



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

“Año del fortalecimiento de la soberanía nacional”

UNIVERSIDAD NACIONAL

SAN LUIS GONZAGA DE ICA

Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química



TESIS

“Diseño de un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar fotovoltaica”

Línea de investigación:

Análisis, Diseño y Optimización de Operaciones y Procesos Unitarios

Presentado por:

Vidales Garcia, Juan Carlos

Asesor:

Dr. Cusi Palomino, Rosalio

**ICA-PERÚ
2022**

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres, quienes con mucho esfuerzo supieron guiarme en la vida.

Reconociendo a mis abuelos, en especial a mis abuelos Isabel y Pascual, que partieron y en paz descansan.

Por eso entrego este trabajo, como ofrenda a su paciencia y amor.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo de mis padres, familiares y personas que han ayudado, para que hoy sea una realidad.

RESUMEN

Este proyecto titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA” nace una inquietud por contribuir a la comunidad, dándole una alternativa al bombeo de agua convencional, el cual usaba como fuente energética electricidad de la red pública (en zonas urbanas) y gasolina (zonas rurales).

Así mismo se utilizó data de radiación Solar que recibe la Región Ica de la página web de la NASA, y PVWatts las cuales eran necesarias para cuantificar la porción de energía solar que se capta. Persiguiendo el siguiente objetivo: Diseñar un sistema de bombeo que utilice energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos para la región de Ica.

Se dispuso realizar los cálculos para el diseño del sistema hidráulico, el cual se optó por seleccionar una electrobomba centrífuga de 3 HP, y seleccionar 15 módulos fotovoltaicos de 330 Wp, teniendo un sistema de paneles fotovoltaicos con 4950 Wp de potencia instalada.

La instalación resultará rentable a largo plazo, y más aún en sistemas de bombeo en el cual se opte por comprar una motobomba a Gasolina – Diesel o una electrobomba que tenga módulos fotovoltaicos como generadores de energía eléctrica.

Al término del proyecto se logró los objetivos planteados en su totalidad, de esta forma el presente trabajo servirá como una herramienta útil respaldo de esta tecnología en la Región Ica.

ABSTRACT

This Project entitled “DESIGN OF A WATER PUMPING SYSTEM USING PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY” arises a concern to contribute to the community, giving it an alternative to conventional water pumping, wich used electricity from the public network as an energy source (in urban areas) and gasoline (rural areas).

Likewise, data on Solar radiation received by the Ica Region from the NASA website was used, and PVWatts, wich were necessary to quantify the portion of solar energy that is captured. Pursuing the following objective: Design a pumping system that uses solar energy through photovoltaic solar panels for the Ica region.

It was decided to perform the calculations for the design of the hydraulic system, which was chosen to select a centrifugal electric pump of 3 HP, and select 15 photovoltaic modules of 330 Wp, having a system of photovoltaic panels with 4950 Wp of installed power.

The installation will be profitable in the long term, and even more so in pumping systems in which it is decided to buy a Gasoline – Diesel moto pump or an electric pump that has photovoltaic modules as electric power generators.

At the end of the project, the objectives set were achieved in their entirety, in this way this work will serve as a useful tool to support this technology in the Ica Region.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. CAPITULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. SITUACION PROBLEMÁTICA	2
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema principal	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4 HIPÓTESIS	3
1.5 VARIABLES	3
1.6. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION	4
1.6.1. Justificación de la investigación	4
1.6.2 Importancia de la investigación	4
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES	5
2.1.1. Antedentes Internacionales	5
2.1.2. Antecedente Nacional	5
2.1.3. Antecedente Regional	5
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Energía solar	6
2.2.1.1 Tipos de energía solar	9
2.2.2. Célula fotovoltaica	11

2.2.2.1 Tipos de células fotovoltaicas	12
2.2.3. Modulo fotovoltaico	13
2.2.4. Panel fotovoltaico	16
2.2.5. Bomba hidráulica	17
2.2.6. Motor eléctrico	19
2.2.7. Sistema de bombeo fotovoltaico	20
2.2.8. Subsistema de acondicionamiento de potencia	21
2.2.9. Bases teóricas del diseño	25
2.2.9.1 Diseño hidráulico	25
2.2.9.1.1 Caudal	25
2.2.9.1.2 Velocidad del fluido	25
2.2.9.1.3 Peso específico	26
2.2.9.1.4 Diámetro de tubería	26
2.2.9.1.5 Numero de Reynolds	27
2.2.9.1.6 Rugosidad	28
2.2.9.1.7 Perdida de carga	29
2.2.9.1.8 Diagrama de Moody	30
2.2.9.1.9 Ecuación de Bernoulli	31
2.2.9.1.10 Altura dinámica de la bomba	32
2.2.9.1.11 Potencia de la bomba	33
2.2.9.1.12 NPSH	34
2.2.9.2 Diseño de sistema fotovoltaico	35
2.2.9.3 Selección de conductor eléctrico	37
2.3. MARCO CONCEPTUAL	38

2.3.1 Voltaje	38
2.3.2 Corriente Continua (DC)	38
2.3.3 Corriente Alterna (AC)	38
2.3.4 Batería	39
2.3.5 Fluido	39
2.3.6 Tubería	39
2.3.7 Cavitación	40
CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL	41
3.1 Diseño de sistema de bombeo fotovoltaico	41
3.1.1 Calculo de caudal	41
3.1.2 Diseño hidráulico	42
3.1.2.1 Línea de succión	42
3.1.2.2 Línea de descarga	50
3.1.3 Diseño del sistema fotovoltaico	62
CAPITULO IV: RESULTADOS	67
4.1 RESULTADOS OBTENIDOS	67
4.1.1 Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico	67
4.1.2 Costo del sistema de bombeo fotovoltaica	69
DISCUSIÓN	70
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS	73
ANEXOS	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Radiación a nivel mundial	7
Figura 2: Tipos de radiación	8
Figura 3: Irradiancia durante el día	9
Figura 4: Concentrador solar térmico	10
Figura 5: Efecto fotoeléctrico	10
Figura 6: Célula fotovoltaica	11
Figura 7: Modulo fotovoltaico	13
Figura 8: Curva corriente vs voltaje	14
Figura 9: Efecto de la irradiancia	14
Figura 10: Efecto de la temperatura al desempeño del módulo	15
Figura 11: Panel fotovoltaico	16
Figura 12: Bomba desplazamiento positivo	17
Figura 13: Bomba centrífuga	18
Figura 14: Curvas caudal/altura b. de desplazamiento positivo y centrífugas	18
Figura 15: Sistema de bombeo fotovoltaico	21
Figura 16: Bomba sumergible de membrana utilizando un convertidor DC/DC	22
Figura 17: Sistema de bombeo que utiliza inversor DC/AC	23
Figura 18: Sistema de bombeo con inversor/variador de frecuencia	23
Figura 19: Sistema de bombeo con baterías	24
Figura 20: Rugosidad en tuberías	28
Figura 21: Diagrama de Moody	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rango recomendado de velocidad	26
Tabla 2: Valores de rugosidad de diversas tuberías	28
Tabla 3: Resistencia de accesorios y válvulas	30
Tabla 4: Radiación solar diaria	63
Tabla 5: Costo componentes y equipos de un sistema de bombeo fotovoltaico	71
Tabla 6: Propiedades del agua	78
Tabla 7: Presión de vapor del agua	79
Tabla 8: Presión atmosférica según la altura	80
Tabla 9: Dimensiones de tuberías de acero	81
Tabla 10: Eficiencia IE3 de motores electricos	87
Tabla 11: Calibre de conductor eléctrico	93
Tabla 12: Datos técnicos conductor eléctrico	94

INTRODUCCION

El transporte de fluidos ha sido de suma importancia para la vida humana y el desarrollo social, y económico tanto la ganadería, la agricultura, y las industrias.

El transporte de agua por gravedad ha sido utilizado por muchas culturas a lo largo de la historia.

En la actualidad existe tecnología que permite transportar cualquier fluido mediante sistemas de bombeo mecánico, estos sistemas necesitan una fuente energética para lograr su función. Lastimosamente en el Perú el acceso a la energía eléctrica en zonas que están lejos de las urbes, es muy complicado, con esto el acceso al agua se complica, debido a la falta de este recurso, y en otros casos debido a que es complicado trasladarlo desde el lugar donde se encuentra (ríos, pozos, lagos o canales) hacia el lugar que se necesita.

Es por esto que, para saciar sus necesidades el uso de sistemas de bombeo es muy frecuente. Uno de los componentes principales del sistema, es el motor, el cual, convierte la energía eléctrica en energía mecánica, y la entrega a la bomba hidráulica, pero esta requiere una demanda de energía eléctrica para su funcionamiento, sin embargo no todos los lugares en el Perú tienen acceso a la energía eléctrica, por ende en zonas carentes de electricidad pública es muy común el uso motobombas para cubrir su necesidad de transporte de agua, estas utilizan un motor de combustión que quema combustibles fósiles para obtener energía y la convierte en energía eléctrica necesaria para la bomba.

En la industria es muy común el uso de sistema de bombeo, no solo en el uso para el transporte de agua, sino también para el transporte de otros fluidos. La presente investigación buscara tecnologías eficientes y limpias en el transporte fluidos.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El uso de combustibles fósiles como principal insumo para su funcionamiento de las motobombas ocasionó una preocupación, debido a que la combustión de estos, genera ruidos y gases de efecto invernadero, emitidos al ambiente generando así contaminación ambiental a su alrededor.

No es un secreto que la combustión de los combustibles fósiles genera gases perjudiciales al medio ambiente, y a la salud, como CO_x, SO_x, CH₄ y compuestos orgánicos volátiles.

El uso de energías renovables permite optimizar y disminuir los gases de efecto invernadero, aprovechando fuentes renovables e ilimitadas (el sol, vientos, desechos orgánicos e inorgánicos).

Por lo tanto, se busca una alternativa para resolver en parte el requerimiento energético que no dañen el ambiente, conociendo la existencia de tecnologías que aprovechan la energía del Sol y cantidad de recurso solar.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema principal

¿Se conseguirá diseñar un sistema de bombeo de agua que utilice la energía solar para su funcionamiento?

1.1.2. Problema específico

- ¿Se podrá seleccionar y dimensionar los equipos que componen un sistema de bombeo solar?
- ¿Se podrá obtener los datos de la radiación incidente de la zona?

1.2. Objetivos:

1.2.1. Objetivo general:

- Diseñar un sistema de bombeo que utilice energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos para la región de Ica.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Seleccionar y dimensionar los equipos que componen un sistema de bombeo solar, de acuerdo a la necesidad energética del sistema para la región de Ica.
- Obtener los datos de la radiación incidente en la zona.

1.3. HIPÓTESIS

Si se puede diseñar un sistema de bombeo que utilice energía del Sol mediante paneles solares fotovoltaico.

1.3.1. Hipótesis Específica

- Si la irradiación solar es buena, el sistema fotovoltaico llegará a su potencia nominal.
- Si seleccionamos una bomba con la potencia correcta podremos elevar el agua al tanque de almacenamiento.

1.4. VARIABLES

a) Variable independiente

- Energía Solar.

b) Variable dependiente

- Diseño de sistema de bombeo de agua.

1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

1.5.1. Justificación de la investigación

a) Tecnológica

Esta investigación resuelve en parte el abastecimiento energético que necesitan los sistemas de bombeo para el transporte de fluidos, en zonas donde es muy difícil el acceso a la energía eléctrica. El diseño del presente proyecto será innovador y viable.

b) Social

Con el diseño del sistema de bombeo solar utilizando electrobombas, permitirá usar este sistema de bombeo en lugares donde no hay acceso al sistema de distribución eléctrica pública, donde también el acceso a combustible es de difícil acceso, también se reducirá las horas hombre en la operación del sistema de bombeo.

c) Ambiental

Brindará una alternativa a la industria limpia y sin emisiones de GEI, ya que en la actualidad usa los convencionales sistemas de bombeo, utilizando diésel/gasolina o energía de la red eléctrica (que viene principalmente de centrales termoeléctricas que tienen fuentes fósiles para la generación de electricidad)

d) Académica

También la presente investigación a nivel académico permitirá dejar conocimientos sobre el uso de energía solar y su aplicación a sistemas de bombeo.

1.5.2. Importancia de la investigación

En la actualidad el calentamiento global es un problema latente que preocupa a todo el mundo, este proyecto utiliza la energía limpia e ilimitada del sol, brindando así una solución al uso de combustibles fósiles.

Este sistema, no genera gases de efecto invernadero, esto ayudará disminuyendo estos gases en el ambiente.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- Aqueveque Medina, Emilio (2009) “BOMBEO DE AGUA EN CERRO CALAN UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA” Universidad de Chile, Santiago – Chile. Teniendo como objetivo diseñar y simular un sistema de bombeo de agua utilizando energía FV, el diseño es experimental, se diseñó para transportar agua desde un pozo para la población de Cerro Calan.
- Arija González, David (2010) “PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACION AL DESARROLLO DE TECNOLOGIAS” Universidad Carlos III de Madrid, España. El estudio tuvo como objetivo plantear una guía para diseñar, instalar y poner en marcha un prototipo de sistema de bombeo solar.
- BALLESTER PELEGRIN, MARIA (2018) “ESTUDIO DE BOMBEO PARA INSTALACION DE RIEGO MEDIANTE INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA” Universidad Politécnica de Cartagena, España. La investigación logro un análisis de los múltiples equipos que forman parte del sistema de bombeo solar fotovoltaico

2.1.2. Antecedente Nacional

- Sosa Cutipa, Elver Demetrio (2017) “**DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR UTILIZANDO BOMBA SUMERGIBLE HIBRIDO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA LA COMUNIDAD QUENAJA DE ACORA PROVINCIA PUNO**”. El estudio logró diseñar un sistema de bombeo híbrido utilizando energía solar FV y un generador Diésel de respaldo.

2.1.3. Antecedente Regional

- Hernández Quijaite, Luis Eugenio (2013), (Ica – Perú), “**BOMBEO DE AGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE ICA**”. Llevó a cabo el estudio para la aplicación de energía solar usado al

bombeo de agua en la región Ica, dando conclusiones de alta rentabilidad el uso del recurso solar para esta actividad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Energía solar

El Sol, proporciona una cantidad infinita de energía, se debe principalmente a los procesos termonucleares que se dan en el núcleo y corona.

Esto se debe a contiene gran cantidad de masa, podemos decir con certeza que su vida es “infinito” si lo comparamos con la vida del hombre en el planeta tierra.

La energía solar es la que incita el viento, el mar y la fotosíntesis de las plantas, de esta energía proceden la mayoría de las fuentes energéticas sostenibles (mareomotriz, biomasa, hidroeléctrica, eólica, la energía solar).

Nuestro planeta recibe más energía solar en 1 hora, que la cantidad de energía que consume nuestra civilización en 1 año.

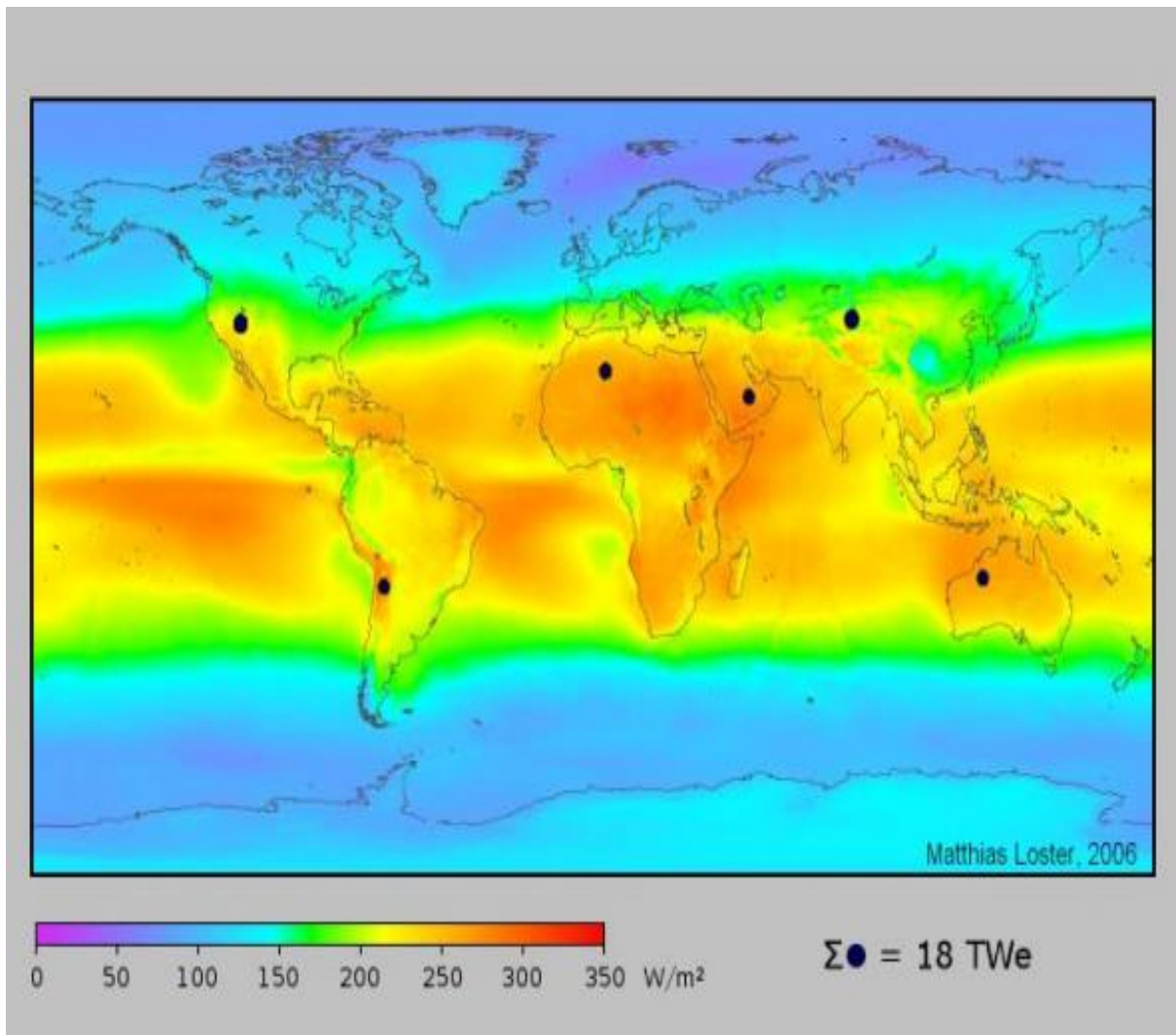
La mayor parte de la energía llega como radiación electromagnética, generalmente conocida como energía solar, constituida por “calor” y “luz”.

La potencia de la radiación solar que recibimos en un lapso de tiempo sobre una superficie determinada, se le llama **Irradiancia** y se expresa en W/m^2 .

La estimación de la irradiancia fuera de nuestra atmosfera planetaria, conocida como la constante solar, es $1353 W/m^2$. Sabemos que nuestra atmosfera está formada por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que forman lo que se llama masa de aire.

Mientras la luz solar pasa las diferentes capas atmosféricas, la misma experimenta fenómenos de absorción, reflexión y refracción, consecuentemente, la irradiancia a medida que se va atenuando, disminuye su valor, en comparación, con la radiación fuera de nuestra capa atmosférica. En condiciones de atmosféricas ideales, sin procesos ópticos y ubicándose el sol en su apogeo, la irradiancia que recibe un receptor solar como máximo es $1\ 000 W/m^2$.

Figura 1. Radiación a nivel mundial.



Fuente: Manual energía solar fotovoltaica.

No toda la energía del Sol captada por el planeta logra llegar al suelo terrestre, inclusive en momentos de cielo sin nubosidad. La radiación solar sufre fenómenos físicos que la alteran al entrar en la atmósfera. Para ello debemos necesariamente saber los diversos tipos de radiación.

La radiación solar tiene 3 tipos:

- Radiación directa.
- Radiación difusa.
- Radiación reflejada.

a) Radiación directa.

Es aquella que alcanza, sin que sufra ningún proceso óptico (reflexión, o refracción). Para aprovechar mejor la radiación directa se utilizan “seguidores solares, que son unos mecanismos que son útiles para orientar el sistema captador en dirección al Sol.

