



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECANICA

TITULO

Diseño de sistema de bombeo para riego de agua con la utilización de energía solar en la finca San Francisco, municipio de Nagarote, León.

AUTORES:

- Br. Pedro Rafael Olivas Álvarez.
- Br. Walter Alejandro Torrez Rugama.

TUTOR:

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez

Managua, 13 de enero del 2022

Titulo

Diseño de sistema de bombeo para riego de agua con la utilización de energía solar en la finca San Francisco, municipio de Nagarote, León

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios, porque me ha brindado la fuerza necesaria para poder sacar adelante mi carrera universitaria, por todo el conocimiento que me ha brindado y permitir cumplirme un sueño más con el que siempre soñé.

A mi madre **Ayda Verónica Álvarez**, que me dio todo su apoyo en estos años de carrera, siempre estuvo ahí cuando más la necesitaba dándome todo su apoyo y me impulso a salir adelante, le agradezco muchísimo por haberme formado y siempre ser una inspiración en mi vida.

A mi padre **Pedro Rubén Olivas Matamoros**, él ha sido mi ejemplo a seguir y le doy muchísimas gracias por todo el apoyo que me ha dado para salir adelante y cumplir un gran sueño que el también deseo.

A mi hermana **Alison Jakarelys Olivas Álvarez**, la cual me ha motivado a poder culminar con mis estudios universitarios, ha sido de gran inspiración en todo este camino y agradezco por todo el apoyo que me dio.

A mi novia **Kelly Juneysis Flores Álvarez** que ha estado en todo momento dándome su apoyo incondicional, dándome muchísimos ánimos en momentos muy difíciles, por creer siempre en mi le agradezco de todo corazón.

Br. Pedro Rafael Olivas Álvarez.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios, dador de vida y de la oportunidad de salir adelante en mis estudios universitarios, ya que no ha sido solamente suerte sino más bien su mano la que me ha llevado durante este pequeño pero difícil viaje que han sido la universidad.

A mi novia **Diana Isabel Calvo** que ha estado desde el primer momento dejando de lado su comodidad, recursos y hasta sus energías para apoyarme en todo momento durante todos estos años.

A mi padre **Amílcar Adolfo Torres Argueta** quien nunca dejo de apoyarme como su hijo siendo este un ejemplo de padre trabajador, dándome la oportunidad de salir adelante y a quien desde siempre he considerado un ejemplo de ingeniero.

A mi madre **Brenda Rubia Rugama** por darme la vida y hacerme ver por mis propios medios de que en la vida hay que ser fuertes, y que uno siempre debe salir adelante.

Br. Walter Alejandro Torrez Rugama.

Dedicatoria

Br. Pedro Rafael Olivas Álvarez.

Dedico esta tesis monográfica principalmente a Dios, el cual me ha dado la sabiduría necesaria para poder triunfar en mi carrera, sin la ayuda de el nada de esto habría sido posible. A mi familia (madre, padre y hermano) que han sido un gran apoyo en toda mi vida, han sido una inspiración y han hecho todo esto posible gracias al gran esfuerzo que dieron para poder salir adelante, gracias a todo su sacrificio he cumplido uno de mis sueños mas importante. Les dedico esta tesis monográfica con mucho amor.

Br. Walter Alejandro Torrez Rugama.

Dedico esta tesis a la persona que es un pilar sino mi vida entera. A ti Diana Isabel que nunca dejaste de soñar conmigo, a ti que desde el principio de este recorrido has estado siempre conmigo ayudándome, dándome ánimos y siempre brindando un apoyo incondicional sin importar la situación que fuera. A ti Diana Isabel quien has compartido dificultades, problemas y situaciones, pero que hoy por hoy eres la que me recuerda cuanto soy y por lo que uno pasa para lograr crecer como persona, siendo honesta y sincera cuando más te he necesitado.

RESUMEN

El presente trabajo se ha realizado con la finalidad de aprovechar el recurso del agua subterránea de un pozo, mediante el uso de una bomba sumergible.

La finca San Francisco, lugar donde se desarrolla nuestro trabajo, es pequeña ya que cuenta con tan solo 14 manzanas y 8 habitantes, los cuales se abastecen del vital líquido de una manera rustica y poco conveniente, haciendo uso de baldes.

El agua la extraen de un pozo excavado a mano. La dueña del lugar ha recubierto este pozo de concreto para evitar que se contamine lo menos posible. Usando el pozo como fuente y utilizando una bomba sumergible se transportará el agua a un tanque de almacenamiento. El tanque, que por efectos de la gravedad distribuirá el agua a la finca.

Utilizaremos paneles solares para energizar la bomba, ya que la finca no cuenta con el servicio de energía eléctrica de manera sostenible.

Llevar a cabo este trabajo representa una oportunidad para la dueña de la finca, de ver nuevas maneras en las que puede utilizar los recursos con los que ya cuenta además de que quizás esto inspire a sus vecinos con nuevas ideas para mejorar la forma de obtención del agua en los pozos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. OBJETIVOS	4
V. MARCO TEÓRICO	5
1.1 La naturaleza del agua	5
1.2 Propiedades de los fluidos	9
2. HIDROSTÁTICA	12
2.1. Presión atmosférica.....	12
2.2. Presión absoluta y manométrica.	13
2.3. La paradoja de Pascal.	14
3. HIDRODINÁMICA	15
3.1. Ecuación de continuidad para cualquier fluido.....	15
3.3. Conservación de la energía – Ecuación de Bernoulli.	21
4. ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA.	24
4.1. Introducción.	24
4.2. Ecuación general de la energía.	24
4.3. Potencia que requieren las bombas.	26
4.4. Eficiencia mecánica de las bombas.....	27
5. NÚMERO DE REYNOLDS Y TIPOS DE FLUJOS.	28
5.1. Régimen laminar y turbulento.	28
5.2. Número de Reynolds.....	28
5.3. Número de Reynolds crítico.	29
5.4. Ecuación de Darcy.....	29
5.5. Pérdidas primarias.....	31
5.6. Diagrama De Moody.....	33
5.7. Ecuación para el factor de fricción.	33
6. PÉRDIDAS SECUNDARIAS.	34
6.1. Introducción.	34
6.2. Coeficiente de resistencia.	35

6.3. Pérdidas a la salida.	35
6.4. Válvulas y acoplamientos – Coeficiente de resistencia.	36
7. BOMBAS – SELECCIÓN Y APLICACIÓN.	42
7.1 Tipos de bombas.....	42
7.5. Carga de succión neta positiva.....	44
7.6. Detalles en la línea de descarga.	47
VI. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	48
VII. DISEÑO METODOLÓGICO	49
VIII. ANALISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	51
Proyección de la población.	52
Fuente de extracción de agua.	53
Tanque de abastecimiento.....	53
Topografía del terreno.	53
IV. MEMORIA DE CÁLCULO.	54
Cálculo de potencia de la bomba.....	54
Selección de la bomba por medio de las curvas características.	65
Dimensionado del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).	73
Mantenimiento del sistema de bombeo de agua.	86
Planificación de mantenimiento según su frecuencia	87
X. COSTO DEL PROYECTO.	92
XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	94
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	96
XIII. ANEXOS A. TABLAS.....	98
ANEXOS B. FIGURAS	111
ANEXOS C. FORMATO TÉCNICO DE LAS ENTREVISTAS.....	115
ANEXOS D. COTIZACIONES.....	117
ANEXOS E. CURVA Y ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA-PANELES.....	122
ANEXOS F. PLANOS.....	127

I. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se muestra el diseño un sistema de bombeo para riego de agua con la utilización de energía solar en la finca San Francisco, en el municipio de Nagarote, departamento de León, Nicaragua.

Este proyecto nos brinda la oportunidad de adentrarnos un poco más en los conocimientos sobre el aprovechamiento de la energía solar para el bombeo de agua. El abastecimiento de agua en la finca San Francisco ha estado lleno de altibajos desde hace varios años.

Con el propósito fundamental de satisfacer las necesidades del propietario y de las actividades de la finca. El presente proyecto se pretende realizar, recopilando la información necesaria para la selección de las bombas, selección de paneles, los accesorios y componentes que se requieren para la instalación de sistema de bombeo, al igual que se elaborara un plan de mantenimiento con la presentación de los costos y del presupuesto para el proyecto.

Durante el desarrollo y finalización de este proyecto se presentarán cada uno de los pasos que nos llevarán a la selección de un diseño que sea eficiente y rentable para el dueño de la finca San Francisco.

II. ANTECEDENTES

La finca San Francisco ubicada en la ciudad de Nagarote (León, Nicaragua), a partir del año 1980 fue habitada por la familia olivas – Álvarez, en ese momento el servicio de agua potable estaba ausente en dicha finca, dos años después los habitantes de la finca empezaron la construcción de un pozo el cual pudiera abastecer las necesidades de la misma, para eso se utilizaron bestias mulares manipuladas por el hombre y así estuvieron hasta el año 2010, que se instaló una bomba sumergible para hacer llegar el agua hasta diferentes puntos de la finca, esto sirvió por un tiempo pero debido al mal diseño del sistema se dañó a los pocos meses.

Actualmente la finca sigue suministrando agua con una de estas bombas las cuales funcionan con energía eléctrica, esta unidad presenta problemas como la primera que se instaló ya que no hubo un estudio previo de caudal (cual caudal), teniendo en cuenta que la red de suministro eléctrico es débil.

En octubre del 2002 se fundó la empresa en Nicaragua ENICALSA implementando sistemas de bombeo de agua para el suministro de agua potable y la producción agropecuaria accionado con energía solar, dando efectivos resultados de bombeo y eficientes en la producción, quedando los productores y familiares satisfechos con dicho trabajo.

III. JUSTIFICACIÓN

El objeto de estudio del presente proyecto es el diseño de un sistema de riego en el cual se aplican los conocimientos obtenidos en las asignaturas de la carrera de Ingeniería Mecánica, tales como: mecánica de fluidos, turbo maquinas, tecnología y medioambiente.

Nuestro tema ha sido seleccionado atendiendo de primera mano la problemática del abastecimiento de agua que ha estado presente en la finca San Francisco a lo largo del tiempo, con el fin de, proporcionar un suministro de agua eficiente para diversos usos dentro de los terrenos de la finca. Para lograr esto hemos de incluir el uso de tecnología solar en dicho sistema.

Diseñando el sistema de bombeo se podrá beneficiar con el abastecimiento de agua a los habitantes y trabajadores de dicha finca, así como también lograr un incremento en la calidad y producción en los cultivos de la finca.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar un sistema de bombeo con la utilización de energía solar para riego de agua en la finca san francisco.

Objetivos específicos:

- Seleccionar el tipo de bomba, accesorios, material y diámetro de tubería para el bombeo de agua utilizando el caudal de bombeo y la altura manométrica total para el correcto funcionamiento del sistema.
- Elegir el panel fotovoltaico identificando la demanda de energía del sistema.
- Elaborar plan de mantenimiento y costos para la instalación de un sistema de bombeo de agua con paneles fotovoltaicos.

V. MARCO TEÓRICO.

1.1 La naturaleza del agua.

1.1. Introducción.

Para iniciar este estudio, primeramente, se definirán ciertos aspectos del propio trabajo tal y como: de que trata un sistema de bombeo, la diferencia entre fluidos compresibles y los fluidos incompresibles, energía solar etc. En este proyecto nos enfocaremos en el estudio de los fluidos incompresible, ya que el fluido en estudio es el agua en su forma líquida, a la que se le añadirá energía por medio de un dispositivo mecánico llamado bomba de fluido.

También iniciaremos describiendo los conceptos fundamentales que están presentes en la mecánica de fluido.

Sistema de Bombeo: El libro de mecánica de fluido Robert Mott 6 Edición define como sistema de bombeo Los sistemas de bombeo hidráulico transmiten su potencia mediante el uso de un fluido presurizado que es inyectar a través de la tubería. Este fluido conocido como fluido de potencia o fluido motor, es utilizado por una bomba de subsuelo que actúa como un transformado para convertir la energía de dicho fluido a energía potencial o de presión en el fluido que es enviado hacia el depósito. Un sistema de bombeo basado en lo anteriormente planteado se define como un conjunto de equipos que tiene como fin elevar una cantidad de fluido desde un punto A hasta un punto B.

Energías renovables: Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables. (Factor energía, 2018)

Energía solar fotovoltaica: se basa en la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos. (Factor energía, 2018)

Sistema fotovoltaico: Es una fuente de potencia eléctrica en la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad DC (Factor energía, 2018)

Bombeo fotovoltaico: Esa lo que llamaremos en este proyecto a un sistema que a través de paneles fotovoltaicos tiene como objetivo bombear agua en aquellas zonas donde no se dispone de suministro de electricidad de la red convencional. (Factor energía, 2018)

Fluidos compresibles.

Este es el estudio de los fluidos que se pueden comprimir, o sea, gases, este tipo de fluido adopta la forma y volumen en su totalidad del recipiente que lo contenga, estos aumentan su densidad a medida que aumenta la temperatura. (Çengel, 2006) pag.8

Fluidos incompresibles.

Aquí se estudian los fluidos que no se pueden comprimir, o sea, los líquidos, en la realidad estos se pueden comprimir, pero ese volumen comprimido es despreciable, y para facilitar los cálculos podemos idealizarlos y llamarlos incompresibles. A diferencia

de los fluidos compresible, su densidad disminuye con conforme aumenta la temperatura.
(Çengel, 2006) pag.8

Este tipo de fluido es el que nos interesa para nuestro proyecto.

Presión.

La presión se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de una sustancia, o sobre una superficie. White, 2004 dice que: “La presión actúa de modo uniforme en todas las direcciones de un volumen

Pequeño de fluido”. Pág. 16

Masa.

Es la propiedad que tiene un cuerpo de fluido, es la medida de la inercia¹ o resistencia a cambiar el movimiento de éste, también es la medida de la cantidad de fluido. (White, 2004) Pág. 16

Peso.

Es la fuerza con la que el fluido es atraído hacia la Tierra por la acción de la gravedad. (White, 2004) Pág. 17

La masa y el peso se relacionan por medio de la de la ley de la gravitación de Newton, que dice que la fuerza es igual a la masa por la aceleración.

$$F: ma \text{ Ec. (1.1)}$$

¹ Inercia es la propiedad que tienen los cuerpos de mantenerse en su estado de reposo o movimiento.

Habla de peso significa que la aceleración a es igual a la gravedad g , que es la aceleración de la gravedad, entonces la ley de Newton se transforma:

$$W: mg \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Temperatura: Es la medida de la actividad molecular de una sustancia, a mayor actividad es mayor la temperatura. Es común relacionarlo con la cualificación de qué tan caliente o frío se encuentra una sustancia. (White, 2004) Pág. 16

Lo más frecuente es que la temperatura se indique en °C (grados Celsius) o °F (grados Fahrenheit), y tomamos como referencia los siguientes valores:

El agua se congela a 0°C (32°F) y hierve a 100°C (212°F). Así, entre los dos puntos físicos hay 100 grados Celsius y 180 grados Fahrenheit, con lo que 1 grado Celsius es 1.8 grados Fahrenheit, con toda exactitud. A partir de esta observación, se definen las siguientes conversiones:

Dada la temperatura T_F en °F, la temperatura en grados Celsius es:

$$T_C: (T_F - 32)/1.8C \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Dada la temperatura T_C en °C, la temperatura en grados Fahrenheit es:

$$T_F: (T_C \times 1.8) + 32 \quad \text{Ec. (1.4)}$$

1.2 Propiedades de los fluidos

Introducción.

Fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. Pope (2000) define que: “Un fluido es una sustancia que se deforma de manera continua cuando está sujeta a un esfuerzo cortante” (p. 2).

Los líquidos a una presión y temperatura determinada ocupan un volumen determinado, Introducido el líquido en un recipiente adopta la forma del mismo, pero llenando solo el volumen que le corresponde.

Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo, la atmosférica, el líquido adopta, como veremos, una superficie plana, como la superficie de un lago o la de un cubo de agua.

Sin embargo, aunque el fluido incompresible no exista en la realidad, Mataix (2007), nos afirma que: “Hay innumerables problemas que se resuelven aceptablemente en la ingeniería, suponiendo que el fluido es incompresible, Estos se estudian en la mecánica de fluidos incompresibles” (p. 13).

Peso específico.

Streeter (2000) define que: “El peso específico es el peso por unidad de volumen, este cambia con la localización, ya que depende de la gravedad” (p.12).

$$y = \frac{w}{v} \text{ Ec. (1.5)}$$

Donde:

w : Peso en N; V : Volumen m^3 (en SI)

Densidad.

Mataix (2007) dice que: “La densidad es función de la temperatura y presión” (p. 14). En la tabla I de anexos podremos observar la densidad del agua a distintas temperaturas lo cual es muy útil para nuestro cálculo del sistema de bombeo u otros.

La densidad de un líquido es la relación entre su masa y su volumen.

Se tiene, pues: Ec. $\rho = \frac{m}{V}$ (1.6)

Donde

ρ : Densidad del líquido; V : Volumen del líquido desalojado; m : es la masa del

Líquido.

Volumen específico: Es el volumen de fluido que contiene una unidad de masa del mismo. (White, 2004) Pág. 16

En el SI. El volumen específico es el recíproco de la densidad absoluta:

$$\text{Ec. (1.7)} \quad v: \frac{1}{\rho} \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

O sea, el volumen que ocupa 1kg de la sustancia.

Viscosidad.

(Mott, 2006) pág. 19. La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares. Todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal.

La viscosidad sólo se manifiesta en líquidos en movimiento, se ha definido la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad.

Esta viscosidad recibe el nombre de viscosidad absoluta o viscosidad dinámica. Generalmente se representa por la letra griega η , sus unidades están en Pa-S (Pascal por segundo).

Se conoce también otra viscosidad, denominada viscosidad cinemática, y se representa por ν . Para calcular la viscosidad cinemática basta con dividir la viscosidad dinámica por la densidad del fluido.

$$\nu: \frac{\eta}{\rho} \text{ Ec. (1.8)}$$

Debido a que η y ρ son propiedades de los fluidos, por lo tanto, ν también lo es

2. HIDROSTÁTICA

2.1. Presión atmosférica.

Sobre la superficie libre de un líquido reina la presión del aire o gas que sobre ella existe. Esta presión puede adquirir un valor cualquiera en un recipiente cerrado; pero si el recipiente está abierto, sobre la superficie libre de líquido reina la presión atmosférica (P_{atm}), debido al peso de la columna de aire que gravita sobre el fluido.

En la práctica se usa mucho la atmósfera técnica, que es igual a 1 bar. Por lo tanto, hay tres atmósferas:

Atmósfera normal 1.01396 bar

Atmósfera técnica 1 bar

Atmósfera local y temporal Presión atmosférica reinante en lugar y tiempo

Determinado.

Mataix (2007), nos afirma que: “El rango de variación normal de la presión atmosférica cerca de la superficie de la tierra es de 95 KPa (abs) a 105 KPa (abs) aproximadamente, o bien 13.8psia a 15.3 PSia” (p. 39).

2.2. Presión absoluta y manométrica.

La presión que arroja la medición del fluido se llama *presión manométrica*. La presión que se mide con el vacío perfecto se denomina *presión absoluta*. Una ecuación sencilla que relaciona los dos sistemas de medición de la presión es:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

P_{abs} : Presión absoluta; P_{man} : Presión manométrica; P_{atm} : Presión atmosférica.

La figura 1 nos muestra una interpretación gráfica de esta ecuación.

