente%20continua%20(CC).)

- CosmoAmautas. (2021). *Guía de contenidos y actividades en temas selectos de astrofísica*. Cosmo Amautas.
- Cunia, G. (2012). *Diseño y evaluación económica comparativa del sistema de agua potable en la comunidad de Nuevo Arica de Cachiyacu utilizando energía solar y energía térmica en el año 2010*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de San Martín.
- Enríquez, G. (2005). *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. México: Editorial Limusa S.A.
- ERA solar. (2019). *ESPSC (TÜV Rheinland) Monocrystalline Solar Module*. http://www.erasolar.com.cn/archiv/2019_ERA_Solar_panel_catalogue.pdf
- Escobar, D. (2017). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico residencial y estudio de eficiencia del arreglo fotovoltaico en Inversores en la empresa Elirmex*. México. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Farfán, J. y Campos, W. (2019). Energía solar fotovoltaica para la explotación de agua subterránea. *UCV HACER, Revista de Investigación y Cultura*, 8(1), 65-74.
- Fernández, M., Leggeri, M. y Soldevilla, M. (2019). *Electricidad I*. Universidad Nacional de Rosario.
- Flores, O., Huesca, E., Romero, G. y Jiménez, E. (2019). Sistemas de bombeo solar en Pachuca Hidalgo. *Revista de Innovación Sistemática*, 3(12), 17-27.
- Grupo Vemacero. (2006). *Tubería de acero al carbono*. <https://www.vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>
- Guerrero, R. (2017). *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Málaga: IC Editorial.
- Hernández, E. (2014). *Bomba de succión mediante energía solar*. Chiapas: Tecnológico Nacional de México.
- Inguanzo, J., De la Torre, J., Gómez, L. y Inguanzo, O. (2016). *Caracterización estructural y eléctrica de celdas fotovoltaicas de doble y triple capa*. Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

- Innovación y Cualificación S.L. (2017). *UF0152: Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas*. Málaga: IC Editorial.
- Juárez, E. (2016). Importancia técnica de los sistemas de riego por goteo por medio de energía solar para invernaderos y comunidades rurales. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 5, 1-22.
- Kahn, K., Bakshi, M. y Mahmud, A. (2014). Bryophyllum Pinnatum leaf (BPL) is an eternal source of renewable electrical energy for future world. *American Journal of Physical Chemistry*, 3(5), 77-83. doi:10.11648/j.ajpc.20140305.15
- Ksentini, A. y Azzag, E. (2019). Improvement and optimization of an autonomous photovoltaic pumping system. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Network, Devices and Fields*, 1-13. doi:10.1002/jnm.2547
- Lagos, F. (2015). *Sistema Fotovoltaico para el ahorro de energía eléctrica en el servicio de alumbrado general de Condominios*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Lopera, E. (2018). *Sistema híbrido de bombeo para comunidades remotas*. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Loría, D. y Falcón, J. (2017). *Instalación hidráulica en Tarja*. México: Instituto Tecnológico Superior de Valladolid.
- Luza, J. (2018). *Propuesta de un sistema de bombeo de agua subterránea para la zona agrícola de Carmen Alto en la ciudad de Arequipa*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín.
- Madu, K. y Nwankwo, E. (2018). Evaluation of pump losses: An energy principle - A review. *Equatorial Journal of Engineering*, 85-91.
- Martín, I., Salcedo, R. y Font, R. (2011). *Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos*. California: Universidad de Alicante.
- Martínez, C. (2020). *Diseño de sistema de bombeo a base de energía solar para suministro de agua*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Martínez, J. y Antonio, C. (2021). Celdas solares y la tecnología del silicio. *Nextia*(8), 11-16.

- Muhsen, D., Ghazali, A., Khatib, T., Abed, I. y Natsheh, E. (2016). Sizing of a standalone photovoltaic water pumping system using a multi-objective evolutionary algorithm. *Energy*, 109, 961-973. doi:10.1016/j.energy.2016.05.070
- ONUDI Y UPME. (2018). *Manual de optimización de sistemas de bombeo*. Vienna: ONUDI.
- Osorio, J. C. (2009). *La energía solar: transformación de la radiación solar a sus diferentes aplicaciones y utilidades*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Padilla, A., Chamba, S., Sarango, E. y Jiménez, M. (2022). Diseño e implementación de un seguidor solar para aumentar el rendimiento de generación. *Polo del Conocimiento*, 7(4), 232-263. doi:10.23857/pc.v7i4.3823
- Paredes, J. (2016). *Estudio y solución de problemáticas de red cloacal en la Facultad de Ciencias Químicas y Comedor Universitario*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Córdoba.
- Pedrollo. (2019). *Catálogo de Motores sumergidos de 6" Pedrollo*. Pedrollo, the spring of life. <https://www.pedrollo.com/es/6pd-motores-sumergidos-de-6/154>
- Pérez, A. (2015). *Diseño de un sistema de bombeo para el mantenimiento de medidores de referencia en sitio*. Chiapas: Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Pineda, M. (2016). Diseño y construcción de un concentrador solar cilíndrico parabólico. *Revista Electrónica Facultad de Ingeniería*, 10(1), 1459-1489.
- Pino, E. (2019). El acuífero costero La Yarada, después de 100 años de explotación como sustento de una agricultura en zonas áridas: una revisión histórica. *IDESIA*, 37(3), 39-45.
- Pino, E. (2021). Conflictos por el uso del agua en una región árida: Caso Tacna, Perú. *Diálogo Andino*(65), 405-415. doi:10.4067/S0719-26812021000200405
- Polo, C. y Miranda, G. (2020). Cuantificación y caracterización de la radiación ultravioleta-b en la ciudad de Tacna, periodo: 2012-2014. *Tecnia*, 30(1), 43-52. doi:10.21754/tecnia.v30i1.854
- Prasad, R., Singh, S. y Nagar, H. (2017). Importance of solar energy technologies for development of rural area in India. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3(6), 585-599.

- Rochín, J., Ortiz, S. y Ellis, A. (2000). Energía solar para bombeo de agua. Experiencias con ranchos sustentables en Baja California Sur. *FIRCO*, 1-4.
- Rodríguez, K., Moure, F. y Quiñones, J. (2020). Energía solar fotovoltaica. *Novedades científicas*, 71(3).
- Rua, R., Cely, L., González, A., Granados, A. y Ramírez, R. (2018). Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyacá. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 2, 1-11.
- Sagua, W. (2017). *Análisis y modelamiento para un módulo fotovoltaico, basado en un sistema de generación de energía renovable Microgrid en la ciudad de Puno*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Said, S., Hassan, G., Walwil, H. y Aqeeli, N. (2018). The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 743-760. doi:10.1016/j.rser.2017.09.042
- Salman, M., Obed, A. y Abid, A. (2021). Performance study of the direct-coupled photovoltaic water pumping system for the rural-isolated agricultural region in Iraq. *Journal of Techniques*, 3(1), 37-46. doi:10.51173/jt.v3i1.273
- Sánchez, A., Martínez, D., Santos, R., Ortega, J. y Sánchez, P. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencia, servicio e industrial*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, F. (2019). *Simulación del desempeño de un arreglo fotovoltaico experimental utilizando Scilab considerando condiciones de falla*. Chiapas: Tecnológico Nacional de México.
- Sandia National Laboratories. (2000). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. México: Programa de Energía Renovable.
- Shanmugan, N., Pugazhendhi, R., Madurai, R., Kasiviswanathan, P. y Das, N. (2020). Anti-reflective coating materials: A holistic review from PV perspective. *Energies*, 13. doi:10.3390/en1310263
- Tinta, J. (2017). *Aplicación de la energía solar en línea de impulsión de sistema de abastecimiento y eliminación de excretas en la localidad de Isla Soto*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano.

- Ullah, A., Imran, H., Maqsood, Z. y Zafar, N. (2019). Investigation of optimal tilt angles and effects of soiling on PV energy production in Pakistan. *Renewable Energy*, 139, 830-843. doi:10.1016/j.renene.2019.02.114
- Vargas, J. P. y Navia, G. (2015). Desarrollo de un sistema de control para la captura y medición experimental de la eficiencia y curva características I-V en tiempo real de un sistema fotovoltaico utilizando Labview y Arduino. *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 49-64.
- Vargas, T. y Abrahamse, A. (2014). Trazador de curvas I-V de código abierto para monitoreo de rendimiento de paneles fotovoltaicos en Bolivia. *Investigación & Desarrollo*, 1(14), 100-116.
- Vilca, J. (2021). *Estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la Cuenca Llallimayo*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Vivas, H. (2013). *Guía de problemas en Electromagnetismo*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

Anexo 1

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – A

6SR

Electrobombas sumergidas de 6"

-  Agua limpia
Contenido de arena máximo 100 g/m³
-  Utilizo civil
-  Utilizo agrícola
-  Utilizo industrial



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta 1200 l/min (72 m³/h)
- Altura manométrica hasta 381 m

LIMITES DE UTILIZO

- Temperatura máxima del fluido hasta +35 °C
- Contenido de arena máximo 100 g/m³
- Profundidad de utilizzo hasta 100 m bajo el nivel del agua con cable de alimentación de longitud adecuada
- Funcionamiento:
 - en vertical
 - en horizontal con los siguientes límites: hasta 7 etapas o hasta 11 kW
- Arranques/hora: 20 a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento mínimo 16 cm³/s (50 cm³/s para 30 kW)
- Funcionamiento continuo S1

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

MOTOR ELECTRICO

– Trifásica 380 V - 60 Hz

Cable de alimentación de 4 m

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE

UTILIZOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia con contenido de arena no superior a 100 g/m³. Debido a su alto rendimiento y fiabilidad se indican para usos en el campo civil, agrícola e industrial, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, para riegos, para aumentos de presión y para instalaciones anti-incendio, etc.