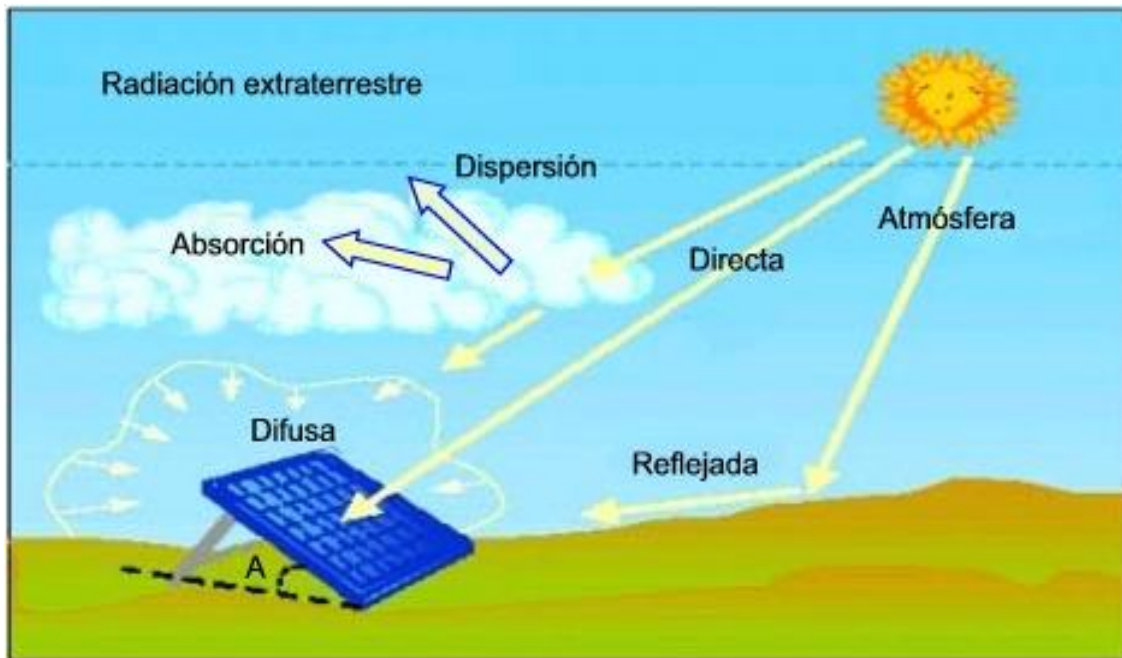
b) Radiación difusa.

Es difundida por la bóveda celeste del día debido a diferentes procesos de reflexión en las nubes, y el resto de componente de nuestra atmosfera, como también en la tierra, esta radiación es muy difícil atrapar la luz difusa que viene de todos lados.

c) Radiación reflejada.

Es la radiación que se refleja por la superficie u objetos aledaños.

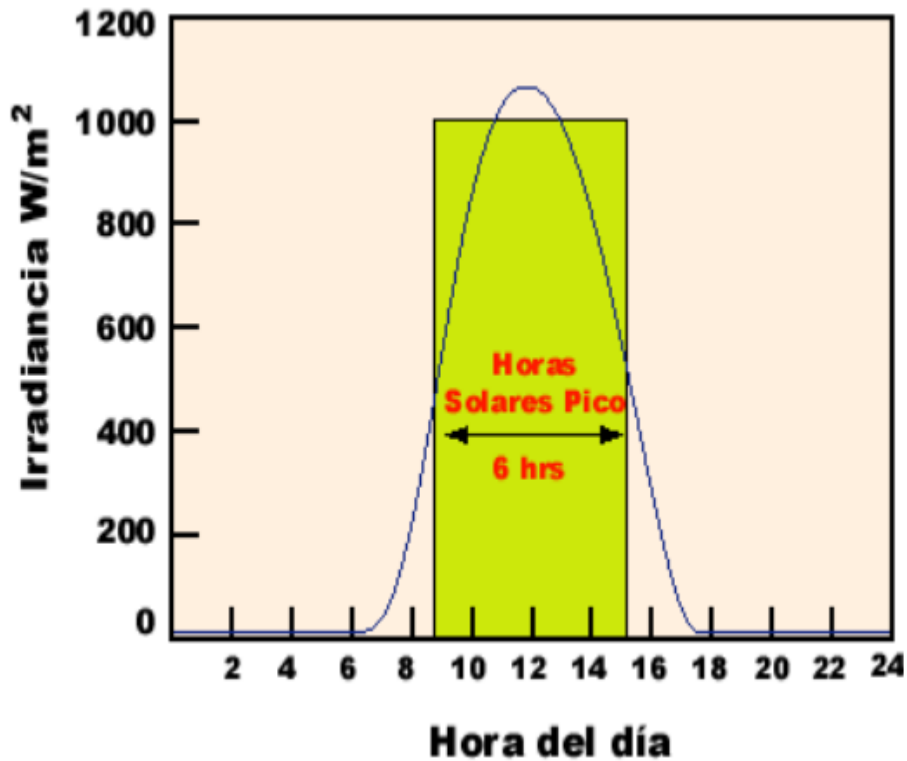
Figura 2. Tipos de Radiación.



Fuente: Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo solar (volumen I)

La **Insolación** es la cantidad de irradiancia acumulada en un lapso de tiempo. La cual se mide en (Wh/m^2). Se conoce este valor como energía acumulada. La insolación asimismo se muestra en horas solares pico (HSP). Un HSP equivale igual a la energía que se recibe en 1 hora, con irradiancia de $1\,000\text{ W}/\text{m}^2$. Lo que genera el panel fotovoltaico está en proporción directa a la insolación que admite.

Figura 3. Irradiancia y HSP en un día soleado.



Fuente: Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo solar (volumen I)

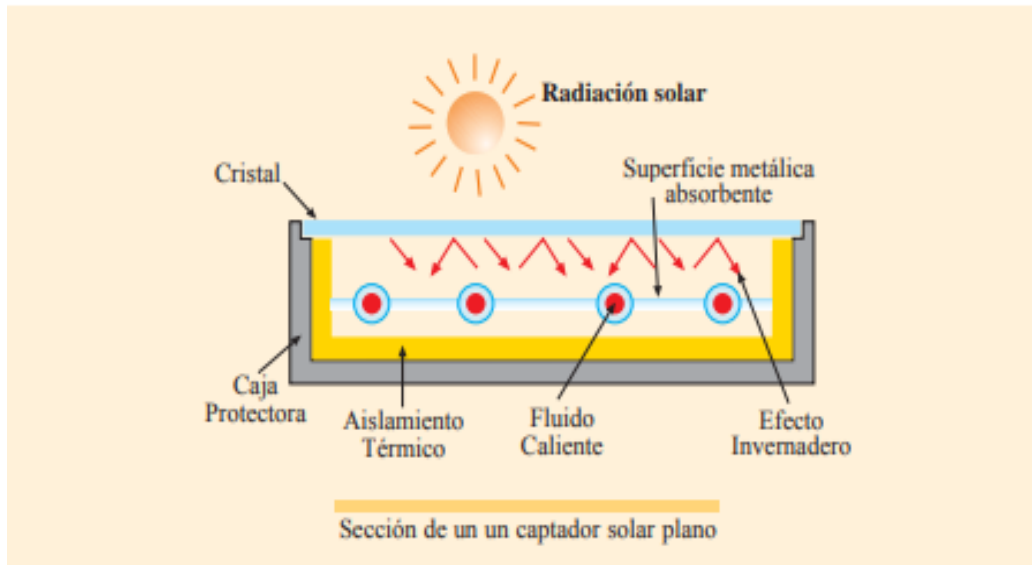
2.2.1.1 Tipos de energía solar

- Energía solar térmica

No es más que el calor generado por las ondas electromagnéticas emitidas por el sol (radiación UV, etc.)

Se basa en el calentamiento de una superficie metálica que absorbe la energía proveniente del Sol, que a su vez calentará el fluido que circula por su interior.

Figura 4. Concentrador solar térmica.

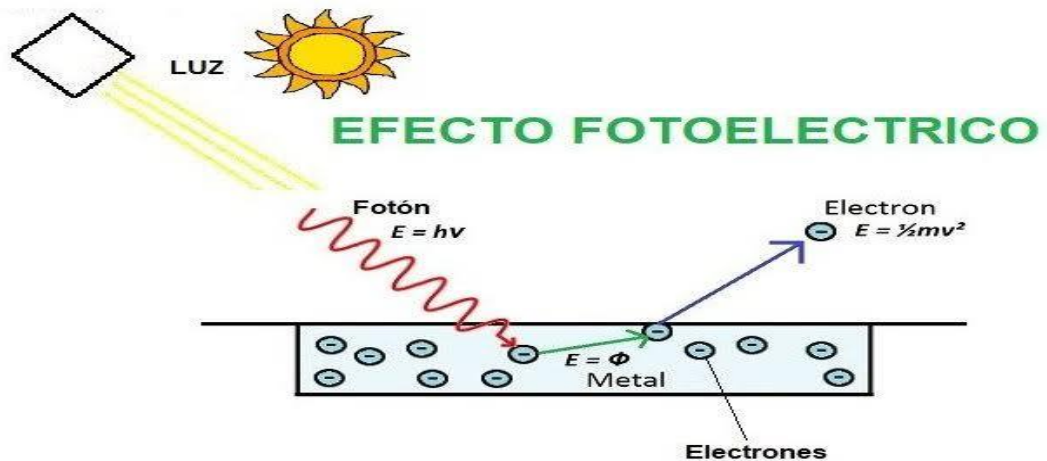


Fuente: Energía solar fotovoltaica, autores Javier María Méndez Muñiz y Rafael Cuervo Garcia, editorial FC editorial.

- **Energía solar fotovoltaica**

Es la conversión de energía del Sol en electricidad por medio del efecto fotoeléctrico, el cambio de energía solar en electricidad se da en la celda fotovoltaica.

Figura 5. Efecto fotoeléctrico.



Fuente: Energía solar fotovoltaica, autores Javier María Méndez Muñiz y Rafael Cuervo Garcia, editorial FC editorial.

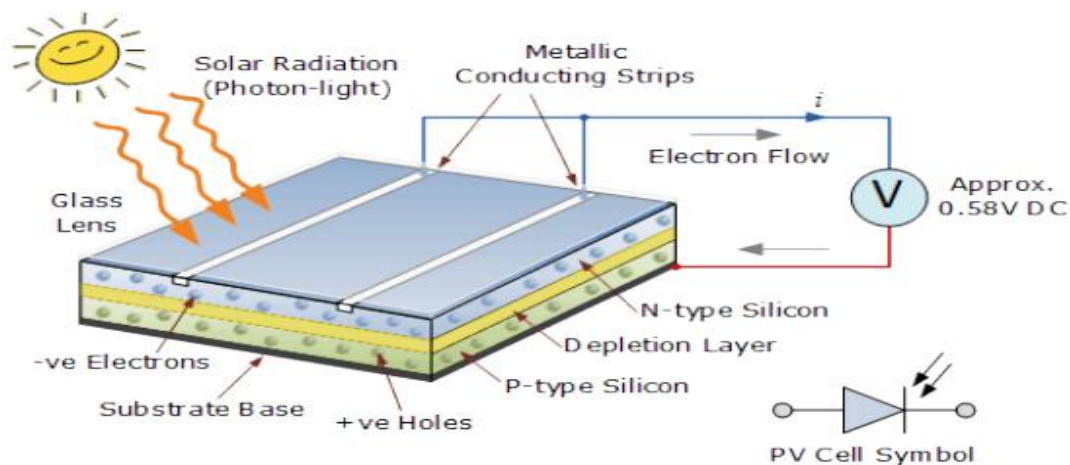
2.2.2 Célula fotovoltaica

Las células fotovoltaicas son componentes que generan energía eléctrica al incidir la radiación solar sobre su superficie.

Debido a que cada celda puede producir una pequeña proporción de energía eléctrica, en su génesis se producían para alimentar equipos que consumían poca energía, tales como los equipos que usan en exploraciones espaciales.

Las piezas principales de una celda solar es la capa de material semiconductor, aquí se genera la corriente de electrones. Estas capas semiconductoras son tratadas particularmente para obtener 2 capas distintamente dopadas (tipo p y tipo n) con la finalidad de conformar un campo eléctrico, una capa positiva y en otra capa negativo. En el momento que la célula recibe radiación solar, se libera electrones, estos son captados por el campo eléctrico generando así una corriente eléctrica. Por eso las células se producen con esta clase de materia, un material que actúa como aislante a temperaturas menores, y cuando hay un aumento de energía como conductores. Lamentablemente no se encuentra una sustancia idónea para todos las clases de células.

Figura 6. Célula fotovoltaica.



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, autor Miguel Pareja Aparicio, editorial Marcombo.

2.2.2.1 Tipos de células fotovoltaica.

- **Célula de Silicio Monocristalino**

La producción de esta celda consta en lo siguiente: Al momento que se enfría, el silicio fundido se solidifica conformando sólo un único cristal de gran tamaño. Luego se cortan en delgadas capas que darán lugar a las celdas.

Ventajas:

- Rendimiento de 14% al 16.5%.
- Mejor relación W_p/m^2 (optimiza el espacio).
- Mejor rendimiento en climas con alta temperatura, en comparación con las celdas policristalinas

- **Célula de Silicio Policristalino**

Es producida de silicio policristalino. El silicio puro se logra fundir (1414 °C) luego se transvasa en un molde. Es visualmente azulada, pero no uniforme, se observan múltiples colores, generados por diversos cristales.

Ventajas:

- Son más baratas en comparación con las celdas monocristalinas.

- **Célula de Silicio amorfo**

Estas células son fabricadas por medio de la instalación de una diminuta capa de silicio amorfo (no cristalino) en la superficie. Esta tiene en teoría menor eficiencia y un costo de producción inferior; ya que la capa amorfa, es adaptable, y este se produce en una superficie flexible, el panel puede lograr flexibilidad. La particularidad de la celda solar amorfa es, su potencia, disminuye mientras en el tiempo, principalmente durante el primer año, luego del cual es estable.

Ventajas:

- Celdas flexibles.
- Ligeras.
- Bajo costo.

2.2.3 Módulo fotovoltaico

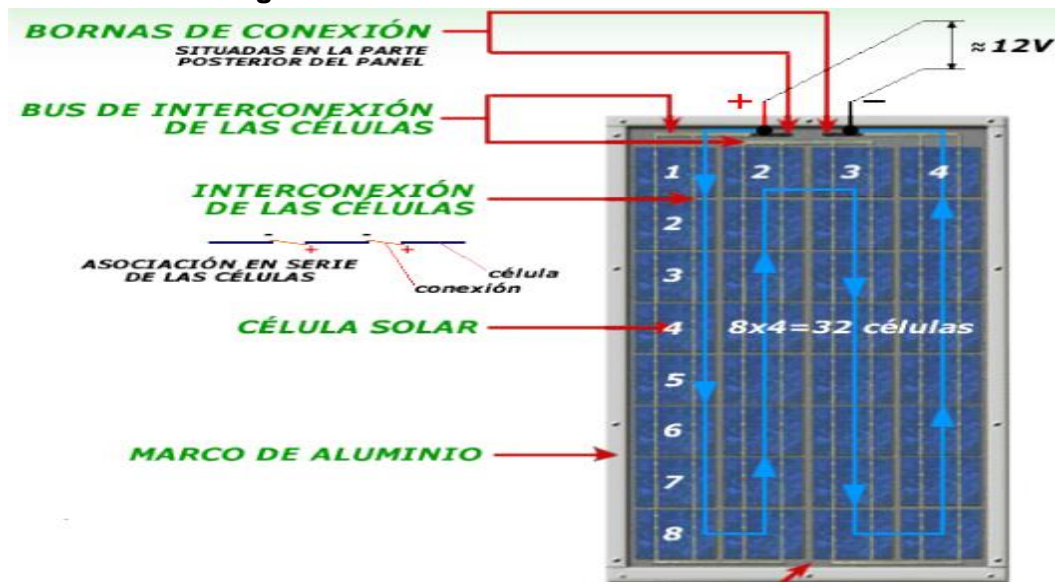
Es el componente que capta la energía solar, en este se lleva a cabo una transformación directa, para entregar corriente eléctrica continua. Sus medidas varían de acuerdo a los fabricantes. El rendimiento de elementos semiconductores, la irradiación en una determinada hora y el ángulo de incidencia de la radiación del sol, determinan la potencia entregada al sistema.

Cada célula de un módulo fotovoltaico genera poca cantidad de energía. El módulo fue diseñado para entregar electricidad a un voltaje establecido (nominalmente 12 ó 24 V).

La corriente que produce varía de acuerdo a la insolación. El módulo tiene una estructura que es un medio protector para las células, el cual ofrece una protección de la intemperie, son resistentes y confiables. Generalmente un módulo puede bastar para diferentes aplicaciones, más un módulo puede ser conectado y conformar un arreglo fotovoltaico.

El módulo fotovoltaico produce corriente continua (CC) y puede ser conectado en serie y/o paralelo para generar corriente y tensión.

Figura 7. Módulo fotovoltaico.

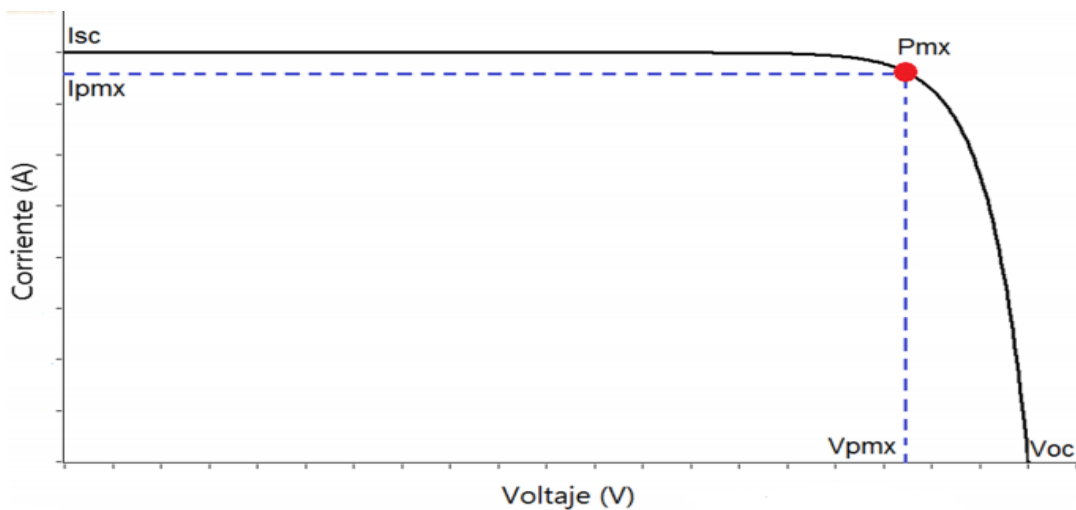


Fuente: Energía solar fotovoltaica, autores Javier María Méndez Muñiz y Rafael Cuervo García, editorial FC editorial.

- **Curva Amperaje – Voltaje (I – V)**

Cada módulo tiene un gráfico I-V que enlaza el amperaje y el voltaje saliente para ciertas condiciones de trabajo (irradiación y temperatura).

Figura 8. Curva Corriente (A) vs Voltaje (V)



Fuente: Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es>

V_{oc} : Voltaje de cortocircuito (V)

V_{mpp} : Voltaje de máxima potencia (V)

I_{mpp} : Corriente de máxima potencia (A)

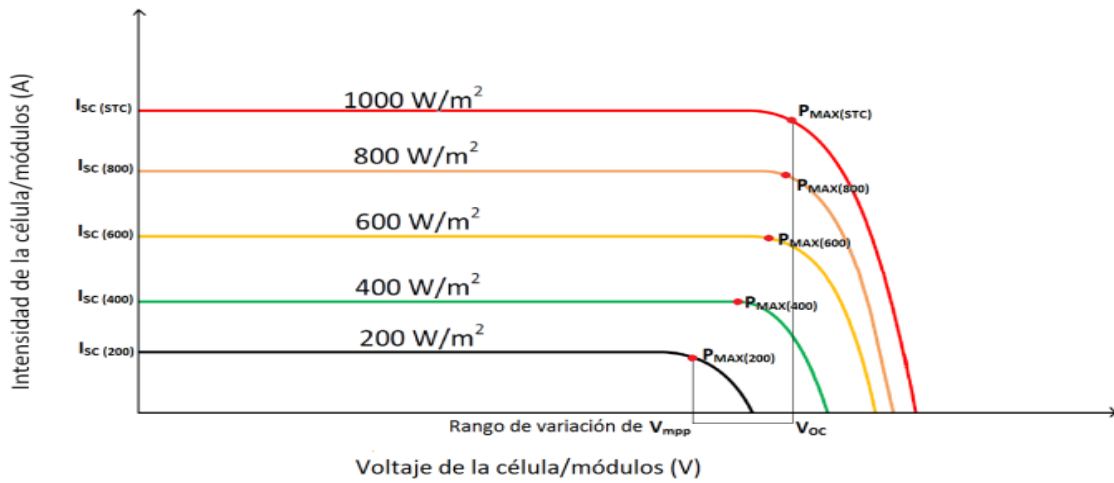
I_{sc} : Corriente de cortocircuito (A)

- **Efecto de la irradiancia**

El pico de potencia (W_p) de un panel solar fue medido a una irradiancia de 1.000 W/m^2 y un espectro de una masa de aire $MA = 1.5$.