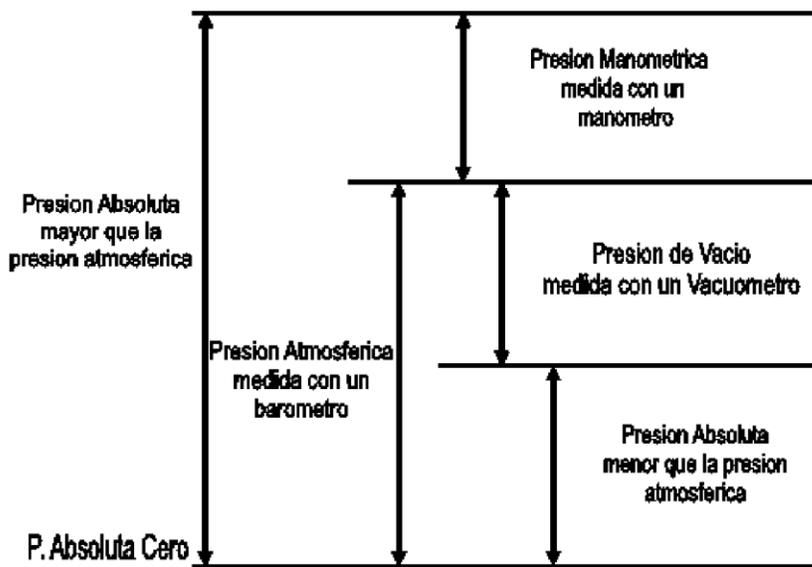


Figura 1. Relación entre presión atmosférica, manométrica, absoluta y de vacío.

Fuente: UNET. Estática de fluidos (2011) Rescata de http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-47.htm

2.3. La paradoja de Pascal.

El cambio de la presión sólo depende del cambio de la elevación y del tipo del fluido, no del tamaño del contenedor del fluido. Es decir, no importa la forma del recipiente que contenga al líquido (vea la figura 2), y observe que la presión en el punto mostrado, será la misma para todos los recipientes (vasos comunicantes) en el mismo punto. A este fenómeno se le conoce como la paradoja de Pascal, en honor a *Blais Pascal*.

Este fenómeno es útil cuando se trata de producir una consistente presión elevada en un sistema de tuberías y tanques interconectados, a como es nuestro caso. Este proyecto del sistema de bombeo almacenará agua en un tanque que tiene una cierta elevación. A demás de proporcionar una reserva de agua al suministro, el propósito esencial es mantener una presión lo suficientemente alta en el sistema hidráulico para lograr una distribución satisfactoria del agua.

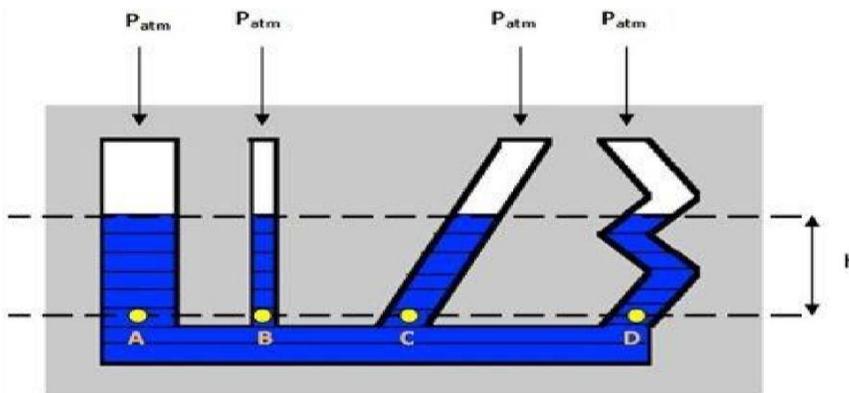


Figura 2. Paradoja de Pascal – Teoría de los vasos comunicantes.

Fuente: Internet.

Principios de vasos comunicantes (2011) Rescatado <http://www.fullquimica.com>

3. HIDRODINÁMICA.

Del libro flujo de fluido en válvulas, accesorios y tubería 5ta edición se define que La cantidad de un fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos (capítulo 3):

Q : El flujo volumétrico es el volumen de fluido que circula por una sección por unidad de tiempo.

W : El flujo en peso es el peso del fluido que circula por una sección por unidad de tiempo.

\dot{m} : El *flujo másico* es la masa del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El *flujo volumétrico* Q es el más importante de los tres, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = Av \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del fluido, y las unidades de Q en el S.I m^3/s .

3.1. Ecuación de continuidad para cualquier fluido.

La ecuación 3.2 es el enunciado matemático del principio de continuidad. Se utiliza para relacionar la densidad del fluido, el área de flujo y la velocidad de éste en dos secciones del sistema donde existe flujo estable. Es válido para todos los fluidos, ya sea en gases o en líquidos.

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \text{Ec. (3.2)}$$

Si el fluido que pasa por la tubería redonda, es un fluido incompresible, entonces los valores de la densidad ρ son los mismos a ambos lados de la ecuación 3.2. Por tanto, surge otra ecuación para los líquidos.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \text{Ec. (3.3)}$$

O bien, debido a que $Q=Av$. entonces tenemos que $Q_1=Q_2$.

1.2. Rendimiento y Potencia Absorbida.

La eficiencia de una bomba se mide en base al caudal que se descarga contra una altura dada y con un rendimiento determinado.

El rendimiento de la bomba viene dado por:

$$\eta = \text{potencia util}/P_i = \gamma Q H_t / 75 P_i \text{ Ec. (3.4)}$$

Donde:

P_i = Potencia absorbida, HP.

γ = Peso específico del líquido a ser bombeado.

Q = Caudal, m³/s.

H_t = Altura manométrica, m.

η = Rendimiento de la bomba

Para determinar la potencia absorbida por el motor, se divide la potencia absorbida por la bomba entre la eficiencia del motor:

$$P_m = P_i / \eta_m$$

Donde,

P_m = Potencia del motor

η_m = Rendimiento de motor.

(Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para medio rural, Lima 2007) “Los rendimientos de las bombas generalmente varían entre 60% y 85%”.

1.2.1. Tubería de acero.

Es frecuente construir con tuberías de acero las líneas de propósito general. Los tamaños estándar de tubería se denominan por su tamaño nominal y número de cédula. Los números de cédulas están relacionados con la presión permisible de operación y el esfuerzo permisible del acero en la tubería.

El rango de números de cédula va de 10 a 160, y los más altos indican un mayor espesor de pared. Debido a que todas las cédulas de tubería de un tamaño nominal dado tienen el mismo diámetro exterior, las más altas tienen un diámetro interior más pequeño. Al sistema de números de cédula también se le conoce como *Iron Pipe Size* (IPS). Las series más completas de tubería de acero disponible son las cédulas 40 y 80. En las tablas III y IV de anexos presentamos datos de estas dos cédulas.

3.2.2. Tamaños nominales de tuberías en unidades métricas.

Debido a la larga experiencia en la fabricación de tuberías estándar de acuerdo con los números de cédula estándar, es frecuente que sigan usando aun cuando las especificaciones del sistema de tubería estén en unidades métricas. Para tales casos, la *International Standards Organización* (ISO) estableció los siguientes conjuntos de equivalencia. El símbolo *DN* denota diámetro nominal en milímetros. En la tabla V de anexos presentamos las equivalencias de los diámetros nominales del sistema inglés al SI.

3.2.3. *Tubos de acero.*

Se utiliza tubos estándar de acero en sistemas de fluidos de potencia, condensadores, intercambiadores de calor, sistema de combustible de motores y sistema industriales de procesamiento de fluidos. A los tamaños se les denota por medio de su diámetro exterior y espesor de pared. En la tabla VI de anexos presentamos algunos valores de tamaño nominal.

3.2.4. *Tuberías y tubos plásticos.*

Utilizamos tuberías y tubos plásticos en una variedad amplia de aplicaciones donde tienen ventajas por su peso ligero, facilidad de instalación, resistencia a la corrosión y a los productos químicos, y características de flujo muy buenas. Como ejemplo tenemos la distribución de agua y gas, drenaje y aguas residuales, producción de petróleo y gas, minería, y muchas aplicaciones industriales.

También usamos variedades de plástico, como polietileno (Pe), polietileno trenzado (PEX), poliamida (PA), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilo clorado (CPVC), polivinilo fluorado (PVDF), vinilo y nylon.

Debido a que ciertas tuberías y tubo se encuentran en los mismos mercados que los metales, donde ha sido común la existencia de estándares de tamaño especial, muchos productos de plásticos se adecuan a los estándares de Tamaño de tubería de Hierro (IPS), Tamaño de Tubería de Hierro Dúctil (DIPS) o Tamaño de tubería de cobre (CTS).

Otros sistemas de tubos de plásticos utilizan la Relación de Dimensión Interior Estándar (SIDR) o Relación de Dimensión Estándar (SDR). El sistema SIDR se basa en la razón del diámetro interior promedio especificado al espesor de pares mínimo

especificado (ID/t). Se utiliza donde el diámetro interior es crucial para la aplicación. El ID permanece constante y los cambios del OD con el espesor de la pared se adecuan a presiones diferentes y a consideraciones estructurales de manejo.

La SDR se basa en la relación del diámetro exterior promedio especificado al espesor de pared mínimo especificado (OD/t). El OD permanece constante y varían el ID y el espesor de la pared. El sistema SDR es útil debido a que la calificación de la presión del tubo se relaciona de manera directa con esta relación. Por ejemplo, para las tuberías de plástico con régimen de esfuerzo de diseño hidrostático de 1,250 PSI (11 MPa), los regímenes de presión para distintos grados SDR lo muestra la tabla 1.

Tabla 1:

Regímenes de presión.

SDR	Régimen de presión
26	50 PSI (345 KPa)
21	62 PSI (427 KPa)
17	80 PSI (552 KPa)
13.5	100 PSI (690 KPa)

Fuente: L. Mott Robert. *Mecánica de fluidos* (p.161). *Sexta edición* (2006).

Estos regímenes de presión son para el agua a 23 °C. En general, las tuberías y tubos de plásticos se especifican hasta 1380 KPa.

3.2.5. *Velocidad de flujo recomendable en las tuberías.*

Son muchos los factores que influyen para lograr una velocidad de flujo satisfactoria en los sistemas de fluido. Lo más importante son el tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de tubería o tubo, la caída de presión que pueden tolerarse, los dispositivos (bombas, válvulas y otros) que hacen de conectarse a la tubería o tubo, temperatura, presión y ruido.

En la imagen I de anexos proporciona una guía muy general para especificar el tamaño de las tuberías, como función del flujo volumétrico para sistemas comunes de distribución de fluido por medio de bombas. Mott (2006), dice que: “Tomamos los datos de un análisis de flujo volumétrico especificado para muchas bombas centrífugas disponibles comercialmente, cerca de su punto de eficiencia mayor, teniendo en cuenta los tamaños de conexiones de toma y descarga (p. 162). En general, en las líneas de succión que abastecen una bomba se mantiene baja la velocidad, con el objeto de garantizar un llenado apropiado de los pasajes en la entrada de la succión y evitar la cavitación.

Observe que, si especificamos un tamaño menor o mayor del que indican las rectas de la imagen I de anexos, no se afectará demasiado al rendimiento del sistema. En general, debe preferirse el tamaño más grande de tubería para lograr una velocidad más baja, a menudo que haya dificultad de espacio, costo o compatibilidad con la conexión dada a la bomba.

Las velocidades de flujo que resultan de los tamaños recomendables en la imagen I de anexos, por lo general son más pequeños para tubería pequeñas que para grandes, como lo muestran la tabla 2.

Tabla 2.

Tamaños de tubería recomendable para un flujo volumétrico dado.

Flujo volumétrico		Línea de succión			Línea de descarga		
		Tamaño en pulg.	Velocidad Ft/s	Velocidad m/s	Tamaño en pulg.	Velocidad Ft/s	Velocidad m/s
10 Gln/min	2.3 m ³ /h	1	3.7	1.1	¾	6.0	1.8
100	22.7	2 ½	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 ½	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Fuente: L. Mott Robert. *Mecánica de fluidos* (p.162). Sexta edición (2006).

3.3. Conservación de la energía – Ecuación de Bernoulli.

(Mott, 2006) Hay tres formas de energías que se toman siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo de tuberías. Considere un elemento de fluido como el que ilustramos en la figura 3 dentro de la tubería en un sistema de flujo. Se localiza a cierta elevación z , tiene velocidad v y presión p . El elemento de fluido posee las formas de energía siguiente:

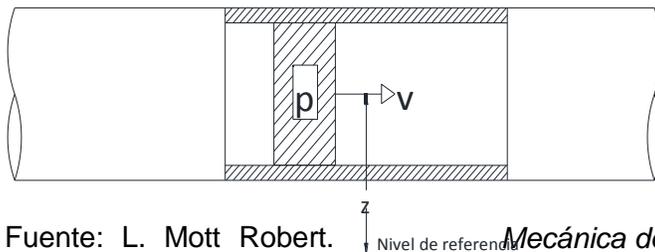


Figura 3. Elemento de fluido en una tubería.

Fuente: L. Mott Robert. *Mecánica de fluidos* (p.166). Sexta edición (2006).

1. *Energía potencial.* Debido a su elevación, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia es:

$$EP: wz \text{ Ec. (3.5)}$$

Donde w es el peso del elemento.

2. *Energía cinética.* Debido a su velocidad, la energía cinética del elemento es:

$$EC: \frac{1}{2}mv^2 \\ \text{Ec. (3.6)}$$

3. *Energía de flujo.* A veces llamada *energía de presión* o *trabajo de flujo*, y representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión p .

$$EF: wp/\gamma \text{ Ec. (3.7)}$$

Si igualamos la suma de estos tres tipos de energía y eliminando la densidad (ya que será la misma el fluido que fluye por la tubería) en dos secciones diferentes de una tubería, obtendremos:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \\ \text{Ec. (3.8)}$$

Conocida como la *ecuación de Bernoulli*.

3.3.1. Interpretación de la ecuación de Bernoulli.

Mott (2006), afirma: “Cada término de la ecuación de Bernoulli es una forma de energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema”. Debido a que cada término de la ecuación de Bernoulli representa una altura, un diagrama similar la que muestra la figura 4 ayuda a visualizar la relación entre los tres tipos de energía. Conforme el fluido se va moviendo del punto 1 al punto 2, la magnitud de cada término puede cambiar su valor.

Mott Robert (2006), resume que:

La ecuación de Bernoulli toma en cuenta los cambios en la carga de elevación, carga de presión y carga de velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluidos. Se supone que no hay pérdidas ni adiciones de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante (p.169).

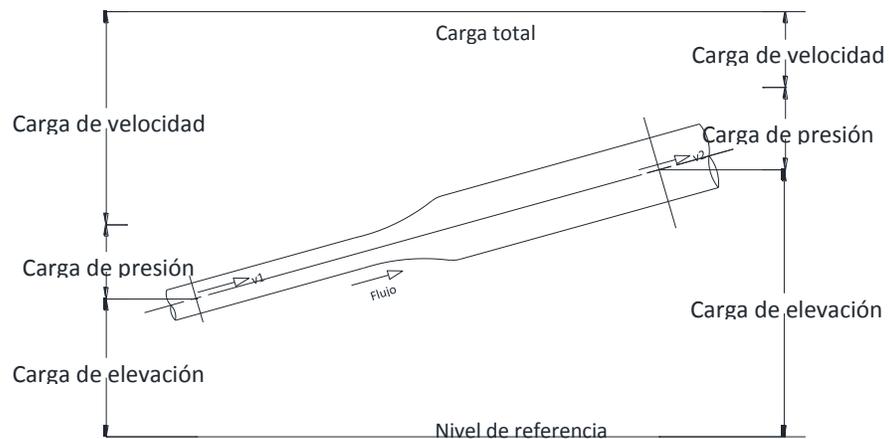


Figura 4. Carga de presión, carga de elevación y carga de velocidad.

Fuente: L. Mott Robert. *Mecánica de fluidos* (p.167). Sexta edición (2006).

4. ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA.

4.1. Introducción.

En esta parte, aprovecharemos los conocimientos de la ecuación de Bernoulli, a fin de aplicar en la ecuación general de la energía en nuestro sistema de bombeo para calcular la potencia que la bomba necesitará para impulsar desde nuestro reservorio a un tanque que se encuentra a una altura determinada.

4.2. Ecuación general de la energía.

Mott Robert (p. 203). Usaremos la ecuación de la energía como una extensión de la ecuación de Bernoulli. En la figura 5 se aprecia la interpretación lógica de la ecuación de la energía, lo cual representa un sistema de flujo. Los términos E'_1 y E'_2 denotan la energía que posee el fluido por unidad de peso en las secciones 1 y 2, respectivamente.

Se muestran las energías agregadas, removidas y pérdidas h_A , h_R y h_L . Para un sistema tal, la expresión del principio de conservación de la energía es:

$$E'_1 + h_A - h_R - h_L = E'_2 \text{ Ec. (4.1)}$$

La energía que posee el fluido por unidad de peso es:

$$E' = \frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g}$$

Ec. (4.2)

Entonces la ecuación de la energía se convierte en:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ec. (4.3)

Esta es la forma de la ecuación de la energía que usaremos para calcular nuestro sistema de bombeo. Igual que en la ecuación de Bernoulli, cada término de la ecuación 4.3 representa una cantidad de energía por unidad de peso del fluido. Las unidades en el SI. Son N-m/N o m, las del sistema tradicional de los Estados Unidos son Lb-ft/Lb o Lb.

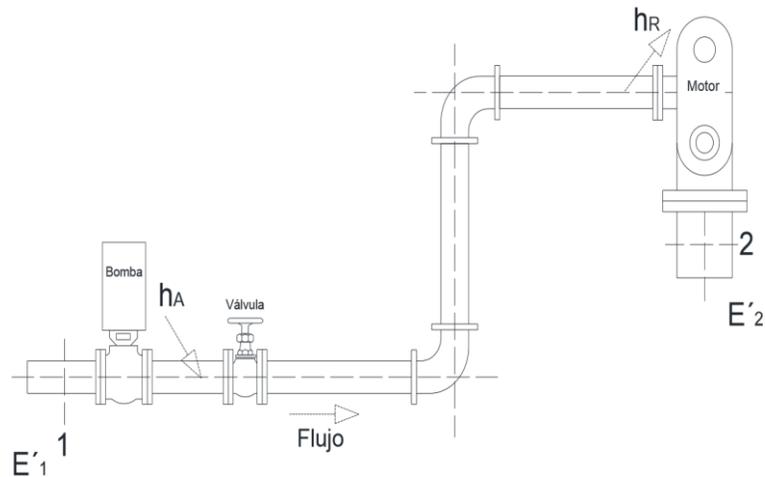


Figura 5. Sistema de flujo de fluido que ilustra la ecuación general de la energía.

Fuente: Mott Robert (p. 203). *Mecánica de fluidos* (2006).

En la figura 5 los puntos de referencia son 1 y 2, nos presenta los tipos de energía que pueden existir. Un impulsor primario, como motor eléctrico, acciona la bomba, y el

impulsor de la bomba transfiere energía al fluido ($+h_A$). Después, el fluido fluye por un sistema de conducción compuesto por *válvulas, codos y tramos de tubería*, donde la energía se disipa del fluido y se pierde ($-h_L$). Antes de alcanzar el punto 2, el fluido circula a través de un motor de fluido, que retira parte de la energía para mover un dispositivo externo (h_R). La ecuación general de la energía toma en cuenta todas las energías.

4.3. Potencia que requieren las bombas.

La potencia se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. Mott (2006) dice que: “En la mecánica de fluidos (...) se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere energía” (p. 207).

Con la siguiente ecuación podemos encontrar la potencia que requieren las bombas:

$$P_A = h_A \gamma Q \text{ Ec. (4.4)}$$

Donde P_A se denota la potencia que se le agrega al fluido, γ es el peso específico del fluido que circula a través de la bomba y Q es el flujo volumétrico de fluido, las unidades en SI. Para la potencia es Watt (o KW).

También podemos decir que:

$$1 \text{ Lb ft/s} = 1.356 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ Lb ft/s}$$

4.4. Eficiencia mecánica de las bombas.

El término *eficiencia* se usa para denotar la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido a la potencia que se suministra a la bomba. Debido a las pérdidas de energía por fricción mecánica de los componentes de la bomba, fricción del fluido y turbulencia excesiva de ésta, no toda la potencia de entrada se transmite al fluido. Entonces, si se denota la eficiencia mecánica con el símbolo e_M , tenemos:

$$e_M = \frac{P_A}{P_I} = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia transmitida a la bomba}}$$

Ec. (4.5)

El valor de e_M siempre será menor que 1.0.