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas ISO 228/1
- Otros voltajes
- Kit camisa de enfriamiento completo con filtro y soportes



GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

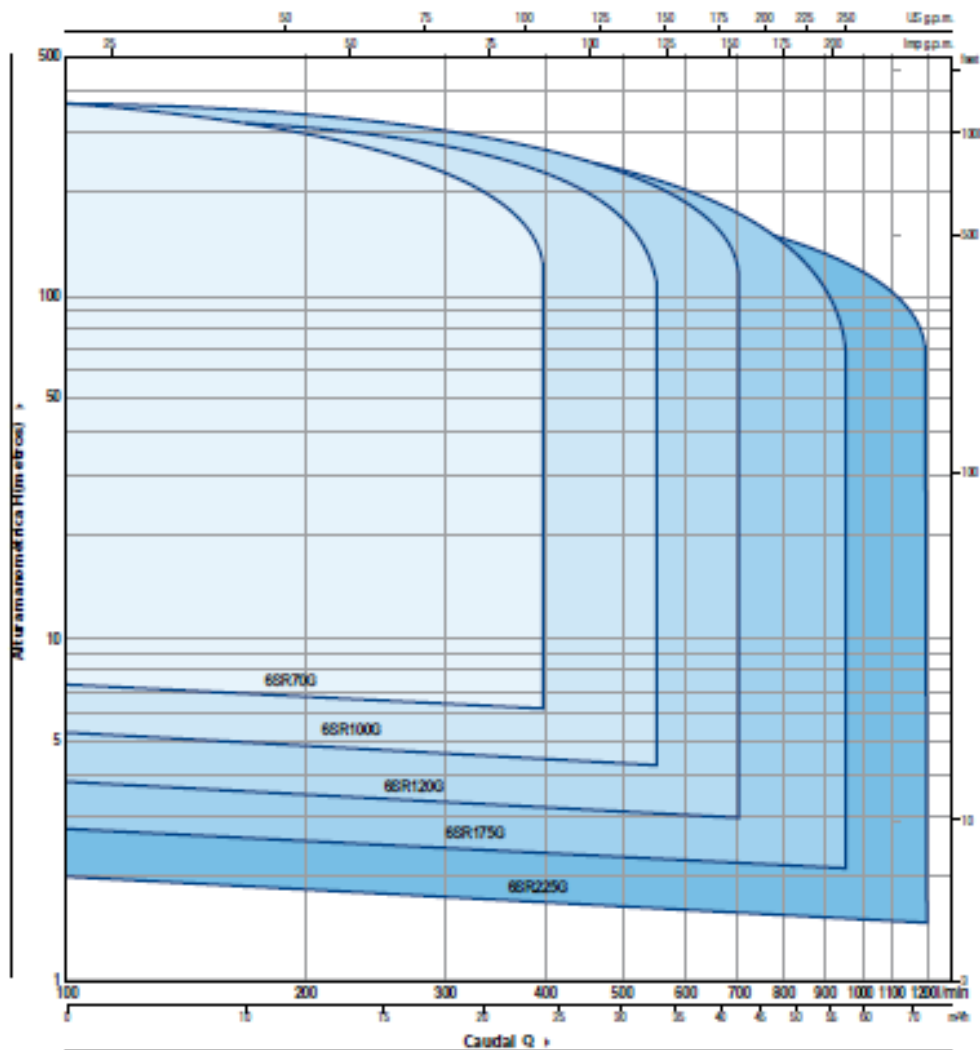
Anexo 2

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – B



CAMPO DE PRESTACIONES

60 Hz n=3450 rpm



NOMENCLATURA

6 SR 70G / 75 - PD o HYD

- Diámetro del pozo en pulgadas
- Serie
- Caudal en US g.p.m. en el punto de máximo rendimiento
- Potencia motor
- PD: electrobomba con motor SPD "PEDROLLO"
- HYD: bomba sin motor

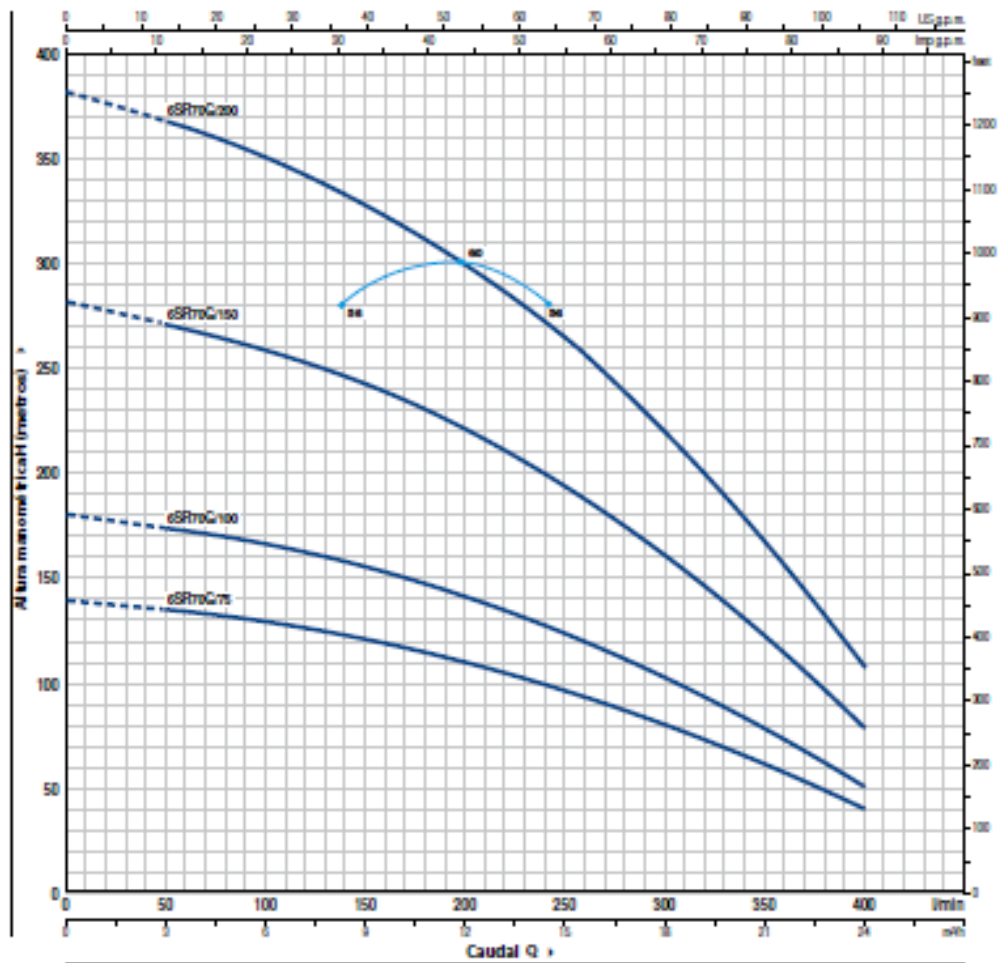
Anexo 3

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" - C

6SR70G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n=3450rpm



MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	0	3	6	9	12	15	18	21	24
	kW	HP		0	50	100	150	200	250	300	350	400
6SR70G/75	5.5	7.5	H metros	140	135	130	122	110	98	80	60	40
6SR70G/100	7.5	10		182	174	168	155	140	125	104	80	50
6SR70G/150	11	15		281	270	260	240	220	198	162	122	78
6SR70G/200	15	20		381	365	351	325	300	265	220	168	108