Un cambio en la nubosidad o la posición del Sol, significará la reducción de la radiación global recibida por el módulo.

Figura 9. Efecto de la irradiancia.



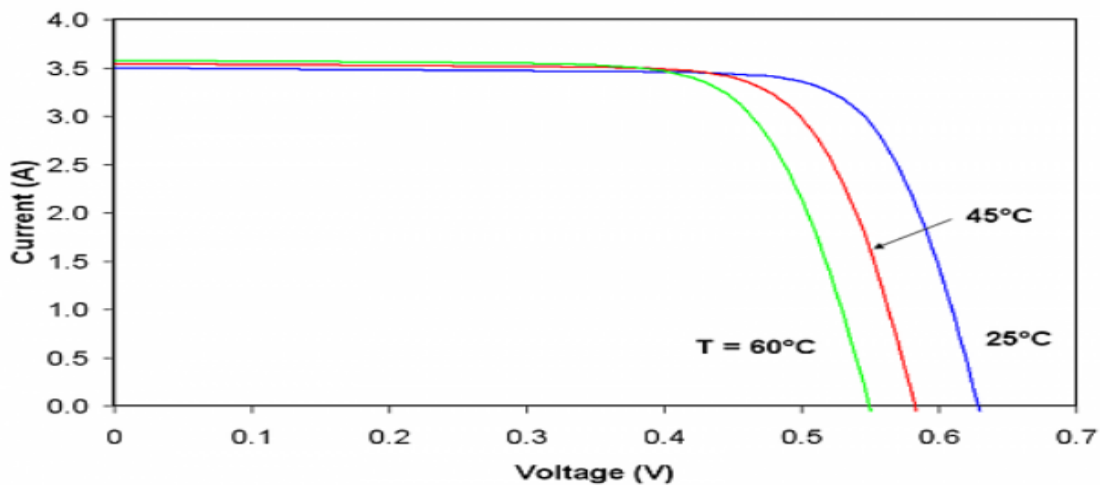
Fuente: Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es>

- Efecto de la temperatura

La TO (temp. de operación) también afecta al desempeño del módulo fotovoltaico.

La potencia pico (WP) disminuye proporcionalmente a la elevación de temperatura.

Figura 10. Efecto de la temperatura al desempeño del módulo.



Fuente: Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es>

3.2.4 Panel fotovoltaico.

Es el conjunto de 2 o más módulos los cuales se conectarán en serie y/o paralelo, que son instalados en la misma estructura, por lo general se conectarán al mismo inversor, son los que convierten la radiación solar en electricidad.

La corriente que sale de un panel fotovoltaico es en corriente continua, y la potencia eléctrica que entrega al sistema como máximo es variable y dependerá de la radiación solar, en la zona que se coloquen los módulos.

Debiendo ser dimensionados con la finalidad que entreguen la energía que el sistema requiera, donde se necesite. Por cual necesitarán efectuar conexiones en paralelo o serie de los módulos, con el objetivo de que el panel obtenga un voltaje y amperaje necesaria.

Como protección de daños físicos y con el objetivo de dispersar el calor de la radiación solar que no se convirtió, cuenta con capas de sustrato y vidrio especiales, los cuales lo protegen además del polvo, la lluvia y la corrosión.

Figura 11. Panel o Arreglo fotovoltaico.



Fuente: Imagen propia.

2.2.5 Bomba hidráulica

Es un equipo que tiene la función de convertir energía mecánica en energía hidráulica. De esta manera se eleva la energía del fluido, incrementa su presión, velocidad o su altura, estas variables se relacionan según el principio de Bernoulli.

Entre las más usadas hay 2 tipos comunes:

- Bombas de desplazamiento positivo
- Bombas centrifugas.

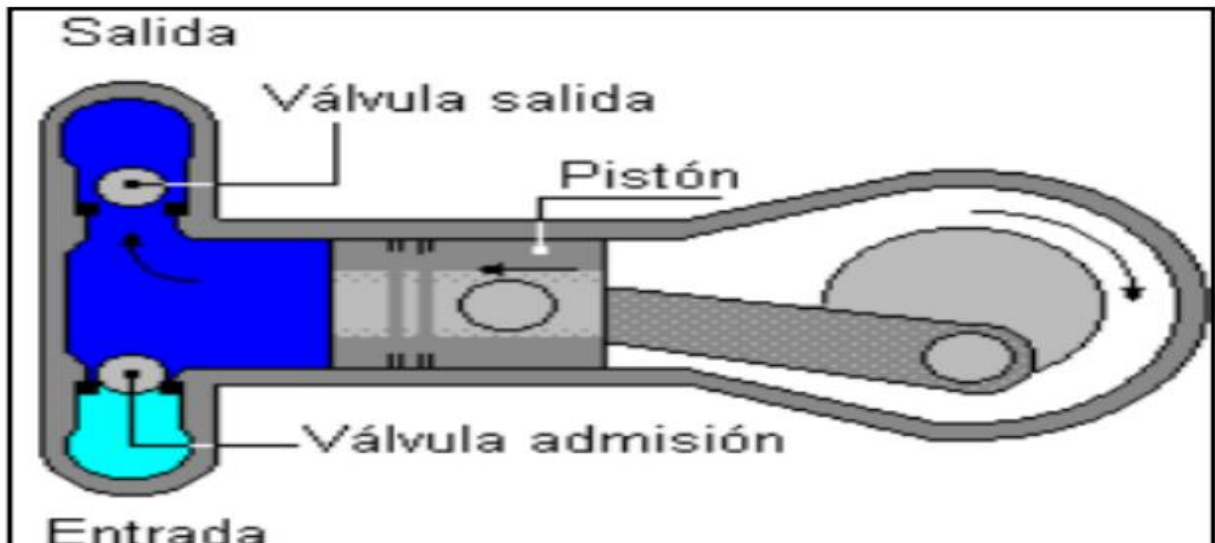
a) Bomba de desplazamiento positivo o volumétrica

Estas bombas tienen una superficie móvil, por variaciones de volumen impulsa al fluido a moverse por medio del equipo. Se abre la cavidad en la que el fluido ingresa por medio de una toma y después bloquea, arrojando el líquido por el orificio de expulsión. Son ideales para elevados requerimientos de presión y menores caudales.

En las cuales se incluyen:

- Bombas de pistón.
- Bombas de diafragma y cavidad progresiva.
- Bombas helicoidales.

Figura 12: Bomba desplazamiento positivo.



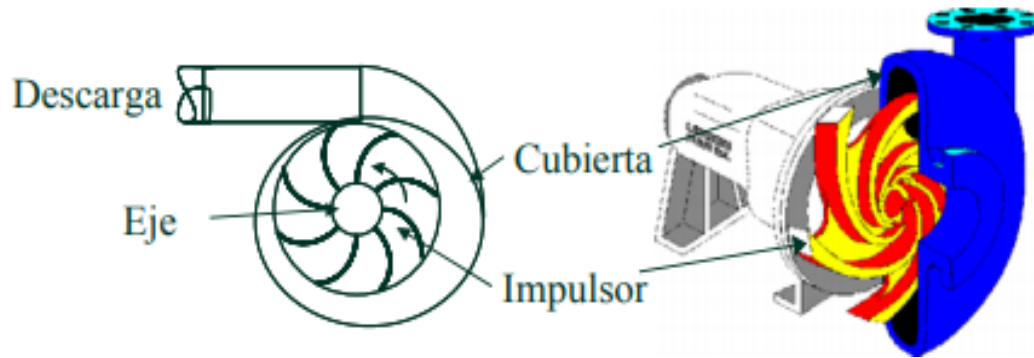
Fuente: <https://mkoscaramirez829368.blogspot.com/2015/09/bombas-hidraulicas-de-desplazamiento.html>

b) Bombas centrífugas

Este tipo de bombas añaden movimiento al fluido mediante paletas o alabes rotatorios. Son diseñadas para una altura manométricas que no varié mucho, y entregan normalmente mayor caudal en comparación a las bombas de desplazamiento positivo.

No se recomiendan para succiones superiores a 5-6 metros.

Figura 13. Bomba centrífuga.

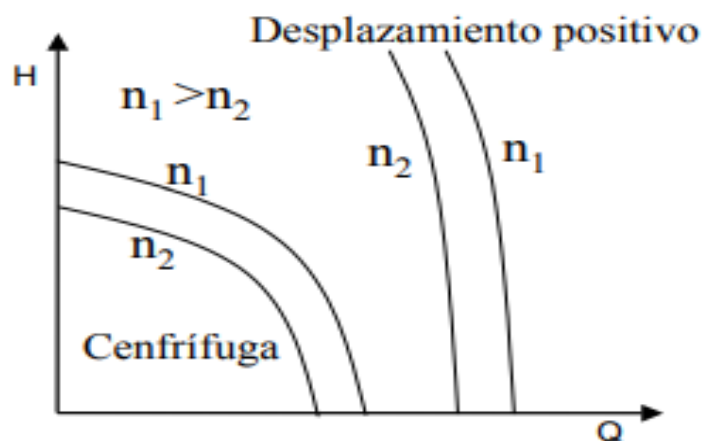


Fuente: <https://sites.google.com/site/mantenimientoenseqelectrom/bombas-hidraulicas>

Según la posición de la bomba, se clasifican en:

- Sumergible
- Flotantes
- Superficie

Figura 14. Comparación de curvas típica caudal/altura de bombas de desplazamiento positivo y centrífugas.



Fuente: <https://www.slideshare.net/bombas-tipos-seleccion>

2.2.6 Motor eléctrico

Es un equipo que tiene la función de convertir la electricidad en energía mecánica, dependiendo de la fuente eléctrica que se alimente, los motores se pueden clasificar:

a) Motores DC

Los motores DC (corriente continua) tienen como características principales su voltaje, velocidad nominal, potencia y por el par motor. La potencia que puede obtener va en proporción al par motor y a la velocidad. Este está relacionado proporcionalmente al flujo del inductor y la intensidad de corriente.

La velocidad con la que gira motor cambiará con la tensión e intensidad de funcionamiento, también con el flujo magnético.

Un motor de corriente continua tiene como partes principales, el inductor o estator que es la parte firme del motor, el rotor que es la parte giratoria, el colector está ensamblado encima del propio eje del rotor, rotan sincronizadamente, y las escobillas que son unos contactos a presión rozan con el colector y su objetivo es la entrada y salida de corriente del rotor. Unos de los problemas comunes que presentan los motores en corriente continua con escobillas es el deterioro de las mismas.

Las principales ventajas de los motores DC son:

- Buen rendimiento.
- No requieren un inversor.
- Diseñado para unirse directamente al arreglo fotovoltaico.

b) Motores AC

Los motores AC (Corriente Alterna) tienen principalmente 2 partes, rotor y estator.

Sus principales características son el voltaje, potencia nominal, velocidad de giro, dependiendo de la frecuencia de entrada, y el par motor. El motor CA tiene un factor de potencia que delimita la corriente entregada, dando lugar a pérdidas adicionales.

Su adición en un sistema fotovoltaico genera un aumento en el presupuesto del proyecto, debido que necesita que tenga un inversor. También, se requieren componentes electrónicos secundarios para entregar las elevadas corrientes de arranque.

Los 2 tipos de motores AC son de inducción asíncronos y síncronos.

2.2.7 Sistema de bombeo fotovoltaico

Lo componen una serie de componentes que cambian la energía solar en electricidad necesaria para el motor, teniendo como componentes el generador fotovoltaico, motor/bomba, tuberías y un tanque donde se acumulará el fluido.

Se puede tener un sistema que acondicione y entregue la potencia necesaria (controladores, inversores u otros componentes electrónicos) que son parte del acoplamiento entre el arreglo fotovoltaico y el motor, y son parte del sistema que necesita para poder operar motores AC o para elevar el rendimiento promedio en sistemas con motores DC que mueven bombas de desplazamiento positivo.

El bombeo de agua con energía solar fotovoltaica se muestra como uno de los usos principales de energía solar. Es rentable en zonas rurales, donde los pozos se ubican en sitios que no tienen un fácil acceso y no hay infraestructura pública. Como también se aplica está tecnología en la industria, dando una opción al uso tradicional de sistemas de bombeo que utilizan energía eléctrica de la red, u otros sistemas que queman diésel para su funcionamiento.

Existen 2 tipos de sistema de bombeo fotovoltaico:

- a) **Bombeo fotovoltaico directo:** Se transporta el agua solo durante las horas de presencia solar, almacenándose en un depósito. Se evita la instalación de baterías las cuales tienen un costo elevado.

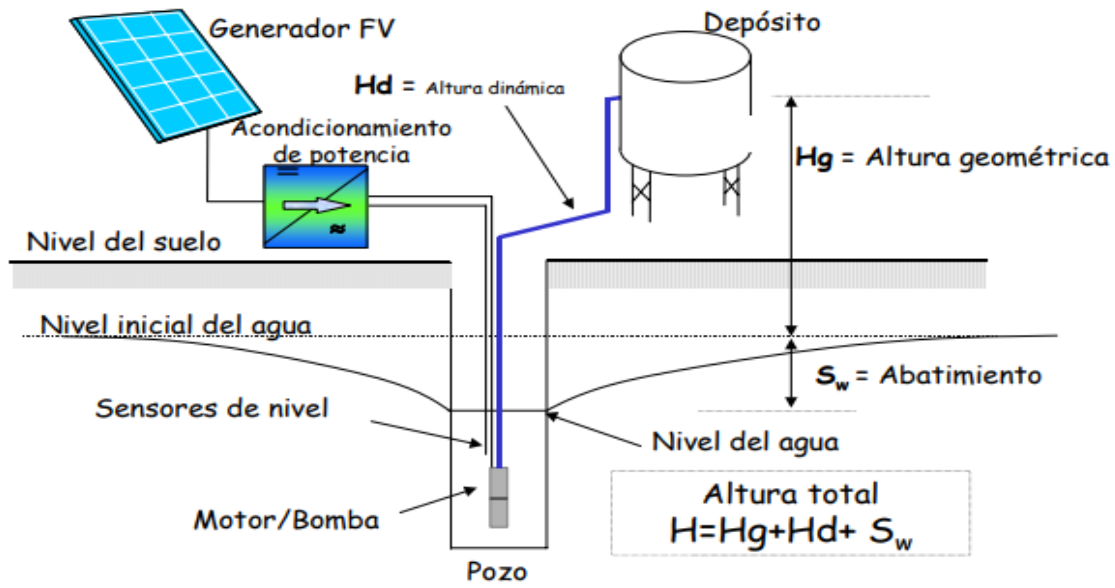
- b) **Bombeo fotovoltaico con baterías:** Si la necesidad de transportar agua es muy precisa o se necesita asegurar el agua, cuando se necesita transportar el fluido en la noche cuando no hay radiación solar, se necesitan baterías para almacenar la energía.

Los factores importantes en el dimensionamiento de un sistema de bombeo solar:

- Condiciones hidráulicas:
 - La profundidad del agua.
 - La altura de elevación del agua por encima del suelo.
 - Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios.

- La energía entregada por el arreglo FV en las horas diurnas, están determinadas por la radiación solar y las condiciones meteorológicas.

Figura 15. Sistema de bombeo fotovoltaico.



Fuente: <https://www.bombasideal.com/bombeosolar>

3.2.8. Subsistema de acondicionamiento de potencia

La función principal es entregar al motor/bomba la cantidad idónea de voltaje/corriente, y también asegurar que el arreglo FV opere en el punto de máxima potencia. A determinada temperatura y nivel de radiación, un arreglo FV tiene una curva característica I-V. Para potenciar la transmisión de energía, la carga eléctrica debe ser tal, que su propia curva I-V intercepte a la del arreglo FV lo más cercano del punto de máxima potencia.

Los equipos pueden ser:

- Convertidores DC/DC.
- Inversor DC/AC.
- Convertidor variador de frecuencia.
- Baterías.

El uso de equipos tiene como objetivo hacer seguimiento del punto de máxima potencia para dirigir la mayor cantidad de energía al motor, se ubican entre el arreglo FV y electrobomba. La colocación de los equipos en el sistema, implica una disminución de potencia por autoconsumo y rendimiento del 4% al 7%.

2.2.8.1 Convertidores DC/DC.

Los convertidores DC/DC, tienen como objetivo primordial el conservar al generado como a la carga en su punto de trabajo, son seguidores del punto de máxima potencia (MPPT) y realizan un ajuste de potencia para aumentar el rendimiento del sistema de bombeo durante el día.

Las funciones fundamentales en el sistema son:

- Generar una corriente alta para que el motor opere a niveles irradiancia mínimos.
- Maximizar la potencia que entrega el arreglo fotovoltaico.

El objetivo de los convertidores DC/DC es principalmente transformar una potencia de entrada $P_i = V_i \times I_i$ en una potencia de salida $P_o = V_o \times I_o$ con el mayor rendimiento posible $\eta = P_o / P_i$, acomodando los márgenes de voltaje y corriente de entrada y salida.

Figura 16. Bomba sumergible de membrana utilizando un convertidor DC/DC.



Fuente: <https://es.scrib.com/document/268201112/bomba-controlador-shurflo>

2.2.8.2 Inversores DC/AC

Tiene la función primordial, convertir la corriente continua que sale del generador en corriente alterna, que utilizan en motores AC.

Los que se usan en sistemas de bombeo solar, generan una salida mono o trifásica con voltaje y frecuencia variables. La alteración de la frecuencia saliente logra permitir que los motores operen a velocidades diferentes de la velocidad nominal, perteneciente a la frecuencia nominal 50/60 Hz y poder reducir la cantidad de irradiancia solar que necesita en el arranque de la bomba.

Figura 17. Sistema de bombeo que utiliza un inversor DC/AC.



Fuente: <https://deltavolt.pe/energía-renovable/bombeo-solar>

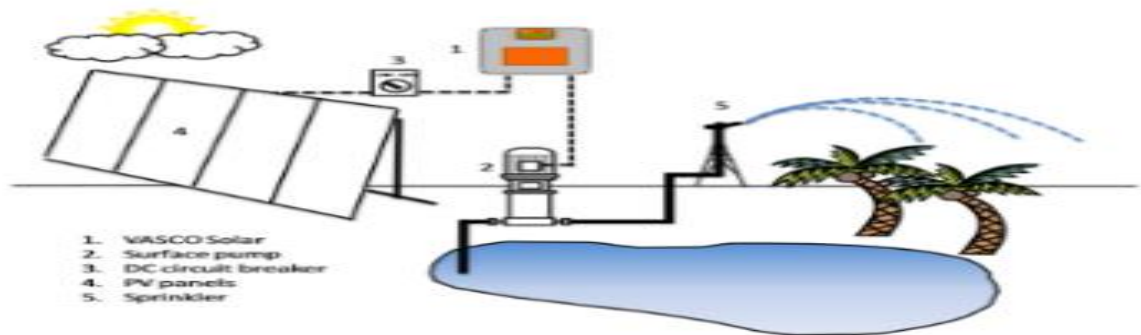
2.2.8.3 Inversor con variador frecuencia

Una nueva aplicación se basa en el uso de variadores de frecuencia industriales.

La cantidad de sistemas de bombeo FV que han evidenciado un alto nivel de confiabilidad, así como también un excelente rendimiento de operación, no son en gran cantidad: algunos son diseñados especialmente y por ende son caros si lo comparamos con el costo del bombeo común.

También se encuentra una restricción en cuanto a la potencia disponible. La demanda de agua, principalmente en uso agrícola, son cada día más comunes, lo que involucra una elevación de la potencia instalada. El uso de variadores de frecuencia, como alternativa hasta el momento en bombeo FV, en conjunto con bombas centrífugas, sumergibles y motores AC brinda un resultado rentable.