Para las bombas comercialmente disponibles, el valor de e_M se publica como parte de los datos de rendimiento.

El valor de la eficiencia mecánica de las bombas no sólo depende del diseño de éstas, sino también en las condiciones en que operan, en particular de las cargas y el flujo volumétrico. Para las bombas utilizadas en sistemas hidráulicos, la eficiencia varía de 70 a 90%. Para las bombas centrífugas, utilizadas sobre todo para transferir o hacer circular líquidos, la eficiencia va de 50 a 85%.

5. NÚMERO DE REYNOLDS Y TIPOS DE FLUJOS.

5.1. Régimen laminar y turbulento.

El movimiento en *régimen laminar* es ordenado, estratificado: el fluido se mueve como clasificado en capas que no se mezclan entre sí. Así en el primer ejemplo (aceite a pequeña velocidad) el fluido no se desplaza como un cilindro, sino, como se muestra en la figura 6, en forma de tubos concéntricos cilíndricos que deslizan unos con relación a los otros como los tubos de un telescopio. El tubo exterior de fluido queda adherido siempre a la tubería, su velocidad es cero. La velocidad de desplazamiento del filamento interior de sección circular infinitesimal es máxima.

El movimiento en *régimen turbulento* es caótico. Las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se entrecruzan formando pequeños remolinos aperiódicos.

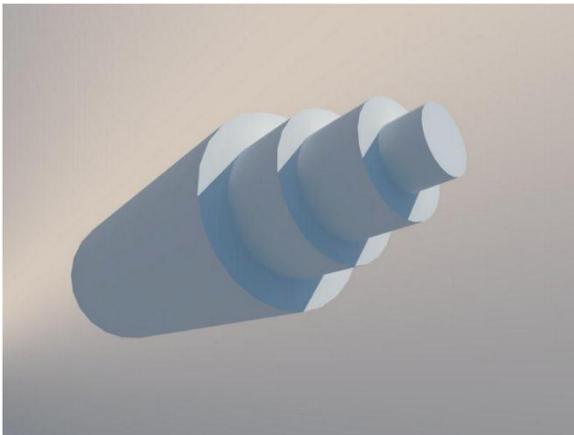


Figura 6. Flujo laminar en una tubería circular. Fuente: Propia

5.2. Número de Reynolds.

Necesitamos saber si el flujo es laminar o turbulento. Se muestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, al que hoy se le denomina *número de*

*Reynolds*² (N_R). La ecuación siguiente demuestra la definición básica del número de *Reynolds*.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu}$$

Ec. (5.1)

Los fluidos tienen números de Reynolds grandes debido a la velocidad elevada y/o una velocidad baja, tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos con viscosidad alta y/o que se mueven a velocidad baja, tendrán número de Reynolds bajo y tenderán a comportarse como flujo laminar.

5.3. Número de Reynolds crítico.

Para aplicaciones prácticas de flujo en tuberías, encontramos que, si el número de Reynolds es menor que 2000, éste será laminar, si el número de Reynolds será mayor que 4000, el flujo será turbulento, en el rango del número de Reynolds entre 2000 y 4000 es imposible predecir el flujo que existe, por tanto, le denominamos *región crítica*. Entonces, tenemos que:

Si $NR < 2000$, el flujo es laminar; $NR > 4000$, el flujo es turbulento.

5.4. Ecuación de Darcy.

En la ecuación general de la energía

² Osborne Reynolds (Irlanda del norte 1842- Inglaterra 1912), Ingeniero y físico, realizó aportes importantes a la aerodinámica y a la mecánica de fluidos, la más notable fue el número de Reynolds en 1883.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L - h_R = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

(Çengel, 2003 pág. 258) El término h_L se determinó como la pérdida de energía en el sistema. Una componente de la pérdida de la energía es la fricción en el fluido que circula. Para el caso de tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa en forma matemática como la ecuación de Darcy:

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

Ec. (5.2)

Donde:

h_L : Pérdidas de energía debido a la fricción.

f : Factor de fricción (adimensional).

$\frac{L}{D}$: Relación entre la longitud de la corriente y el diámetro de la tubería.

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular las pérdidas de energía debido a la fricción tanto para flujo laminar como para turbulento. La diferencia entre los dos está en la evaluación del factor de fricción adimensional f , como se explica en las dos secciones siguientes.

5.5. Pérdidas primarias.

5.5.1. Pérdidas por fricción en el flujo laminar.

Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de la energía y los parámetros mensurables del sistema de flujo.

Dicha relación se conoce como la ecuación de *Hagen-Poiseuille*:

$$h_L: \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2}$$

Ec. (5.3)

La ecuación de Hagen-Poiseuille es válida sólo para flujos laminares, y la ecuación de Darcy también puede ser usada para flujo laminar, realizando la igualación de ambas ecuaciones, tendremos que:

$$f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2}$$

$$f = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \times \frac{2Dg}{Lv^2}$$

64

Ec. (5.4)

$$f: \frac{1}{N_R}$$

5.5.2. Pérdida por fricción en el flujo turbulento.

Mott (2006), afirma que: “Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción” (p. 235). El flujo turbulento es caótico y varía en forma constante. Por estas razones, para determinar el valor de f debemos recurrir a datos experimentales.

Las pruebas han mostrado que el número adimensional f depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería a la rugosidad promedio de su pared ε (letra griega, épsilon).

Como se aprecia en la tabla 3, se ha determinado el valor ε de la rugosidad promedio de la pared de tubería y tubos existentes comercialmente. *Éstos son solo valores promedios para tubería nuevas y limpias. Es de esperarse cierta variación. Una vez que la tubería ha estado en servicio durante algún tiempo, la rugosidad cambia debido a la corrosión y a la formación de depósitos en la pared.*

Tabla 3.

Valores de diseño de rugosidad de tubos.

Material	Rugosidad ε (m)	Rugosidad ε (ft)
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 y 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: Mott Robert (p. 235). *Mecánica de fluidos (2006)*.

5.6. Diagrama De Moody.

Una forma rápida de conocer el factor de fricción es utilizando el diagrama de Moody que se representa en la figura II de anexos.

Se grafica en escala logarítmica tanto a f como a N_R , debido al rango tan amplio de valores que se obtiene. A la izquierda d la gráfica, para números de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación $f = 64/N_R$ para el flujo laminar.

Para los valores entre 2000 y 4000 no hay curvas, debido a que esta es la zona crítica entre el flujo laminar y el turbulento, y no es posible predecir cuál de ellos ocurrirá. Más allá de $N_R= 4000$, se grafica la familia de curvas para distintos valores de D/ε .

5.7. Ecuación para el factor de fricción.

Muchas veces necesitamos realizar cálculos automáticos computacionales, lo que el diagrama de Moody no nos favorece mucho.

La ecuación siguiente permite realizar el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento, la desarrollaron P. K. Swamee y A. K. Jain.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Ec. (5.5)

La ecuación 6.5 produce valores de f que están $\pm 1.0\%$ dentro del rango de la rugosidad relativa.

En resumen, para calcular el valor del factor de fricción f cuando se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se emplea la ecuación 5.4 para flujo laminar, y la ecuación 5.5 para el flujo turbulento.

6. PÉRDIDAS SECUNDARIAS.

6.1. Introducción.

En este capítulo estudiaremos técnicas para analizar sistema de tuberías reales, donde determinaremos las pérdidas de energía que tienen lugar conforme el fluido pasa por dispositivos donde hay agrandamientos en el tamaño de la trayectoria del fluido, reducciones, entrada de fluido de un tanque a una tubería, salida del líquido de una tubería a un tanque, codos, te y válvulas.

Mataix (2007), nos advierte que: “Estas pérdidas, a pesar de llamarse pérdidas *secundarias* pueden ser más importantes que las primarias (...) si la conducción es relativamente corta” (p. 236).

6.2. Coeficiente de resistencia.

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por cualquier accesorio que esté instalado en la tubería. Por lo general, los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K como sigue:

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Ec. (6.1)

En la ecuación 6.1, h_L es la pérdida menor, K es el coeficiente (adimensional) de resistencia, v es la velocidad promedio del fluido, es ciertos casos pueden haber más de una velocidad de flujo, como en las expansiones y contracciones. Es de mayor importancia que sepa cuál velocidad usar en cada coeficiente de resistencia.

6.3. Pérdidas a la salida.

Conforme el fluido pasa de una tubería a un depósito o tubería grande, su velocidad disminuye hasta casi cero. El proceso se disipa por energía cinética que el fluido tenía en la tubería, indica por la carga de $v^2 / 2g$. Por lo tanto, la energía perdida por esta condición es:

$$h_L = 1.0 \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Ec. (6.2)

A esta se le denomina *pérdida a la salida*. El valor $K = 1.0$ se emplea sin que importe la forma de la salida en el lugar donde el tubo se conecta a la pared del tanque.

6.4. Válvulas y acoplamientos – Coeficiente de resistencia.

6.4.1. Válvulas.

Podemos definir *válvula* como un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

La válvula es uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

6.4.2. Tipos de válvulas y aplicaciones.

Mencionaremos los tipos de válvulas que usaremos en nuestro proyecto.

1. Válvulas de compuerta.

Las válvulas de compuerta son válvulas que se encargan de abrir o levantar una compuerta o cuchilla para permitir el libre paso de fluidos. Ver figura 8.

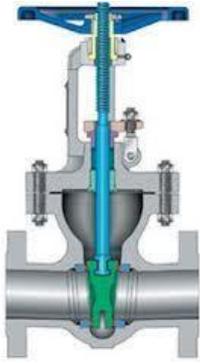


Figura 8. Válvula de compuerta.

Fuente: VELAN. Recuperado de: <http://www.directindustry.fr/prod/velan/vannes-opercule-bride-24371851409.html>

Se utilizan las válvulas de compuerta cuando sea necesario un caudal de fluido rectilíneo, así como una restricción mínima al paso del mismo, las válvulas de compuerta deben su nombre a la pieza que bloquea o permite el paso de flujo, es una compuerta.

Este tipo de válvula se utiliza totalmente cerrada o abierta, debido a que no están diseñadas para regular flujo lo que indica que deben estar completamente abiertas o completamente cerradas para que sus interiores (asiento y cuña) no sean desgastados prematuramente por el fluido y su presión y así evitar que tenga fugas.

Esto motivado a que la compuerta y el asiento se erosionan con rapidez en cualquier posición que no sea la apertura o cierre totales.

1.1. Ventajas y desventajas:

Ventajas:

- a. Las válvulas de compuerta ofrecen una mayor capacidad a diferencia de las demás.
- b. Su costo es realmente bajo comparado con todos los beneficios que ofrecen
- c. Cuentan con un diseño y funcionamiento realmente sencillo.
- d. Las válvulas de compuerta ofrecen una mayor capacidad a diferencia de las demás.

Desventajas:

- a. Las válvulas de compuerta no son convenientes para propósitos de estrangulamiento
- b. El control de flujo es difícil debido al diseño de la válvula
- c. El flujo del líquido que golpea contra una compuerta parcialmente abierta puede causar un daño importante en la válvula.
- d. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.

2. Válvula de verificación.

La función de una válvula de verificación es permitir el paso del flujo en una dirección y detenerlo en la contraria, podemos observarla en la figura 9, es de tipo giratorio. El uso común de estas válvulas es a la descarga de la bomba de fosas sépticas, donde queremos evitar que el fluido regrese a la bomba o a la fosa.

El otro empleo es cuando se quiere evitar que las bombas centrifugas se queden sin fluido (nuestro caso en este proyecto), entonces, la colocamos aguas abajo de la bomba, de lo contrario, puede haber daños severos en el dispositivo de bombeo (especialmente bombas centrifugas).



Figura 9. Válvula de compuerta.

Fuente: Praher Valves. Recuperado de: <http://www.directindustry.es/prod/prahervalvesgmbh/valvulas-antirretorno-wafer-11605-503206.html>

2. Válvula de purga de aire.

Permite el egreso de aire durante el llenado eliminando así las bolsas de aire que perturban el flujo del agua y que a veces puede llegar a la obstrucción total, evitando la reducción del caudal transportado y el aumento de las pérdidas de energía y el consiguiente incremento en los costos de operación.

6.4.3. Acoplamientos.

En mecánica de fluidos, hablar de acoplamientos es referirse a codos, te o a camisa para tuberías, cada cual con su coeficiente de resistencia. Los acoplamientos dirigen la trayectoria de flujo o hacen que cambie de tamaño.

6.4.3.1. Codos.

Un codo es un accesorio para tuberías instalado entre las dos longitudes del tubo para permitir un cambio de dirección, normalmente de 45°, 90° o 180°. También codos para tubos de 60° y otros codos usuales pueden ser fabricados a pedido especial.

6.4.4. Coeficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos.

Es importante determinar los datos de resistencia para el tipo particular y tamaño elegidos, porque aquélla depende de la geometría de las válvulas o accesorio de acoplamiento. Así mismo, los fabricantes reportan los datos de diferentes formas.

La pérdida de energía que tiene lugar cuando el fluido circula por una válvula o acoplamiento se calcula con la ecuación 8.1. Sin embargo, el método para calcular el coeficiente de resistencia K es diferente. El valor de K se reporta como:

$$K = \left(L_e / D \right) f_T$$

Ec. (6.3)

En la tabla VII anexos están plasmados los valores de L_e/D , llamado relación

El valor L_e se denomina longitud equivalente. El término D es el diámetro interior de la tubería.

El término f_T es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada la válvula o acoplamiento. La tabla 4 representa una lista de los valores de f_T .

Tabla 4.

Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial nueva y limpia.

Tamaño nominal en tubería (in)	Factor de fricción f_T	Tamaño nominal en tubería (in)	Factor de fricción f_T
$\frac{1}{2}$	0.027	$3 \frac{1}{2} - 4$	0.017
$\frac{3}{4}$	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
$1 \frac{1}{4}$	0.022	8 – 10	0.014
$1 \frac{1}{2}$	0.021	12 – 16	0.013
2	0.019	18 – 24	0.012
$2 \frac{1}{2} - 3$	0.018		

Fuente: Mott Robert (p. 297). *Mecánica de fluidos (2006)*.

7. BOMBAS – SELECCIÓN Y APLICACIÓN.

Introducción.

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través de sistemas de tuberías, Pope (2000) dice que: “Las bombas convierten una entrada de energía mecánica en una energía del fluido” (p. 93). En éste capítulo veremos cómo seleccionar bombas por medios de curvas característica.

Con la siguiente ecuación podemos calcular la carga total de la bomba.

$$h_a = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} - h_L$$

Ec. (7.1)

Algunos fabricantes de bombas se refieren a él como *carga dinámica total* (TDH).

7.1 Tipos de bombas.

White (2004), afirma que: “Hay dos tipos de bombas: de desplazamiento positivo y dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento” (p.725)

Las bombas dinámicas son de dos tipos: *centrifugas* y *axiales*. Se caracterizan por la manera en que la energía se convierte desde la alta velocidad del líquido en la entrada a la carga de presión en un paso difuso del fluido.

Sin embargo, sus ventajas radican en la salida del gasto hasta cierto punto alto comparado con su tamaño, así como sus bajos costos de mantenimiento. También operan con velocidades relativamente altas.

Las bombas de desplazamiento positivos son de varios tipos, entre ellos bombas reciprocantes, de espiral giratorio y de engranes. Estas bombas operan al forzar un volumen fijo de fluido, desde la sección de presión de entrada a la sección de descarga de la bomba.

7.1.1 Bombas sumergibles.

Una bomba sumergible funciona completamente inmersa en el agua a bombear. Normalmente usadas para bombear agua subterránea.

El punto de operación de una bomba y la selección de ésta.

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviará cuando se instale en un sistema dado. La carga total que desarrolla una bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico. La figura 13 ilustra el concepto. La curva de rendimiento de la bomba es la gráfica del flujo volumétrico que la bomba distribuye como función de la carga total, y a la que está sujeta el sistema que forma parte.

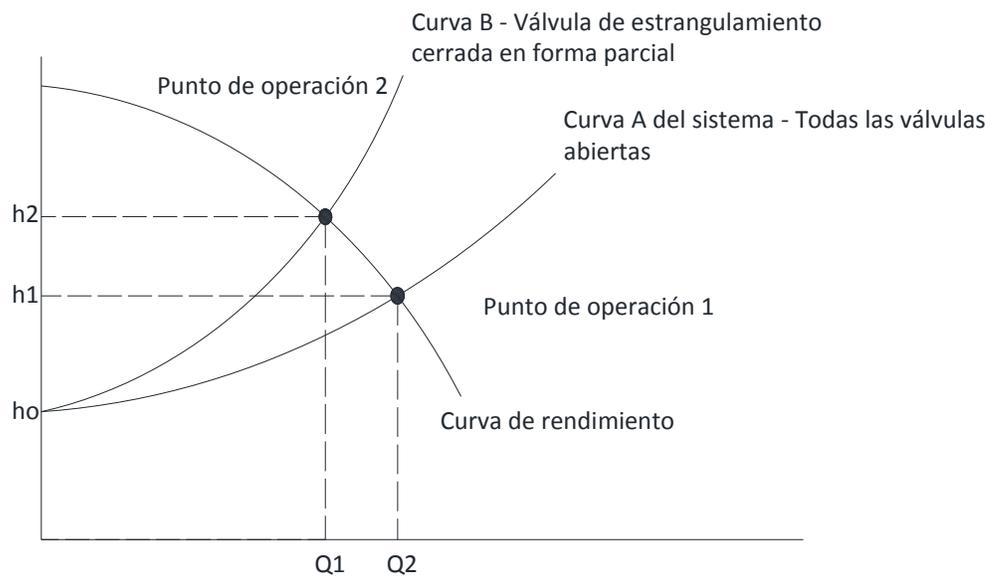
Si observamos la curva A, es la representación del sistema con todas las válvulas abiertas por completo. La curva comienza con un valor específico de carga total correspondiente a un flujo volumétrico igual a cero. Esto ilustra la resistencia del sistema antes que se establezca flujo alguno. Pero la bomba lleva el fluido a la elevación del punto de destino en el sistema y mantiene la presión en dicho lugar. Este punto se le denomina *carga estática* h_o , donde

$$h_o = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + z_2 - z_1$$

Ec. (7.2)

Conforme el flujo se incrementa con su aumento correspondiente en carga total, la curva del sistema interseca eventualmente en la curva de rendimiento de la bomba.

Entonces, *el punto de operación de la bomba de este sistema es donde se interseca la curva de éste con la curva de rendimiento de la bomba.*



Capacidad de la bomba

Figura 13. Punto de operación de una bomba.

Fuente: Mott Robert (p.). *Mecánica de fluidos* (2006).

7.5. Carga de succión neta positiva.

Una parte importante del proceso de la sección de la bomba es garantizar que la condición del fluido que entra a la bomba sea la apropiada para mantener un flujo completo de líquido. El factor principal es la presión del fluido a la entrada de la bomba, al que es común llamar *puerto de succión*.

El diseño de sistema de tubería debe proporcionar una presión suficientemente alta para evitar que se desarrollen burbujas de vapor dentro del fluido en movimiento, condición que recibe el nombre de *cavitación*. La tendencia a la formación de burbujas de vapor depende de la naturaleza del fluido, su temperatura y presión en la succión.

7.5.1. $NPSH_R$ Y $NPSH_A$.

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de succión que se requiere, con el fin de evitar la cavitación, y reportan los resultados como *la carga de succión positiva neta requerida*, $NPSH_R$ (en sus siglas en ingles *Net Positive Suction Head*), de la bomba en cada condición de capacidad de operación (flujo volumétrico) y la carga total sobre la bomba.

Es responsabilidad del diseñador del sistema de bombeo garantizar que la *carga de succión neta positiva disponible*, $NPSH_A$, esté muy por arriba de $NPSH_R$.

7.5.3. *Presión de vapor.*

La propiedad de un fluido que determina las condiciones en que se forman burbujas de vapor en un fluido, es la *presión de vapor* p_{vp} , que es común reportarla como presión absoluta en KPa o PSIA.