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

Anexo 4

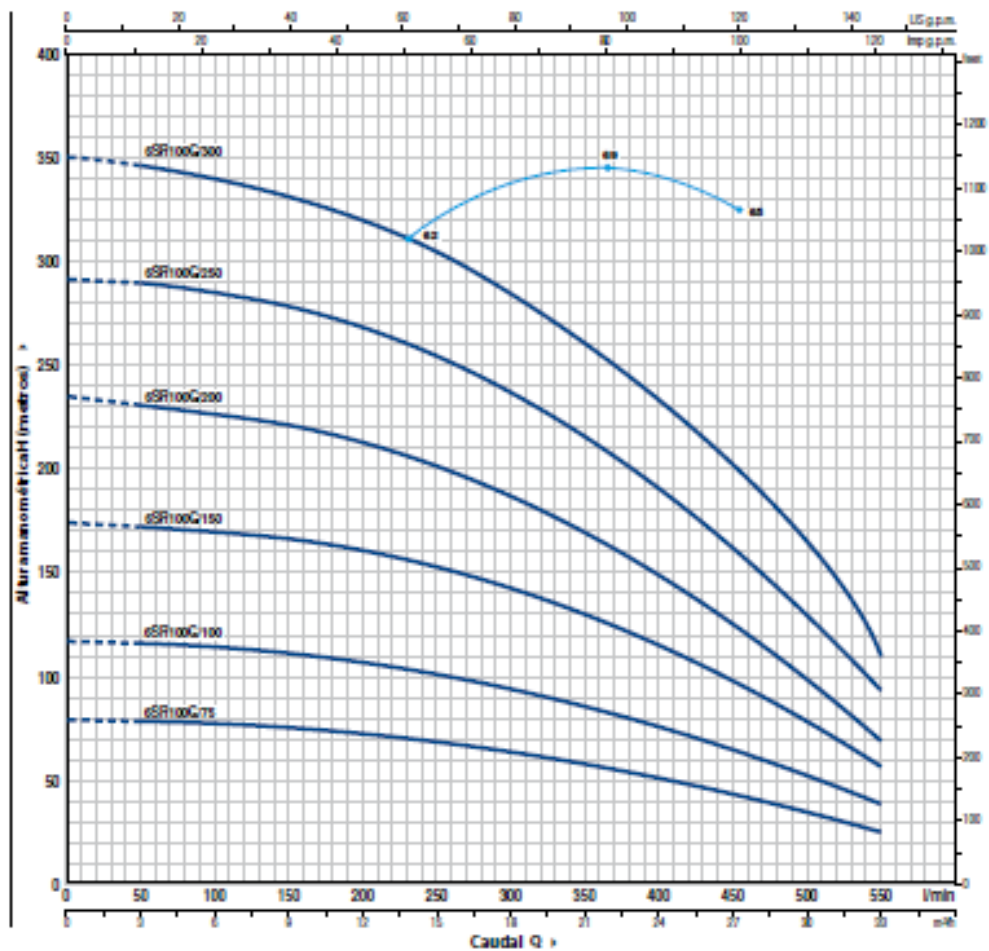
Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – D

6SR100G



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n=3450 rpm



MODELO	POTENCIA (P2)		Q													
	kW	HP		m³/h	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Trifásica				l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
6SR100G/75	5.5	7.5	H metros		80	79	77	75	72	68	63	58	52	44	38	25
6SR100G/100	7.5	10			118	117	114	110	105	100	95	88	78	68	58	38
6SR100G/150	11	15			177	173	170	166	160	152	142	130	118	100	85	56
6SR100G/200	15	20			235	230	225	220	213	202	190	170	150	133	110	69
6SR100G/250	18.5	25			292	290	284	275	265	252	238	218	195	167	140	92
6SR100G/300	22	30			350	345	339	333	320	305	285	260	230	200	168	110

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

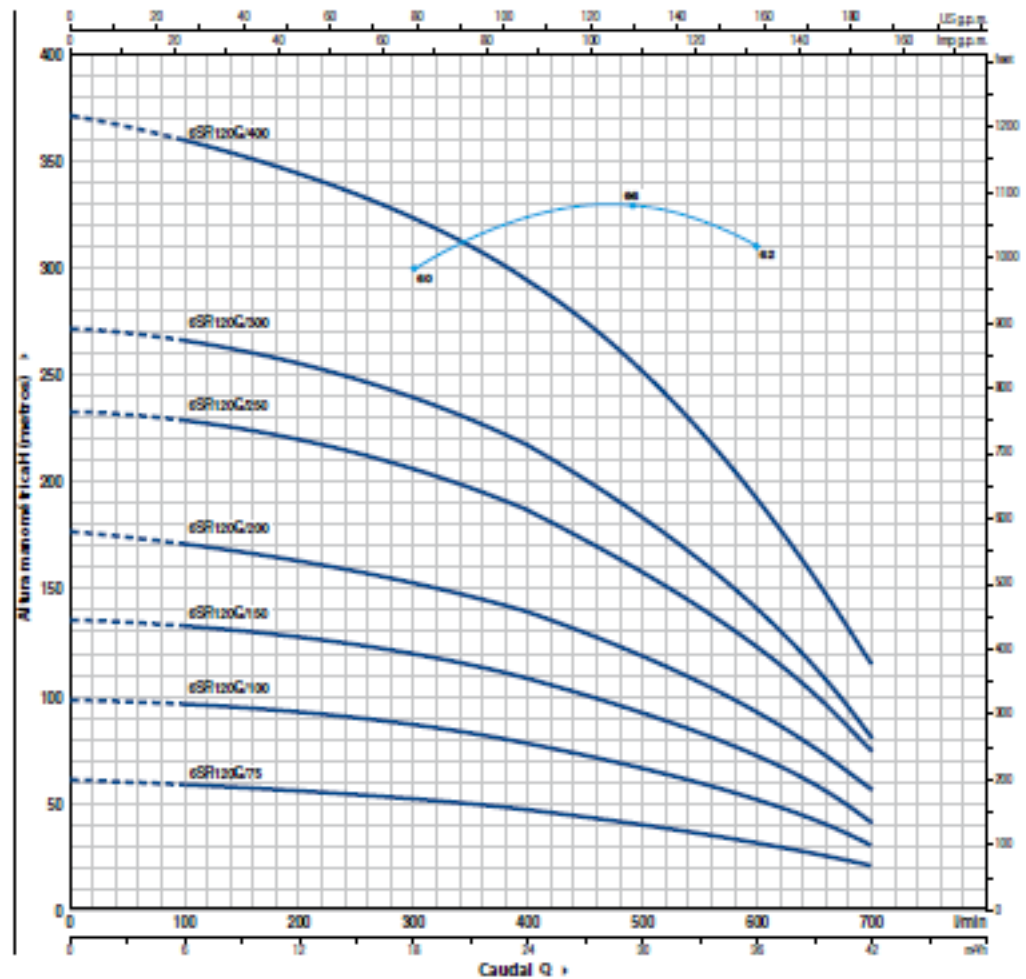
Anexo 5

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – E

6SR120G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n=3450 rpm



MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	H							
	kW	HP	m³/h l/min	0	6	12	18	24	30	36	42
6SR120G/75	5.5	7.5	H metros	0	100	200	300	400	500	600	700
6SR120G/100	7.5	10		61	58	55	52	46	40	31	20
6SR120G/150	11	15		98	95	91	85	78	66	52	30
6SR120G/200	15	20		136	132	128	120	108	92	73	45
6SR120G/250	18.5	25		177	170	163	155	140	120	94	56
6SR120G/300	22	30		233	220	220	205	188	159	125	75
6SR120G/400	30	40		272	267	255	240	218	185	143	80
				372	360	345	325	295	253	195	115

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN 50906 Grado 3B.

Anexo 6

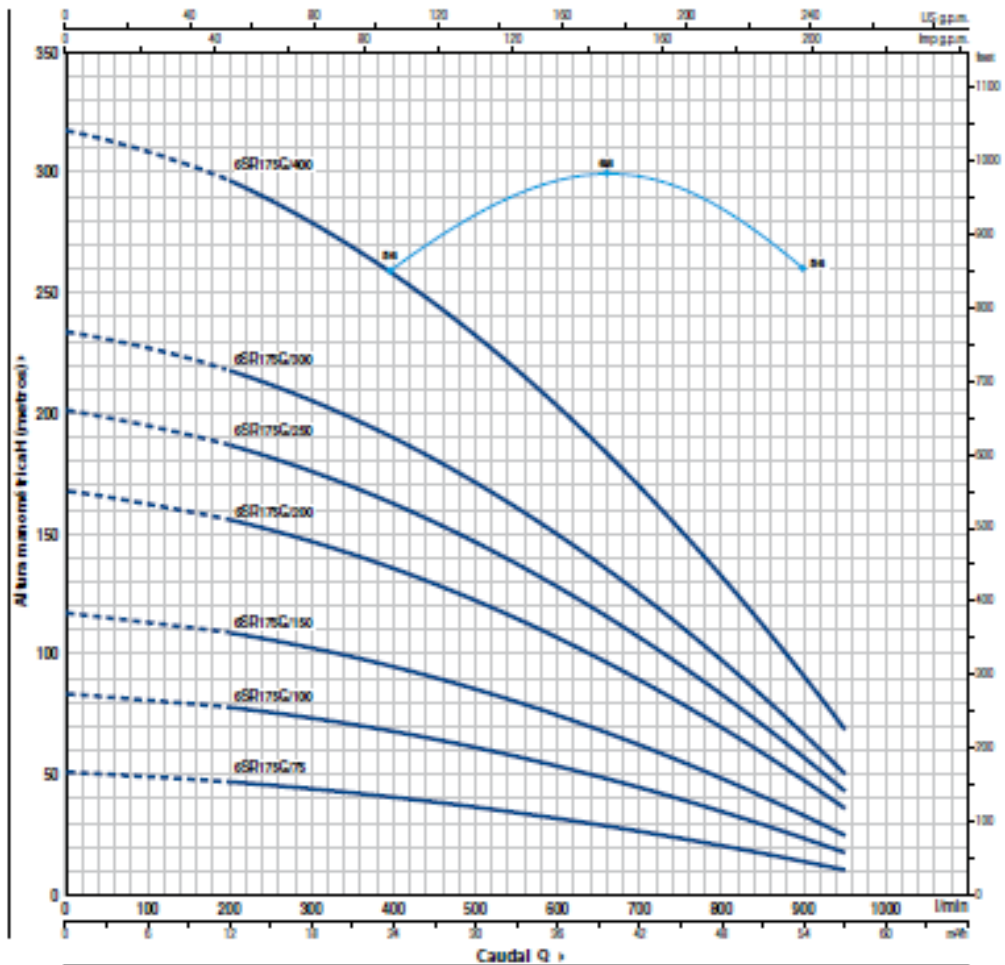
Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – F