Figura 18: Sistema de bombeo con inversor/variador de frecuencia.



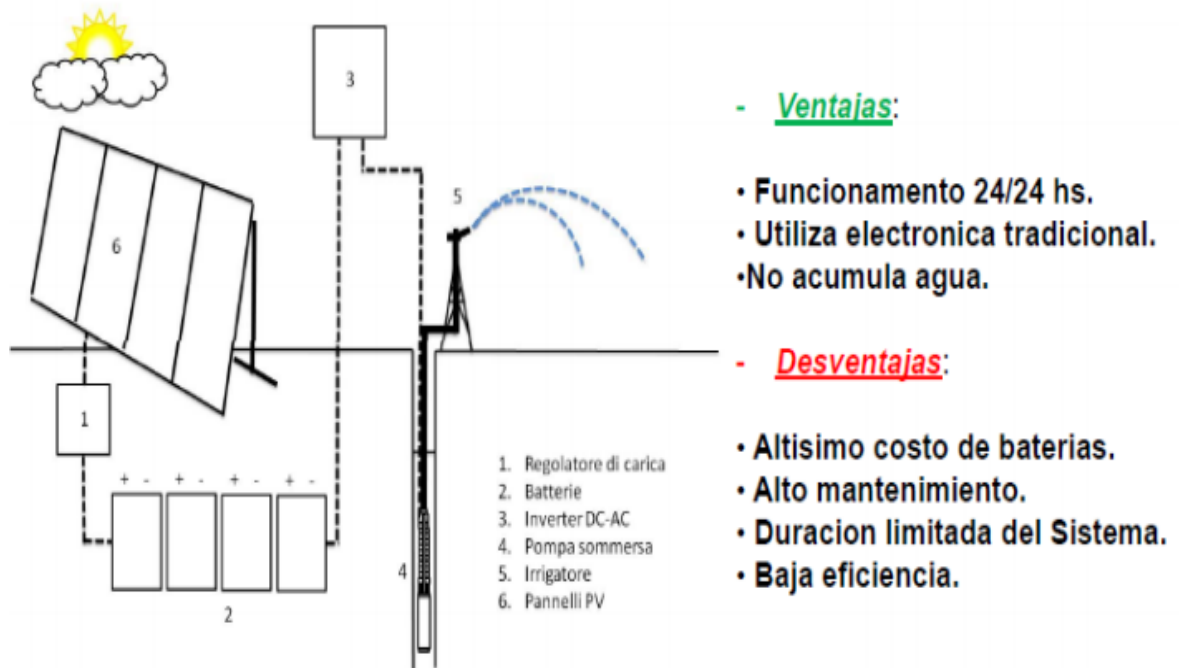
Fuente: Nastec-VASCO-solar-cat-ES/aplicaciones-pdf Pag.6

2.2.8.4 Sistema de bombeo con baterías

La utilización de un equipo que almacene energía en bombeo FV, entrega una tensión de trabajo fijo al sistema FV, el cual logra un trabajo cerca del punto de máxima potencia en el sistema y autónomo del nivel de irradiancia, para entregar el amperaje necesario al motor, así también la intensidad de arranque.

La batería permite guardar energía excedente del sistema durante horas de sol para usarla en horas nocturnas o en ocasiones poca irradiancia.

Figura 19: Sistema de bombeo con baterías.



Fuente: Nastec-VASCO-solar-cat-ES/aplicaciones-pdf Pag.8

2.2.9. Bases teóricas del diseño

2.2.9.1 Diseño hidráulico.

2.2.9.1.1 Caudal (Q)

Es el volumen de fluido que transcurre en una sección en un tiempo determinado, para el cual se usa la siguiente ecuación.

$$Q = \pi \times \frac{D^2}{4} \times V$$

Ecuación 1: Caudal

Donde:

Q: Caudal (m³/hr)

A: Área (m²)

D: Diámetro de tubería (metro)

V: Velocidad del fluido (m/s)

3.2.9.1.2 Velocidad del fluido

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Ecuación 2: Velocidad del fluido

V : Velocidad (m/s)

D: Diámetro de tubería (metro).

Q: Flujo volumétrico (m³/s).

Los rangos de velocidades de flujo, que se recomienda en estos sistemas por tubería se observan en la Tabla 1.

Tabla 1: Rango recomendado de velocidad

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2 -- 4	0.6 -- 1.2
Lineas de retorno	4 -- 13	1.5 -- 4
Línea de descarga	7 -- 18	2 -- 5.5

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 164

3.2.9.3 Peso Específico (γ)

Es el peso de una sustancia por unidad de volumen.

$$\gamma = \rho \times g$$

Ecuación 3: Peso específico

γ : Peso específico (N/m³)

ρ : Densidad de la sustancia (Kg/m³)

g : Constante de gravedad (9.819 m/s)

3.2.9.4 Diámetro de la tubería

Es el conducto por el cual el fluido es transportado, para la obtención del diámetro de tubería, utilizamos la ecuación empírica.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$$

Ecuación 4: Diámetro de tubería.

V : Velocidad (m/s)

D : Diámetro de tubería (metro).

Q: Flujo volumétrico (m³/s).

3.2.9.5 Número de Reynolds (Re)

La conducta de un líquido, cuando nos referimos a las pérdidas de energía, obedecerá si el flujo es laminar (Re<2300) o turbulento (Re>4000), por lo tanto, la necesidad de modelar el tipo de flujo sin tener que apreciarlo. Ya que, la observación directa complicado en fluidos que fluyen por tubos opacos.

Se explica empíricamente y se revisa analíticamente, el carácter del flujo en un tubo circular dependerá de 4 variables:

La ecuación siguiente muestra la definición.

$$Re = \frac{\rho \times D \times V}{u}$$

Ecuación 5: Número de Reynolds (Re)

Donde:

ρ : Densidad de fluido (Kg/m³)

V: Velocidad de fluido (m/s).

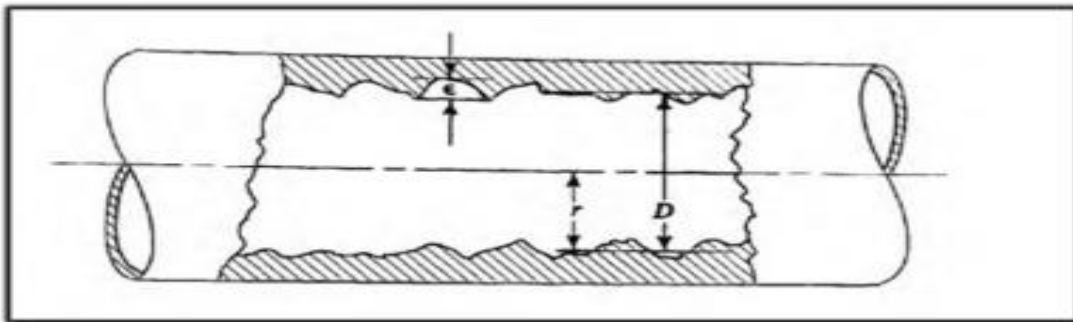
U: Viscosidad cinemática (m²/s)

D = Diámetro interior (m)

3.2.9.6 Rugosidad (ϵ)

Es la relación del diámetro de la tubería y la rugosidad de su pared, en la Figura 20, se ilustrará la rugosidad de las paredes de la tubería como el tamaño de la elevación de los picos de las imperfecciones de la cabida. La naturaleza de la tubería, dependerá del material del cual ha sido elaborado el tubo y la forma de elaboración. Ya que la rugosidad es variable, teniendo la finalidad de hallar su valor global se toma valores promedio, como lo apreciamos en la Tabla 1.

Figura 20: Rugosidad en tuberías



Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 235.

Tabla 2. Valores de rugosidad de diversas tuberías.

Valores de diseño de rugosidad de tubos		
Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 235.

3.2.9.7 Pérdida de carga (H)

Es la altura que se pierde por fricción, que ofrece el líquido al transcurrir por la tubería, válvulas, filtros, curvas y otros accesorios.

- **Pérdidas primarias (h_f)**

Corresponde a las pérdidas del fluido en la tubería, por eso empleamos la presente ecuación de Darcy:

$$H_f = f \frac{L \times V^2}{2 \times D \times g}$$

Ecuación 6: Pérdidas primarias (H_f)

f: Factor de fricción.

L: Longitud total de tubería(m).

g: Gravedad(m/s²).

D: Diámetro de tubería(m).

V: Velocidad del fluido(m/s).

- **Pérdidas Secundarias**

Las pérdidas menores, como pérdidas de carga en accesorios (válvulas, reducciones, etc) se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 7: Pérdidas secundarias (h_f)

V: Velocidad del fluido(m/s).

f: Coeficiente de resistencia.

g: Gravedad(m/s²).

Tabla 3: Resistencia de accesorios y válvulas.

Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 297.

3.2.9.8 Diagrama de Moody

Quizás el método que se utiliza más, para realizar la evaluación de la constante de fricción, es el grafico de Moody. Lo podemos observar en la figura 21. El grafico señala al factor de fricción f vs el número de Reynolds Re , con numerosas curvas paramétricas que relacionan la rugosidad relativa ϵ/D . Las curvas las creó L.F. Moody partiendo de experimentos.

Figura 21. Diagrama de Moody.

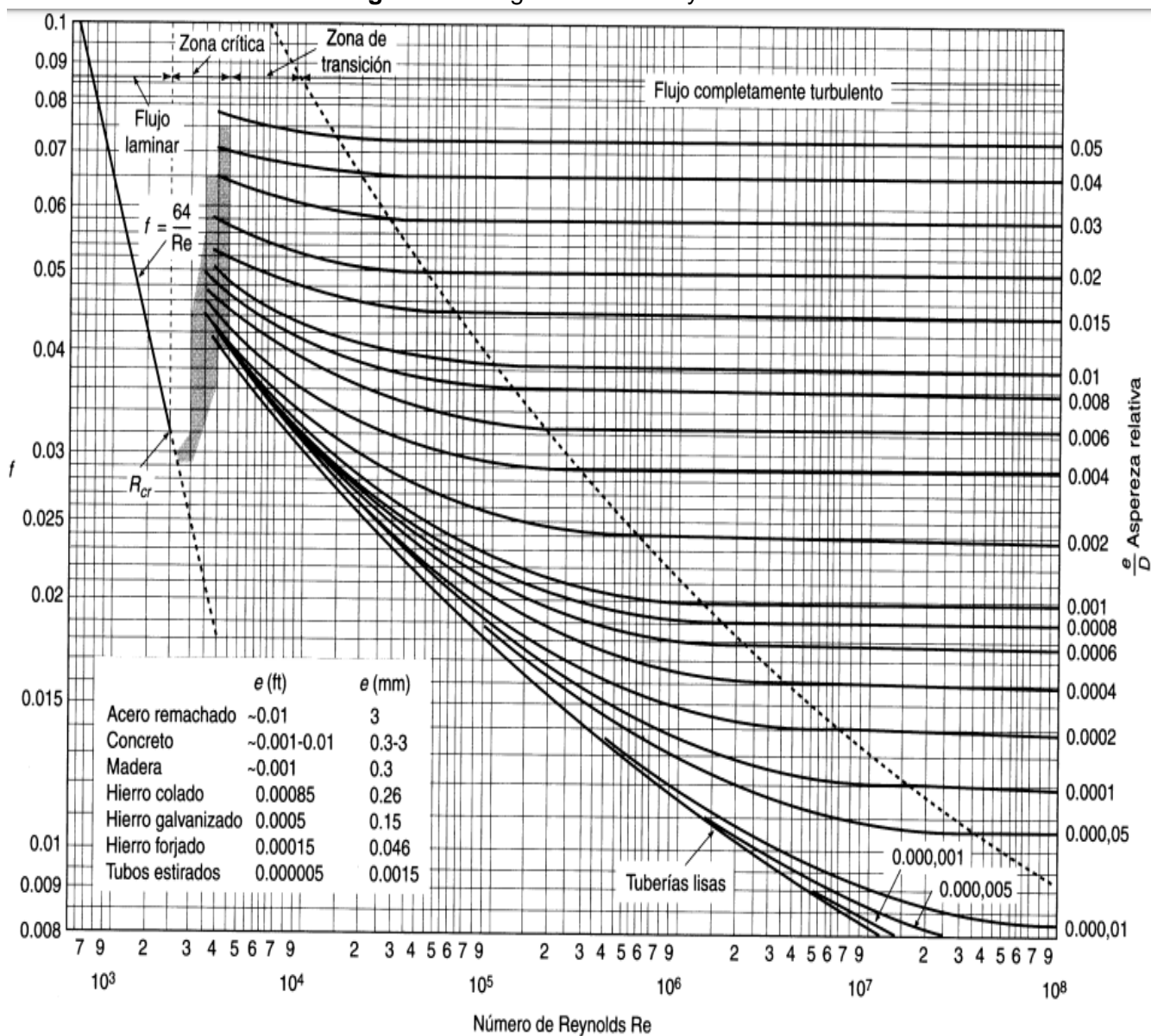


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Fuente: Robert L. Mott. (2006) *Mecánica de Fluidos de 6ta Edición*, Ed. Pearson, Pág. 237.

3.2.9.9 Ecuación de Bernoulli

Comúnmente se le comprende como la amplitud de la ecuación de Bernoulli, lo que nos permite resolver problemas en los que se pierde y adiciona energía. La energía que un fluido tiene se observa en la ecuación general de la energía.

$$E = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g}$$

Reemplazamos, la Ecuación se convierte en:

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1}{2g} + Hb = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2}{2g} + hf$$

Ecuación 8: Ecuación General de la Energía.

$P_{1,2}$: Presión en los puntos 1 y 2 del sistema.

$Z_{1,2}$: Alturas de los puntos 1 y 2 respecto al sistema.

$V_{1,2}$: Velocidad del fluido en puntos 1 y 2 al sistema.

H_b : Energía adicionada al fluido con un equipo mecánico, como una bomba; se le conoce carga total sobre la bomba.

h_f : Pérdidas de energía del sistema por fricción en la tubería (válvulas, filtros, etc),

3.2.9.10 Altura dinámica de la Bomba (HDT)

La altura dinámica de la bomba se calcula con la siguiente ecuación:

$$HDT = H_{bomba} = H_{geodesica} + H_{perdida}$$

Ecuación 9: Altura dinámica de la Bomba (HDT).

3.2.9.11 Potencia de la Bomba

- **Potencia consumida**

Es la energía que necesita la bomba para que funcione normalmente, se conoce como potencia de consumo, que es la energía que entrega la bomba al agua, el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$P_b = \frac{\gamma \times H_b \times Q}{n}$$

Ecuación 10: Potencia de consumo de la bomba

Donde:

γ : Peso específico (N/m³)

H_b : Altura dinámica de la bomba (m)

Q : Caudal (m³/hr)

n : Eficiencia de la bomba (%)

P_b : Potencia de la bomba (W)

- **Potencia Instalada**

Es la energía que requiere el motor, el cual se denominada potencia instalada (P_m), se calcula con la siguiente ecuación.

$$P_m = \frac{P_b}{nm}$$

Ecuación 11: Potencia instalada (P_m)

Donde:

nm : Eficiencia del motor (%).

P_b : Potencia de la bomba (W)

P_m : Potencia del motor (W)

3.2.9.12 NPSH

Es un parámetro de suma importancia para el diseño, apoya en la comprensión de cuan cerca está el sistema de la cavitación. Si en cualquier punto del sistema la presión es inferior, que la presión de vapor del líquido, este comenzará a cavitarse. Esta figura, semejante a la vaporización, hace difícil o incluso impedir la circulación del líquido, y provocar deterioro grave en los componentes del sistema de bombeo.

Debemos considerar el NPSH referido a la succión de la bomba, divididos en 2 clases de NPSH.

- **NPSH disponible**

Es un valor de cuan cerca o lejos se encuentra el fluido de la cavitación. Es toda la presión del sistema, como altura de succión que puede ser positiva o negativa, pérdida de carga en toda la línea de succión.

- **NPSH requerido**

Medida límite requerida, en un punto de la instalación, para prevenir que el fluido entre en cavitación. Depende del diseño de la bomba, es un dato del fabricante.

$$NPSH_{\text{disponible}} = h_{sp} \pm h_s - h_f + h_{vp}$$

Ecuación 12: $NPSH_{\text{disponible}}$

Donde:

P_{sp} : Presión estática sobre el fluido en el depósito.

h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento(m) - $h_{sp} = P_{sp}/\gamma$.

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central del ingreso de aspiración(m).

h_f : Pérdida de carga en la tubería de aspiración, debido a la fricción y pérdidas menores(m)

P_{vp} : Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura ambiente.

h_{vp} : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo(m) - h_{vp}
 $= P_{vp}/\gamma$.

El responsable del diseño, debe asegurar que la carga de aspiración neta positiva disponible, $NPSH_{disponible}$, sea superior que la carga de aspiración positiva neta requerida $NPSH_{requerido}$.

Donde:

$NPSH_{disponible}$: Carga de aspiración positiva neta disponible

$NPSH_{requerido}$: Carga de aspiración positiva neta requerida

$$NPSH_{req} < NPSH_{disponible}$$

Ecuación 13: Carga de aspiración positiva neta requerida

2.2.9.2 Diseño del sistema fotovoltaico

Para el diseño usaremos un sistema con variador de frecuencia (VASCO solar), para el cual analizaremos los siguientes parámetros.:

- Potencia nominal de la bomba (P2).
- Potencia eléctrica nominal absorbida del motor (P1).
- Amperaje nominal del motor.
- Voltaje nominal del motor.

El modelo de VASCO Solar que utilizaremos depende de la tensión y de la corriente del motor a utilizar. Para asegurar las máximas prestaciones, el sistema fotovoltaico, compuesto de 1 o más filas de paneles fotovoltaicos conectados en serie, debe estar en condiciones de proveer:

- **Calculo de la potencia fotovoltaica.**

La potencia fotovoltaica (Wp) debe por lo menos ser igual a la potencia eléctrica nominal (P1) absorbida por el motor. En general, para tener en cuenta pérdidas inertes al sistema fotovoltaico, como pérdida de eficiencia por la temperatura de paneles, se recomienda aumentar en un 15% la potencia a instalar, respecto a la potencia del motor.

$$P_G = P_1 \times 1.15$$

Ecuación 14. Potencia del generador solar fotovoltaico.

Donde:

P_G : Potencia del generador fotovoltaico

P_1 : Potencia del motor

$$P_1 = \frac{P_2}{n}$$

n: eficiencia del motor 0.87

- **Calculo voltaje de máxima potencia del arreglo fotovoltaico.**

La tensión nominal de cada fila de paneles fotovoltaicos (V_{mp}) deberá ser por lo menos igual al voltaje nominal del motor multiplicado por 1,4.

$$V_{In} > V_n \times 1.4$$

Ecuación 15: Voltaje optimo del generador fotovoltaico

Donde:

V_{in} : Voltaje de salida del arreglo fotovoltaico

V_n : Voltaje nominal del motor

- **Calculo de voltaje de cortocircuito del arreglo fotovoltaico.**

El voltaje de cortocircuito de cada fila (V_{oc}) deberá ser menor al voltaje máximo admisible por e VASCO Solar.

$$V_{oc} < V_{vasco}$$

Ecuación 16: Voltaje máximo del sistema fotovoltaico

V_{oc} : Voltaje de cortocircuito del arreglo fotovoltaico.

V_{vasco} : Voltaje de trabajo del VASCO solar.

2.2.9.3 Dimensionamiento del conductor

- **Cálculo del calibre del conductor para el motor**

Para obtener el calibre del conductor eléctrico se deberá tener presente el amperaje nominal del motor (I_n), el cual se determinará usando la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos(\theta) \times n}$$

Ecuación 17. Cálculo de la corriente nominal para motores

V: Voltaje.

n: Eficiencia del motor.

$\cos \theta$: Factor de potencia

El calibre del conductor se selecciona utilizando la corriente de diseño (I_d) calculada a partir de la ecuación 18:

$$I_d = 1.25 \times I$$

Mediante el Anexo x, la tabla x nos permite seleccionar el conductor ideal para corriente de diseño.

- **Selección del conductor para el arreglo fotovoltaico**

Para obtener la sección del conductor, debemos calcular la corriente de salida del sistema fotovoltaico, y reemplazar en la siguiente ecuación x:

$$I_d = I_{SC} \times 1.25$$

Ecuación 18. Corriente de diseño

Donde:

I_d : Corriente de diseño

I_{sc} : Corriente de cortocircuito

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Voltaje

Conocida también como tensión eléctrica o diferencia de potencial, es la magnitud física que propulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre 2 puntos.