Cuando en una sustancia existe en equilibrio tanto de vapor como de líquido, hay un balance del vapor que sale del líquido debido a la energía térmica y a la condensación de vapor en el líquido, provocado a su vez por fuerzas de atracción entre moléculas presión de vapor. En la tabla VIII anexos podremos observar valores de presión de vapor y carga de presión de vapor del agua en función de la temperatura.

7.5.4. Cálculo de $NPSH_A$.

El valor de $NPSH_A$ depende de la presión de vapor del fluido que se bombea, las pérdidas de energía en el tubo de succión, la ubicación del almacenamiento de fluido y la presión que se aplica a éste. Esto se expresa como

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \text{ Ec. (7.3)}$$

h_{sp} = Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento,

se expresa en metros o en pie, y se calcula $h_{sp} = p_{sp}/\gamma$.

p_{sp} = Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

h_s = Diferencia de elevación desde el nivel de fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba, se expresa en metro o en pies.

Si la bomba está debajo del depósito h_s es positiva, de lo contrario, será negativa.

h_f = Pérdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas

menores, está dado en metros o pies.

h_{vp} = Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, se expresa en metro o pies, y se calcula $h_{vp} = p_{vp}/\gamma$.

p_{vp} = Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura a que se bombea.

En la tabla 9.2 de anexos podremos observar esos valores de presión.

7.6. Detalles en la línea de descarga.

En general, la línea de descarga debe ser tan corta y directa como sea posible, para minimizar la carga sobre la bomba, los codos deben ser del tipo estándar o de radio largo, si fuera posible. Debe seleccionarse el tamaño de la tubería de acuerdo con la velocidad o las pérdidas por fricción permisibles.

La línea de descarga debe contener una válvula cerca de la bomba para permitir que se dé el servicio a ésta o se remplace. La válvula actúa con la que está en la línea de succión para aislar la bomba. Por razón de resistencia baja, es preferible una válvula de mariposa. Si el flujo debe regularse durante el servicio, es mejor emplear una válvula de globo, porque permite un estrangulamiento suave a la descarga. En efecto, esto aumenta la carga del sistema y ocasionará que disminuya la entrega de la bomba.

VI. HIPÓTESIS Y VARIABLES

Con el fin de hacer uso de un pozo ya existente en la finca sanfrancisco, el proyecto se realizará de modo que, el sistema permitirá cumplir con las necesidades operativas del lugar y la distribución de las actividades diarias de la finca.

En base a un estudio y cálculos correctos se permitirá el uso de paneles solares para lograr un uso sustentable de los recursos del ambiente.

Con el aprovechamiento del pozo y la implementación de energía renovable, los cultivos tendrán mayor rendimiento en épocas de cosecha, de igual modo se mejorará la calidad de vida de los habitantes mediante el fácil acceso al agua.

Variables

- Caudal.
- Altura.
- Potencia.
- Consumo energético.

VII. DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto que se realizara es de tipo experimental con enfoque cuantitativo, ya que, la misma se basa en un protocolo de control, la presencia de variables, la manipulación de dichas variables y la observación de resultados cuantificables.

Para desarrollar dicho proyecto se necesita la comprensión de las siguientes variables que se tomaran en cuenta: caudal, altura, potencia y consumo energético.

Usaremos diferentes técnicas de investigación tales como: visita de campo y recolección de datos. Estos datos se tomarán a partir de entrevista a la propietaria de la finca San Francisco, la señora Elena Olivas.

Se exponen los siguientes pasos con el fin de llevar a cabo el sistema de riego con la utilización de energía solar.

1. Se consideran las condiciones laborales y la profundidad de la fuente de agua que abastece la finca. En este caso se cuenta con un pozo el cual todos los meses del año se mantiene lleno de agua, con esto se nos permite sentar una base sólida para la implementación de dicho proyecto.
2. Se calculará el caudal de agua, ya que es fundamental para garantizar un buen sistema de riego, y la adecuada disposición de la misma.

3. Se calcularán las pérdidas debido a los diferentes tipos de accesorios como: válvula de retención (check), válvula aliviadora, codos de 90° , etc. También las pérdidas por alturas en la conducción y por fricción en la tubería de riego, de esta manera, se obtendrán datos que ayudaran a la elección de la bomba mediante catálogos que nos brindan los fabricantes en el mercado.

4. Se propondrá un sistema de alimentación energética mediante paneles fotovoltaicos de acuerdo a las necesidades del sistema de bombeo, considerando el periodo que será utilizada y la demanda de potencia de dicho sistema.

El método MEFADEG empleado en el trabajo, en un método que emplea dos secciones las cuales son: datos generales Y diseño hidráulico. La primera se basa en el levantamiento de datos generales como son: el clima, altura de la fuente de agua, etc. La segunda se ocupa del diseño hidráulico del tanque que abastezca la tubería de riego.

En conclusión, se muestra que el material presentado en este trabajo nos servirá para la realización del diseño de sistema de bombeo mediante energía solar.

VIII. ANALISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Análisis del proyecto.

La finca San Francisco cuenta con un total de 8 habitantes, una encuesta realizada al jefe de familia en la primera semana marzo muestra la demanda de agua que la finca consumía por día, los datos los presentamos en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Cantidad real de consumo de agua por familia de la finca San Francisco.

Familias	Cantidad de personas	de Cantidad de usan por día (barriles)
1	8	4

Fuente: Propia

Actualmente las personas de la finca ocupan un total de 5 barriles (635.92 litros) de agua al día para realizar sus actividades diarias. Según la norma NTON 09 007 – 19 (facilitada mediante de la página web del MIFIC), cada persona que vive en ciudades necesitan 120 litros de agua por día, en cambio, en las áreas rurales (a como es nuestro caso), cada persona solamente necesita de 60 a 80 litros de agua por día, por lo tanto, tomando en cuenta estos datos y usando los 80 litros diarios, podemos decir que la demanda nominal será de 640 litros aproximadamente.

Proyección de la población.

Usando el método geométrico (el más usado en Nicaragua) que se aplica a localidades que no han alcanzado su desarrollo y que se mantiene creciendo a una tasa fija, es proporcional al tamaño de la población en un determinado tiempo.

Para el cálculo de las poblaciones futuras se usará la fórmula siguiente:

$$P_n = P_o(1 + r)^n$$

Donde:

P_n : Población del año n.

P_o : Población Actual.

r : Tasa de crecimiento en el periodo de diseño, expresado en notación decimal.

n : número de años que comprende el periodo de diseño.

Entonces tenemos que:

$$P_n = P_o(1 + r)^n$$

$$P_n = 8(1 + 0.03)^{20}$$

$$P_n = 14.44 = 14 \text{ personas}$$

Realizando una proyección de 20 años a una tasa de crecimiento poblacional del 3% (porque en ningún caso puede ser menor a 2.5% en base a lo establecido en la norma NTON 09 007 – 19), la finca contará con 14 personas aproximadamente,

Fuente de extracción de agua.

La finca cuenta con un pozo excavado a mano como fuente principal de agua, los habitantes lo recubrieron con concreto en su superficie para que este no se contamine ni se deteriore con las lluvias, inicialmente durante su construcción se determinó que su caudal aproximado era de 13.09 lts/seg usando como referencia cuanto tiempo tardaba en llenarse un recipiente de volumen conocido (20 lts) y haciendo un promedio con los datos recolectados en dicho momento.

Tanque de abastecimiento.

Teniendo en cuenta que el sistema de alimentación es directo ya que no se cuenta con un banco de baterías para evitar mayores costes, se almacenara el agua en un tanque para su distribución.

Topografía del terreno.

La finca se encuentra asentada sobre un relieve accidentado. A como podemos observar en anexos, la fuente de agua se encuentra a 35 metros de profundidad con respecto al nivel de la finca, esto debido a las características del terreno

IV. MEMORIA DE CÁLCULO.

Cálculo de potencia de la bomba.

Se tomará en cuenta las horas solares pico, las cuales según el programa RETScreen EXPERT son 5.24. Las bombas tienen un ciclo de trabajo de 50 min y un descanso de 20 min. Se asumirá que la bomba tendrá que trabajar 6 ciclos de 50 min para completar el volumen de agua necesario al día, esto significa que la bomba trabajara 5 horas.

Calculando el caudal de trabajo:

Ecuación de caudal

$$Q = \frac{V}{T} \rightarrow Q = \frac{30,000\text{ lts}}{300 \text{ min}} = \frac{100 \text{ lts}}{\text{min}}$$

$$\frac{100 \text{ lts}}{\text{min}} * \frac{50 \text{ min}}{\text{ciclo}} = \frac{5,000 \text{ lts}}{\text{ciclo}}$$

Debido a que las bombas se catalogan por el caudal que suministran por hora haremos que el ciclo sea de 60 min para así seleccionar la bomba adecuada:

$$\frac{5,000 \text{ lts}}{\text{ciclo}} * \frac{1}{5} = \frac{1,000 \text{ lts}}{\text{cada } 10 \text{ min}} * \frac{6}{\text{hr}} = \frac{6000 \text{ lts}}{\text{hr}}$$

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) = \frac{6\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Supongamos que el pozo está totalmente lleno y requerimos transportar todo el fluido al tanque de abastecimiento en una hora, y sabiendo que la capacidad del pozo tomada como referencia será de 6 m^3 , entonces nuestro caudal será de $6 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Iniciemos usando la ecuación de la energía, donde:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde el punto 1 es la superficie del reservorio, y el punto 2 es la superficie del tanque. Ambos depósitos están abiertos a la atmosfera. También sabemos que no hay ningún dispositivo que extraiga energía del sistema (así como turbinas o motores de fluido). Esto es:

$$\frac{p_1}{\gamma} : 0 \quad \frac{p_2}{\gamma} : 0 \quad h_R : 0$$

La ecuación 5.3 se nos reduce a:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Debido a que los depósitos son considerablemente grandes, la velocidad en la que el fluido se desplaza verticalmente dentro de ellos, la consideramos despreciable, por esto resulta que:

$$\frac{v_1^2}{2g} \approx 0; \quad \frac{v_2^2}{2g} \approx 0$$

Nuestra ecuación se ha reducido a:

$$z_1 + h_A - h_L = z_2$$

Nuestra ecuación solo tomará en cuenta *la altura piezométrica, las diferencias de altura y las pérdidas* en el sistema.

Nuestra prioridad es conocer la potencia de la bomba, que está dada por:

$$P_A = h_A \gamma Q$$

Tenemos que nuestro caudal es 6 m³/hr y el peso específico del agua a 35°C es 9.75 KN/m³ (según tabla I de anexos A). Necesitamos encontrar la carga total para introducirla en la ecuación 5.1.

Entonces:

$$h_A = z_2 - z_1 + h_L$$

La altura entre los puntos de referencia que corresponde a la superficie del pozo (z_1) y la superficie del tanque de abastecimiento (z_2) equivale a 44 metros. Nuestro enfoque ahora se basará en encontrar las pérdidas que actúan en el sistema.

Comenzaremos por calcular las pérdidas por fricción del sistema, debemos conocer el tipo de flujo que actúa a través del sistema, para esto es necesario calcular el *Número de Reynolds* dado por la ecuación 5.1.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

Donde v es la velocidad del fluido y está dado por:

$$Q = v \times A$$

Entonces:

$$v = Q/A$$

A es la sección transversal de la tubería en la línea de descarga.

La figura I de anexos B, nos muestra las recomendaciones de tamaños de tubería en dependencia del flujo volumétrico. Por tanto, para un flujo volumétrico de 6 m³/hr (1.67x10⁻³m³/s), (30 gln/min) en la línea de descarga nos muestra una tubería de 1.1/4 pulgadas de diámetro nominal.

Usando la fórmula de diámetros obtenemos:

$$Q = V * A$$
$$Q = V * \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)$$

$$D_{descarga} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{descarga}}} =$$

$$D_{descarga} = \sqrt{\frac{4x(1.67x10^{-3}m^3/s)}{(\frac{2m}{s})(3.1416)}}$$

$$D_{descarga} = 0.036m$$

$$D_{descarga} = 1.25inch$$

Lo cual estaba cerca de la suposición inicial usando solamente la figura I

La tabla III de anexos A nos muestra las dimensiones para tubería cédula 40, donde tenemos que para la tubería de 1.25 pulgadas, el diámetro interior es de 35.1mm y la sección transversal A es $9.653 \times 10^{-4} m^2$.

Al tener el valor de la sección transversal, procedemos a calcular la velocidad del fluido:

$$v = \frac{6m^3/hr}{9.653 \times 10^{-4} m^2} = 6215.68 m/hr$$

$$v = 1.72 m/s$$

La cual es inferior a 2 m/s que es la velocidad máxima para DESCARGA

Según tabla I de anexos A la viscosidad dinámica η para el agua a 30°C es

$8.03 \times 10^{-4} Pa \cdot s$ y para la densidad ρ nos muestra un valor de $996 Kg/m^3$.

Sustituyendo valores en la ecuación 6.1, tenemos:

$$N_R = \frac{\left(\frac{1.72m}{s}\right)(35.1 \times 10^{-3} m)\left(\frac{996kg}{m^3}\right)}{8.03 \times 10^{-4} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 74,882.331$$

Sabemos que si $N_R < 2000$ el flujo es laminar, y si $N_R > 4000$ el flujo es turbulento. En el capítulo 5 mostramos las ecuaciones correspondientes para los tipos de flujo, en este caso el flujo es de tipo turbulento, donde aplicaremos el diagrama de Moody (figura II de anexos B) o realizar la formula empírica de Swamee y Jain (ecuación 6.5) para encontrar el factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{NR^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Podemos encontrar el valor D/ε haciendo uso de la tabla 3: Para tuberías de acero comercial ε equivale: $4.6 \times 10^{-5}m$, y un diámetro interno de 52.5 mm. Entonces:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{0.0525M}{4.6 \times 10^{-5}}\right)} + \frac{5.74}{NR^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{0.0351M}{4.6 \times 10^{-5}}\right)} + \frac{5.74}{74882.331^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.0239$$

Con el valor del factor de fricción f , podemos encontrar el valor de la pérdida por fricción h_L dada por la ecuación 5.2:

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

Donde L es la longitud de la tubería y D el diámetro.

$$h_L = 0.023 \times \frac{53}{0.0351\text{m}} \times \frac{(1.72\text{m/s})^2}{2\left(\frac{9.8\text{m}}{\text{s}}\right)}$$

$$h_{L1} = 3.04\text{m}$$

Procedemos a calcular las pérdidas de energía que ocasionan los accesorios, así como; las válvulas, codos y las expansiones o contracciones que sufre el flujo.

Hemos seleccionado para nuestro sistema de bombeo las siguientes válvulas:

Una válvula de purga de aire, una válvula de retención y una válvula de compuerta; comúnmente las válvulas de retención se les puede añadir un filtro como accesorio, así podemos usarlo como válvulas de pie y retención a la vez.

Para calcular las pérdidas que ocasionan las válvulas usamos ecuación 7.1:

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

El coeficiente de resistencia K se reporta en la forma:

$$K = (L_e/D)f_t$$

Al ingresar los tres coeficientes de resistencia K a la ecuación, obtenemos:

$$h_L = (L_e/D)_1 f_t \left(\frac{v^2}{2g} \right) + (L_e/D)_2 f_t \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Sacando factor común:

$$h_{L2} = [(L_e/D)_1 + (L_e/D)_2] \times \left[f_t \left(\frac{v^2}{2g} \right) \right]$$

Los valores de (L_e/D) varían con respecto al diseño de las válvulas, tales valores los podemos ver en la tabla VII de anexos A, $(L_e/D)_1$ corresponde a la válvula de pie. y $(L_e/D)_2$ corresponde a la válvula de compuerta. f_t es el factor de fricción en la zona de turbulencia completa obtenido de la tabla 4(0.021).

$$h_{L2} = (75 + 8) \times 0.021 \times \frac{(1.72\text{m/s})^2}{2\left(\frac{9.8\text{m}}{\text{s}}\right)}$$

$$h_{L2} = 0.15\text{m}$$

Tenemos tres codos a 90° donde su coeficiente de resistencia K es igual a $30f_t$, entonces:

$$h_{L3} = 30f_t x \frac{(1.72m/s)^2}{2\left(\frac{9.8m}{s}\right)}$$

$$h_{L3} = 0.0552m \times 3$$

En esta sección usaremos: una válvula de globo, una válvula de alivio y dos codos a 45°.

Los cálculos se realizan de la misma forma:

$$h_{L4} = \left(\left(\frac{L_e}{D_3}\right) + \left(\frac{L_e}{D_4}\right)\right) x 0.021x \frac{(1.72m/s)^2}{2\left(\frac{9.8m}{s}\right)}$$

$$h_{L4} = ((340) + (1)) x 0.021x \frac{(1.72m/s)^2}{2\left(\frac{9.8m}{s}\right)}$$

$$h_{L4} = 0.628m$$

Codos a 45°.

$$h_{L5} = 2(15)x 0.021x \frac{(1.72m/s)^2}{2\left(\frac{9.8m}{s}\right)}$$

$$h_{L5} = 0.0552$$

Al final de la tubería, existe una expansión súbita donde también actúan pérdidas, está denotado por siguiente ecuación:

$$h_{L6} = 1 \times \frac{(1.72m/s)^2}{2\left(\frac{9.8m}{s}\right)}$$

$$h_{L6} = 0.0877m$$

Ahora, el sumatorio total de todas las pérdidas, la agregamos a nuestra ecuación para encontrar la carga total:

$$h_A = z_2 - z_1 + \sum h_{LT}$$

$$h_A = z_2 + z_1 + h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} + h_{l4} + h_{l5} + h_{l6}$$

$$h_A = 44m + (3.04 + 0.15 + 0.0552 + 0.628 + 0.0552 + 0.0877)m$$

$$h_A = 48.01m$$

Agregamos al cálculo un factor de servicio de 1.20 que es el más típico para capacidades de 60 Hz mientras que para 50 Hz es de 1.00 (2011, FRANKLIN ELECTRIC AIM MANUAL, pág. 37) entonces:

$$h_A = 57.6m$$

Teniendo el valor de la carga total, podemos encontrar la potencia de la bomba.

$$P_A = 58 \times \frac{9.75kn}{m^3} \times 6 \frac{m^3}{hr} \left(\frac{1hr}{3600s}\right)$$

$$P_A = 0.9425kw$$

O

bien:

$$P_A = 1.26 \text{ hp}$$

Cálculo de la Carga de succión neta positiva disponible NPSHA.

Tenemos que $NPSHA = h_{sp} - h_s - h_f - h_{vp}$

$$\text{Si } h_{sp} = \frac{P_{abs}}{\gamma} = \frac{101.3 \text{ Kpa}}{9.75 \text{ KN/m}^3} = 10.38 \text{ m}$$

h_s es la altura desde el punto más bajo que se encuentra el fluido hasta la

Succión en la bomba, esto equivale aproximadamente a 0 m ya que la fuente de agua se encuentra al mismo nivel que la bomba sumergible.

h_f Es la sumatoria de las pérdidas, esto es 4.01m, h_{vp} lo obtenemos por medio de la tabla VIII de anexos. $h_{vp} = 0.45 \text{ m}$.

$$NPSHA = 10.38 - (0) - 4.01 - 0.45 = 5.92\text{m}$$

Mott (2006) nos afirma que: "Es responsabilidad del diseñador (...) garantizar que la carga de succión neta disponible, NPSHA, este muy por arriba de la NPSHR" (p. 413).

Selección de la bomba por medio de las curvas características.

En la práctica, la selección de las bombas es muy fácil, si conocemos el caudal requerido y la *carga total de bomba*, Pope (2000) señala que: “La potencia necesaria para operar una bomba depende de dos propósitos: el primero, sobrepasar todas las pérdidas en los circuitos de flujo relacionados; segundo: suministrar energía al fluido para la tarea específica” (p. 98).

Usando las tablas del sitio web del fabricante obtenemos lo siguiente:

Datos de la bomba:

Marca: FRANKLIN ELECTRIC Serie: subdrive solar pack No de parte: 90043530

Modelo: 35SDSP-3.0HP

Potencia: 2750 watts

Voltaje entrado: 190-330 V monofásico.

Rinde hasta 32GPM

TDH en pies: 197 = 60 metros Más detalles de la bomba lo podemos observar en anexos

E ficha técnica de la bomba.