6SR175G



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



MODELO	POTENCIA (P ₁)		Q	0	12	18	24	30	36	42	48	54	57
Trifásica	kW	HP	l/min	0	200	300	400	500	600	700	800	900	950
6SR175G/75	5.5	7.5	H metros	50	47	44	40	36	32	27	21	14.5	10
6SR175G/100	7.5	10		83	78	73	67	60.5	53	45	35.5	24.5	17
6SR175G/150	11	15		116	109	102.5	94	84.5	74.5	63	49.5	34.5	24
6SR175G/200	15	20		166	156	146.5	134.5	121	106.5	90.5	71	49.5	35
6SR175G/250	18.5	25		200	187	176	161.5	145	128	108.5	85	59	42
6SR175G/300	22	30		233	218	205.5	188.5	169.5	149.5	126.5	99.5	69	49
6SR175G/400	30	40		316	297	279	256	230	202	172	135	94	67

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado B1.

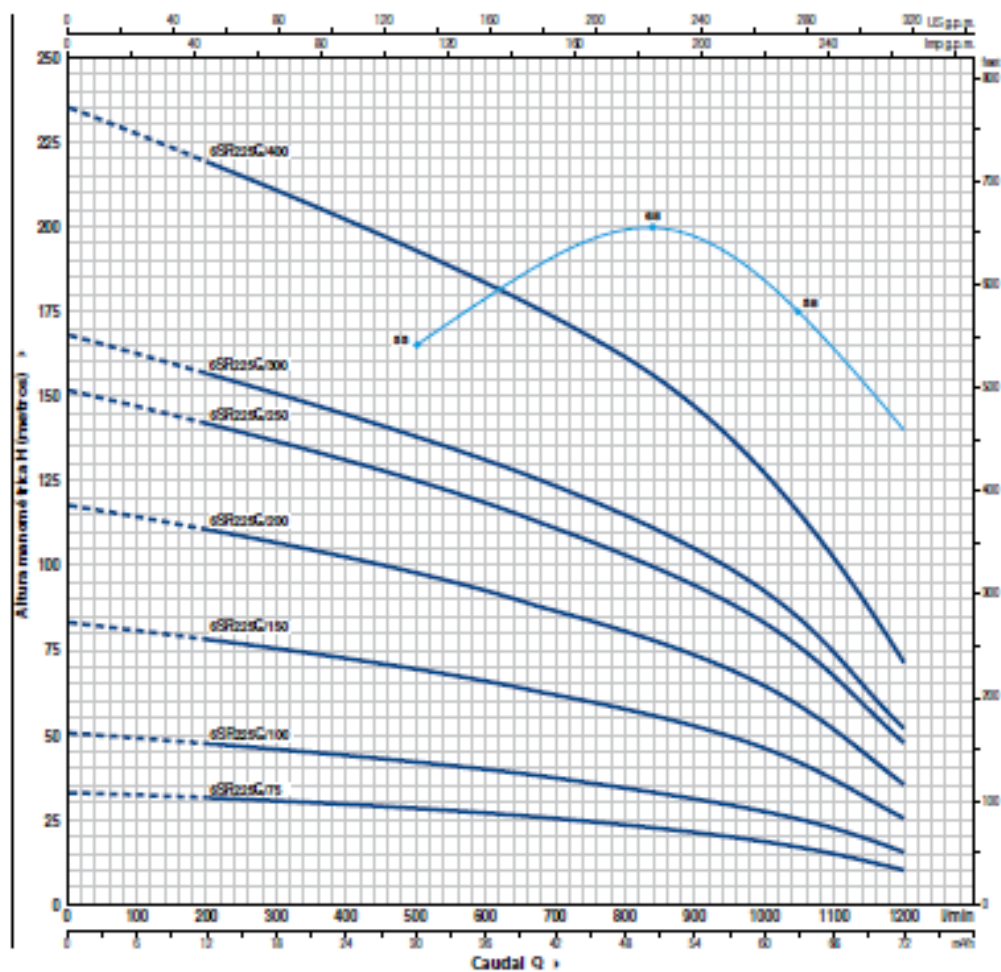
Anexo 7

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – G

6SR225G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n=3450 rpm



MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	l/min	0	12	24	36	48	60	72
	kW	HP										
6SR225G/75	5.5	7.5	H	meters		0	280	400	500	590	1000	1200
6SR225G/100	7.5	10				33	31	29	26	23	18	10
6SR225G/150	11	15				50	47	43	39	34.5	27.5	15
6SR225G/200	15	20				84	79	72	65.5	57.5	46	25
6SR225G/250	18.5	25				117	110	101	91.5	80.5	64.5	35
6SR225G/300	22	30				151	142	130	118	104	83	46
6SR225G/400	30	40				167	157	144	131	115.5	92	51
						205	220	202	183.5	161.5	129	71

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN 50906 Grado 3B.

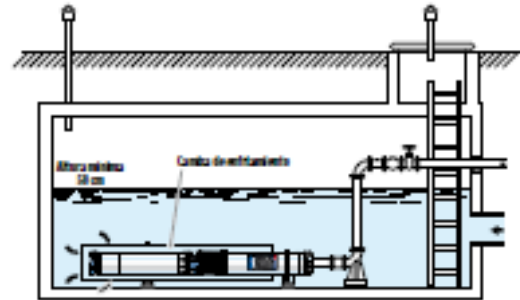
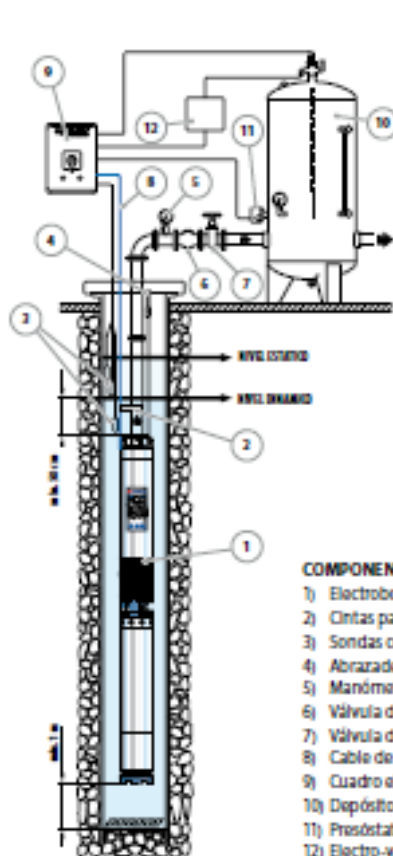
Anexo 8

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – H

6SR

PEDROLLO
the spring of life

EJEMPLO DE INSTALACION



Camisa de enfriamiento

Cuando la electrobomba se instala en depósitos de acumulación, ríos o lagos, es necesario instalar una camisa externa para crear un flujo de agua de enfriamiento que evite el recalentamiento del motor.

COMPONENTES

- 1) Electro bomba sumergida
- 2) Cintas para fijar
- 3) Sondas control nivel contra la marcha en seco
- 4) Abrazadera de anclaje
- 5) Manómetro
- 6) Válvula de retención
- 7) Válvula de compuerta del caudal
- 8) Cable de alimentación eléctrica
- 9) Cuadro eléctrico
- 10) Depósito autoclave
- 11) Presostato
- 12) Electro-válvula/electro-compresor

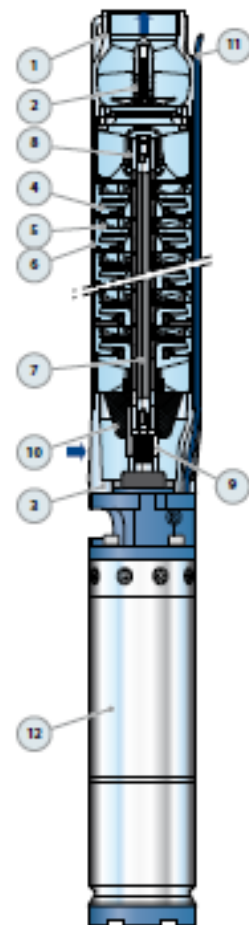
➡ La instalación de las electrobombas **6SR** es apta para pozos con un diámetro no inferior a 6" (150 mm). La electrobomba sumergida se baja al pozo mediante el tubo de impulsión hasta una profundidad tal que garantice su total inmersión (mín. 50 cm y por lo menos 1 metro desde el fondo del pozo) incluso mientras funciona, cuando se aprecia una disminución del líquido en el pozo. Cuando la electrobomba sumergida se instala en un pozo, se aconseja asegurarla con un cable de acero inoxidable para conectarla a los específicos enganches de la boca de impulsión.