Fuente. <https://www.ecured.cu/Voltaje>

2.3.2 Corriente continua (DC)

Es el flujo continuo de cargas eléctricas mediante un conductor entre 2 puntos de diferente potencial y carga eléctrica, que no varía de dirección en el tiempo. En comparación con la corriente alterna, en la corriente continua la carga eléctrica transita en una misma dirección.

Aunque generalmente se identifique a la corriente continua con una corriente, es continua toda corriente que conserve siempre la misma polaridad, así reduzca su intensidad conforme se va consumiendo la carga.

Fuente. https://es.m.wikipedia.org/wiki/Corriente_continua

2.3.3 Corriente alterna (AC)

Es el tipo de corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varía cíclicamente. La forma de oscilación, más usada, es la oscilación senoidal con la que se consigue una transferencia más eficiente de la energía. Utilizada comúnmente, la corriente alterna se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares e industrias.

Fuente. http://es.m.wikipedia.org/wiki/Corriente_alterna

2.3.4 Batería

También conocido como acumulador eléctrico, es un equipo que está constituido por varias celdas electroquímicas, que pueden transformar la energía química acumulada en electricidad. Cada celda tiene un electrodo positivo(ánodo) y un electrodo negativo(cátodo), también electrolitos que permiten que los iones se trasladen entre los electrodos.

Las baterías tienen una capacidad de carga determinada, y que se cuantifica en amper-hora (Ah), mientras mayor sea la carga, más corriente podrá almacenar podrá almacenar en su interior.

Fuente. <https://concepto.de/batería>

2.3.5 Fluido

Es una sustancia que soporta permanentemente la distorsión, un fluido presenta una densidad definida a una determinada presión y temperatura, aun cuando la densidad cualquier fluido dependerá de la temperatura y presión. La variación de la densidad con la alteración en estos parámetros puede ser pequeñas o grandes. Si las variaciones de densidad son tenues con cambios moderado con la temperatura y presión, al fluido se le conoce como no compresible, si los cambios de densidad son relevantes, al fluido se considera compresible, los líquidos se consideran no compresibles y los gases compresibles.

Fuente. McCABE, Warren L. y SMITH, Julian C. Operaciones unitarias en ingeniería química. México: Editorial Mc Graw Hill, séptima edición pág. 33.

2.3.6 Tuberías

Conducto que sirve para trasladar agua u otros fluidos. Cuando el líquido trasladado es petróleo, se usa la denominación específica oleoducto. Cuando el fluido trasladado es gas, se usa la denominación gaseoducto. Es posible también trasladar mediante tuberías materiales que, no son un fluido, pero se adaptan a este sistema: hormigón, cemento, cereales. Las tuberías se construyen de diversos materiales, se suele usar el Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), hierro fundido, acero, latón, cobre, plomo, hormigón, polipropileno, PVC, polietileno de alta densidad (PEAD), etc.

Fuente. <https://es.m.wikipedia.org/Tubería>

2.3.7 Cavitación

Cuando la presión de vapor de la bomba es muy baja, se crean burbujas en el fluido, como si estuviera en su fase de ebullición, puede hacer difícil o incluso impedir la circulación del líquido, y provocar daños graves en los componentes del sistema de bombeo.

Cuando la bomba cavita, el rendimiento de la misma cae severamente conforme el caudal baja, también hará más ruido y generará un sonido fuerte e intermitente, como si hubiera grava en el fluido. Si esto continuara, la bomba se destrozará en poco tiempo. Debe apagarse de inmediato y conocer la causa de la cavitación para corregirse antes de continuar la operación.

Fuente. Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson

CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo, se realizarán los cálculos para el diseño y dimensionamiento de los equipos que integran el sistema de bombeo, para el cual se tomará como base los requerimientos hidráulicos necesarios, radiación solar en la zona, para diseñar un sistema de bombeo solar, que trabaje eficientemente de tal forma garantizar su durabilidad.

El diseño de nuestro sistema de bombeo está comprendido en las siguientes partes.

- a) Cálculo de caudal necesario
 - Volumen necesario al día.
 - Tiempo de bombeo.

- b) Cálculos hidráulicos.
 - Línea de succión.
 - Línea de descarga.
 - Selección de electrobombas.

- c) Generador Eléctrico Solar Fotovoltaico
 - Radiación solar
 - Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
 - Selección de variador de frecuencia.

3.1 DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

3.1.1 Calculo del caudal.

Se requiere analizar las siguientes variables:

- Volumen de agua.
- Tiempo necesario de bombeo para alcanzar el volumen necesario.

Se tiene en cuenta la ecuación 1:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Donde:

Volumen: m³

Tiempo de bombeo: (hr)

Q: Caudal (m³/hr)

Para la siguiente investigación se tomará en cuenta una necesidad volumétrica de agua de 16 000 L/día ≈ 16 m³/día. El tiempo de bombeo se definirá 4 horas, para el cual se calcula el caudal del fluido que se desea para el diseño:

$$Q = \frac{16 \text{ m}^3/\text{dia}}{4 \text{ hr}/\text{dia}}$$

$$Q = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}}$$

$$Q = 1.111 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.1.2 Diseño hidráulico

3.1.2.1 Línea de succión

- **Diámetro de tubería de Succión**

Por medio de la siguiente fórmula indicado en la Ecuación 4, se calcula el diámetro de la tubería de aspiración.

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$$

Para el diseño, se ha considerado una velocidad recomendada en la Tabla 1.

$$V = 1.0 \text{ m/seg}$$

Reemplazamos los valores del caudal (Q) y la velocidad (V) en la Ecuación 4, obtenemos:

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \times 1.111 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi \times 1 \text{ m/seg}}}$$

Se obtiene:

$$D = 0.03761 \approx 37.61 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}}$$

$$D = 1.48 \text{ pulg}$$

Diámetro seleccionado = 1 ½ pulg

De los resultados obtenidos, se escoge la tubería de aspiración con diámetro de 1 ½ pulg, para el cual obtenemos el diámetro interno de la tubería del Anexo 5:

$$D_{\text{comercial}} = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

$$D_{\text{interno}} = 1.61 \text{ pulg} \times \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}}$$

$$D_{\text{interno}} = 40.9 \text{ mm}$$

- **Cálculo de la velocidad en la línea de succión**

Por medio de la ecuación 2, y con el diámetro obtenido, se procede a calcular la velocidad del fluido en la tubería de aspiración.

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Reemplazamos la Ecuación 2, los valores del Caudal y el diámetro de la tubería de aspiración y obtenemos:

$$V_s = \frac{4 \times 1.111 \times 10^{-3} m^3}{\pi \times (0.0409 m)^2}$$

$$V_s = 0.8456 \text{ m/seg}$$

El resultado de la velocidad del fluido en la línea de aspiración, está dentro del rango que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Rango recomendado de velocidad.

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
<u>Líneas de succión</u>	2 -- 4	0.6 -- 1.2
Líneas de retorno	4 -- 13	1.5 -- 4
Línea de descarga	7 -- 18	2 -- 5.5

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 164

- **Numero de Reynolds en la línea de succión**

Por medio del Grafico de Moody de la Figura 21, se determinará si el fluido es laminar o turbulento.

Usando la Ecuación 5, se obtiene el Número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \times V \times D_s}{\mu}$$

De los Anexos 2, y 4 a una temperatura T°= 25 °C, se obtienen los valores:

Densidad del Agua (ρ) = 997 Kg/m³

Velocidad en la Succión = 0.8456 m/s

Diámetro Interior (D_s) = 0.0409 m

Viscosidad Dinámica (μ) = 891 x 10⁻⁶ Kg/m-s

Reemplazamos los valores en la Ecuación 10, y obtenemos:

$$Re = \frac{997 \frac{kg}{m^3} \times 0.8456 \frac{m}{s} \times 0.04090m}{891 \times 10^{-6} \frac{Kg}{m \times s}}$$

Re = 38 699.53 ≈ 3.8699 x10⁴ > 4 500.

Por lo tanto, el flujo es turbulento.

Tomando la tabla 2 obtenemos el valor de Rugosidad para tubería de Hierro galvanizado, cuyo valor es:

$\epsilon = 1.5 \times 10^{-4}$ m

Tabla 2. Valores de Rugosidad de tubería.

Valores de diseño de rugosidad de tubos

Material	Rugosidad ϵ (mm)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
<u>Hierro galvanizado</u>	<u>1.5×10^{-4}</u>	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 235.

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{1.5 \times 10^{-4} \text{ m}}{0.0409 \text{ m}}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0037 \approx 0.004$$

De Figura 21, grafico de Moody, obtenemos el factor de fricción f_s

$$f_s = 0.026$$

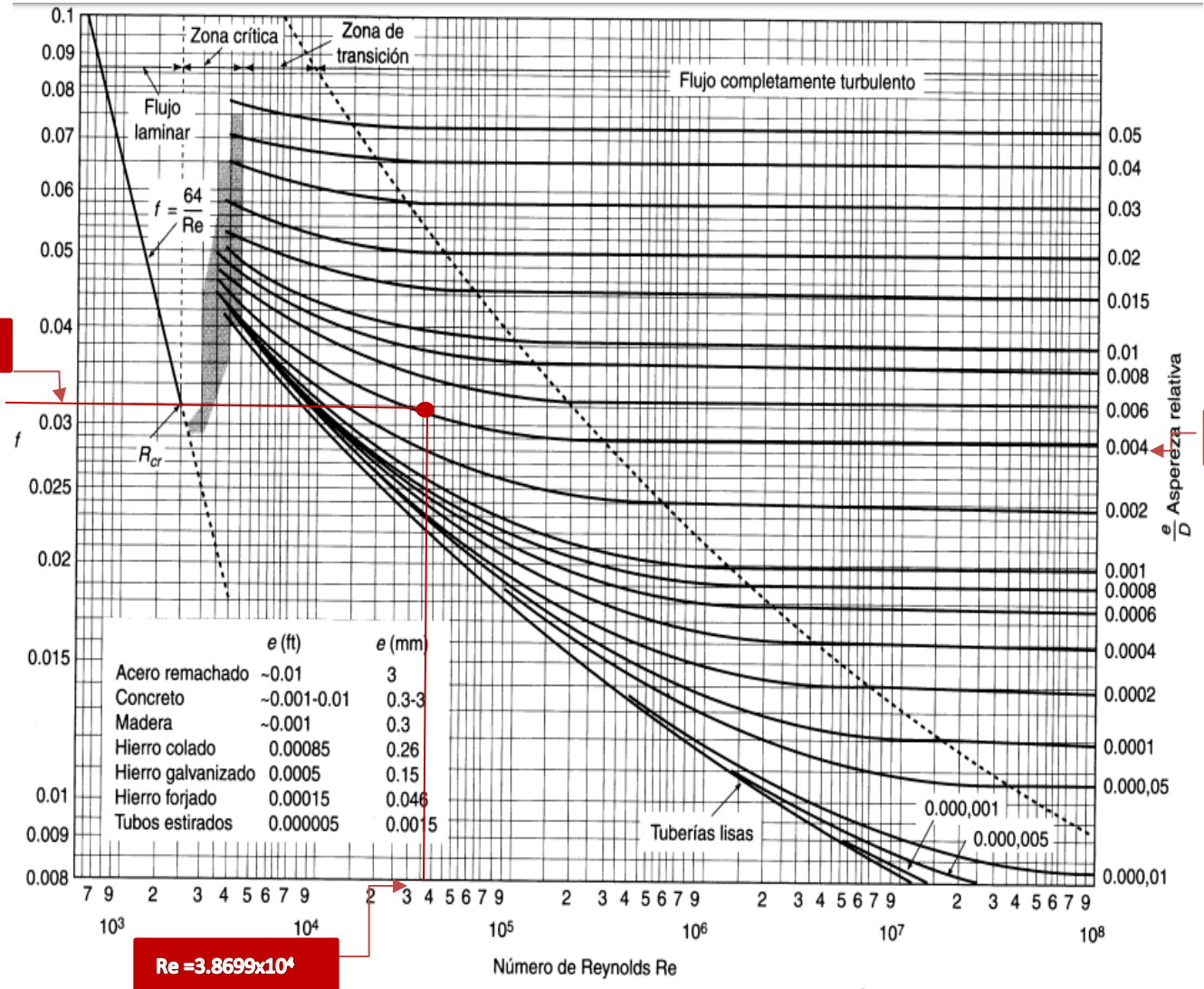


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Fuente: Robert L. Mott. (2006) *Mecánica de Fluidos* de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 237.

- **Perdidas primarias en la línea de Succión (H_{fs})**

Por medio de la Ecuación 6, podemos obtener las Pérdidas Primarias (H_{fs}).

$$H_{fs} = f \times \frac{Ls \times v^2}{D \times 2g}$$

De la Figura 21 (Gráfico de Moody); obtenemos el valor del Factor de Fricción de aspiración.

$$f_s = 0.032$$

Reemplazamos valores en la Ecuación 6, obtenemos:

$$H_f = 0.032 \times \frac{8 \times (0.8456 \text{ m/seg})^2}{0.0409 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$H_f = 0.228 \text{ m}$$

- **Perdidas secundarias**

Por medio la Ecuacion 7. Nos permitirá calcular las perdidas relacionadas con los accesorios (válvulas, codos, etc) en la línea de succión. De la tabla 3 obtenemos los valores de los coeficientes de los accesorios en la línea de succión.

$$h_f = f \times \left(\frac{Le}{D}\right) \times \frac{v^2}{2g}$$

Tabla 3. Resistencia de accesorios y válvulas

Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $\frac{3}{4}$ abierta	35
— $\frac{1}{2}$ abierta	160
— $\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 297.

$$h_1 = \text{codo} = 0.032 \times (30) \times \frac{(0.8456)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_2 = \text{válvula check de pie} = 0.032 \times (420) \times \frac{(0.8456)^2}{2 \times 9.81}$$

Ahora:

$$h_f = h_1 + h_2$$

$$h_f = 0.035 + 0.489$$

$$h_f = 0.524 \text{ m}$$

- **Pérdida total en línea de succión**

$$H_s = H_f + h_f$$

H_f : Perdidas primarias

h_f : Perdidas secundarias

Reemplazando:

$$H_s = 0.228 + 0.524$$

$$H_s = 0.752 \text{ m}$$

3.1.2.2 Línea de Descarga

- **Diámetro de tubería**

Por medio la siguiente Ecuación 4, determinaremos el diámetro de la tubería de descarga.

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$$

Para el diseño, se ha considerado una velocidad recomendada en la Tabla 1.

$$V_d = 2 \text{ m/seg}$$

Reemplazamos los valores del caudal (Q) y la velocidad (V) en la Ecuación 4, se obtiene:

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \times 1.111 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi \times 2 \text{ m/seg}}}$$

Se obtiene:

$$D = 0.02659 \text{ m} \approx 26.59 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}}$$

$$D = 1.047 \text{ pulg}$$

Diámetro seleccionado = 1 pulg

De los resultados obtenidos, se escoge la tubería de descarga de diámetro de 1 pulg, para el cual obtenemos el diámetro interno de la tubería del Anexo 5:

$$D_{\text{comercial}} = 1 \text{ pulg}$$

$$D_{\text{interno}} = 1.049 \text{ pulg} \times \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}}$$

$$D_{\text{interno}} = 26.64 \text{ mm} \approx 0.026 \text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad en la línea de descarga**

Por medio la Ecuación 2, y con el diámetro obtenido, se procede a calcular la velocidad del fluido en la tubería de descarga.

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Reemplazamos en la Ecuación 2, los valores del Caudal y el diámetro de la tubería de succión, obtenemos:

$$V_d = \frac{4 \times 1.111 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\pi \times (0.026 \text{ m})^2}$$

$$V_d = 2.09 \text{ m/seg}$$

El resultado de la velocidad del fluido en la línea de descarga, está dentro del rango de los intervalos que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Rango de velocidad de fluido.

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2 -- 4	0.6 -- 1.2
Líneas de retorno	4 -- 13	1.5 -- 4
Línea de descarga	7 -- 18	2 -- 5.5

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 164

- **Numero de Reynolds en la descarga**

Densidad del Agua (ρ) = 997 Kg/m³

Velocidad en la Descarga = 2.09 m/s

Diámetro Interior (D_s) = 0.026 m

Viscosidad Dinámica (μ) = 891 x 10⁻⁶ Kg/m-s

Reemplazamos los valores en la Ecuación 10, obtenemos:

$$Re = \frac{997 \frac{kg}{m^3} \times \frac{2.09m}{s} \times 0.026m}{891 \times 10^{-6} \frac{Kg}{m \times s}}$$

Re = 60 804.69 \approx 6.0804 x10⁴ > 4 500.

Por lo tanto, el flujo es turbulento.

Tomando la tabla 2, obtenemos el valor de Rugosidad en la tubería de Hierro galvanizado, cuyo valor es:

$\epsilon = 1.5 \times 10^{-4}$ m

Tabla 2. Valores de Rugosidad de tubería.

<i>Valores de diseño de rugosidad de tubos</i>		
Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
<u>Hierro galvanizado</u>	<u>1.5×10^{-4}</u>	<u>5.0×10^{-4}</u>
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: Robert L. Mott. (2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 235.

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{1.5 \times 10^{-4} m}{0.0266 m}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0056 \approx 0.006$$

$$f_d = 0.034$$

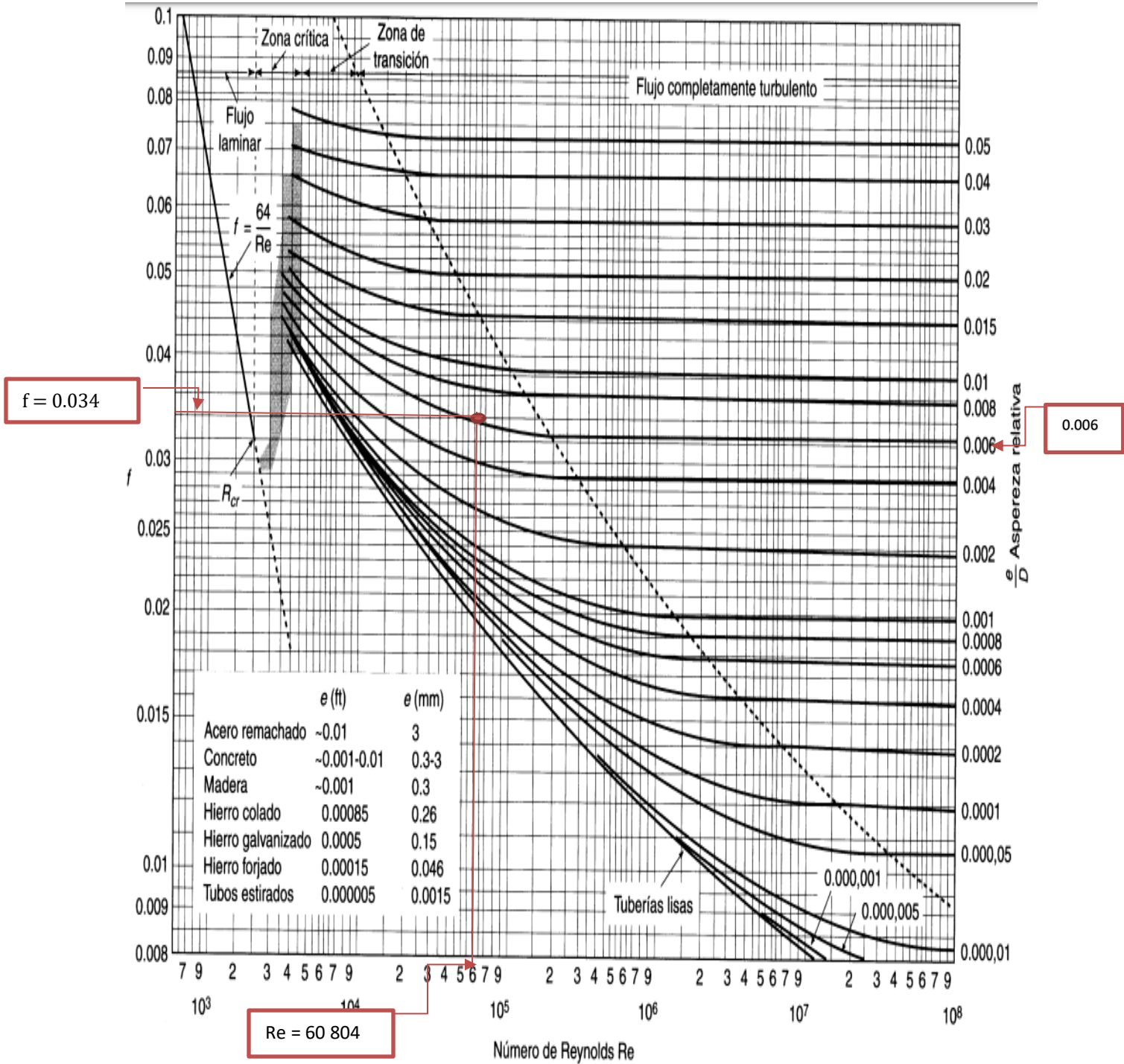


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Fuente: Robert L. Mott. (2006) *Mecánica de Fluidos de 6ta Edición*, Ed. Pearson, Pág. 237.