Calculo de Sistema fotovoltaico.

Ubicación del área de estudio.

El estudio se ubica en la ciudad de Nagarote a 2 kilómetros al norte del casco urbano, región del pacífico de Nicaragua, entre las coordenadas: latitud 12.2659° y longitud -86.5647° con una altitud de 76 msnm.



Figura. Mapa de la finca san francisco y la ubicación del pozo, panel FV y tanque. Fuente: propia.

Orientación de los paneles fotovoltaicos.

La inclinación de los rayos del sol y en consecuencia la radiación incidente respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año, esto quiere decir que en estaciones veraniegas serán máximas y en invierno serán mínimas, debido a esto una forma de optimizar las instalaciones de los paneles es fijándolo en un ángulo que optimizara la colección de energía sobre una base anual.

Para ubicar en la orientación correcta un panel solar hay que valorar el ángulo acimutal, esto se refiere a la posición de los paneles fotovoltaicos con respecto a la línea ecuatorial, esta posición depende de la ubicación geográfica donde nos encontramos, para ser claros, los paneles deben apuntar hacia el ecuador. Nicaragua se encuentra en el

hemisferio norte, entre la línea ecuatorial y el trópico de cáncer aproximadamente entre los 11° y los 15° de latitud norte, es decir, en la zona superior de la línea ecuatorial.

Por ello, los paneles deben de colocarse hacia el sur ya que su orientación e inclinación depende de la latitud en la que nos encontramos. En caso contrario si estuviéramos ubicado en el hemisferio sur, los paneles se colocarían en orientación al norte para obtener la mayor cantidad de rayos provenientes del sol.

La inclinación de los paneles fotovoltaicos dependerá siempre de la posición del sol, ya que este varia en épocas de invierno y verano, debemos buscar que siempre los paneles fotovoltaicos se encuentren perpendicular a la dirección del sol, existen seguidores solares que ayudan a que el sistema sea más eficiente, pero esto significara un gasto muy significativo para los propietarios de la finca san francisco. Tomaremos un ángulo de inclinación de 23° ya que vendría siendo el valor absoluto de la latitud incrementado en 10° usado para instalaciones de consumos constantes todo el año.

En primer lugar, se debe introducir un concepto fundamental, el de las “Horas Sol Pico” (HPS). Se puede definir como el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2 . Es decir, una hora solar pico “HPS” equivale a 1 KWh/m^2 o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m^2 . Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1000 watts/m^2 . (Lorenzo, Manual de cálculo de instalaciones fotovoltaicas autónomas., 2011) Esta es la estimación más común es este tipo de proyectos.

Datos del lugar donde se realiza el diseño para saber la irradiación de la que dispondremos

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar		Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo
	°C	%	Precipitación mm	diaria - horizontal kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C
Enero	26.4	66.3%	2.17	5.55	98.9	2.8	28.1
Febrero	27.0	63.5%	3.08	6.06	98.8	3.1	29.3
Marzo	28.1	61.6%	5.89	6.69	98.8	3.2	30.9
Abril	29.4	60.2%	18.90	6.52	98.7	3.1	32.1
Mayo	28.8	68.6%	122.14	5.77	98.7	2.4	30.5
Junio	27.3	79.0%	140.10	5.69	98.7	1.7	28.3
Julio	27.1	78.4%	88.66	5.78	98.8	1.9	27.8
Agosto	27.3	78.6%	116.87	5.75	98.8	1.9	28.3
Setiembre	26.8	81.8%	195.60	5.36	98.7	1.4	27.6
Octubre	26.6	82.3%	150.66	5.27	98.7	1.4	27.1
Noviembre	26.3	77.4%	30.00	5.24	98.7	1.5	27.1
Diciembre	26.4	70.3%	5.27	5.33	98.8	2.3	27.4
Anual	27.3	72.4%	879.34	5.75	98.8	2.2	28.7
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	NASA
Medido a					m	10	0

Tabla 3. Tabla energética obtenida con el programa RETScreen

En esta tabla se puede observar que el mes con la radiación solar diaria más baja es el mes de noviembre con 5.24 (KWh/m²/d).

Demanda energética del sistema.

Se procede a realizar el cálculo de la demanda donde se calculará el consumo medio diario de la instalación. Debemos tener en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento del inversor y esto influye en la energía necesaria final.

Por lo cual al consumo medio diario se le ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado. (Lorenzo, Manual de Cálculo de instalaciones fotovoltaicas autónomas., 2011)

Primero recordemos que la potencia de nuestra bomba será de 3 hp o 2.750 KW, donde está impulsará un flujo de agua de 6 m³/hr, donde lo hará 2 veces en el día. Por medio de la siguiente ecuación calculamos la potencia total que entregarán los paneles solares:

$$P_{total} = 2.750KW \times 1.15 \times 1.2 \times 2 = 7.59kw$$

P_{total} : Es la cantidad de KWh necesarios que requiere el sistema.

1.15: Es el factor de corrección de corriente continua a corriente alterna, pasando por el inversor, considerando una eficiencia del 85% en la conversión a plena carga del equipo.

1.2: Es el factor de seguridad de sobre dimensionamiento, esto toma en cuenta el envejecimiento del panel y baterías, suciedad sobre los paneles, fallas en conexiones eléctricas (MARGEN DE SEGURIDAD).

2 = número de horas de funcionamiento al día.

Selección del controlador.

El conjunto motor y bomba sumergible Franklin Electric de catálogo nos indica que el controlador debe ser el modelo 5870301223. El cual tiene las características descritas previamente en la Tabla 4. Ver anexo B6 para comprender el diagrama de conexión del sistema.

El controlador Subdrive Solar es un dispositivo de motor de velocidad variable diseñado para el funcionamiento del motor de inducción sumergible trifásico de Franklin Electric.

El controlador Subdrive Solar convierte la corriente directa de alto voltaje proveniente de un módulo solar en corriente alterna para operar un motor estándar sumergible de CA.

Cuando no se cuenta con energía solar, el controlador puede cambiar automáticamente a una entrada alternativa de CA monofásica, tal como la de un generador o inversor de batería, si está disponible. El controlador proporciona detección de fallas, arranque suave del motor y control de velocidad.

	Modelo 0.75 HP (0.55 kW)	Modelo 1.5 HP (1.1 kW)	Modelo 3.0 HP (2.2 kW)
N° de modelo del controlador	5870300553	5870301113	5870301223
Voltaje de salida, Max	100 V CA, trifásico	200 V CA, trifásico	200 V CA, trifásico

Amperios (RMS) MAX	8.6 A, cada fase	6.8 A, cada fase	12.5 A, cada fase	
Frecuencia de salida	30-60 Hz	30-58 Hz	30-68 Hz	
Eficacia a potencia MAX	96%	96%	96%	

Tabla de Parámetros eléctricos del controlador del sistema fotovoltaico.

Generalmente, para el buen dimensionamiento, tomaremos un rendimiento del inversor un 96% y de los conductores un 100%. (Lorenzo, Manual de cálculo de instalaciones fotovoltaicas autónomas., 2011)

El sistema se diseña de tal manera que no utilice banco de baterías por dos sencillas razones: la primera es que el solarpak está más enfocado a la alimentación directa del sistema con un tanque para almacenar el agua ya que el rendimiento máximo del sol sirve para satisfacer las necesidades actuales de bombeo evitando así el uso de baterías que a largo plazo solo incrementaría sus requerimientos de mantenimiento y segundo, esto resulta en un ahorro en costes tomando en cuenta que la vida útil de una batería ronda en promedio de 5 años, por lo que no se toma en cuenta esta eficiencia

. El rendimiento del controlador lo obtenemos de la ficha técnica (ver anexos B3) el cual es de 96%.

Numero de paneles.

Para el cálculo del número de paneles necesarios para el diseño se utiliza el consumo energético medio diario de energía de corriente alterna y corriente directa, además de la eficiencia del inversor, batería y conductor.

Ecuación 10. Ecuación de consumo energético medio diario.

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat}\eta_{con}}$$

Dónde:

L_{md} : Consumo energético medio diario

$L_{md,DC}$: Consumo energético medio diario de corriente directa

$L_{md,AC}$: Consumo energético medio diario de corriente alterna

η_{inv} : Eficiencia del inversor

η_{bat} : Eficiencia de la batería

η_{con} : Eficiencia del conductor

$$L_{md} = \frac{7590watts}{0.96} = 7906 watts$$

Dimensionado del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).

El dimensionado del generador FV se basa en suministrar el consumo energético medio diario. El tamaño del campo de paneles, o potencia pico de la instalación, se calcula teniendo en cuenta la radiación solar disponible. (Abella, 2001)

Ecuación 11. Ecuación de número de paneles necesarios

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{PM} HSP_{mes\ crítico} PR}$$

Dónde:

L_{md} : Consumo energético medio diario.

P_{PM} : Potencia pico del módulo en condiciones estándar de medida STC

$HSP_{mes\ crítico}$: Horas solares pico Del mes crítico

PR : Factor global de pérdidas de los paneles que varía entre 0.65 y 0.90. Se usará el factor de 0.80

Se selecciona el panel marca KYOCERA modelo KD215GX-LPU el cual tiene una potencia de 215 Watts. Ver Anexos B5.

$$A = \frac{7906.25}{215 \times 5.24 \times 0.77} = 9.1140 = 10 \text{ paneles}$$

Numero de módulos conectados en serie.

El número de módulos en serie será el número entero superior al cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión del punto de máxima potencia del módulo

fotovoltaico seleccionado. (Abella, 2001). Para este sistema el panel proporciona una tensión máxima de 26.6 V.

V_N , la tensión nominal de la instalación: La tensión nominal del sistema es normalmente la necesaria para las cargas más elevadas. Si predominan cargas AC, debe elegirse una tensión DC que sea compatible con la entrada del inversor. Si las demandas de potencia más elevadas son para el consumo de aparatos DC, debe elegirse el valor de la tensión de la carga mayor. Es necesario mantener unos niveles aceptables.

Normalmente la corriente de cada circuito debe limitarse a 20 A, con un total de 100 A. El rendimiento de los inversores es mejor a tensiones más altas como 48 y 120 V. La selección del inversor es importante e influye tanto en el costo como en el funcionamiento y la fiabilidad del sistema. (Abella, 2001)

En general se recomiendan tensiones de 12 V para potencias menores de 1,5 kW, 24 o 48 V para potencias entre 1,5 y 5 kW, 48 y 120 V para potencias mayores de 5 kW. (Abella, 2001)

En el sistema que se está diseñando la potencia media de consumo es de 7906 por lo cual la tensión nominal según diseño es de 48 V. Para este sistema el panel proporciona una tensión máxima de 26.6 V. Ver Anexo B5

$$L_{MS} = \frac{V_N}{V_M} = \frac{48}{26.6} = 1.80 = 2 \text{ paneles en serie}$$

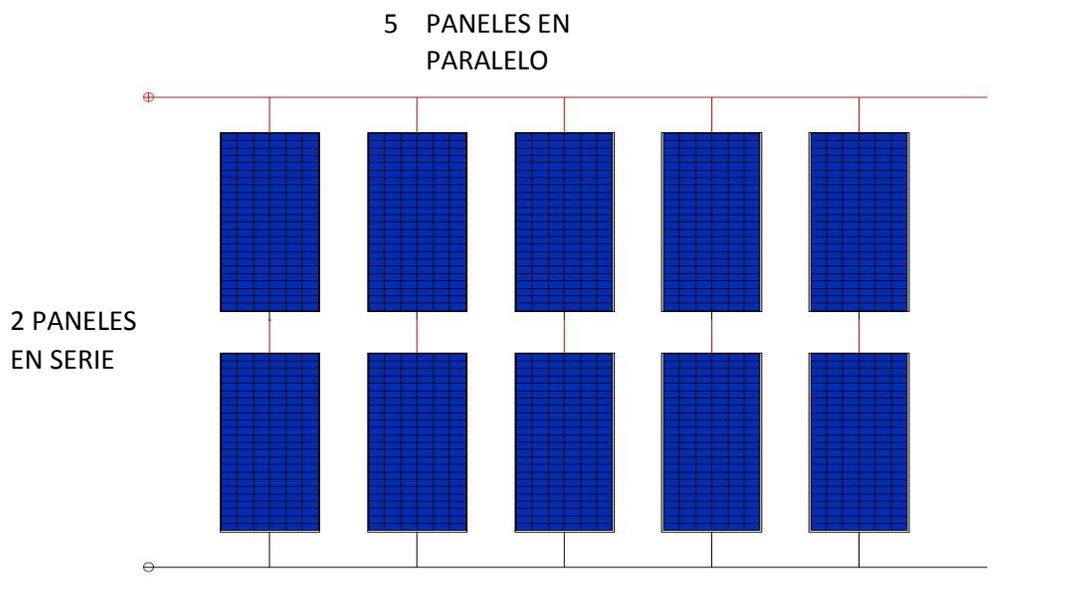
Ecuación 12. Ecuación de número de módulos en serie.

Numero de módulos conectados en paralelo.

Para calcular el número de módulos conectados en paralelo se determina mediante el cociente entre el total de módulos del sistema (N_T) y el número de módulos conectados en serie (N_{MS}).

$$N_{MP} = \frac{N_T}{N_{MS}} = \frac{10}{2} = 5 \text{ paneles en paralelo}$$

Ecuación 13. Ecuación de número de módulos en paralelo



Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos

Cálculo del calibre de conductores eléctricos.

Material	γ_{20}	γ_{70}	γ_{90}
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28
Temperatura	20°C	70°C	90°C

Figura N° 19 Tabla de la resistividad o resistencia específica de algunos conductores. Tabla obtenida de la norma UNE 20003

La fórmula general para el cálculo de sección de cable para corriente continua es (Harper, 1993):

$$S = \frac{2 * L * I}{\gamma(VA - VB)}$$

Ecuación 14. Ecuación de sección de cable CC.

Dónde:

S: Area de la sección transversal del conductor

L: Longitud del conductor

I: Intensidad de la corriente

γ : Resistividad o resistencia específica del conductor

(VA - VB): 3 % Caída de tensión máxima admisible

$$L_{MS} = \frac{2 * 10 * 12}{48(3)} = 1.67 \text{mm}^2$$

El área de la sección transversal nominal más próxima a la calculada es la del calibre 13 AWG por lo que este será el cable seleccionado. Ver tabla A4 en anexos.

Para determinar el área de la sección de cable para corriente alterna se hace uso de la caída de tensión, siendo el equipo de bombeo un sistema de fuerza la caída de tensión admisible debe de ser menor al 5%. (Harper, 1993)

$$W = \sqrt{3} * V_f I \cos \phi$$

Ecuación 15. Ecuación de potencia

Dónde:

W : Potencia del motor

I : Intensidad de corriente V_f :

Voltaje de fase

$\cos \phi$: Factor de potencia

Despejando esta ecuación se obtiene el valor de la intensidad de corriente.

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * V_f \cos \phi}$$

Ecuación 16. Ecuación de intensidad de corriente.

$$I = \frac{2750}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.96}$$

$$I = 8.2693 \text{ A}$$

Y para obtener la caída de voltaje entre fases se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{\sqrt{3} LI}{50 S}$$

Ecuación 17. Ecuación de caída de voltaje entre fases.

$$E_F = \frac{\sqrt{3}}{50} \times \frac{10M * 8.2693A}{2.5mm^2}$$

$$E_F = 1.1458 \text{ V}$$

Aquí se puede observar que la caída de voltaje entre fases es de 1.14 V. Luego se prosigue a calcular el porcentaje de caída de tensión, el cual se obtiene mediante la siguiente formula:

$$E\% = \frac{E_f}{V_f} * 100$$

Ecuación 18. Ecuación de porcentaje de caída de tensión.

$$E\% = \frac{1.1458 \text{ V}}{200 \text{ V}} \times 100 = 0.57\%$$

$0.57\% < 5$ Este porcentaje de caída de tensión es aceptable.

Se tiene un porcentaje de caída de tensión aceptable, por lo que el cable seleccionado es de calibre 13. Ver tabla en anexos.

Perdidas por temperatura

TABLE 27.1 Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity ^a ($\Omega \cdot \text{m}$)	Temperature Coefficient $\alpha[(^{\circ}\text{C})^{-1}]$
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome ^b	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\approx 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

^a All values at 20°C.
^b A nickel–chromium alloy commonly used in heating elements.

Uno de los efectos perjudiciales del efecto Joule es el calentamiento que se produce en los conductores eléctricos cuando son recorridos por una corriente eléctrica. Para evitar que este calentamiento alcance valores que sean perjudiciales para los mismos se

construyen de diferentes secciones. Cuanto mayor sea la corriente que fluirá por ellos, mayor será su sección.

La potencia perdida en un conductor produce calor que, al acumularse, eleva su temperatura, pudiendo llegar a fundir el aislante conductor.

Esto puede llegar a ser muy peligroso ya que podrían originarse incendios. Por otro lado, los aislantes al estar sometidos a estas temperaturas pierden parte de su capacidad para aislar y envejecen con rapidez, lo que los hace quebradizos y prácticamente inservibles.

La resistencia de un conductor metálico incrementa al aumentar la temperatura. Dicho incremento depende de la elevación de la temperatura y del coeficiente térmico de resistividad alfa (α), el cual se define como el cambio de resistividad por grado centígrado de variación a 0° C ó a 20° C.

Se calcula el valor de la resistencia a 20°C en el tramo de sección de los paneles al controlador de carga.

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

Dónde:

R= es la resistencia del conductor.

ρ = es la resistividad Del conductor

(0.018 Ohm-mm²/m)

L= longitud del conductor.

S= Sección transversal del conductor en mm².

$$R = 0.018 * \frac{10}{2.5}$$

$$R = 0.072 \Omega$$

Se calcula la pérdida de potencia por temperatura con el uso de la siguiente fórmula.

$$P_{pL} = R_L * I^2$$

Dónde:

P_{pL}: Potencia perdida en la longitud del conductor

R_L: Resistencia del conductor.

*I*²: Intensidad de la corriente elevada al cuadrado.

$$P_{pL} = 0.072 * 8.09^2 = 4.71W$$

$$\text{Pérdida de potencia en \%} = \frac{4.71}{215} = 0.021 = 2.1\%$$

Se procede al cálculo de pérdidas por temperatura en la sección del controlador a la bomba.

Para esto se calcula la intensidad de corriente con la ayuda de la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{V}$$

Dónde:

I= Intensidad de corriente en Amperes

P= potencia del motor en watts

V= voltaje en volts

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{2750}{230} = 11.95A$$

Se prosigue con el cálculo de la resistencia del conductor de esta sección (tramo controlador motor de la bomba).

$$R = 0.018 * \frac{35}{2.5}$$

$$R = 0.252 \Omega$$

Se calcula la perdida de potencia por temperatura.

$$P_{pL} = 0.252 * 11.95^2 = 35.98W$$

$$\text{Pérdida de potencia en \%} = \frac{35.98}{2750} = 0.01308 = 1.3\%$$

Identificación de conductores según código 100 de instalaciones eléctricas de Nicaragua.

Uso de los colores blanco o gris natural. La envoltura de colores continuos blanco o gris natural o las marcas blancas o gris natural en los extremos de un conductor, deben usarse solamente en los conductores puestos a tierra.

Excepción No. 1: Un conductor aislado con un acabado de color blanco o gris natural puede usarse como conductor activo cuando se identifique nuevamente indicando su uso en su terminación y en cada parte donde el conductor sea visible y accesible.

Excepción No. 2: Un cable con uno de sus conductores aislados, con acabado exterior de color blanco o gris natural puede ser utilizado en las conexiones entre interruptores mono polares, de tres o de cuatro vías, si el conductor con cubierta blanca o gris natural se usa para alimentar el interruptor, pero no como conductor de retorno desde éste hasta otro interruptor en su caso que retorna a la alimentación. En estas aplicaciones no se requiere identificar de nuevo el conductor de cubierta blanca o gris natural.

Excepción No. 3: Para la conexión de un aparato debe realizarse mediante un cordón flexible con un conductor identificado por el color blanco o gris natural de su acabado exterior o por cualquier otro método, esté o no la salida a la cual ha de conectarse, alimentada por un circuito que tenga un conductor puesto a tierra.