Anexo 9

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" – I

6SR70G-100G-120G (Rodetes radiales)

POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS
1 CUERPO DE IMPULSION	Hierro fundido níquelado con boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2 VALVULA DE RETENCION	Acero Inoxidable AISI 304
3 SOPORTE	Hierro fundido níquelado, con dimensiones según norma NEMA
4 RODETES	Noryl FE1520PW y cubiertas de goma especial
5 DIFUSORES	Noryl FE1520PW
6 CAJA PORTA DIFUSOR	Acero Inoxidable AISI 304
7 EJE BOMBA	Acero Inoxidable AISI 304
8 RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en elastómero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9 CASQUILLO	Acero Inoxidable AISI 420
10 FILTRO	Acero Inoxidable AISI 304
11 PROTECTOR CABLE	Acero Inoxidable AISI 304
12 MOTOR 6"	6PO – motor sumergido en baño de aceite rebobinable "PEDROLLO"



Anexo 10

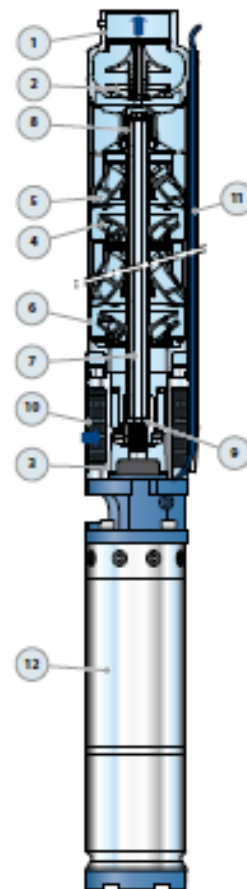
Catálogo de electrobombas sumergidas de 6" - J

6SR175G-225G

(Rodetes semiaxiales)



POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS
1 CUERPO DE IMPULSION	Acero inoxidable AISI 304 con boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2 VALVULA DE RETENCION	Acero inoxidable AISI 304
3 SOPORTE	Hierro fundido niquelado, con dimensiones según norma NEMA
4 RODETES	Noryl FE1520PW y cubiertas de goma especial
5 DIFUSORES	Noryl FE1520PW
6 CAJA PORTA DIFUSOR	Acero inoxidable AISI 304
7 EJE BOMBA	Acero inoxidable AISI 304
8 RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en tecnopolímero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9 CASQUILLO	Acero inoxidable AISI 420
10 FILTRO	Acero inoxidable AISI 304
11 PROTECTOR CABLE	Acero inoxidable AISI 304
12 MOTOR 6"	6PD = motor sumergido en baño de aceite rebobinable "PEDROLLO"

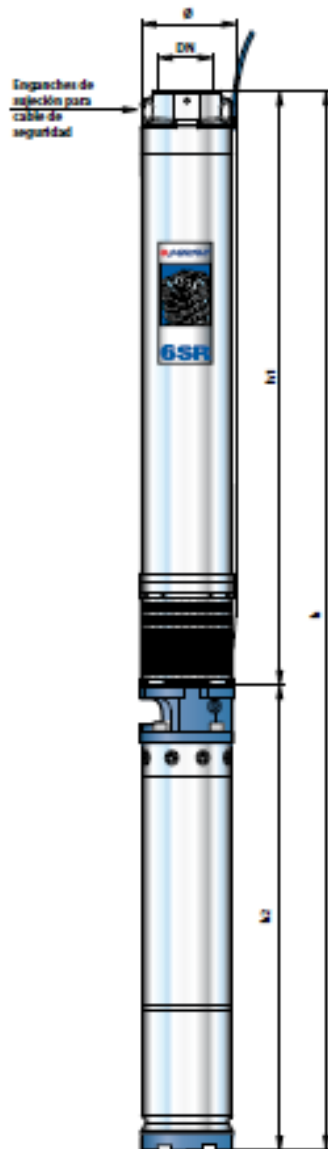


Anexo 11

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6” – K

6SR-PD

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO	BOCA	N°	DIMENSIONES mm				kg
Trifásica	DN	ETAPAS	Ø	h1	h2	h	3-
6SR70G/75 - PD	2"	7	149.5	676	667	1343	55.0
6SR70G/100 - PD		9		763	698	1461	60.5
6SR70G/150 - PD		14		1025	826	1851	77.5
6SR70G/200 - PD		19		1241	894	2135	89.0
6SR100G/75 - PD		4		545	667	1212	51.6
6SR100G/100 - PD		6		632	698	1330	56.6
6SR100G/150 - PD		9		807	826	1633	75.5
6SR100G/200 - PD		12		938	894	1832	83.6
6SR100G/250 - PD		15		1068	959	2027	92.6
6SR100G/300 - PD		18		1198	1116	2314	117.6
6SR120G/75 - PD		3		530	667	1197	46.5
6SR120G/100 - PD		5		636	698	1334	56.5
6SR120G/150 - PD		7		742	826	1568	69.8
6SR120G/200 - PD		9		891	894	1785	80.2
6SR120G/250 - PD		12		1051	959	2010	91.6
6SR120G/300 - PD		14		1157	1116	2273	115.9
6SR120G/400 - PD		19		1422	1243	2665	125.8
6SR175G/75 - PD		3		710	667	1377	56.0
6SR175G/100 - PD		5		936	698	1624	63.1
6SR175G/150 - PD		7		1162	826	1988	80.1
6SR175G/200 - PD		10		1501	894	2395	91.2
6SR175G/250 - PD		12		1726	959	2685	107.5
6SR175G/300 - PD		14		1952	1116	3068	125.0
6SR175G/400 - PD		19		2517	1243	3760	147.0
6SR225G/75 - PD		2		597	667	1264	54.5
6SR225G/100 - PD		3		710	698	1408	59.0
6SR225G/150 - PD		5		936	826	1762	74.1
6SR225G/200 - PD		7		1162	894	2056	87.1
6SR225G/250 - PD		9		1388	959	2347	100.0
6SR225G/300 - PD		10		1501	1116	2617	124.5
6SR225G/400 - PD		14		1952	1243	3195	139.0

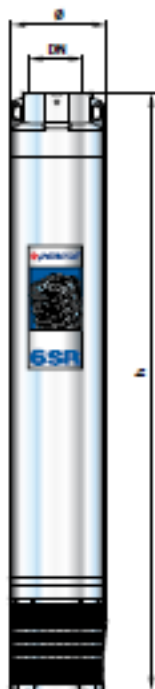
Anexo 12

Catálogo de electrobombas sumergidas de 6” – L

6SR-HYD



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO	BOCA	Nº	DIMENSIONES mm		kg
Bomba	DN	ETAPAS	Ø	h	
6SR70G/75 - HYD	3"	7	149.5	676	19.0
6SR70G/100 - HYD		9		763	21.5
6SR70G/150 - HYD		14		1025	27.5
6SR70G/200 - HYD		19		1241	32.0
6SR100G/75 - HYD		4		545	15.6
6SR100G/100 - HYD		6		632	17.6
6SR100G/150 - HYD		9		807	25.5
6SR100G/200 - HYD		12		938	26.6
6SR100G/250 - HYD		15		1068	27.6
6SR100G/300 - HYD		18		1198	30.6
6SR120G/75 - HYD		3		530	10.5
6SR120G/100 - HYD		5		636	17.5
6SR120G/150 - HYD		7		742	19.8
6SR120G/200 - HYD		9		891	23.2
6SR120G/250 - HYD		12		1051	26.6
6SR120G/300 - HYD		14		1157	28.9
6SR120G/400 - HYD		19		1422	34.8
6SR175G/75 - HYD		3		710	20.0
6SR175G/100 - HYD		5		936	24.1
6SR175G/150 - HYD		7		1162	30.1
6SR175G/200 - HYD		10		1501	34.2
6SR175G/250 - HYD		12		1726	42.5
6SR175G/300 - HYD		14		1952	48.0
6SR175G/400 - HYD		19		2517	56.0
6SR225G/75 - HYD		2		597	18.5
6SR225G/100 - HYD		3		710	20.0
6SR225G/150 - HYD		5		936	24.1
6SR225G/200 - HYD		7		1162	30.1
6SR225G/250 - HYD		9		1388	35.0
6SR225G/300 - HYD		10		1501	37.5
6SR225G/400 - HYD		14		1952	48.0

Anexo 13

Catálogo de motores sumergidos de 6" – A

6PD

Motores sumergidos de 6" PEDROLLO

-  Utilizo civil
-  Utilizo agrícola
-  Utilizo industrial



PRESTACION

- Potencia de 4 a 30 kW

LIMITES DE UTILIZO

- Temperatura máxima del fluido hasta +35 °C
- Profundidad de utilizo hasta 100 m bajo el nivel del agua
- Funcionamiento en vertical y horizontal con los límites de las electrobombas 6SR
- Arranques/hora: 20 con intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento mínimo 16 cm/s (50 cm/s para 30 kW)
- Funcionamiento continuo S1

MOTOR ELECTRICO

- Motor eléctrico de 2 polos, 60 Hz (n ~ 3450 rpm)
- Tensión trifásica:
 - 220-230 V up to 22 kW
 - 380 V
 - 460 V
- Aislamiento: clase F
- Protección: IP 68

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

- Motores sumergidos ~~rebobinables~~ en baño de aceite de tipo alimentario.
- Dimensiones de acople bridas según estándar **NEMA**.
- Están completos de cable de alimentación de 4 m.