- **Perdidas primarias en la línea de descarga (H_{fs})**

Por medio de la Ecuación 6, se puede obtener las Pérdidas Primarias (H_{fs}).

$$H_{fd} = f \times \frac{L \times v^2}{D \times 2g}$$

De la Figura 21; obtenemos el valor del Factor de Fricción de succión.

$$f_d = 0.034$$

Reemplazamos los valores en la Ecuación 6, obtenemos:

$$H_f = 0.034 \times \frac{40 \times (2.09 \text{ m/seg})^2}{0.0266 \text{ m} \times 2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2}$$

$$H_f = 11.38 \text{ m}$$

- **Perdidas secundarias en la línea de descarga**

Por medio la Ecuación 7. Nos permitirá calcular las perdidas relacionadas con los accesorios (válvulas, codos, etc) en la línea de aspiración. De la tabla x obtenemos los valores de los coeficientes de los accesorios en la línea de succión.

$$h_f = f \times \left(\frac{Le}{D}\right) \times \frac{v^2}{2g}$$

Tabla 3. Resistencia de accesorios y válvulas

Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
<u>Válvula de mariposa—abierta por completo</u>	<u>45</u>
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
<u>Codo estándar a 90°</u>	<u>30</u>
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
<u>Vuelta cerrada en retorno</u>	<u>50</u>
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

$$h_3 = 4 \text{ codos} = 0.034 \times (4 \times 30) \times \frac{(2.09)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_4 = \text{válvula check} = 0.034 \times 50 \times \frac{(2.09)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_5 = \text{válvula mariposa} = 0.034 \times 45 \times \frac{(2.09)^2}{2 \times 9.81}$$

Ahora:

$$h_{fd} = h_3 + h_4 + h_5 = 0.91 \text{ m} + 0.38 \text{ m} + 0.34 \text{ m}$$

$$h_{fd} = 1.63 \text{ m}$$

- **Pérdida total en la descarga**

$$H_d = H_f + h_f$$

$$H_d = 11.38 + 1.63 \text{ m}$$

$$H_d = 13.01 \text{ m}$$

- **Ecuación de Bernoulli**

A través de la Ecuación 8, obtenemos:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_b = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_f$$

Considerando las características del fluido, asumimos:

$$V_1 \text{ y } V_2 = 0$$

$$P_1 \text{ y } P_2 = 0$$

Reemplazamos, y obtenemos la altura dinámica de la Bomba.

$$H_b = h_f + Z_2 - Z_1$$

- **Altura dinámica de la Bomba (HDT)**

Por medio la Ecuación 9, obtenemos:

$$H_{Bomba} = HDT = H_{geodesica} + H_{perdida}$$

Se asume lo siguiente:

$$H_{geodesica} = 4 + 26 = 30 \text{ m}$$

$$H_f = H_s + H_d$$

$$H_f = 0.752 + 13.01$$

$$H_f = 13.753 \text{ m} \approx 13.75 \text{ m}$$

Reemplazando resultados de $H_{geodesica}$ y H_f en la Ecuación 9, obtenemos:

$$H_{Bomba} = HDT = 30 \text{ m} + 13.75 \text{ m}$$

$$H_{Bomba} = HDT = 43.75 \text{ m}$$

- **Potencia de la Bomba - Potencia de consumo**

Se calculará por medio de la Ecuación 10:

$$P_b = \frac{\gamma \times H_b \times Q}{n}$$

Donde:

n: eficiencia de la bomba

$$n = 0.7 \approx 70\%$$

$$\gamma = 9790 \text{ N/m}^3$$

$$H_b = 43.75$$

Luego reemplazando, obtenemos:

$$P_b = \frac{9790 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 43.75 \text{ m} \times 1.111 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{0.7}$$

$$P_b = 679.79 \text{ W}$$

- **Potencia Instalada**

Energía entregada al motor, la cual se calcula mediante la Ecuación 11:

$$P_m = \frac{P_b}{n_m}$$

$$n_m = \text{eficiencia del motor} = 90\%$$

$$P_m = \frac{679.79 \text{ w}}{0.9}$$

$$P_m = 755.32 \text{ w} \times \frac{1 \text{ Hp}}{746 \text{ w}} = 1.01 \text{ Hp}$$

Por lo tanto, seleccionaremos una bomba próxima superior al valor calculado, seleccionaremos una bomba de 3 Hp, ya que es comercialmente más accesible.

- **NPSH**

Se determina utilizando la Ecuación 12.

$$NPSHA = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Reemplazando datos:

$$h_{sp} = \frac{P}{\gamma}$$

Del anexo 4 obtenemos los datos de la presión atmosférica a 450 m.s.n.m

$$P_{abs} = 0.948 \text{ atm} \times \frac{101325 \frac{N}{m^2}}{1 \text{ atm}}$$

$$P_{abs} = 96.056 \frac{KN}{m^2}$$

Mediante la tabla 6 del ANEXO 2 a 20 °C obtenemos el peso específico:

$$\gamma = 9.79 \frac{KN}{m^3}$$

Reemplazando valores, obtenemos la carga de presión:

$$h_{sp} = \frac{96.056 \frac{KN}{m^2}}{9.79 \frac{KN}{m^3}}$$

$$h_{sp} = 9.81 \text{ m}$$

Ahora reemplazando el valor de la pérdida de carga de la succión (h_{fs}):

$$h_{fs} = 0.752 \text{ m}$$

Reemplazamos la altura de succión (h_s) calculado anteriormente:

$$h_s = 4 \text{ m}$$

El Anexo 3, la tabla 7 nos permite obtener los datos de P_{vp} a 30 °C:

$$h_{vp} = 0.4348 \text{ m}$$

Por lo tanto, reemplazamos los valores y obtenemos el NPSH:

$$NPSH_{disponible} = 9.81 - 4 - 0.752 - 0.4348$$

El signo de h_s es negativo, porque la bomba está por encima del depósito de agua.

Reemplazando valores obtenemos el NPSH:

$$NPSH_{disponible} = 4.62 \text{ m}$$

Del anexo x, catálogo de bombas Pedrollo obtenemos la bomba con frecuencia 60 Hz, 3450 rpm, la bomba seleccionada es: CP 210C

Entonces el $NPSH_{Disponible} = 4.62 \text{ m}$, según catálogo el $NPSH_{Disponible}$ es superior que el $NPSH_{requerido} = 1.1 \text{ m}$, requerido o calculado, por lo tanto, no habrá riesgo de cavitación.

3.1.3 Diseño del sistema fotovoltaico

El diseño del sistema fotovoltaico, se realizará en relación a la carga y voltaje.

La presente tesis, ha diseñado el sistema para que trabaje por medio de una electrobomba, de lo cual se tiene:

$$P_2 = 3 \text{ Hp} = 2.235 \text{ Kw}$$

Para la presente investigación necesitamos calcular la potencia P_1 del motor:

$$P_1 = \frac{P_2}{n}$$

Mediante el Anexo 7 Tabla 10, obtenemos la eficiencia del motor clase IE3:

$$n = 0.87$$

Reemplazamos para obtener:

$$P_1 = \frac{2\,235 \text{ W}}{0.87}$$

$$P_1 = 2568.96 \text{ W} \approx 2.569 \text{ kW}$$

- **Potencia del generador fotovoltaico**

Ya obtenidos los parámetros eléctricos del motor, se procede a calcular la potencia solar fotovoltaica instalada, mediante la ecuación 14:

$$P_G = 1.15 \times P_1$$

Donde:

$$P_2 = 2.2 \text{ Kw}$$

$$P_1 = 2.569 \text{ Kw}$$

$$I_m = 5.1 \text{ A}$$

$$V_m = 3 \sim 380 \text{ VAC}$$

Reemplazando:

$$P_G = 2569 \text{ w} \times 1.15$$

$$P_G = 2954 \text{ W}$$

Se calcula el número de módulos mediante la siguiente ecuación:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{P_G}{P_w}$$

$$N_{\text{módulos}} = \frac{2954 \text{ w}}{330 \text{ w}}$$

$$N_{\text{módulos}} = 8.95 \approx 9$$

Para suministrar los 2.95 Kw serán necesario como mínimo 9 módulos de 330 W_p. Para la presente investigación usaremos 15 módulos conectados en serie.

Teniendo una potencia instalada de 4950 W.

- **Inclinación del generador solar fotovoltaico**

La página Web de la NASA <https://power.larc.gov/data-access-viewer> nos brinda información de la radiación y ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, del Anexo 1 tomamos los datos las coordenadas de la ciudad Ica -14.0667, -75.7333 obteniendo la siguiente tabla de valores:

Tabla 4. Radiación solar diaria ($\frac{kW}{m^2 \times día}$)

Latitud	Longitud	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	P. Año
-14.0667	-75.7333	S. Inclinada °0	6.54	6.3	6.55	5.86	5.08	4.28	4.25	4.74	5.71	6.5	6.77	6.84	5.79
-14.0667	-75.7333	S. Inclinada °14	6.61	6.1	6.61	6.25	5.7	4.87	4.76	5.1	5.87	6.37	6.81	6.97	6
-14.0667	-75.7333	S. Inclinada °29	6.36	5.58	6.33	6.34	6.05	5.24	5.05	5.22	5.74	5.91	6.5	6.75	5.92
-14.0667	-75.7333	S. Inclinada °90	2.58	1.54	2.18	3.33	4.03	3.77	3.49	3.08	2.47	1.65	2.36	2.82	2.77
-14.0667	-75.7333	Orientación	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N

Fuente. <https://power.larc.gov/data-access-viewer>

Seleccionando la inclinación a 14°, debido que en promedio anual recibiremos más energía en ese ángulo.

- **Calculo de voltaje del generador fotovoltaico**

La ecuación 15 nos permite analizar el voltaje del generador:

$$V_{in} > 1.4 \times V_n$$

Del anexo 9 obtenemos los parámetros eléctricos del módulo 330 W_p:

$$V_{mpp} = 37.8 \text{ V}, I_{mpp} = 8.74 \text{ A}, V_{oc} = 46.9, I_{sc} = 9.14 \text{ A a}$$

$$V_n = 380 \text{ VAC}$$

$$\# \text{ Modulo}_{\text{serie}} = 15$$

Reemplazando:

$$V_{in} = 37.8 \times 15$$

$$V_{in} = 567 \text{ V}$$

$$567 > 1.4 \times 380 \rightarrow 567 \text{ V} > 532 \text{ V}$$

El voltaje del arreglo fotovoltaico es 567 V mayor al voltaje recomendado

- **Voltaje de cortocircuito del sistema fotovoltaico**

De acuerdo a la ecuación 16:

$$V_{vasco} > V_{oc}$$

Del anexo x obtenemos el Voltaje de cortocircuito del vasco solar:

$$V_{vasco} = < 320 - 850 >$$

Habiendo analizado las necesidades eléctricas del motor, y parámetros eléctricos del sistema fotovoltaicos elegimos el Vasco 409.

Reemplazando:

$$V_{oc} = 15 \times 46.9$$

$$V_{oc} = 703.5 \text{ V}$$

El voltaje de cortocircuito es 703.5 V encontrándose dentro del rango de funcionamiento del vasco solar < 320 – 850 >

Por lo tanto, el sistema constara de 15 módulos 330 W_p conectados en serie, Vasco Solar 409.

- **Selección de calibre del conductor del motor**

Para obtener el calibre del conductor eléctrico se considera la Corriente nominal del motor (I_n), el cual se calcula usando la ecuación 17:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times n \times \cos(\theta)}$$

Mediante el anexo 7, tabla 10 motores eléctricos eficiencia IE3:

$$\cos(\theta) = 0.86 \quad \wedge \quad n = 0.873$$

Dado que el voltaje nominal del motor es 380 VAC, reemplazamos valores y obtenemos:

$$I = \frac{2235 \text{ w}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 0.873 \times 0.86}$$

$$I = 4.5 \text{ A}$$

$$I_d = 1.25 \times 4.5 \text{ A}$$

$$I_d = 5.6 \text{ A}$$

Considerando el Anexo 10, tabla 11 corresponde el conductor eléctrico de 6.0 mm² calibre 10 AWG.

- **Selección del calibre del conductor para el sistema fotovoltaico**

Mediante la ecuación 18 calculamos la corriente que permitirá calcular el conductor ideal:

$$I_d = I_{sc} \times 1.25$$

Donde:

I_d : Corriente de diseño (A)

I_{sc} : Corriente de cortocircuito (A)

El sistema fotovoltaico cuenta con 15 módulos todos conectados en serie.

Del Anexo 9 obtenemos el valor del módulo fotovoltaico:

$$I_{sc} = 9.14 \text{ A}$$

Reemplazamos en la ecuación:

$$I_d = 9.14 \text{ A} \times 1.25$$

$$I_d = 11.4 \text{ A}$$

Tomando en cuenta el Anexo 10, tabla 11 corresponde el conductor eléctrico de 6.0 mm^2 calibre 10 AWG.

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1. Resultados obtenidos

4.1.1 Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico

- El sistema funcionará con energía solar, la cual es recibida y convertida en electricidad por los módulos fotovoltaicos, el VASCO solar acondicionará la potencia recibida de los módulos fotovoltaicos y la entregara al motor de la bomba para su correcto funcionamiento, el cual se utilizará una electrobomba para el transporte de agua mediante tuberías. El sistema fotovoltaico constará de los siguientes equipos:
 - 15 módulos fotovoltaicos de 330 W conectados en serie, teniendo una capacidad instalada de 4,95 kW cubriendo la potencia necesaria por el sistema de bombeo.
 - VASCO solar 409 acondicionara la potencia proveniente de los módulos, y la entregara al motor, protegiendo también de sobrecargas.
 - Electrobomba de 3 HP seleccionada para los parámetros hidráulicos ya calculados.
 - El conductor eléctrico 10 AWG seleccionado para el tramo Generador fotovoltaico – VASCO solar
 - El conductor eléctrico 10 AWG seleccionado para el tramo VASCO solar – electrobomba
 - La tubería seleccionada para la succión será de 1 ½ pulgadas hierro galvanizado.
 - La tubería seleccionada para la descarga será de 1 pulgadas hierro galvanizado.
- El bombeo se realizará en un solo turno de 6:30 am a 5:30 pm debido a que en esas horas tenemos la presencia de brillo solar en la ciudad de Ica.
- El caudal de diseño se calculó en 4 m³/hr el cual variara a lo largo del día de acuerdo a la radiación que reciban los módulos fotovoltaicos.

4.1.2 Costo de componentes y equipos

Tabla 5

Costo de componentes y equipos del sistema de bombeo fotovoltaico.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.
Materiales y equipos					
1	Tubería de Ø 1 1/2" hierro galvanizado	metro	8	50	400.00
2	Tubería de Ø 1" hierro galvanizado	metro	40	40	1600.00
3	Válvula check de pie Ø 1 1/2"	unidad	1	90.00	90.00
4	Válvula duplocheck Ø 1"	unidad	1	70.00	70.00
5	Válvula mariposa Ø 1"	unidad	1	45.00	45.00
6	Codo 90° Ø 1"	unidad	4	4.50	18.0
7	Codo 90° Ø 1 1/2"	unidad	1	7.0	7.00
8	Unión Ø 1" x Ø 1"	unidad	1	30.00	30.00
9	Union Ø 1 1/2" x 1 1/2"	unidad	2	35.00	70.00
10	Manómetro Ø 1" 60 psi	unidad	1	15.00	80.00
11	Electrobomba 3 Hp	unidad	1	2875	2875
12	VASCO solar 409	unidad	1	6400.00	6400.00
13	Modulo fotovoltaico 330 W _p	unidad	15	599.00	8985 .00
14	Conductor NYY 6 mm ²	metro	50	7.60	380.00
15	Puesta a tierra tipo varilla	unidad	1	300.00	300.00
16	Porta fusible	unidad	2	20.00	40.00
17	Fusible 32A	unidad	6	29.00	165.00
18	Accesorios (pernos,conectores,etc)	unidad	1	300.00	300.00
Costo Total S/.					21 855.00

DISCUSION

Esta investigación tiene como finalidad “Diseñar un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar fotovoltaica” teniendo como locación Ica, se reconocieron y se describieron las variables que permiten optimizar y hacer más rentable el bombeo con energía solar fotovoltaica. Sobre el área de estudio, también se reconocieron factores necesarios para el diseño: radiación que recibe la región de Ica.

De los resultados que se obtuvieron en esta investigación, se aprecia que el sistema de bombeo solar diseñado es rentable, eso se debe que la electricidad generada por los módulos fotovoltaicos proviene del Sol la cual no tiene costo alguno, a diferencia de la energía eléctrica de la red que si tiene un costo establecido.

El sistema constará de 1 electrobomba la cual funcionará por horas, lo cual evita que se ponga en riesgo el abastecimiento de agua. Dado que caso de mantenimiento, tendrá un lapso de tiempo prudente y no se verá afectada la necesidad de agua.

Además, con el uso de la energía solar se aporta a reducir los gases de efecto invernadero, debido a que se trata de una fuente energética limpia e ilimitada.

CONCLUSIONES

- Se concluye que es viable usar energía solar como fuente energética para el funcionamiento del sistema de bombeo, debido a que la región Ica es privilegiada con el clima y la radiación solar ideal, ya que es una de las zonas a nivel nacional con los niveles de radiación solar más altos.
- Se concluye que, con el uso del sistema de bombeo solar fotovoltaico, se optimiza el dinero y tiempo, ya que la energía solar es gratuita e ilimitada, haciendo rentable el uso de esta tecnología.
- Se concluyó que el caudal va a variar de acuerdo a la radiación que reciban los módulos fotovoltaicos, el caudal nominal de la bomba se alcanzará aproximadamente al medio día ya que a esa hora se recibe la mayor radiación solar, por ende, se alcanza la potencia nominal de la bomba.
- Se concluye que el sistema de bombeo no funcionara en horas de la noche, debido a que no se tiene presencia solar.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener una electrobomba de respaldo con la finalidad de que, en una futura falla de la electrobomba seleccionada, no se afecte el abastecimiento de agua.
- Se recomienda, si se desea bombear en horas de la noche, se utilice un generador de respaldo, o energía de la red eléctrica nacional.
- En caso se requiera utilizar el sistema de bombeo en las noches, se recomienda bombear toda el agua posible en horas Sol hacia un recipiente elevado, almacenando el agua y la energía potencia que contiene, posteriormente por gravedad hacer el uso en las noches sin requerir el uso de una fuente adicional de energía.
- En caso del interés por parte de una persona en instalar un sistema de bombeo, opte por uno solar, ya que a largo plazo le traerá más beneficios económicos, que un sistema de bombeo con gasolina, o diesel.

BIBLIOGRAFIA

- Cinchilla Sánchez, Monica “Apuntes de Dimensionado y puesta en marcha de instalaciones para bombeo solar fotovoltaico” Grupo de tecnologías apropiadas. UC3M.
- Varios autores. “Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica”. Sandia National Laboratories. 2001
- Abella, Miguel Alonso “Sistemas Fotovoltaicos: Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica”. Segunda edición 2005.
- Gerencia Energética “Manual de sistemas de bombeo solar” 2018.
- McCABE, Warren L. y SMITH, Julian C. Operaciones unitarias en ingeniería química. México: Editorial Mc Graw Hill, 2001.
- PAVLOV, K. F.; ROMANKOV, P. G. y NOSKOV, A. A. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Moscú: editorial MIR, 1991.
- VALIENTE V., Antonio y NORIEGA B., Jaime. Manual del ingeniero químico. México: Editorial Limusa, 1993.
- PERRY, R. H.; GREEN, D. W. y MOLONEY, J. O. Manual del ingeniero químico (Tomo III). México: Editorial Mc Graw Hill, 2000.
- CALLEJA P., G.; GARCIA H., F.; De LUCAS M. A.; PRATS R.,D. y RODRIGUEZ M., J.M. Introducción a la ingeniería química. España: Editorial Síntesis, 2007.