Excepción No. 4: Un conductor, con cubierta blanca o gris natural, de circuitos de menos de 50 V, debe ser puesto a tierra solamente como especifica la Sección 250-5 (a).

Medios de identificación de los conductores puestos a tierra.

a) Sección transversal nominal 13.30 mm² o menores. Los conductores puestos a tierra con sección transversal de 13.30 mm² o menores deben identificarse en toda su longitud por un acabado exterior de color blanco o gris natural.

Excepción No. 1: Cables Multiconductores con cubierta aislante barnizada.

Excepción No. 2: Conductores para aparatos electrodomésticos.

Excepción No. 3: Cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado tiene acceso a las instalaciones, se permiten identificar los extremos de los conductores puestos a tierra de los cables multiconductores, durante la instalación, por medios distintivos permanentes de color blanco o cualquier otro medio igualmente efectivo.

Excepción No. 4: El conductor puesto a tierra de un cable con aislamiento mineral y cubierta metálica, debe identificarse en el momento de su instalación por una marca distintiva en sus extremos. Para cable aéreo, la identificación debe hacerse como se indicó anteriormente o mediante una marca en alto relieve a lo largo del cable y visible, de modo que pueda identificarse.

b) Cordones flexibles. El conductor aislado, destinado, a ser usado como conductor puesto a tierra y que forme parte de un cordón flexible, debe ser de color blanco o gris natural o identificarse.

d) Conductores, puestos a tierra de sistemas diferentes. Cuando se instalen conductores de sistemas diferentes en la misma tubería, caja, canal auxiliar otro tipo de canalización, si se requiere un conductor puesto a tierra del sistema, éste debe tener una cubierta exterior que satisfaga la Sección (a) o (b) anteriores. Cada conductor puesto a tierra de otro sistema, debe tener una cubierta blanca con una traza coloreada indeleble que no sea verde, a lo largo del aislamiento u otro medio de identificación de acuerdo a lo permitido, en la Sección 200-7 (a) o (b).

Medio de identificación de terminales.

La identificación de terminales al cual ha de ser conectado, un conductor puesto a tierra debe ser substancialmente de color blanco. La identificación de otras terminales debe de ser de color diferente y fácil de identificar.

Excepción: Donde las condiciones de mantenimiento y supervisión pueden asegurar que solamente personal calificado tiene acceso a las instalaciones, se permite que las terminales para conductores puestos a tierra tengan identificación permanente, durante la instalación, con distintivos de color blanco o cualquier otro medio igualmente efectivo.

Mantenimiento del sistema de bombeo de agua.

Los sistemas de bombeo FV requieren muy poco mantenimiento, aunque se ha de realizar un mantenimiento preventivo explicativo el manual de operación y mantenimiento de instalación.

La manera más efectiva para maximizar los beneficios de los sistemas de bombeo de agua es llevando a cabo un mantenimiento preventivo. El programa de mantenimiento preventivo debe estar diseñado para maximizar el costo de vida útil del sistema. Cada tipo de sistema tiene diferentes requisitos de mantenimiento.

En general se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma.

- ✓ Vigilancia

- ✓ Mantenimiento preventivo

- ✓ Mantenimiento correctivo

Vigilancia

Estas actuaciones se refieren básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos.

Su realización será responsabilidad del usuario, según la periodicidad marcada en el manual de uso e instrucciones, la cual será de al menos de 1 vez al mes en instalaciones aisladas a la red general de distribución y 1 vez cada 6 meses en las conectadas a la red general de distribución.

El usuario notificará al instalador ante la presencia de anomalías según lo indicado en el manual de instrucciones y una vez realizadas sin éxitos las recomendaciones que figuren en el mismo.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una actividad programada de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido. El propósito es prever averías o desperfectos en su estado inicial y corregirlas para mantener la instalación en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costes de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.

Mantenimiento correctivo

El Mantenimiento correctivo es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o instalación.

El mantenimiento y la frecuencia de las revisiones dependerán de las horas de funcionamiento de la bomba, de la severidad de las condiciones de servicio y de los materiales utilizados en la construcción.

Planificación de mantenimiento según su frecuencia

Mantenimiento en paneles fotovoltaico

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión de la instalación, de acuerdo a su configuración y potencia (pico o nominal), según la siguiente periodicidad.

Tabla 3.13 Planificación de mantenimiento del sistema Fotovoltaico

Tipo de estación	Potencia pico nominal (W)	Frecuencia (meses)
Fotovoltaicas no conectadas a la red general de distribución	Menor o igual a 750W	12
	Mayor de 750W	6
Fotovoltaica conectadas a la red general de distribución	Menor o igual a 5KW	12
	Mayor de 5 KW	6

Significado de abreviaturas:

- IV: Inspección visual
- CF: Control (o comprobación) de funcionamiento

Equipo	Frecuencia	Trabajo a realizar
COLECTORES SOLARES		
Colectores	6 meses	IV de diferencias sobre original
	6 meses	IV presencia daños que afectan la seguridad
	12 meses	IV de limpieza
Carcasa	12 meses	IV de deformación, oscilaciones y estado de la conexión a tierra.
Conexión	12 meses	IV de apriete de bornes y conexiones y estado de diodos de conexión
Estructura	12 meses	IV de degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillo.

EQUIPOS ELECTRONICOS		
Reguladores	12 meses	CF de funcionamiento, de los indicadores de intensidad y caída de tensión entre terminales
	12 meses	IV de cableado y conexión de terminales
Inversores	12 meses	CF de rango de tensión, estado de indicadores y alarmas
	12 meses	IV de conexión de terminales
Controladores	12 meses	CF de funcionamiento y tolerancia de la media
	12 meses	IV de conexión de terminales
Sistema de monitorización	6 meses	CF de conexión remota, almacenamiento de registro, regulación y tolerancia de la media
	12 meses	IV conexión de terminales
CABLES, INTERRUPTORES Y PROTECCIONES		
Cableado	12 meses	CF de Estanqueidad, protección y conexión de terminales, empalmes y platina
	12 meses	CF de caída de tensión (solo CC)
Interruptores	12 meses	CF de funcionamiento y actuación de los elementos de seguridad y protecciones: fusibles, toma de tierra, interruptores de seguridad

Mantenimiento motor-bomba

Planificación de mantenimiento de Motor- bombas

Equipo	Frecuencia	Trabajo a realizar
GRUPO	30 días	engrase de la bomba
MOTOR	30 días	limpieza general superficial
BOMBA	30 días	limpieza completa del sistema de refrigeración (incluido espacio entere aletas disipadoras del motor)
	30 días	limpieza del filtro de aire y gabinete porta filtro
	30 días	limpieza y lubricación de sistema de arranque manual
	30 días	limpieza de bujía
	30 días	limpieza de bomba
	30 días	engrase de la bomba
	30 días	limpieza de abrazaderas y complementos de unión
MOTOR	30 días	verificar elementos térmicos
	30 días	limpieza de arrancador
	30 días	limpieza de interruptor de seguridad
	15 días	verificar temperatura de cojinetes
	30 días	lubricar cojinetes
	360 días	cambio de baleros
	180 días	lavado interior y re barnizado

BOMBA	15 días	Verificar temperatura de cojinetes
	30 días	Lubricación de cojinetes
	30 días	Empacar presa estopa
	180 días	Revisar impulsor
	180 días	Revisar caja o cuerpo

X. COSTO DEL PROYECTO.

Los costos del proyecto lo podemos observar en la tabla 9, allí contemplamos el equipo de bombeo, tubería para el sistema de bombeo, válvulas y codos, paneles solares, accesorios y el tanque de almacenamiento del agua.

Tabla 9.

Costo de equipos y de materiales para llevar a cabo el proyecto:

Ítem	Descripción	Precio en dólares	en Lugar	Referencia de proforma
1	Bomba sumergible	4,000.00	FRANKLIN ELECTRIC	39424
2	Paneles solares y accesorios	1,050.00	CENGYSOL	2.00
3	Tuberías y válvulas del sistema de bombeo	393.97	SINSA	MARSERG
5	Tanque de almacenamiento de agua de 5,000 litros	938.40	ROTOPLAS	0000003428
Costo total en dólares		6,382.37		

Fuente: Propia.

XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Una vez realizado el diseño del sistema de bombeo para riego en la finca San Francisco se procede con las breves conclusiones:

- ✓ El tanque de abastecimiento de agua tendrá una capacidad de almacenamiento de 5,000 litros.
- ✓ Según las gráficas de rendimiento, la bomba más adecuada para nuestro sistema tiene los siguientes datos:
 - a.** Marca: Subdrive solar pack
 - b.** Potencia: 3 HP
 - c.** Voltaje: 230 V monofásico.
- ✓ La selección de los paneles solares, y accesorio fue la siguiente:
 - d.** 10 módulos solares de 285 watt cada uno.
 - e.** Un controlador.
 - f.** Cable AWG calibre 13.
- ✓ El costo total del proyecto es de 6,382.37 dólares americanos, este valor lo obtuvimos por medio de cotizaciones realizadas en el año 2021.

RECOMENDACIONES.

- De primera mano y ante cualquier eventualidad recomendamos que el proyecto se realice usando como guía los datos de costos obtenidos en el presente trabajo de modo que sea viable a corto plazo.
- Implementando proyectos así en comunidades rurales pero que cuentan con factores y recursos ambientales tales como: luz solar y agua dulce, procuramos el aprovechamiento de dichos elementos que de momento surten un impacto positivo de en las comunidades.
- El mantenimiento puede ir variando según las necesidades y exigencias del sistema, de acuerdo a modificaciones futuras o daños que no se contemplan en el presente trabajo

XII. BIBLIOGRAFÍA.

- Çengel, Y. A. (2006). *Mecánica De Fluidos*. En Y. A. Çengel, *Mecánica De Fluidos*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- FORCE. (2002). *Manual sobre energía renovable. Guía para el desarrollo de proyectos de bombeos de agua con energía fotovoltaica*.
- Karassik, I. J. (1986). *Bombas centrifugas*. MEXICO: CECSA.
- Mataix. (1986). *Turbo máquinas Hidráulicas*. Madrid: ICAI.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. MEXICO: Editorial Pearson. RETscreen. (s.f.). PLUS. CANADA.
- Tamayo Mario. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México: LIMUSA.
- Gussow, M. (1997). *Fundamentos de la electricidad*. México: Schaum. Mataix, C. (2007). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas* (2^{da} ed.). México: Alfa omega.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos* (6^{ta} ed.). México: Pearson/Prentice Hall.
- Pope, J. (2000). *Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico*. México: Mc Graw Hill.
- Streeter, V.L., Wylie, E.B., Bedford, K.W. (9^{na} ed.). *Mecánica de fluidos*. Colombia: Mc Graw Hill.

REFERENCIA DE PÁGINAS WEB.

Hispanista. *Estimación de la población, Método geométrico:*

<http://tustop.galeon.com/index.htm#%C3%8DNDICE>

Molina, J. (2014). *Contactores. Argentina:*

<http://www.profesormolina.com.ar/electromec/contactor.htm>

Pesa, E. (2010). *¿Cómo funcionan los paneles solares?*

Argentina: [http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/6593306/Como-Funcionan-](http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/6593306/Como-Funcionan-los-)
los-

[Paneles-Solares.html](#)

Salazar, R. (2012). *Conductores eléctricos presentación.*

<http://es.slideshare.net/rsalazar4/conductores-electricos-presentacion>

XIII. ANEXOS A. TABLAS

Tabla I.

Propiedades del agua. Unidades del S.I (101KPa abs).

Temperatura ° C	Peso	Densidad ρ (Kg/m ³)	Viscosidad	Viscosidad
	especifico γ (KN/m ³)		Dinámica η (Pa*s)	Cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75x10 ⁻³	1.75 x10 ⁻⁶
5	9.81	1000	1.52x10 ⁻³	1.52x10 ⁻⁶
10	9.81	1000	1.30x10 ⁻³	1.30x10 ⁻⁶
15	9.81	1000	1.15x10 ⁻³	1.15x10 ⁻⁶
20	9.79	998	1.02x10 ⁻³	1.02x10 ⁻⁶
25	9.78	997	8.91x10 ⁻⁴	8.94x10 ⁻⁷
30	9.77	996	8.00x10 ⁻⁴	8.03x10 ⁻⁷
35	9.75	994	7.18x10 ⁻⁴	7.22x10 ⁻⁷
40	9.73	992	6.51x10 ⁻⁴	6.56x10 ⁻⁷
45	9.71	990	5.94x10 ⁻⁴	6.00x10 ⁻⁷
50	9.69	988	5.41x10 ⁻⁴	5.48x10 ⁻⁷
55	9.67	986	4.98x10 ⁻⁴	5.05x10 ⁻⁷
60	9.65	984	4.60x10 ⁻⁴	4.67x10 ⁻⁷
65	9.62	981	4.31x10 ⁻⁴	4.39x10 ⁻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: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 589).

Tabla II.

Flujos volumétricos comunes.

Flujo volumétrico			
<i>m³/h</i>	<i>L/min</i>	Gal/min	
0.9 – 7.5	15 – 125	4 – 33	Bombas reciprocantes que manejan fluidos pesados y compuestos acuoso de lodos.
0.6 – 6.0	10 – 100	3 – 30	Sistemas hidráulicos de aceites industriales.
6.0 – 36	100 – 600	30 – 150	Sistemas hidráulicos para equipos móviles.
2.4 – 270	40 – 4,500	10 – 1,200	Bombas centrífugas en procesos químicos.
12 – 240	200 – 4,000	50 – 1000	Bombas para control de flujo y drenajes.
2.4 – 900	40 – 15,000	10 – 4000	Bombas centrífugas para manejar desechos de minería.

108 - 570

500 – 2,500

Bombas centrífugas de
sistema contra incendio.

Fuente: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 155).

Tabla III.

Dimensiones de tuberías de acero para cédula 40.

	Tamaño Diámetro		Espesor de Diámetro nominal		de exterior pared interior		Flujo	
	de área tubería							
Pulgadas	in	mm	in	mm	in	mm	Ft ²	m ²
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	6.8	394x10 ⁻⁴	3.66 x10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	9.2	723x10 ⁻⁴	6.717 x10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	12.5	133x10 ⁻³	1.236 x10 ⁻⁴
½	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	15.8	211x10 ⁻³	1.96 x10 ⁻⁴
¾	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	20.9	37 x10 ⁻³	3.437 x10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	26.6	6 x10 ⁻³	5.574 x10 ⁻⁴
1 ¼	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	35.1	1039 x10 ⁻²	9.653 x10 ⁻⁴
½	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	40.9	1414 x10 ⁻²	1.314 x10 ⁻³

1	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	52.5	2333	$\times 10^{-2}$	2.168	$\times 10^{-3}$
½	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	62.7	3326	$\times 10^{-2}$	3.09	$\times 10^{-3}$
2	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	77.9	5132	$\times 10^{-2}$	4.768	$\times 10^{-3}$
½	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	90.1	6868	$\times 10^{-2}$	6.381	$\times 10^{-3}$
	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	102.3	884	$\times 10^{-2}$	8.213	$\times 10^{-3}$
	5.563	1.3	0.258	6.55	5.047	128.2	0.139	1.291	$\times 10^{-2}$	
3	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	154.1	0.2	1.864	$\times 10^{-2}$	
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	202.7	0.347	3.226	$\times 10^{-2}$	
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.02	254.5	0.547	5.090	$\times 10^{-2}$	
12	12.750	323.9	0.406		10.31	11.94	303.2	0.777	7.219	$\times 10^{-2}$
14	14.00	355.6	0.437		11.10	13.12	333.4	0.94	8.729	$\times 10^{-2}$
16	16.00	406.4	0.500		12.70	15.00	381.0	1.227	0.114	
18	18.00	457.2	0.562		14.27	16.87	428.7	1.553	0.1443	
20	20.00	508.0	0.593		15.06	18.81	477.9	1.931	0.1794	
24	24.00	609.6	0.687		17.45	22.62	574.7	2.792	0.2594	

Fuente: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 601).

Tabla 104.

Dimensiones de tuberías de acero para cédula 80.

Pulgadas	Tamaño Diámetro interior		Espesor de pared		Diámetro nominal de exterior		Flujo de área tubería	
	in	mm	in	mm	in	mm	Ft ²	m ²
1/8	0.405	10.3	0.095	2.41	0.215	5.5	253 x10 ⁻⁴	2.35 x10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.119	3.02	0.302	7.7	497 x10 ⁻⁴	4.617 x10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.126	3.20	0.423	10.7	976 x10 ⁻⁴	9.067 x10 ⁻⁴
½	0.840	21.3	0.147	3.73	0.546	13.9	1625x10 ⁻³	1.51x10 ⁻⁴
¾	1.050	26.7	0.154	3.91	0.742	18.8	300 x10 ⁻³	2.787 x10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.179	4.55	0.957	24.3	499 x10 ⁻³	4.636 x10 ⁻⁴
1 ¼	1.660	42.2	0.191	4.85	1.278	32.5	891 x10 ⁻³	8.278 x10 ⁻⁴
½	1.900	48.3	0.200	5.08	1.500	38.1	1227 x10 ⁻²	1.140 x10 ⁻³
1	2.375	60.3	0.218	5.54	1.939	49.3	2051 x10 ⁻²	1.905 x10 ⁻³
½	2.875	73.0	0.276	7.01	2.323	59.0	2944 x10 ⁻²	2.735 x10 ⁻³
2	3.500	88.9	0.300	7.62	2.900	73.7	4590 x10 ⁻²	4.264 x10 ⁻³
½	4.000	101.6	0.318	8.08	3.364	85.4	6174 x10 ⁻²	5.736 x10 ⁻³

3	4.500	114.3	0.337	8.56	3.826	97.2	7986 x10 ⁻²	7.419 x10 ⁻³
4	5.563	141.3	0.375	9.53	4.813	122.3	0.1263	1.173 x10 ⁻²
5	6.625	168.3	0.432	10.97	5.761	146.3	0.181	1.682 x10 ⁻²
6	8.625	219.1	0.500	12.7	7.625	193.7	0.317	2.949 x10 ⁻²
7	10.750	273.1	0.593	15.06	9.564	242.9	0.498	4.632 x10 ⁻²
8	12.750	323.9	0.687	17.45	11.376	289.0	0.705	6.555 x10 ⁻²
9	14.00	355.6	0.750	19.05	12.50	317.5	0.852	7.916 x10 ⁻²
16	16.00	406.4	0.842	21.39	14.314	363.6	1.117	0.1038
18	18.00	457.2	0.937	23.80	16.126	409.6	1.418	0.1317
20	20.00	508.0	1.031	26.19	17.938	455.6	1.755	0.1630
24	24.00	609.6	1.218	30.94	21.564	547.7	2.535	0.2344

Fuente: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 602).

Tabla V.

Tamaños nominales de tubería en unidades métricas.

Tamaño estándar tradicional (in)	Tamaño métrico <i>DN</i> (mm)	Tamaño estándar tradicional (in)	Tamaño métrico <i>DN</i> (mm)	Tamaño estándar tradicional (in)	Tamaño métrico <i>DN</i> (mm)
1/8	6	6	150	30	750
1/4	8	8	200	32	800
3/8	10	10	250	36	900
1/2	15	12	300	40	1000
3/4	20	14	350	42	1100
1	25	16	400	48	1200
1 1/4	32	18	450	54	1400
1 1/2	40	20	500	60	1500
2	50	22	550	64	1600
2 1/2	65	24	600	72	1800
3	80	26	650	80	2000
4	100	28	700	88	2200

Fuente: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 159).

Dimensiones de tubería de acero.

TAMAÑO NOMINAL		DIÁMETRO INTERIOR		PARED		PRESIÓN RUPTURA		PRESIÓN INT. DE TRABAJO		PRESIÓN DE APLASTAMIENTO		PRESIÓN EXTERIOR		PESO APROXIMADO		
pg	mm	CED	Pulg.	mm	Pulg.	mm	(PSI)	Kg / cm ²	(PSI)	Kg / cm ²	(PSI)	Kg / cm ²	(PSI)	Kg / cm ²	lb/pie	Kg / Mt
1/4"	6,350	10	0,540	13,716	0,065	1,651	16980	1194	4240	298	720	506	1800	127	0,330	0,490
		40			0,088	2,235	23900	1680	5970	420	9800	689	2450	172	0,425	0,632
		80			0,119	3,02	34100	2397	8520	599	13400	942	3350	235	0,540	0,804
3/8"	9,525	10	0,675	17,145	0,065	1,651	13300	935	3320	233	5640	396	1410	99	0,424	0,630
		40			0,091	2,311	19260	1354	4810	338	8160	574	2040	143	0,568	0,844
		80			0,126	3,2	28000	1968	7000	492	11280	793	2320	198	0,746	1,110
1/2"	12,700	5	0,840	21,336	0,065	1,651	10510	739	2630	185	4320	304	1080	76	0,538	0,800
		10			0,083	2,108	13670	961	3420	240	5800	408	1450	102	0,671	0,998
		40			0,109	2,768	18470	1298	4610	324	7800	548	1950	137	0,851	1,266
3/4"	19,500	5	1,050	26,670	0,065	1,651	8300	583	2070	145	3250	228	813	57	0,684	1,062
		10			0,083	2,108	10750	756	2690	189	4440	312	1110	78	0,857	1,275
		40			0,113	2,87	15010	1055	3750	264	6360	447	1590	112	1,131	1,682
1"	25,400	5	1,315	33,401	0,065	1,651	6550	460	1640	115	2380	167	595	42	0,868	1,291
		10			0,109	2,768	11320	796	2830	199	4720	332	1180	83	1,404	2,088
		40			0,133	3,378	14040	987	3510	247	6000	422	1500	105	1,679	2,498
1 1/4"	31,750	5	1,660	42,164	0,065	1,651	5150	362	1290	91	1690	119	422	30	1,107	1,646
		10			0,109	2,768	8830	621	2210	155	3520	247	891	62	1,806	2,686
		40			0,14	3,556	11530	811	2880	202	4800	337	1200	84	2,273	3,382
1 1/2"	38,100	5	1,900	48,260	0,065	1,651	4480	315	1120	79	1375	97	344	24	1,274	1,895
		10			0,109	2,768	7680	538	1920	135	2960	208	741	52	2,085	3,102
		40			0,145	3,683	10370	729	2590	182	4280	301	1070	75	2,718	4,044
2"	50,800	5	2,375	60,325	0,065	1,651	3560	250	890	63	936	66	234	16	1,607	2,386
		10			0,109	2,768	6060	426	1520	107	2150	151	537	38	2,638	3,924
		40			0,154	3,911	8720	613	2180	153	3440	242	861	61	3,653	5,434
2 1/2"	63,500	5	2,875	73,025	0,083	2,108	3760	264	940	66	1030	72	257	18	2,475	3,682
		10			0,12	3,048	550	387	1380	97	1870	131	468	33	3,531	5,253
		40			0,203	5,516	9550	671	2390	168	3860	271	966	68	5,793	8,618
3"	76,200	5	3,500	88,900	0,083	2,108	3080	217	770	54	712	50	178	13	3,029	4,506
		10			0,12	3,048	4490	316	1120	79	1390	98	347	24	4,332	6,445
		40			0,216	5,486	8270	581	2070	146	3250	228	813	57	7,576	11,271
3 1/2"	88,900	5	4,000	101,600	0,83	2,108	2690	189	672	47	532	37	133	9	3,472	5,165
		10			0,12	3,048	3920	276	980	69	1105	78	276	19	4,973	7,398
		40			0,226	5,74	7540	530	1890	133	2900	204	725	51	0,919	13,552
4"	101,600	5	4,500	114,300	83	2,108	2390	168	596	42	382	27	96	7	3,915	5,824
		10			0,120	3,048	3470	244	867	61	894	63	224	16	5,613	8,351
		40			0,237	6,019	7000	492	1750	123	2600	183	650	46	10,790	16,053
6"	152,400	5	6,625	168,275	0,109	2,77	2130	150	531	37	270	19	68	5	7,585	11,290
		10			0,134	3,4	2630	184	655	46	504	35	126	9	9,289	13,826
		40			0,28	7,11	5580	392	1395	98	1915	135	479	34	0,019	28,234
8"	203,200	5	8,625	219,075	0,109	2,77	1630	114	407	28	122	9	31	2	9,914	14,757
		10			0,148	3,77	2220	156	555	39	310	22	78	5	1,340	19,946
		40			0,322	8,179	4908	345	1227	86	1596	112	399	28	28,820	42,890
10"	254,000	5	10,750	273,050	0,134	3,4	1605	113	401	28	120	8	30	2	15,190	22,610
		10			0,165	4,19	1980	139	495	35	220	15	55	4	18,790	27,835
		40			0,365	92,71	4452	3134	1113	78	1360	96	340	24	40,860	60,820
12"	304,800	5	12,750	323,850	0,156	3,96	1575	111	394	28	114	8	29	2	22,180	33,015
		10			0,188	4,57	1820	128	455	32	173	12	43	3	24,200	36,022
		40			0,375	9,525	3840	270	960	67	1040	73	260	18	50,020	74,460

Fuente: Equipamientos y suministros S.AC. *Tubos de acero inoxidable*. Recuperado de <http://www.eyssac.pe/productos-tubos.html>

Resistencia en válvulas y acoplamientos, expresados en longitud equivalente en diámetros de tubería.

Longitud equivalente en	Tipo	diámetro de tubería. /
	Válvula de globo – abierta por completo	340
	Válvula de ángulo – abierta por completo	150
	Válvula de compuerta – abierta por completo	8
	- ¾ abierta	35
	- ½ abierta	160
	- ¼ abierta	900
	Válvula de verificación – tipo giratorio	100
	Válvula de verificación – tipo bola	150
	Válvula de mariposa – abierta por completo, de 2 a 8” de diámetro.	45
	- 10 a 14 pulgadas	35
	- 16 a 24 pulgadas	25
	Válvula de pie – tipo vástago	420
	Válvula de pie – tipo disco de bisagra	75
	Codo estándar a 90°	30
	Codo estándar a 90° con 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	20
	Te con flujo en el ramal	60

Fuente: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 297)

Presión de vapor y carga de presión de vapor del agua.

Temperatura °C	Presión de vapor KPa (abs)	Peso específico KN/m³	Carga de presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345
40	7.376	9.731	0.758
50	12.33	9.690	1.272
60	19.92	9.642	2.066
70	31.16	9.589	3.25
80	47.34	9.53	4.967
90	70.1	9.467	7.405
100	101.3	9.399	10.78

Fuente: Mott Robert (2006). *Mecánica de fluidos* (p. 413).

Tabla IX.

Calibre de conductores.

CALIBRE	CONSTRUCCIÓN		ESPEORES		DIAMETRO EXTERIOR Aprox. Mm	PESO Kg./Km	CAP. MAXIMA DE CORRIENTE				
	N° HEBRAS	Ø mm	AISL. mm	REV. mm			THWN (75°)		THHN (90°)		
							A	B	A	B	
ALAMBRES											
14	AWG	1	1,63	0,38	0,10	2,69	22,48	20	30	25	35
12		1	2,05	0,38	0,10	3,01	34,17	25	35	30	40
10		1	2,59	0,51	0,10	3,81	54,52	35	50	40	55
CABLES											
14	AWG	7	0,61	0,38	0,10	2,81	24,06	20	30	25	35
12		7	0,77	0,38	0,10	3,30	36,62	25	35	30	40
10		7	0,97	0,51	0,10	4,17	58,35	35	50	40	55
8		7	1,23	0,76	0,13	5,48	94,85	50	70	55	80
6		7	1,56	0,76	0,13	6,45	145,62	65	95	75	105
4		7	1,96	1,02	0,15	8,22	232,62	85	125	95	140
3		7	2,20	1,02	0,15	8,95	288,14	100	145	110	165
2		7	2,47	1,02	0,15	9,76	357,49	115	170	130	190
1		19	1,69	1,27	0,18	11,33	460,73	130	195	150	220
1/0		19	1,89	1,27	0,18	12,36	569,79	150	230	170	260
2/0		19	2,13	1,27	0,18	13,50	707,59	175	265	195	300
3/0		19	2,39	1,27	0,18	14,80	882,09	200	310	225	350
4/0		19	2,68	1,27	0,18	16,30	1.101,60	230	360	260	405
250		MCM	37	2,09	1,52	0,20	18,04	1.314,00	255	405	290
300	37		2,29	1,52	0,20	19,44	1.564,00	285	445	320	505
350	37		2,47	1,52	0,20	20,74	1.815,00	310	505	350	570
400	37		2,64	1,52	0,20	21,94	2.063,00	355	545	380	615
500	37		2,95	1,52	0,20	24,14	2.562,0	380	620	430	700
750	61		2,82	1,78	0,25	29,10	3.740,00	475	785	535	885

Fuente: Tecnoled. Conductores de cobre desnudo. Recuperado de

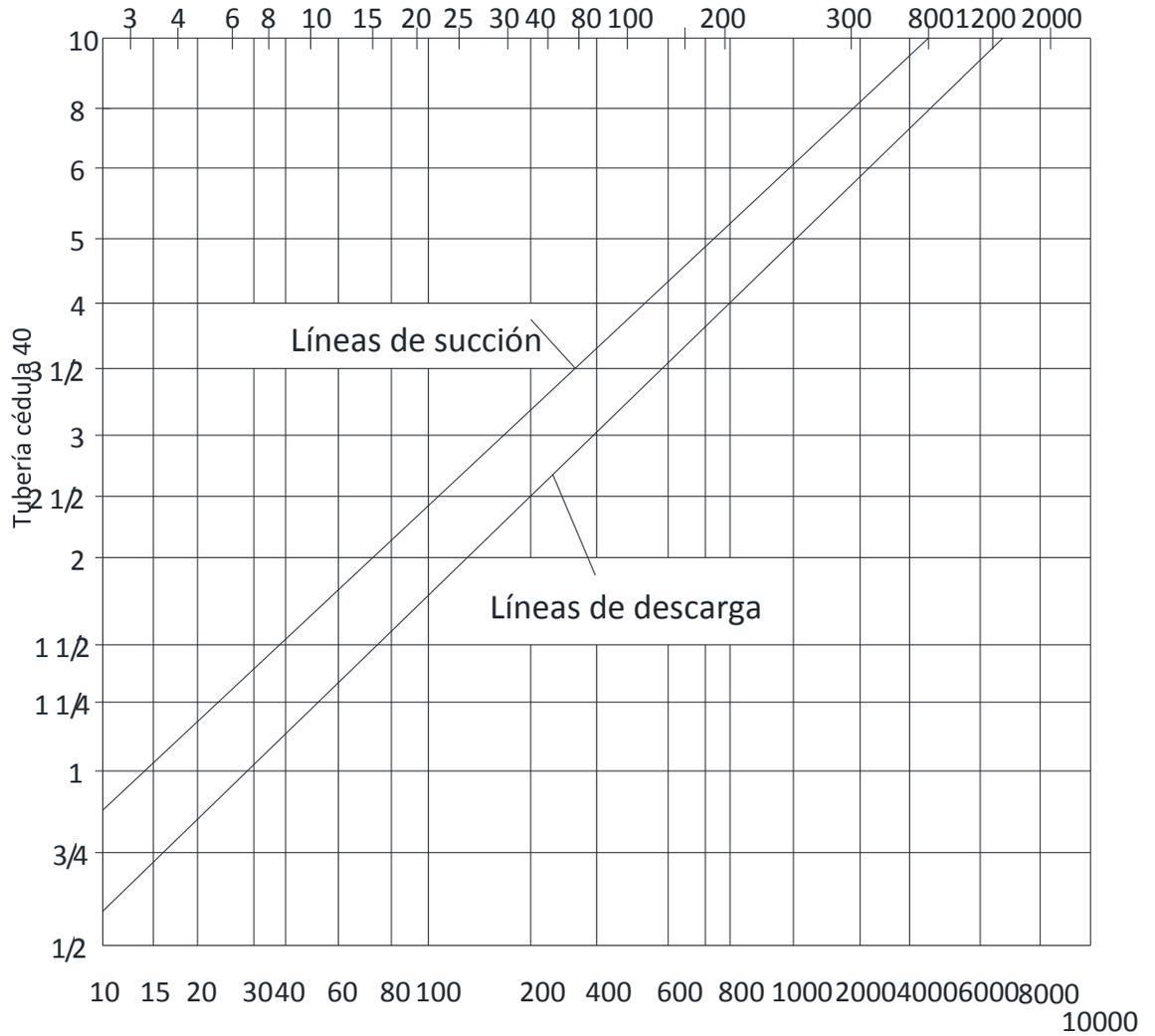
<http://www.tecnoled.cl/productos/2010/05/24/conductores-de-cobre-desnudo/>

ANEXOS B. FIGURAS

Figura I.

Ayuda para seleccionar el tamaño de tubería

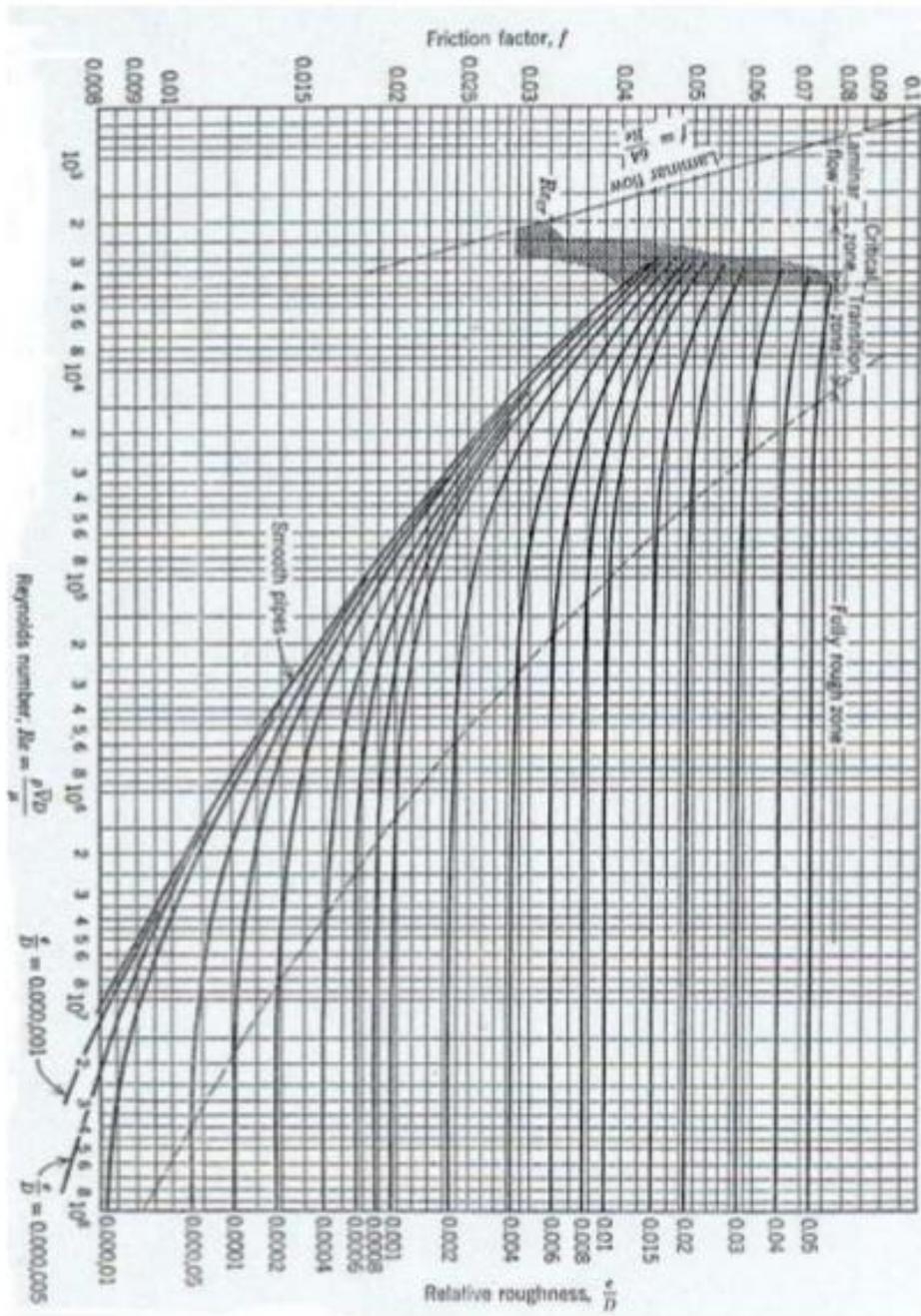
Flujo volumétrico, Q (m³/h)



Flujo volumétrico, Q (gln/min)

Fuente: Mott Robert (2006). Mecánica de fluidos (p. 163)

Figura II. Diagrama de Moody.

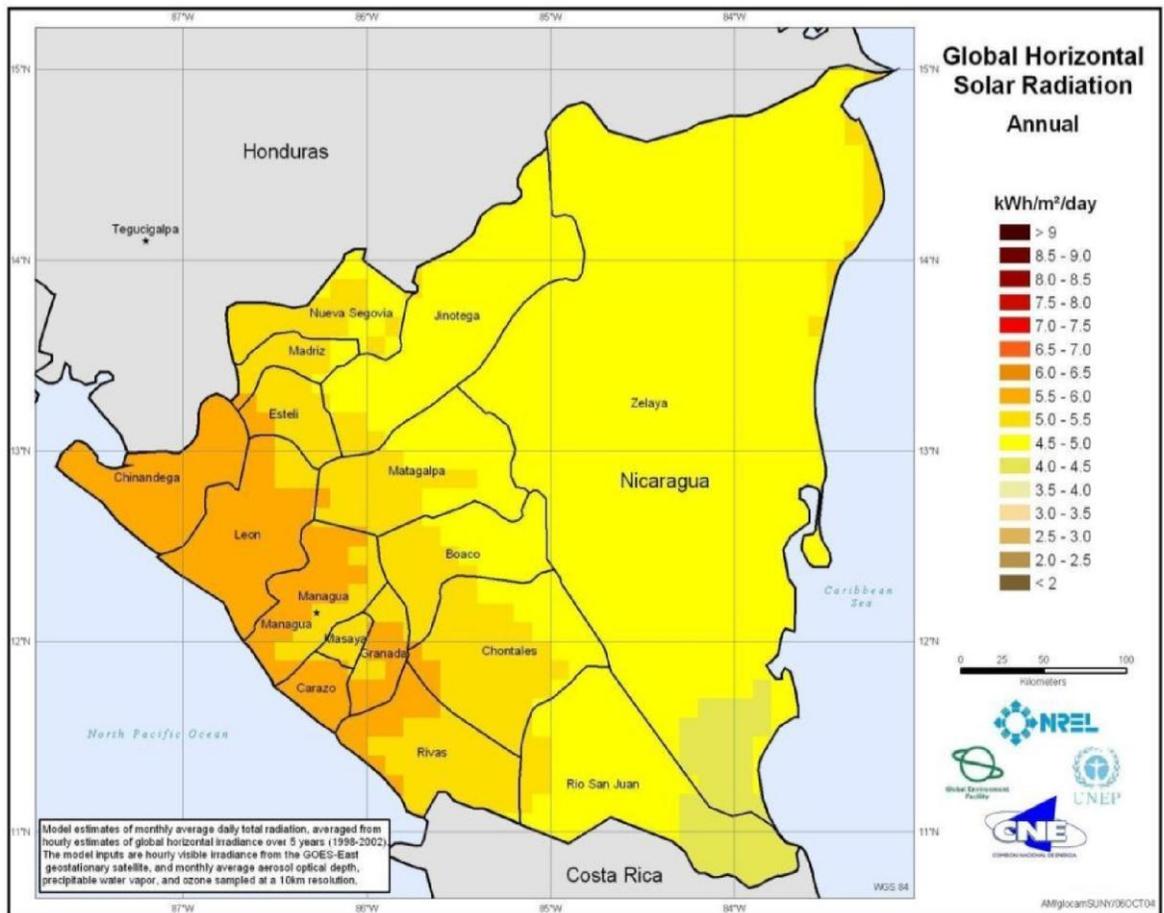


Fuente: Coss Tapia Miguel (2013). *Diagrama de Moody*. Recuperado de <http://www.slideshare.net/mike09031991/3-diagrama-de-moody-16789145>

Figura III.

Radiación solar en Nicaragua.

Fuente: Ineter.



ANEXOS C. FORMATO TÉCNICO DE LAS ENTREVISTAS.

Objetivo:

El objetivo de esta entrevista es conocer la cantidad de agua que ocupa a diario cada persona.

Entrevista a habitantes de la Finca San Francisco.

Datos a conocer

Nombre del entrevistado:

Cantidad de agua estimada que usa a diario:

Nombre del entrevistado:

Cantidad de agua estimada que usa a diario:

ANEXOS D. COTIZACIONES



ROTOMOLDEO DE CENTROAMERICA, S.A.

RUC J0310000145466

Sala de Ventas: Semáforos del Nuevo Diario 200 mts al Sur

Fábrica: KM 6 Ctra. Norte, Katiwo 150 mts. Este. Edificio #10

Tel.: 2299-9222 / 2233-3142 / 2233-1577



MOSTR WALTER TORREZ

COTIZACIÓN 0000003428

Atención a:

Fecha: 23/09/2021

Vencimiento: 08/10/2021

Fecha Ent.: 23/09/2021

Forma de Pago:

Garantías:

8 Años de Garantía en línea Premium Tricapa y Bicapa, vida útil de 50 años.

5 Años de Garantía en línea Estándar (Cónica) Tricapa y Bicapa, vida útil de 35 años.

1 Año de Garantía en mano de Obra y Equipos.

SAC: 3925.10.00.00- Depósitos, cisternas, cubas y recipientes análogos, de capacidad superior a 300 L

Cant.	Clave	Descripción	Litros	Galones	Barriles	Mts	H Mts	Peso Vacío	Peso Lleno	P. Unit	Importe
1.00	250-057	KIT LINEA INDUSTRIAL AZUL 5000 LTS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	816.00	816.00

CONDICIONES COMERCIALES:

Tanques con capacidad desde 450 hasta 2500 Lts. incluyen el kit de accesorios.

Tanques con capacidad de 5,000, 10,000 y 22,000 Lts. no incluyen el kit de accesorios.

Tanque sistema tecnología Tricapa (color natural) no incluye kit de accesorios e instalación subterránea.

Para cualquier duda, consultar guía de instalación, sino llamar: 2233-3142.

Baborar Cheque a nombre de: ROTOCAS

BANCENTRO C\$ 210-201-564

BAC C\$ 019-02889-3

BANPRO C\$

10010600000751

Se nos retiene 1% Alcaldía, 2% ICI

BANCENTRO US\$ 211-200-901

BAC US\$ 354-48597-1

BANPRO US\$

10010610000593

Subtotal 816.00

Descuento 0.00

Subtotal 816.00

I.V.A. 122.40

Total USD 938.40

CALL CENTER

Asesor de Ventas

8440-8975 / callcenter-plastitank@rotocas.com

Aceptacion del Cliente

TUBO GALVANIZADO 6MTS:CONROSCA:11/4"	C\$1,251.40	9	C\$11,262.60
Venta 100958128			
MODEL: CONROSCA	MEASURE: 11/4"		
LLAVE DE BOLA PVC CON ROSCA 1-1/4" FOSET	C\$124.80	1	C\$124.80
Venta 102363769			
VALVULA PIE YORK 1-1/4" FOSET	C\$378.81	1	C\$378.81
Venta 102363822			
CODO GALVANIZADO 90 GRADOS CED 20:1-1/4"	C\$93.72	3	C\$281.16
Venta 100976094			
MEASURE: 1-1/4"			
CODO GALVANIZADO 45 GRADOS CED 20:1-1/4"	C\$103.38	2	C\$206.76
Venta 100976043			
MEASURE: 1-1/4"			
Artículos 16	Impuesto C\$1,838.12	Cuotas C\$0.00	Subtotal C\$12,254.13
Vendedor: Marserg Talavera		Importe pendiente C\$14,092.25 >	
		\$393.97 >	



DISTRIBUIDOR DE:

Equipos de Bombeo Sumergible, Bombas Centrifugas y de Turbina,
Sistemas de Presión Constante, Contra Incendios, Equipos de Filtración,
Luminaria y Químicos de Piscina.
Dirección: Ferreteria Tobías 2o. al Lago, 50 yrs. Arriba
Teléfono: 2250-6428 • Tel 2250-6672
Managua, Nicaragua



DISTRIBUIDOR AUTORIZADO

Franklin Electric

info@rpbombas.com

PROFORMA

No **39424**

Sr/ Sra.: **Pedro Rafael Olivas Alvarez**

DIRECCIÓN: Managua

DIA	MES	AÑO
7	10	2021

Cantidad	DESCRIPCIÓN	V. Unitario	VALOR TOTAL
1	<u>Sistema de Bombeo Solar Pack Compuesto por:</u> Modelo: 35SDSP - 3 HP - Incluye Motor Electrico Sumergible de 3 HP - 200V 4" Marca Franklin Electric Bomba Sumergible Serie 35 GPM Marca Franklin Electric Controlador Solar SubDrive Interruptor de Flujo		\$4,000.00
12	Paneles Solares 400W	\$200.00	\$2,400.00
<p>ENTREGA INMEDIATA AR</p> 			
FAVOR EMITIR CHEQUE A NOMBRE DE: URIEL RIVERA PORRAS			\$6,400.00
SUB-TOTAL CS			
I.V.A.			\$6,400.00
TOTAL CS			

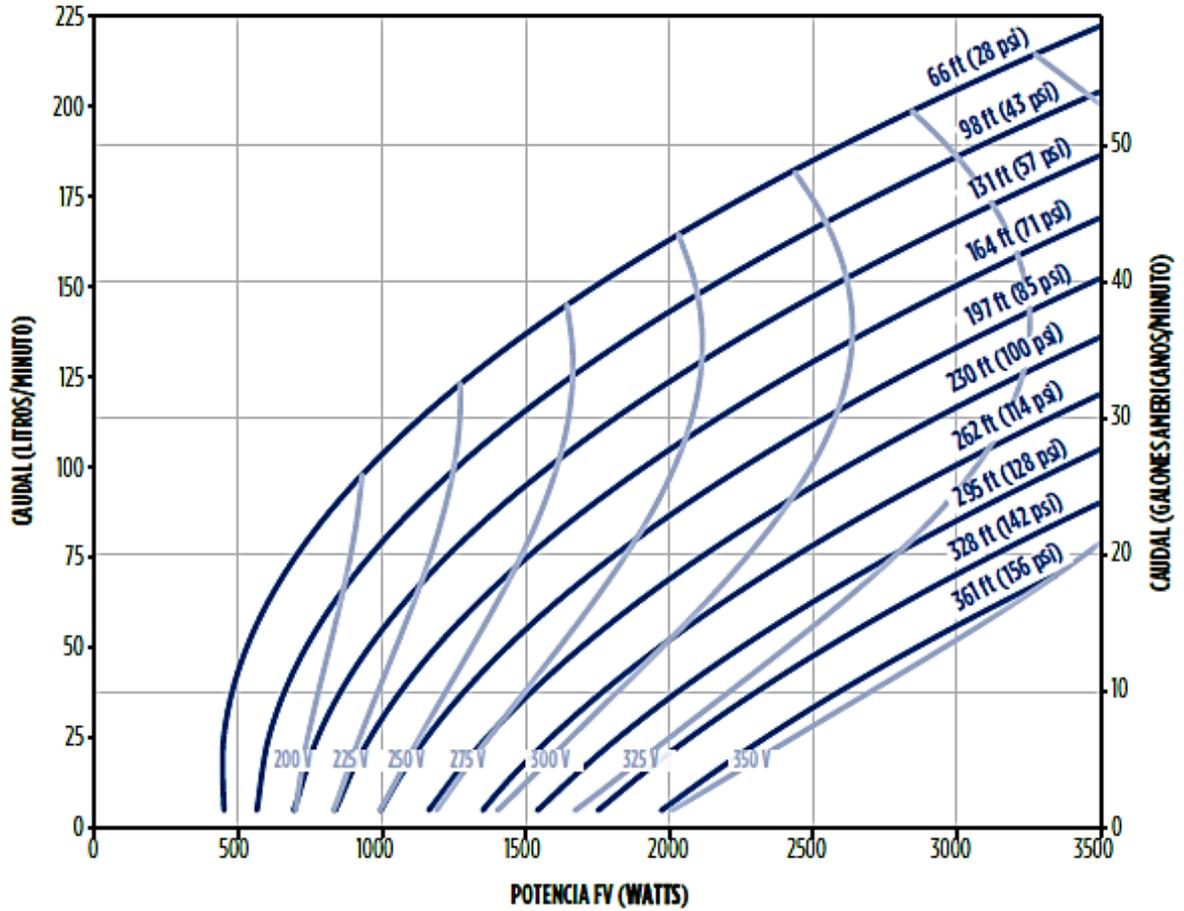
URIEL RIVERA PORRAS

COMPRAR ANTES DEL 31/10/2021

ANEXOS E. CURVA Y ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA-PANELES

CURVA DE LA BOMBA

Motor 3.0 hp, extremo de bomba 35 US GPM 2.0 hp y control 3.0 hp SubDrive Solar

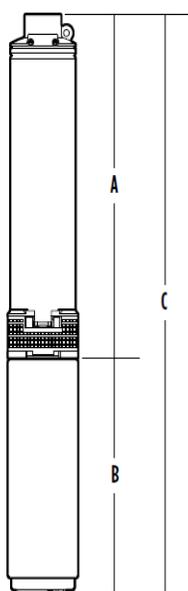
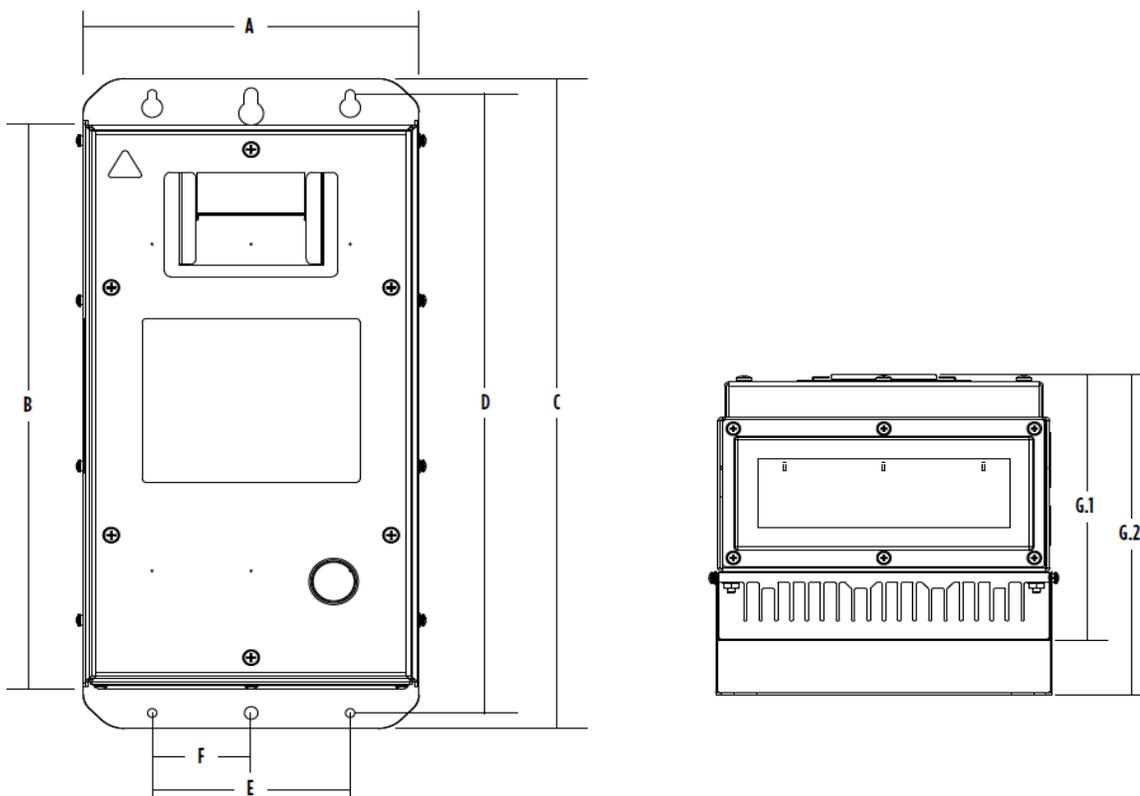


TDH (ft)	Potencia FV (Watts)											
	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500
66	22	27	32	36	40	43	46	49	52	54	57	59
98	14	21	26	31	34	38	41	44	47	49	52	54
131	5	15	20	25	29	33	36	39	42	44	47	49
164		8	15	20	24	28	31	34	37	40	42	45
197			9	15	19	23	26	30	32	35	38	40
230			4	10	14	18	22	25	28	31	33	36
262				5	10	14	17	21	24	27	29	32
295					5	10	13	17	20	22	25	28
328						6	9	13	16	18	21	24
361							6	9	12	15	17	

*Consulte la tabla de Especificaciones de la unidad en la página 23 para ver los rangos recomendados de voltaje y potencia de fuente FV

DIMENSIONES DE LA BOMBA

Dimensiones del controlador SubDrive Solar								
	A	B	C	D	E	F	G.1	G.2
Pulgadas	10.2	18.3	21.0	20.0	6.0	3.0	8.7	10.4
Centímetros	25.9	46.4	53.4	50.8	15.2	7.6	22.1	26.5



Dimensiones PMA Solar															
US GPM	l/m	hp	kW	Etapas	A		B		C		Descarga	Peso PE		Peso PMA	
					pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm		lbs	kg	lbs	kg
5	18	0.75	0.55	18	22.6	574	10.6	270	33.2	844	1 1/4"	12	5	33	15
7	25	0.75	0.55	13	18.4	467	10.6	270	29.0	737	1 1/4"	11	5	32	15
10	30	0.75	0.55	8	14.7	373	10.6	270	25.3	643	1 1/4"	8	4	29	13
15	45	0.75	0.55	6	13.0	329	10.6	270	23.6	599	1 1/4"	7	3	28	13
5	18	1.5	1.1	30	34.1	866	11.7	298	45.8	1164	1 1/4"	19	9	48	22
10	30	1.5	1.1	18	25.3	642	11.7	298	37.0	940	1 1/4"	16	7	45	20
15	45	1.5	1.1	15	20.5	521	11.7	298	32.2	819	1 1/4"	15	7	44	20
25	70	1.5	1.1	10	19.2	488	11.7	298	30.9	786	1 1/4"	10	5	39	18
45	150	1.5	1.1	7	23.3	593	11.7	298	35.1	891	2"	16	7	45	20
90	270	1.5	1.1	5	22.6	575	11.7	298	34.4	873	2"	15	7	44	20
7	25	3	2.2	30	34.1	866	16.1	408	50.2	1274	1 1/4"	20	9	61	28
10	30	3	2.2	18	25.3	645	16.1	408	41.4	1053	1 1/4"	16	7	57	26
15	45	3	2.2	15	20.5	521	16.1	408	36.6	929	1 1/4"	15	7	56	25
25	70	3	2.2	10	19.2	488	16.1	408	35.3	896	1 1/4"	10	5	51	23
45	150	3	2.2	7	23.3	593	16.1	408	39.4	1001	2"	16	7	57	26
90	270	3	2.2	5	22.6	575	16.1	408	38.7	983	2"	15	7	56	25

Nota: El diámetro máximo a través del protector de cable es de 3.90" (99.1 mm) en todos los modelos.

FICHA DEL PANEL

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC*)

SG285P

Potencia de pico (Pmax)	285 W
Tolerancia de potencia	0/+5 W
Tensión a Pmax (Vmp)	31.6 V
Corriente a Pmax (Imp)	9.04 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	38.03 V
Corriente de corto circuito (Isc)	9.74 A
Tensión máxima de sistema	1500 V
Máximo valor nominal del fusible	15 A
Eficiencia Módulo	17.52%

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Celdas	60 (6x10) policristalinas
Tamaño Celdas	156x156 mm / 6x6"
Cubierta Frontal	3.2 mm / 0.12" grosor, vidrio templado
Cápsula	TPT (Tedlar-PET-Tedlar)
Cubierta Posterior	EVA (Etileno Vinil Acetato)
Marco	Aleación de aluminio anodizado doble grosor
Acabados Marco	Plata / Negro
Acabados Lámina posterior	Blanco
Diodos	3 Diodos de Bypass
Junction Box	certificado IP67
Conectores	MC4 o conectores compatibles
Longitud Cables	900 mm / 35.4"
Sección Cables	4.0 mm ² / 0.006 in ²
Tamaños	1640x992x40 mm / 64.5x39x1.57"
Peso	18 kg / 39.7 lbs
Carga Máx	Certificado para 5400 Pa

CARACTERÍSTICAS TEMPERATURA

NOCT**	45±2 °C
Coefficiente temperatura de la potencia máxima	-0.43 %/°C
Coefficiente temperatura de la tensión de circuito abierto	-0.32 %/°C
Coefficiente temperatura de la corriente de corto circuito	0.047 %/°C
Temperatura de funcionamiento	-40 °C ~ +85°C

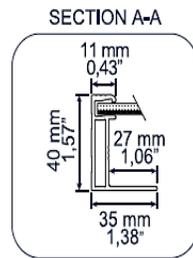
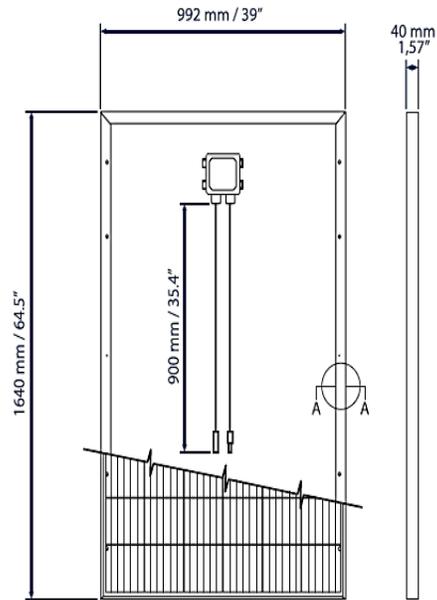
EMBALAJE***

Tamaño Palé	1700x1200x1200 mm / 67x47x47"
Paneles por Palé	27
Peso	516 kg / 1138 lbs

CERTIFICACIONES

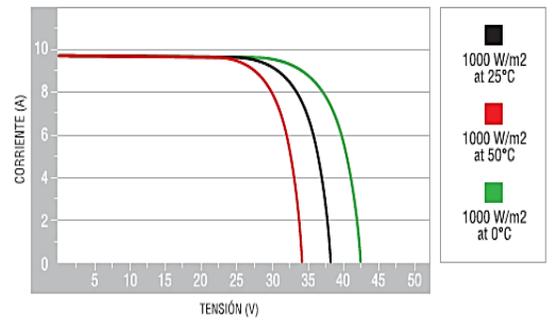
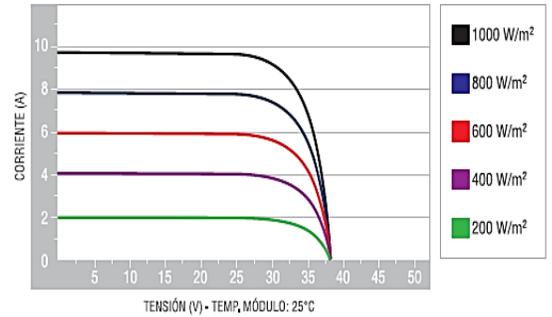
Resistencia al fuego	Clase de reacción al fuego: 1 (UNI 9177)
PID free	IEC TS 62804-1:2015

TAMAÑO



CARACTERÍSTICAS CORRIENTE/VOLTAJE

Valores referidos al panel: SG285P



ANEXOS F. PLANOS