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Motores con doble tensión 380/660 V (estrella/triángulo)
- Otros voltajes

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

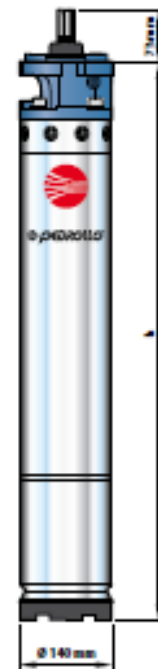
Anexo 14

Catálogo de motores sumergidos de 6" – B



DATOS DE PRESTACION

MODELO	Potencia nominal P ₂		carpeta	velocidad	rpm	rendimiento carpeta nominal	rendimiento η	rendimiento carpeta nominal	rendimiento η	h	Peso	
Trifásica	kW	HP	N	V	rpm					mm	kg	
6PD / 5.5	4	5.5	10000	220	3450	4.8	72%	0.84	11.0	1.6	633	34
				220	3460	4.9	73%	0.81		1.7		
				380	3450	4.8	72%	0.84		1.6		
				460	3440	4.8	71%	0.84		1.6		
6PD / 7.5	5.5	7.5		220	3460	5.2	70%	0.83	15.1	1.6	667	36
				220	3470	5.3	77%	0.79		1.7		
				380	3460	5.2	70%	0.83		1.6		
				460	3450	5.2	74%	0.81		1.6		
6PD / 10	7.5	10		220	3460	5.3	77%	0.85	20.7	1.7	698	39
				220	3460	5.4	77%	0.82		1.8		
				380	3450	5.3	77%	0.85		1.7		
				460	3445	5.3	78%	0.84		1.7		
6PD / 15	11	15		220	3510	5.9	87%	0.76	29.9	2.0	826	50
				220	3520	6.0	79%	0.75		2.1		
				380	3510	5.9	87%	0.76		2.0		
				460	3500	5.9	83%	0.80		2.0		
6PD / 20	15	20		220	3500	5.9	83%	0.78	40.8	2.0	894	57
				220	3510	6.0	82%	0.70		2.1		
				380	3500	5.9	83%	0.78		2.0		
				460	3485	5.9	82%	0.81		2.0		
6PD / 25	18.5	25		220	3490	6.0	84%	0.80	50.7	2.1	959	65
				220	3500	6.1	83%	0.73		2.2		
				380	3490	6.0	84%	0.80		2.1		
				460	3470	6.0	82%	0.82		2.1		
6PD / 30	22	30	220	3500	6.1	83%	0.74	60.0	2.2	1116	87	
			220	3510	6.2	83%	0.66		2.3			
			380	3500	6.1	83%	0.78		2.2			
			460	3490	6.1	84%	0.76		2.2			
6PD / 40	30	40	380	3460	5.9	83%	0.84	83.0	2.0	1243	91	
			460	3435	5.9	85%	0.86		2.0			

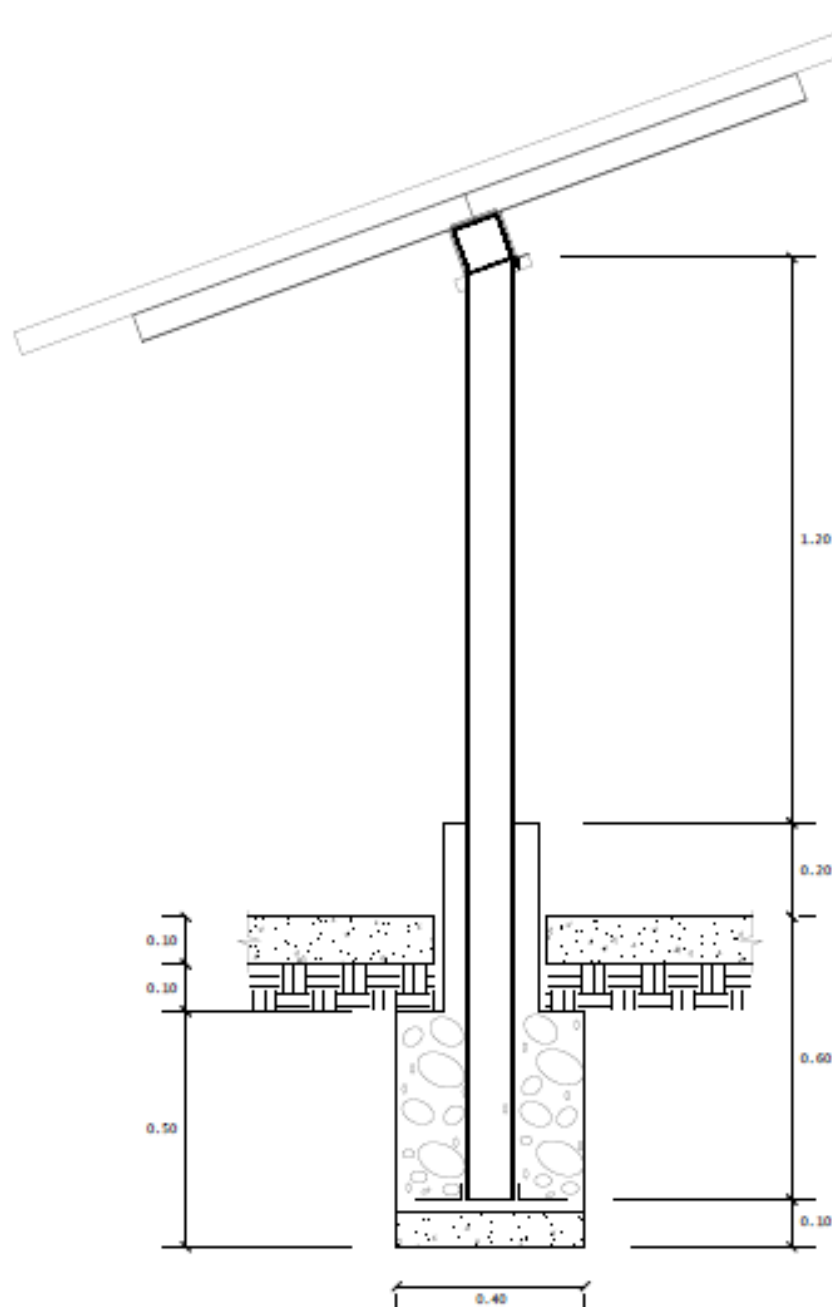


CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION (trifásica)							
	220 V		230 V		380 V		460 V	
Trifásica	S.F. = 1	S.F. = 1.15	S.F. = 1	S.F. = 1.15	S.F. = 1	S.F. = 1.15	S.F. = 1	S.F. = 1
6PD / 5.5	17.5	19.5	17.5	19.0	10.0	11.5	10.0	
6PD / 7.5	22.7	26.0	22.8	25.9	13.0	15.0	13.6	
6PD / 10	30.0	33.7	30.0	33.1	17.5	19.5	16.8	
6PD / 15	47.5	51.5	51.0	54.0	27.5	29.8	24.9	
6PD / 20	61.4	67.3	64.9	70.2	35.5	38.9	33.5	
6PD / 25	73.5	81.0	76.5	83.5	42.5	47.0	40.5	
6PD / 30	94.3	102.0	99.5	107.0	54.5	59.0	50.5	
6PD / 40	—	—	—	—	66.5	74.5	60.4	

Anexo 16

Detalle Soporte de Paneles



DETALLE SOPORTE DE PANELES
(VISTA EN PLANTA)
SEALA-108

Anexo 17

Catálogo de Frenic Solar Ace - A



Innovating Energy Technology

**FRENIC
SOLAR** **Ace**

El gran especialista en bombeo solar



Anexo 18

Catálogo de Frenic Solar Ace - B

Gama de producto

FRENIC SOLAR Ace



	0,4 kW	0,75 kW	1,5 kW	3,2 kW	5,2 kW	6,5 kW	7,5 kW	11 kW	15 kW	16,5 kW	22 kW	30 kW	200 kW
Monofásico 200 V	●	●	●	●									
Trifásico 380 V	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Trifásico 400 V	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●