Fuentes electrónicas

- www.soliclima.es
- www.yubasolar.net
- <https://es.m.wikipedia.org>
- www.globalnature.org
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?lang=en&map=europe>
- www.imesol.es
- <https://es.wikipedia.org/wiki/lca>
- <http://www.sensaciones.org/down/tablasbuceo15.pdf>
- <https://www.pedrollo.com/es/productos/catalogoCP>
- <https://www.promelsa.com.pe/pdf/1000668.pdf>

ANEXO 01

Ubicación de la región de Ica



Localización de Ica en Perú

Coordenadas	14°04'00"S 75°44'00"O / -14.0666666666667, -75.7333333333333
Idioma oficial	Castellano
Entidad	Ciudad
<ul style="list-style-type: none">• País• Departamento• Provincia	<ul style="list-style-type: none"> Perú Ica Ica
Alcalde	Emma Luisa Mejía Venegas (2019-2022)
Subdivisiones	Distritos (14)
Eventos históricos	
<ul style="list-style-type: none">• Fundación• Nombre	<ul style="list-style-type: none">17 de junio de 1563 (456 años) (Jerónimo Luis de Cabrera)Villa de Valverde del Valle de Ica
Superficie	
<ul style="list-style-type: none">• Total	7894 km²
Altitud	
<ul style="list-style-type: none">• Media	406 m s. n. m.
Población (2017)	Puesto 13.º
<ul style="list-style-type: none">• Total• Densidad	<ul style="list-style-type: none">282 407 hab.958 6, hab/km²
Gentilicio	Iqueño/Iqueña
Huso horario	UTC-5
Código postal	11000
Prefijo telefónico	56
ISO 3166-2	PE-ICA

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ica>

ANEXO 02

Tabla 6. Propiedades del agua

TABLAS PARA RESOLVER EJERCICIOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS

1. PROPIEDADES DE AGUA (S.I.)

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: Robert L. Mott (Mexico, 2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág 295

ANEXO 3

Tabla 7. Presión de vapor del agua

Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua

Temperatura °C	Presión de vapor kPa (abs)	Peso especifico (kN/m ³)	Carga de presión de vapor (m)	Temperatura °C	Presión de vapor (psia)	Peso especifico (lb/ft ³)	Carga de presión de vapor (pie)
0	0.6105	9.806	0.06226	32	0.08854	61.42	0.2043
5	0.8722	9.807	0.08894	40	0.1217	62.43	0.2807
10	1.228	9.804	0.1253	50	0.1781	62.41	0.4109
20	2.338	9.789	0.2388	60	0.2963	62.37	0.5917
30	4.243	9.765	0.4345	70	0.3631	62.30	0.8393
40	7.376	9.731	0.7580	80	0.5069	62.22	1.173
50	12.33	9.690	1.272	90	0.6979	62.11	1.618
60	19.92	9.642	2.066	100	0.9493	62.00	2.205
70	31.16	9.589	3.250	120	1.692	6.71	3.948
80	47.34	9.530	4.967	140	2.888	61.38	6.775
90	70.10	9.467	7.405	160	4.736	61.00	11.18
100	101.3	9.399	10.78	180	7.507	61.58	17.55
				200	11.52	60.12	27.59
				212	14.69	59.83	35.36

Fuente: Robert L. Mott (México, 2006) Mecánica de Fluidos 6ta Edición, Ed Pearson, Pág. 413

ANEXO 04

Tabla 8. Presión atmosférica según la altura

EQUIVALENCIAS DE PRESION ATMOSFERICA SEGUN LA ALTITUD

Altitud Metros	Presion Milbares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica	Altitud Metros	Presion Milbares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica
0	1013	760	1,000	3000	701	526	0,692
50	1007	756	0,994	3050	697	523	0,688
100	1001	751	0,988	3100	692	519	0,683
150	995	747	0,982	3150	688	516	0,679
200	989	742	0,977	3200	683	513	0,674
250	984	738	0,971	3250	679	509	0,670
300	978	733	0,965	3300	675	506	0,666
350	972	729	0,959	3350	670	503	0,662
400	966	725	0,953	3400	666	500	0,657
450	960	720	0,948	3450	662	496	0,653
500	955	716	0,942	3500	658	493	0,649
550	949	712	0,936	3550	653	490	0,645
600	943	707	0,931	3600	649	487	0,641
650	938	703	0,925	3650	645	484	0,637
700	932	699	0,920	3700	641	481	0,632
750	926	695	0,914	3750	637	478	0,628
800	921	691	0,909	3800	633	475	0,624
850	915	686	0,903	3850	629	471	0,620
900	910	682	0,898	3900	624	468	0,616
950	904	678	0,892	3950	620	465	0,612
1000	899	674	0,887	4000	616	462	0,608
1050	893	670	0,882	4050	612	459	0,604
1100	888	666	0,876	4100	608	456	0,600
1150	883	662	0,871	4150	604	453	0,597
1200	877	658	0,866	4200	600	450	0,593
1250	872	654	0,860	4250	597	447	0,589
1300	867	650	0,855	4300	593	445	0,585
1350	861	646	0,850	4350	589	442	0,581
1400	856	642	0,845	4400	585	439	0,577
1450	851	638	0,840	4450	581	436	0,573
1500	846	634	0,834	4500	577	433	0,570
1550	840	630	0,829	4550	573	430	0,566
1600	835	626	0,824	4600	570	427	0,562
1650	830	623	0,819	4650	566	424	0,559
1700	825	619	0,814	4700	562	422	0,555
1750	820	615	0,809	4750	558	419	0,551
1800	815	611	0,804	4800	555	416	0,548
1850	810	607	0,799	4850	551	413	0,544
1900	805	604	0,794	4900	547	411	0,540
1950	800	600	0,789	4950	544	408	0,537
2000	795	596	0,785	5000	540	405	0,533
2050	790	593	0,780	5050	537	402	0,530
2100	785	589	0,775	5100	533	400	0,526
2150	780	585	0,770	5150	529	397	0,523
2200	775	582	0,765	5200	526	394	0,519
2250	771	578	0,761	5250	522	392	0,516
2300	766	574	0,756	5300	519	389	0,512
2350	761	571	0,751	5350	515	387	0,509
2400	756	567	0,746	5400	512	384	0,505
2450	752	564	0,742	5450	508	381	0,502
2500	747	560	0,737	5500	505	379	0,498
2550	742	557	0,732	5550	502	376	0,495
2600	737	553	0,728	5600	498	374	0,492
2650	733	550	0,723	5650	495	371	0,488
2700	728	546	0,719	5700	492	369	0,485
2750	724	543	0,714	5750	488	366	0,482
2800	719	539	0,710	5800	485	364	0,479
2850	715	536	0,705	5850	482	361	0,475
2900	710	533	0,701	5900	478	359	0,472
2950	706	529	0,696	5950	475	356	0,469

Fuente: <http://www.sensaciones.org/down/tablasbuceo15.pdf>

ANEXO 05

Tabla 9. Dimensiones de tuberías de acero cedula 40

Tamaño nom. de tubería	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior		Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
1/4	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	6.8	0.00039	3.66 x10 ⁻⁵
1/2	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	12.5	0.00133	1.236 x10 ⁻⁵
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	20.9	0.0037	3.44 x10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	26.6	0.006	5.74 x10 ⁻⁴
1 ¼	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	35.1	0.010	9.65 x10 ⁻⁴
1 ½	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	40.9	0.014	1.31 x10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	52.5	0.023	2.168 x10 ⁻³
2 ½	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	62.7	0.033	3.09 x10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	77.9	0.051	4.77 x10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	90.1	0.068	6.38 x10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	102.3	0.088	8.21 x10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	128.2	0.139	1.29 x10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	154.1	0.200	1.86 x10 ⁻²

D

S

Fuente: Robert L. Mott. (México, 2006) Mecánica de Fluidos 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 601

ANEXO 6

Catalogo de bomba Pedrollo

CP

Electrobombas centrífugas

-  Agua limpia
-  Utilizo civil
-  Utilizo agricola
-  Utilizo industrial



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **900 l/min** (54 m³/h)
- Altura manométrica hasta **110 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente de **-10 °C** hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba **11 bar**
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

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

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizzo en el sector civil, agrícola e industrial, para el suministro de agua, para instalaciones de acondicionamiento o de enfriamiento, para la irrigación, etc.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado n° 002098434 para CP 160, CP210
- Modelo italiano registrado n° 72753 para CP 680, CP 700, 750

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Sello mecánico especial
- Eje motor en acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4401 (AISI 316) para CP 680, CP 700, 750
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 160

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

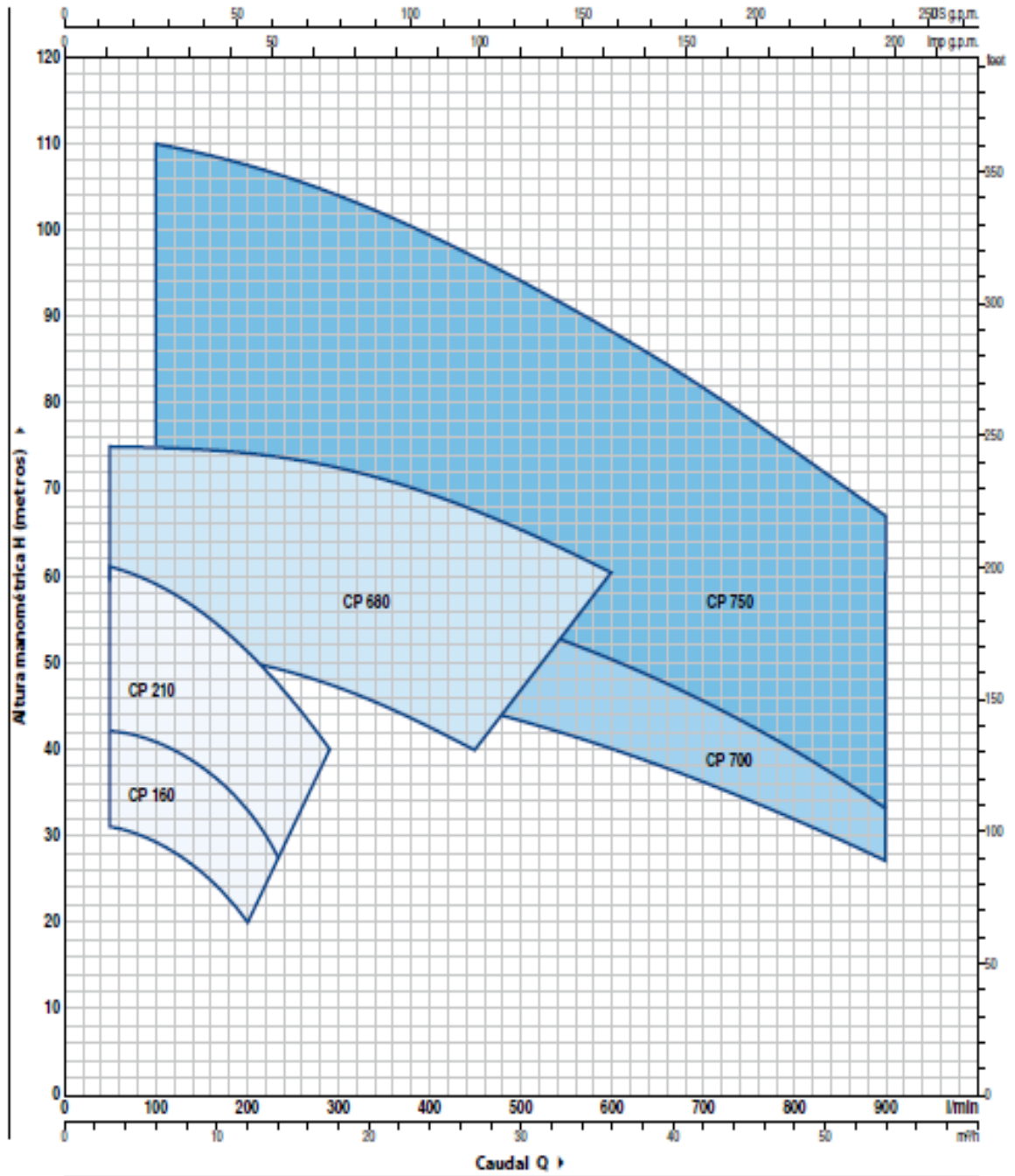
Fuente: <https://www.pedrollo.com/es/productos/catalogoCP>

Catalogo de bomba Pedrollo



CAMPO DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



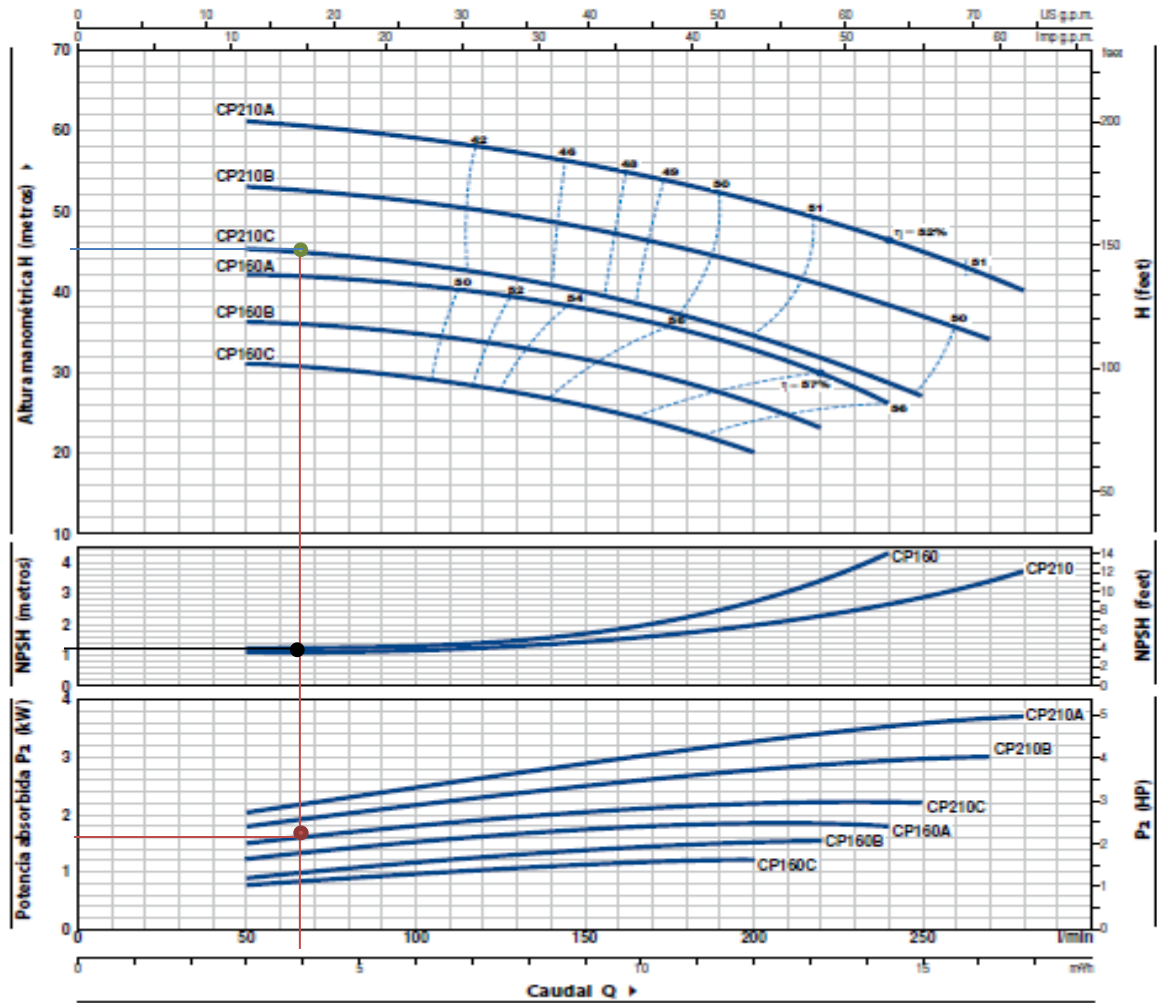
Fuente: <https://www.pedrollo.com/es/productos/catalogoCP>

Catálogo de bomba Pedrollo

CP 160-210

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P ₂)			Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP	▲		0	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.2	14.4	15	16.2	16.8			
CPm 160C	CP 160C	1.1	1.5	IE2	0	50	75	100	125	150	175	200	220	240	250	270	280				
CPm 160B	CP 160B	1.5	2		32	31	30.5	29.5	28	26	23	20									
-	CP 160A	2.2	3		37	36	35.5	34.5	33.5	31.5	29	26.5	23								
CPm 210C	CP 210C	2.2	3	IE3	43	42	41.5	40.5	39.5	38	35.5	33	30	26							
-	CP 210B	3	4		46	45.5	44.5	43.5	42	40	37.5	34.5	32	28.5	27						
-	CP 210A	4	5.5		54	53	52	51	49.5	48	45.5	43	40	38.5	37	34					
-					61	61	60	59	57.5	56	53.5	51	49	46.5	45	42	40				

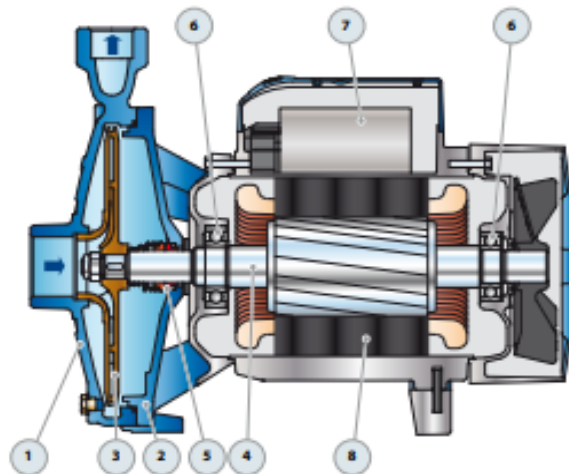
Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

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

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30)

Catalogo de bomba Pedrollo

POS.	COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS				
1	CUERPO BOMBA	Hierro fundido con bocas roscadas ISO 228/1				
2	TAPA	Hierro fundido				
3	RODETE	Latón				
4	EJE MOTOR	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104				
5	SELLO MECANICO	<i>Electrobomba</i>	<i>Sello</i>	<i>Eje</i>	<i>Materiales</i>	
		<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i> <i>Elastómero</i>
		CP 160	FN-18	Ø 18 mm	Grafito	Cerámica NBR
		CP 210	FN-24	Ø 24 mm	Grafito	Cerámica NBR
6	RODAMIENTOS	<i>Electrobomba</i>	<i>Modelo</i>			
		CP 160	6204 ZZ / 6204 ZZ			
		CP 210	6206 ZZ - C3 / 6205 ZZ			
7	CONDENSADOR	<i>Electrobomba</i>	<i>Capacidad</i>			
		<i>Monofásica</i>	(220 V)	(110 V o 127 V)		
		CPm 160C	31.5 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL		
		CPm 160B	45 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL		
		CPm 210C	70 µF - 450 VL	-		
8	MOTOR ELECTRICO	CPm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado (hasta 1.5 kW).				
		CP: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.				
		⇒ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P ₂ =1.1 kW y en clase IE3 desde P ₂ =1.5 kW (IEC 60034-30-1)				
		- Aislamiento: clase F - Protección: IP X4				

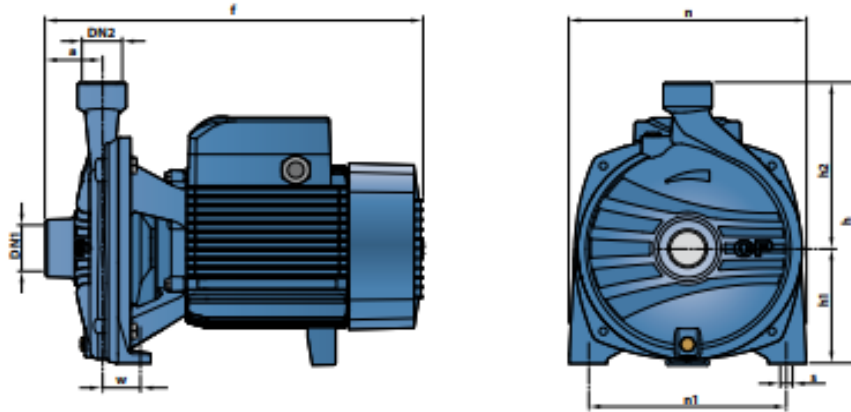


Fuente: <https://www.pedrollo.com/es/productos/catalogoCP>

Catalogo de bomba Pedrollo



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm									kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	n	n1	w	s	1~	3~
CPm 160C	CP 160C	1½"	1"	54	373	260	110	150	207	165	44.5	11	19.7	17.7
CPm 160B	CP 160B												21.0	21.0
-	CP 160A												-	21.0
CPm 210C	CP 210C			60	402	305	125	180	252	210	39.5	11	26.0	27.5
-	CP 210B												-	30.0
-	CP 210A												-	32.0

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
	220 V	110 V	127 V
CPm 160C	9.0 A	18.0 A	16.5 A
CPm 160B	10.5 A	21.0 A	19.3 A
CPm 210C	15.0 A	-	-

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
CP 160C	6.1 A	3.5 A	5.5 A	3.0 A
CP 160B	6.9 A	4.0 A	6.9 A	3.7 A
CP 160A	9.5 A	5.5 A	9.2 A	4.9 A
CP 210C	9.0 A	5.1 A	8.6 A	4.8 A
CP 210B	13.0 A	7.5 A	11.5 A	6.0 A
CP 210A	18.2 A	10.5 A	16.0 A	9.0 A

Fuente: <https://www.pedrollo.com/es/productos/catalogoCP>

ANEXO 7

Tabla 10. Eficiencia IE3 de motores electricos

DATOS ELECTRICOS

MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Rotor en jaula de ardilla.