Funciones específicas de bombeo solar



- **Función de cálculo de punto de funcionamiento óptimo.**
En cada amanecer el variador determina el punto de funcionamiento óptimo en función de las condiciones ambientales del momento.
- **Criterio de arranque por tensión del panel PV y retardo.**
El variador no se pondrá en marcha si la tensión del panel PV es demasiado baja. También se aplica un retardo de tiempo (espera).
- **Criterios de parada seleccionables por frecuencia o potencia.**
- **Función de detección de pozo seco.**
Detecta que la bomba no está impulsando agua.
- **Permite controlar motores asíncronos y de imanes permanentes.**
- **Función de bajo consumo.**
Indica que la potencia de salida es baja, por ejemplo, debido al polvo en los paneles solares fotovoltaicos.
- **Función MPPT.**
Durante el funcionamiento busca el punto de trabajo que ofrece la máxima potencia. Las condiciones (principalmente temperatura y irradiación) cambian durante el funcionamiento.
- **Detección de cambios bruscos en las condiciones (principalmente irradiación).**
Detecta un cambio repentino en las condiciones de funcionamiento y cambia el punto de trabajo en consecuencia.
- **Dos juegos de ganancias de PID.**
El controlador PID responde con mayor o menor rapidez dependiendo del cambio de condiciones de funcionamiento.
- **Detección de nivel máximo de agua en el depósito.**
Si el nivel del depósito alcanza el nivel máximo, la bomba se detendrá.

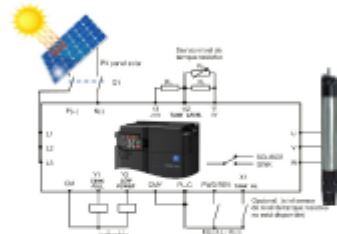
Anexo 19

Catálogo de Frenic Solar Ace – C

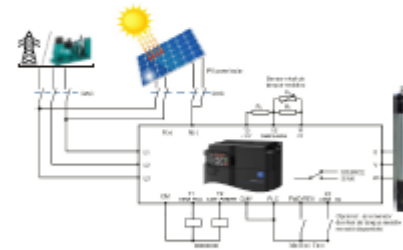
Especificaciones generales	Motor 400 V	Motor 200 V
Voltaje máximo de entrada (Voc)	800 VCC	360 VCC
Voltaje mínimo de entrada (VMPP)	400 VCC	180 VCC
Voltaje recomendado CC	550 – 620 VCC	280 – 330 VCC
Voltaje nominal de entrada CA	Trifásico: 380 - 480 VCA; 50/60 Hz	Trifásico: 200 - 240 VCA; 50/60 Hz
Voltaje nominal de salida CA	Trifásico: 400 VCA	Trifásico: 200 VCA
Frecuencia de salida	0 – 400 Hz	
Eficiencia (variador de frecuencia)	97 – 98 %	
Rango temperatura ambiente	-10 a 50 ° C	
Ventilación	Natural / Mediante ventilador interno	
Potencia de entrada recomendada	1.2 veces la capacidad de la bomba (mínimo)	
Garantía	3 años	
Filtro CEM* / Salida motor	Incorporado / Opcional (a partir de distancias superiores a 50 m)	

* Para mayor información sobre los filtros CEM (CA / CC) contacte con Raj Electric.

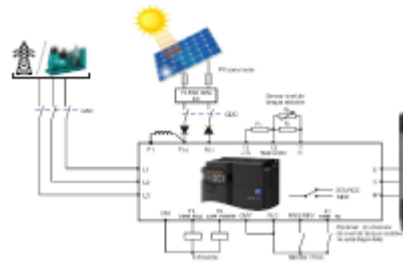
Tipos de bombeo solar



1. Bombeo solar con alimentación fotovoltaica aislada.
El equipo se alimenta exclusivamente con energía solar fotovoltaica.
Sistema muy sencillo, económico y autónomo.



2. Bombeo solar con alimentación conmutada.
(red eléctrica o generador diesel).
El equipo puede ser alimentado no sólo en CC, mediante paneles fotovoltaicos, sino también en CA con alimentación de red y/o generador diesel, conmutando según las condiciones de operación. Para realizar el cambio de alimentación, se necesita un automatismo de conmutación externo y seguro.



3. Bombeo solar con alimentación asistida
(red eléctrica o generador diesel).
El equipo permite estar alimentado simultáneamente en CA (red o generador) y CC (panel PV). En caso de insuficiente energía solar, el equipo consumirá la energía necesaria de la red o generador diesel conectado. Especialmente recomendado para riegos intensivos.

Catálogo de Frenic Solar Ace - D

Opciones

Terminales de operador

■ Conexión remota VPN

Es posible el control y la monitorización de la aplicación gracias a la función VPN que está integrada en la VSL.



Tedado multifunción

Múltiples idiomas:
19 idiomas + uno programable por el cliente



Rango de potencias y dimensiones

Motor (kW)	Range (250 V - 3- ϕ)		Range (250 V - 3- ϕ)		Range (250 V - 1- ϕ)		Dimensional sizes (mm)			
IMB3	Modelo	I. Nom. (A)	Modelo	I. Nom. (A)	Modelo	I. Nom. (A)	W	L	T	D
1/2	FRN000322G-47	3,4	FRN000322G-47	3,4	FRN000322G-47	3	88	107	87	103
3/4	FRN000422G-47	5,1	FRN000422G-47	5,1	FRN000422G-47	3	118	137	107	123
1	FRN000522G-47	6,8	FRN000522G-47	6,8	FRN000522G-47	3	148	157	117	133
1 1/2	FRN000622G-47	8,5	FRN000622G-47	8,5	FRN000622G-47	3	178	187	127	143
2	FRN000722G-47	10,2	FRN000722G-47	10,2	FRN000722G-47	3	208	217	137	153
3	FRN000822G-47	13,6	FRN000822G-47	13,6	FRN000822G-47	3	238	247	147	163
4	FRN000922G-47	17,0	FRN000922G-47	17,0	FRN000922G-47	3	268	277	157	173
5 1/2	FRN001022G-47	20,4	FRN001022G-47	20,4	FRN001022G-47	3	298	307	167	183
7 1/2	FRN001222G-47	27,2	FRN001222G-47	27,2	FRN001222G-47	3	358	367	197	213
10	FRN001422G-47	34,0	FRN001422G-47	34,0	FRN001422G-47	3	418	427	227	233
15	FRN001822G-47	51,0	FRN001822G-47	51,0	FRN001822G-47	3	478	487	257	263
22	FRN002222G-47	68,0	FRN002222G-47	68,0	FRN002222G-47	3	538	547	287	293
30	FRN002622G-47	85,0	FRN002622G-47	85,0	FRN002622G-47	3	598	607	317	323
37	FRN003022G-47	102,0	FRN003022G-47	102,0	FRN003022G-47	3	658	667	347	353
45	FRN003422G-47	119,0	FRN003422G-47	119,0	FRN003422G-47	3	718	727	377	383
55	FRN003822G-47	136,0	FRN003822G-47	136,0	FRN003822G-47	3	778	787	407	413
65	FRN004222G-47	153,0	FRN004222G-47	153,0	FRN004222G-47	3	838	847	437	443
75	FRN004622G-47	170,0	FRN004622G-47	170,0	FRN004622G-47	3	898	907	467	473
90	FRN005022G-47	194,0	FRN005022G-47	194,0	FRN005022G-47	3	958	967	497	503
110	FRN005822G-47	238,0	FRN005822G-47	238,0	FRN005822G-47	3	1078	1087	567	573
132	FRN006622G-47	282,0	FRN006622G-47	282,0	FRN006622G-47	3	1198	1207	637	643
160	FRN007422G-47	340,0	FRN007422G-47	340,0	FRN007422G-47	3	1318	1327	707	713
200	FRN008622G-47	444,0	FRN008622G-47	444,0	FRN008622G-47	3	1538	1547	837	843
250	FRN01022G-47	568,0	FRN01022G-47	568,0	FRN01022G-47	3	1758	1767	967	973
315	FRN01222G-47	722,0	FRN01222G-47	722,0	FRN01222G-47	3	1978	1987	1097	1103
400	FRN01422G-47	916,0	FRN01422G-47	916,0	FRN01422G-47	3	2198	2207	1227	1233
500	FRN01622G-47	1140,0	FRN01622G-47	1140,0	FRN01622G-47	3	2418	2427	1357	1363
630	FRN01822G-47	1404,0	FRN01822G-47	1404,0	FRN01822G-47	3	2638	2647	1487	1493
800	FRN02022G-47	1760,0	FRN02022G-47	1760,0	FRN02022G-47	3	2918	2927	1657	1663
1000	FRN02222G-47	2240,0	FRN02222G-47	2240,0	FRN02222G-47	3	3138	3147	1787	1793
1250	FRN02522G-47	2800,0	FRN02522G-47	2800,0	FRN02522G-47	3	3418	3427	1957	1963
1600	FRN03022G-47	3520,0	FRN03022G-47	3520,0	FRN03022G-47	3	3718	3727	2127	2133
2000	FRN03622G-47	4240,0	FRN03622G-47	4240,0	FRN03622G-47	3	4018	4027	2327	2333
2500	FRN04222G-47	5120,0	FRN04222G-47	5120,0	FRN04222G-47	3	4318	4327	2527	2533
3150	FRN04822G-47	6000,0	FRN04822G-47	6000,0	FRN04822G-47	3	4618	4627	2727	2733
4000	FRN05422G-47	7040,0	FRN05422G-47	7040,0	FRN05422G-47	3	4918	4927	2927	2933
5000	FRN06022G-47	8160,0	FRN06022G-47	8160,0	FRN06022G-47	3	5218	5227	3127	3133
6300	FRN06622G-47	9440,0	FRN06622G-47	9440,0	FRN06622G-47	3	5518	5527	3327	3333
8000	FRN07222G-47	10880,0	FRN07222G-47	10880,0	FRN07222G-47	3	5818	5827	3527	3533
10000	FRN07822G-47	12480,0	FRN07822G-47	12480,0	FRN07822G-47	3	6118	6127	3727	3733
12500	FRN08422G-47	14240,0	FRN08422G-47	14240,0	FRN08422G-47	3	6418	6427	3927	3933
16000	FRN09022G-47	16160,0	FRN09022G-47	16160,0	FRN09022G-47	3	6718	6727	4127	4133
20000	FRN09622G-47	18240,0	FRN09622G-47	18240,0	FRN09622G-47	3	7018	7027	4327	4333
25000	FRN10222G-47	20480,0	FRN10222G-47	20480,0	FRN10222G-47	3	7318	7327	4527	4533
31500	FRN10822G-47	22880,0	FRN10822G-47	22880,0	FRN10822G-47	3	7618	7627	4727	4733
40000	FRN11422G-47	25600,0	FRN11422G-47	25600,0	FRN11422G-47	3	7918	7927	4927	4933
50000	FRN12022G-47	28480,0	FRN12022G-47	28480,0	FRN12022G-47	3	8218	8227	5127	5133
63000	FRN12622G-47	31520,0	FRN12622G-47	31520,0	FRN12622G-47	3	8518	8527	5327	5333
80000	FRN13222G-47	34720,0	FRN13222G-47	34720,0	FRN13222G-47	3	8818	8827	5527	5533
100000	FRN13822G-47	38080,0	FRN13822G-47	38080,0	FRN13822G-47	3	9118	9127	5727	5733
125000	FRN14422G-47	41600,0	FRN14422G-47	41600,0	FRN14422G-47	3	9418	9427	5927	5933
160000	FRN15022G-47	45280,0	FRN15022G-47	45280,0	FRN15022G-47	3	9718	9727	6127	6133
200000	FRN15622G-47	49120,0	FRN15622G-47	49120,0	FRN15622G-47	3	10018	10027	6327	6333
250000	FRN16222G-47	53120,0	FRN16222G-47	53120,0	FRN16222G-47	3	10318	10327	6527	6533
315000	FRN16822G-47	57280,0	FRN16822G-47	57280,0	FRN16822G-47	3	10618	10627	6727	6733
400000	FRN17422G-47	61600,0	FRN17422G-47	61600,0	FRN17422G-47	3	10918	10927	6927	6933
500000	FRN18022G-47	66080,0	FRN18022G-47	66080,0	FRN18022G-47	3	11218	11227	7127	7133
630000	FRN18622G-47	70720,0	FRN18622G-47	70720,0	FRN18622G-47	3	11518	11527	7327	7333
800000	FRN19222G-47	75520,0	FRN19222G-47	75520,0	FRN19222G-47	3	11818	11827	7527	7533
1000000	FRN19822G-47	80480,0	FRN19822G-47	80480,0	FRN19822G-47	3	12118	12127	7727	7733
1250000	FRN20422G-47	85600,0	FRN20422G-47	85600,0	FRN20422G-47	3	12418	12427	7927	7933
1600000	FRN21022G-47	90880,0	FRN21022G-47	90880,0	FRN21022G-47	3	12718	12727	8127	8133
2000000	FRN21622G-47	96320,0	FRN21622G-47	96320,0	FRN21622G-47	3	13018	13027	8327	8333
2500000	FRN22222G-47	101920,0	FRN22222G-47	101920,0	FRN22222G-47	3	13318	13327	8527	8533
3150000	FRN22822G-47	107680,0	FRN22822G-47	107680,0	FRN22822G-47	3	13618	13627	8727	8733
4000000	FRN23422G-47	113600,0	FRN23422G-47	113600,0	FRN23422G-47	3	13918	13927	8927	8933
5000000	FRN24022G-47	119680,0	FRN24022G-47	119680,0	FRN24022G-47	3	14218	14227	9127	9133
6300000	FRN24622G-47	125920,0	FRN24622G-47	125920,0	FRN24622G-47	3	14518	14527	9327	9333
8000000	FRN25222G-47	132320,0	FRN25222G-47	132320,0	FRN25222G-47	3	14818	14827	9527	9533
10000000	FRN25822G-47	138880,0	FRN25822G-47	138880,0	FRN25822G-47	3	15118	15127	9727	9733
12500000	FRN26422G-47	145600,0	FRN26422G-47	145600,0	FRN26422G-47	3	15418	15427	9927	9933
16000000	FRN27022G-47	152480,0	FRN27022G-47	152480,0	FRN27022G-47	3	15718	15727	10127	10133
20000000	FRN27622G-47	159520,0	FRN27622G-47	159520,0	FRN27622G-47	3	16018	16027	10327	10333
25000000	FRN28222G-47	166720,0	FRN28222G-47	166720,0	FRN28222G-47	3	16318	16327	10527	10533
31500000	FRN28822G-47	174080,0	FRN28822G-47	174080,0	FRN28822G-47	3	16618	16627	10727	10733
40000000	FRN29422G-47	181600,0	FRN29422G-47	181600,0	FRN29422G-47	3	16918	16927	10927	10933
50000000	FRN30022G-47	189280,0	FRN30022G-47	189280,0	FRN30022G-47	3	17218	17227	11127	11133
63000000	FRN30622G-47	197120,0	FRN30622G-47	197120,0	FRN30622G-47	3	17518	17527	11327	11333
80000000	FRN31222G-47	205120,0	FRN31222G-47	205120,0	FRN31222G-47	3	17818	17827	11527	11533
100000000	FRN31822G-47	213280,0	FRN31822G-47	213280,0	FRN31822G-47	3	18118	18127	11727	11733
125000000	FRN32422G-47	221600,0	FRN32422G-47	221600,0	FRN32422G-47	3	18418	18427	11927	11933
160000000	FRN33022G-47	230080,0	FRN33022G-47	230080,0	FRN33022G-47	3	18718	18727	12127	12133
200000000	FRN33622G-47	238720,0	FRN33622G-47	238720,0	FRN33622G-47	3	19018	19027	12327	12333
250000000	FRN34222G-47	247520,0	FRN34222G-47	247520,0	FRN34222G-47	3	19318	19327	12527	12533
315000000	FRN34822G-47	256480,0	FRN34822G-47	256480,0	FRN34822G-47	3	19618	19627	12727	12733
400000000	FRN35422G-47	265600,0	FRN35422G-47	265600,0	FRN35422G-47	3	19918	19927	12927	12933
500000000	FRN36022G-47	274880,0	FRN36022G-47	274880,0	FRN36022G-47	3	20218	20227	13127	13133
630000000	FRN36622G-47	284320,0	FRN36622G-47	284320,0	FRN36622G-47	3	20518	20527	13327	13333
800000000	FRN37222G-47	293920,0	FRN37222G-47	293920,0	FRN37222G-47	3	20818	20827	13527	13533
1000000000	FRN37822G-47	303680,0	FRN37822G-47	303680,0	FRN37822G-47	3	21118	21127	13727	13733
1250000000	FRN38422G-47	313600,0	FRN38422G-47	313600,0	FRN38422G-47	3	21418	21427	13927	13933
1600000000	FRN39022G-47	323680,0	FRN39022G-47	323680,0	FRN39022G-47	3	21718	21727	14127	14133
2000000000	FRN39622G-47	333920,0	FRN39622G-47	333920,0	FRN39622G-47	3	22018	22027	14327	14333
2500000000	FRN40222G-47	344320,0	FRN40222G-47	344320,0	FRN40222G-47	3	22318	22327	14527	14533
3150000000	FRN40822G-47	354880,0	FRN40822G-47	354880,0	FRN40822G-47	3	22618	2		



FE Fuji Electric
Innovating Energy Technology

Fuji Electric Europe GmbH
 Ildefonso Cien Fieles 5, Edificio D, Local B - Parc Tecnològic del Vallès - 08290 Cerdanyola (Barcelona)
 Tel: +34 93 582 43 33 - Fax: +34 93 582 43 44 - info.ap@fuji-electric-europe.com
www.fuji-electric-europe.com