Ventilación exterior IC 411, servicio continuo S1.

Aislamiento clase 155 (F), grado de protección IP 55.

Motores de aluminio serie **IE3-MS**

Motores de Fundición serie **IE3-EG**

Velocidad síncrona 3000 rpm - 2 polos

400 V, 50 Hz

TIPO	Potencia		M _n N.m	n rpm	Eficiencia clase IE3 EN 60034-2-1			I _{400V} A	I _{400V} /I _n	Cosφ	M _v /M _n	M _f /M _n	J kgm ²	Nivel sonoro dB(A)	m Kg
	kW	CV			100%	75%	50%								
Motores de Aluminio serie IE3-MS (***)	• IE3 - MS 71 3	- 0,75 1	2,50	2850	80,7	81,0	79,5	1,66	8	0,82	2,2	2,0		67	
	IE3 - MS 80 1	- 0,75 1	2,50	2850	80,7	81,0	79,5	1,62	8	0,83	2,2	2,0	0,000972	67	1,4
	IE3 - MS 80 2	- 1,1 1,5	3,65	2860	82,7	83,0	83,3	2,35	8	0,83	2,2	2,0	0,001275	67	13,3
	IE3 - MS 90 S	- 1,5 2	4,98	2860	84,2	84,4	84,2	3,11	8	0,83	2,2	2,2	0,002186	72	15,8
	IE3 - MS 90 L1	- 2,2 3	7,31	2860	85,9	86,1	85,1	4,38	8,5	0,85	2,2	2,2	0,002636	72	16,7
	IE3 - MS 90 L2	- 3 4	10,07	2830	83,0	83,6	86,9	5,8	6	0,86	2,2	2,2		76	
	IE3 - MS 100 L1	- 3 4	9,90	2880	87,1	87,3	86,9	5,8	8,5	0,86	2,2	2,2	0,004842	76	25,9
	IE3 - MS 112 M	- 4 5,5	13,19	2880	88,1	88,3	87,2	7,65	8,5	0,86	2,2	2,2	0,007505	77	34,4
	IE3 - MS 132 S1	- 5,5 7,5	18,08	2890	89,2	89,4	88,1	10,1	8,5	0,88	2,2	2,2	0,015212	80	48
	IE3 - MS 132 S2	- 7,5 10	24,48	2910	90,1	90,3	90,7	13,7	8,5	0,88	2,2	2,2	0,018996	80	61,3
	IE3 - MS 160 M1	- 11 15	35,67	2930	91,2	91,4	89,5	19,4	8,5	0,90	2,2	2,2	0,059613	86	89,5
	IE3 - MS 160 M2	- 15 20	48,47	2940	91,9	92,2	90,2	26,3	8,5	0,90	2,2	2,2	0,076751	86	90,2
	IE3 - MS 160 L	- 18,5 25	59,78	2940	92,4	92,6	90,8	31,9	8,5	0,91	2,2	2,2	0,092252	86	90,8
	Motores de Fundición serie IE3-EG	IE3 - EG 160 M1	- 11 15	35,73	2940	91,2	91,1	89,6	19,6	7,7	0,89	2,2	2,3	0,0437	79
IE3 - EG 160 M2		- 15 20	48,72	2940	91,9	91,8	90,4	26,5	7,8	0,89	2,2	2,3	0,0554	79	160
IE3 - EG 160 L		- 18,5 25	60,09	2940	92,4	92,3	91,0	32,5	7,8	0,89	2	2,3	0,0638	79	175
IE3 - EG 180 M		- 22 30	71,22	2950	92,7	92,6	91,3	38,5	7,3	0,89	2	2,3	0,0922	80	215
IE3 - EG 200 L1		- 30 40	96,79	2960	93,3	93,2	92,0	52,1	7,4	0,89	2	2,3	0,1571	82	290
IE3 - EG 200 L2		- 37 50	119,4	2960	93,7	93,6	92,5	64,0	7,4	0,89	2	2,3	0,1691	82	310
IE3 - EG 225 M		- 45 60	144,7	2970	94,0	93,9	92,9	77,6	7,4	0,89	2	2,3	0,3161	84	390
IE3 - EG 250 M		- 55 75	176,9	2970	94,3	94,2	93,3	94,6	6,9	0,89	2,2	2,3	0,3595	80	520
IE3 - EG 280 S		- 75 100	240,4	2980	94,7	94,6	93,7	128	6,9	0,89	2	2,3	0,6682	81	680
IE3 - EG 280 M		- 90 125	288,4	2980	95,0	94,9	94,0	154	7	0,89	2	2,2	0,7770	81	725
IE3 - EG 315 S		- 110 150	352,5	2980	95,2	95,1	94,2	185	7	0,90	2	2,2	1,4572	84	940
IE3 - EG 315 M		- 132 180	423,0	2980	95,4	95,3	94,4	222	7,1	0,90	2	2,2	1,6059	84	1050
IE3 - EG 315 L1		- 160 220	512,8	2980	95,6	95,5	95,0	265	7,1	0,91	2	2,2	2,0817	84	1130
IE3 - EG 315 L2		- 200 270	640,9	2980	95,8	95,7	95,0	331	7,1	0,91	2	2,2	2,3791	84	1195
IE3 - EG 355 M	- 250 340	801,2	2980	95,8	95,7	95,0	414	7,1	0,91	2	2,2	4,3834	85	consultar	

Fuente. Catalogo de eficiencia IE1, IE2, IE3 2017.pdf

ANEXO 8

Catalogo Vasco Solar Nastec

VASCO Solar

**El inversor para
aplicaciones de
bombeo solar**



nastec.eu

NASTEC[®]
> we move it faster >

Fuente: Nastec-VASCO-solar-cat-ES-pdf

Catalogo Vasco Solar Nastec

El VASCO Solar es un variador que permite de convertir los sistemas de bombeo tradicional en sistemas de bombeo accionados mediante energía solar, renovable y amigables con el medio ambiente, utilizando las bombas existentes con motor trifásico de AC, significando esto un importante ahorro de energía y disponiendo de un sistema sustentable.

El VASCO Solar convierte el voltaje DC de los paneles fotovoltaicos en voltaje AC para accionar cualquier bomba con motor asíncrono trifásico.

La velocidad de la bomba se adapta en todo momento a la radiación solar disponible, maximizando la cantidad de agua bombeada y funcionando incluso en condiciones de baja radiación solar.

El VASCO Solar ofrece un protección total de la bomba contra sobrevoltaje, sobrecargas y funcionamiento en seco.



Diseñado para resistir

El VASCO Solar está completamente fabricado en aluminio para asegurar la máxima refrigeración y durabilidad.

Todas las partes metálicas son fabricadas en acero inoxidable AISI 304 siendo altamente resistente a la corrosión y a factores climáticos.

La protección IP65 que posee permite instalarlo en exteriores. Dos ventiladores externos independientes y uno interno proporcionan una óptima refrigeración incluso en los climas más extremos.

El funcionamiento de los mismos está controlado en función de la temperatura ambiente permitiendo así una larga vida de servicio.

Catálogo Vasco Solar Nastec

Especificaciones técnicas

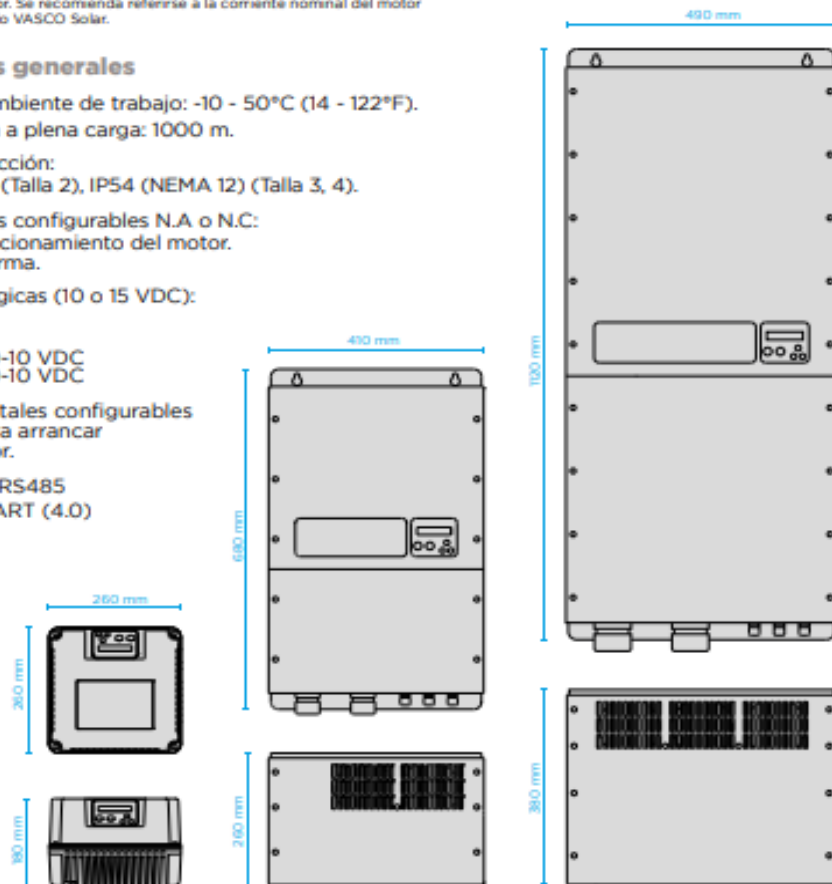
Modelo	Vin VDC	Vin, P1 nom* VDC	Max Vout VAC	Max I out A	Potencia motor P2** VAC	Potencia motor P2** kW	Peso Kg	Talla
VASCO Solar 212	160 - 650	> 320	3 x 230	12	3 x 230	2,2	8,2	2
VASCO Solar 409	320 - 850	> 560	3 x 400	9	3 x 400	3	8,3	2
VASCO Solar 412	320 - 850	> 560	3 x 400	12	3 x 400	4	8,5	2
VASCO Solar 415	320 - 850	> 560	3 x 400	15	3 x 400	5,5	8,5	2
VASCO Solar 418	320 - 850	> 560	3 x 400	18	3 x 400	7,5	8,5	2
VASCO Solar 425	320 - 850	> 560	3 x 400	25	3 x 400	11	8,5	2
VASCO Solar 430	320 - 850	> 560	3 x 400	30	3 x 400	15	8,7	2
VASCO Solar 438	320 - 850	> 560	3 x 400	38	3 x 400	18,5	28	3
VASCO Solar 448	320 - 850	> 560	3 x 400	48	3 x 400	22	28	3
VASCO Solar 465	320 - 850	> 560	3 x 400	65	3 x 400	30	28	3
VASCO Solar 485	320 - 850	> 560	3 x 400	85	3 x 400	37	28	3
VASCO Solar 4100	320 - 850	> 560	3 x 400	100	3 x 400	45	87	4
VASCO Solar 4118	320 - 850	> 560	3 x 400	118	3 x 400	55	87	4
VASCO Solar 4158	320 - 850	> 560	3 x 400	158	3 x 400	75	87	4
VASCO Solar 4198	320 - 850	> 560	3 x 400	198	3 x 400	93	87	4
VASCO Solar 4228	320 - 850	> 560	3 x 400	228	3 x 400	110	87	4
VASCO Solar 4268	320 - 850	> 560	3 x 400	268	3 x 400	132	87	4

*Voltaje de entrada necesaria para obtener el 100% de la potencia nominal del motor.

**Potencia típica del motor. Se recomienda referirse a la corriente nominal del motor para seleccionar el modelo VASCO Solar.

Características generales

- Temperatura ambiente de trabajo: -10 - 50°C (14 - 122°F).
- Altitud máxima a plena carga: 1000 m.
- Grado de protección: IP65 (NEMA 4) (Talla 2), IP54 (NEMA 12) (Talla 3, 4).
- Salidas digitales configurables N.A o N.C:
 1. Señal de funcionamiento del motor.
 2. Señal de alarma.
- Entradas analógicas (10 o 15 VDC):
 1. 4-20 mA
 2. 4-20 mA
 3. 4-20 mA o 0-10 VDC
 4. 4-20 mA o 0-10 VDC
- 4 entradas digitales configurables N.A. o N.C., para arrancar y parar el motor.
- MODBUS RTU RS485
Bluetooth® SMART (4.0)



Fuente: Nastec-VASCO-solar-cat-ES-pdf

ANEXO 9

Catalogo Modulo Solar JKM330P – 72 Jinko Solar

JKM330PP-72-DV

310-330 Vatios

MÓDULO POLICRISTALINO

Tolerancia positiva 0/+3%

Fábrica con certificación ISO9001-2008,
ISO 14001:2004, OHSAS 18001
Productos con certificación IEC61215, IEC61730



(4BB)





Principales características

- 
Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID):
 Células anti-PID y tecnología de encapsulación
 Módulo sin marco hace innecesaria la conexión a tierra
- 
Mayor rendimiento por más tiempo:
 Degradación anual de la potencia < 0.5%
 Garantía de potencia lineal de 30 años
- 
Reduciendo el coste del BOS:
 Diseñado para tensiones del sistema de hasta 1500VDC
- 
Resistencia en condiciones ambientales extremas:
 Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD
- 
Reducción de los requerimientos de mantenimiento preventivo:
 Un impacto reducido de la arena y la nieve requiere un menor mantenimiento y mejora el comportamiento en caso de fuego
- 
Diseño estéticamente agradable:
 El encapsulante en color blanco incrementa la eficiencia del módulo hasta el 16.97% (72-poly potencia máxima 330W); el encapsulante transparente, incrementa la transmisión de la luz
- 
Resistencia en condiciones climatológicas adversas:
 Certificado para soportar rachas de viento (2.400 Pascal) y cargas de nieve (5.400 Pascal).



GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

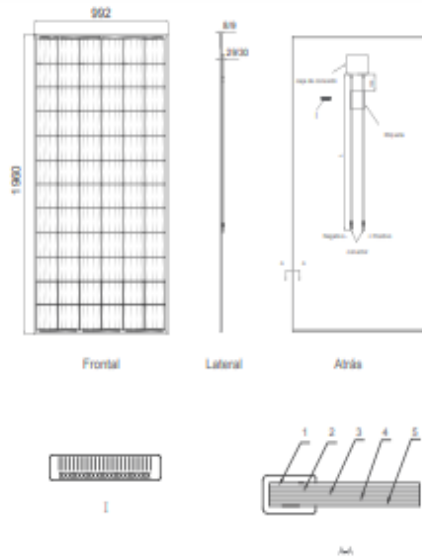
10 Años de garantía de producto • 30 Años de garantía de potencia lineal
Degradación anual del 0.5% durante 30 años!



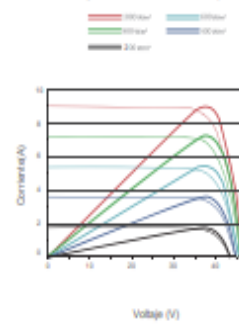
■ Nueva garantía de rendimiento lineal
 ■ Garantía de rendimiento estándar
 ■ Garantía lineal de la potencia

Fuente: Jinko-SP-MKT-330PP-72(4BB)-ES-pdf

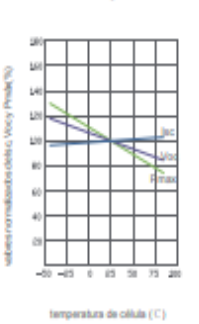
Catalogo Modulo Solar JKM330P – 72 Jinko Solar



Curvas de Intensidad-Tensión y potencia-tensión (310W)



Coefficiente de temperatura según Isc, Voc y Pmax



Embalaje

(Dos cajas = un palet)

30 pzs./caja, 60 pzs./caja, 660 pzs./40 'HQ' contenedores

Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156x156mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6x12)
Dimensiones	1960x992x8mm(77.17x39.05x0.32 inch, 2.0mm Glass) 1960x992x9mm(77.17x39.05x0.35 inch, 2.5mm Glass)
Peso	24kg(53 lbs, 2.0mm Glass) / 28.5kg(63 lbs, 2.5mm Glass)
Vidrio delantero	2.0/2.5 mm. Alta permeabilidad, tratamiento antirreflejante, vidrio semi-templado.
Vidrio trasero	2.0/2.5mm, vidrio semi-templado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TUV 1x4,0 mm', longitud:900 mm

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM310PP-DV		JKM315PP-DV		JKM320PP-DV		JKM325PP-DV		JKM330PP-DV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmáx)	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp	330Wp	248Wp
Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V)	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V
Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A)	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A	8.74A	6.97A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V	46.9V	44.2V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.1A	7.34A	9.14A	7.38A
Eficiencia del módulo (%)	15.94%		16.20%		16.46%		16.72%		16.97%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C									
Tensión máxima del sistema	1500VDC (IEC)									
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A									
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%									
Coefficiente de temperatura de PMAX	-0.40%/°C									
Coefficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C									
Coefficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C									
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C									

STC: ☀️ Radiación 1000 W/m² 📏 Célula módulo 25°C ☁️ AM=1.5

NOCT: ☀️ Radiación 800 W/m² 📏 Ambiente módulo 20°C ☁️ AM=1.5 🌀 Velocidad del viento 1m/s

Fuente: Jinko-SP-MKT-330PP-72(4BB)-ES-pdf

ANEXO 10

Tabla 11. Calibre de conductor eléctrico.

INDECO						
CAPACIDAD DE CORRIENTE						
CALIBRE AWG/MCM	SECCION mm ²	AIRE				
		TW-70	THW-75	TW-80	THW-90	THHW-90
14	2.08	25	30	28	35	35
	2.5	27	32	30	37	37
12	3.31	30	35	33	40	40
	4	32	40	35	45	45
10	5.26	40	50	44	56	56
	6	45	52	50	61	61
8	8.37	60	70	66	80	80
	10	67	78	74	88	88
6	13.3	80	95	88	107	107
	16	90	110	99	124	124
4	21.15	105	125	116	141	141
	25	120	140	132	158	158
2	33.62	140	170	154	192	192
	35	150	175	165	197	197
1/0	53.49	185	215	204	245	245
	50	195	230	215	260	260
2/0	67.43	225	265	248	300	300
	70	230	270	253	307	307
3/0	85.01	260	310	286	350	350
	95	275	330	303	375	375
4/0	107.2	300	360	330	406	406
	120	320	380	352	437	437
250	127	340	405	374	457	457
	150	375	440	413	501	501
300	152	375	445	413	505	505
	152	375	445	413	505	505

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	18 AWG	10 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	16 AWG	13 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A	14 AWG	18 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A	12 AWG	25 A

Fuente: <https://es.calameo.com/books>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

Presentado por:

JUAN CARLOS VIDALES GARCIA

Autor de la tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es **1% (PORCENTAJE DE SIMILITUD)** por lo cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud obtenido es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de Originalidad.

Ica, 22 de junio del 2021

SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA