

Diseño de sistema para extracción de agua potable desde el subsuelo dirigido a la comunidad rural de Arenas Blancas utilizando energía solar fotovoltaica.

Autor: Jorge Luis Ruidiaz Martínez 23551829574

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Programa Académico: Tecnología en mantenimiento electromecánico industrial

Universidad Antonio Nariño

Puerto Colombia – Atlántico

Jruidiaz44@uan.edu.co

Asesor

Ing. Rafael María Hurtado Barrera

rafahurtado@uan.edu.co

Resumen: En este proyecto se describe la estructura de un método de bombeo de agua potable extraída de pozos, empleando energía Solar Fotovoltaica, con la implementación de depósitos de agua o tanques elevados podemos excluir el uso de baterías, ya que acumularemos agua y no energía eléctrica logrando que este proyecto o diseño tenga menor costo de ejecución y mantenimiento. Así como también la presentación del mismo

y la necesidad de su realización abordado desde diferentes puntos de vista, se explica el método o estrategia para poder alcanzar las metas. Cabe resaltar que el proyecto busca suplir la necesidad básica de disponibilidad de agua potable para el consumo y saneamiento básico de la comunidad rural de Arenas Blancas, este corregimiento pertenece al municipio de Chiriguaná (Cesar). El área rural de este corregimiento se encuentra

conformada y asociada por 28 familias quienes viven en sus parcelas, alejadas del casco urbano, esta comunidad no dispone de servicios básicos como lo son el agua apta para el consumo o potable y la energía eléctrica necesaria para desarrollo de muchas actividades en el hogar.

Palabras Clave: acuíferos, agua potable, energía solar fotovoltaica, irradiación solar panel solar, sistema de bombeo.

I. Introducción y Antecedentes

Este proyecto busca suplir la necesidad de agua potable para consumo y uso básico en la comunidad rural del corregimiento de Arenas Blancas perteneciente al municipio de Chiriguana (Cesar) utilizando energía solar fotovoltaica. La zona rural de este corregimiento no cuenta con servicio de energía eléctrica ni servicio de acueducto, el agua para suplir sus necesidades básicas la obtienen extrayéndola de forma manual (baldes atados a una cuerda) de pozos artesanales, estos pozos con diámetros de

hasta 1.5 metros no se encuentran anillados y representan riesgo de colapso. Este diseño formulado, busca el uso de pozos realizados con equipos de perforación de 2 a 4 pulgadas de diámetro entre 8 a 10 metros de profundidad teniendo en cuenta un estudio previo sobre la disponibilidad de agua subterránea a poca profundidad, el uso de bombas sumergibles de bajo voltaje, uso de paneles solares para la transformación de energía fotovoltaica, implementando tanques elevados para el almacenamiento de agua potable durante el funcionamiento de la bomba evitando el uso de baterías, se plantea el diseño de una estructura sobre el tanque elevado para el soporte y ubicación de los paneles solares aprovechando la sombra de los paneles para evitar el calentamiento del agua. El documento presenta la formulación del problema, su justificación teniendo en cuenta los diferentes puntos de vista, así como también los objetivos y la metodología propuesta para el desarrollo del mismo, el

presupuesto y los resultados que se esperan obtener.

Algunos antecedentes de la investigación son:

El trabajo de investigación realizado por (Vélez, Ortiz, & Vargas, 2011), demuestran la realidad frente al cambio climático, sus consecuencias y como la mayoría de los servicios geológicos a nivel mundial han identificado las aguas subterráneas como el principal recurso de la capa subterránea la cual brinda oportunidades de desarrollo a las sociedades. El agua subterránea representa una verdadera alternancia para el consumo vital de las comunidades o en zonas de demanda del preciado líquido.

Así mismo Humberto (Rodríguez, 2020) afirma que “utilizar sistemas foto-voltaicos para transformar la energía solar en electricidad siempre ha estado planteada o encaminada para utilizarse en zonas rurales, teniendo en cuenta que en esas áreas resulta más costoso generar energía con otras fuentes

como lo son los combustibles fósiles, además del alto gasto en mantenimiento y operación de los sistemas comunes en zonas aisladas, por ende resulta más económica y confiable el uso o transformación de la energía solar” (Rodríguez, 2020).

II. Planteamiento del Problema

El corregimiento de Arenas Blancas pertenece al municipio de Chiriguaná (Cesar), el área rural de este corregimiento no cuenta con servicio de energía eléctrica y el agua para el consumo y necesidades básicas la extraen manualmente de pozos artesanales o de ríos y manantiales que normalmente se encuentran distantes de sus viviendas.

En algunas parcelas han intentado implementar el uso de motobombas para la extracción de agua, pero con el tiempo les resulta muy costoso el combustible y el mantenimiento de estos equipos.

La comunidad rural de Arenas Blancas se encuentra organizada como Junta Comunal, pero carece de líderes con conocimiento que

les permita presentar este tipo de proyectos ante la administración municipal, proyectos que podrían iniciar con el uso de energías limpias para abastecerse de agua potable y luego el uso de estas energías para la disposición de electricidad en sus viviendas.

Es por esto que se requiere diseñar un sistema de bombeo de agua potable obtenida del subsuelo con energía solar que resulte sencillo, lo menos costoso, de fácil y poco mantenimiento para que la comunidad rural de Arenas Blancas cuente con este servicio básico y vital como lo es el agua potable.

Todo lo anterior lleva a realizar la siguiente pregunta.

¿Cómo se podría abastecer de agua potable a las diferentes parcelas del área rural del corregimiento de Arenas Blancas teniendo en cuenta que tampoco cuentan con servicio de energía eléctrica?

III. Justificación

En el mundo, existe gran disponibilidad a nivel comercial de tecnologías que facilitan o permiten utilizar o explotar las diferentes fuentes de energías limpias y renovables generando trabajo productivo, eficaz y útil si se llegaren a dar el uso apropiado, resultan ser económicamente factibles como alternativa, aunque en Colombia resulta demasiado costoso la implementación de este tipo de energía por el deficiente apoyo del para el uso de energías no contaminantes, energías renovables que en otros países desarrollados tienen una alta inversión en investigación e implementación (Naciones Unidas, 2016).

Gracias a los avances tecnológicos se podrá optar por un sinnúmero de soluciones para llevar a cabo la extracción de agua apta para el consumo y que se encuentra disponible en el sub suelo, a una altura determinada teniendo en cuenta que se debe calcular el caudal que se requiere para una adecuada disposición del líquido y en este proyecto se cambiará el uso de baterías para

almacenaje de energía eléctrica por el uso de tanques elevados los cuales almacenaran agua durante el día, suficiente para el consumo de las familias en las parcelas (Secretaría de Ambiente, 2021).

Un planteamiento sencillo y que solucionaría la falta de agua potable sería implementar un sistema para extraer o bombear agua conectando un generador fotovoltaico a un conjunto conformado por un motor y una bomba.

En el diseño de este proyecto se plantea la instalación de los paneles solares por encima del tanque elevado o depósito del agua con el fin de aprovechar la sombra que se generan debajo de los paneles para evitar o disminuir el calentamiento del agua en el depósito, también se verá como un diseño que tiende a ocupar poco espacio en el que sus componentes estarán muy cercanos entre sí, esto favorece a la reducción de costos en materiales utilizados el circuito eléctrico ya que el tanque elevado contará con un

dispositivo o switch de nivel que desactive el uso de la bomba cuando el nivel del tanque este al máximo.

Se podrá enumerar algunas de las ventajas más importantes o destacadas que representan este tipo de tecnologías:

- Se emplea una fuente de energía renovable limpia, gratuita, amigable con el ambiente
- La instalación de los componentes que hacen parte del sistema o diseño se realiza de forma fácil o sencilla.
- La operación resulta silenciosa y es fácil su automatización.
- Los componentes requieren poco mantenimiento.
- Referente a la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, resulta ser una generación autónoma y se podrían conectar a una red de suministro eléctrico si dado el caso estuviera disponible en la zona siendo esta una de las más importantes aplicaciones actuales.

IV. Objetivos

A. Objetivo General

Diseñar un sistema utilizando energía eléctrica obtenida por proceso fotovoltaico en paneles solares para extraer desde pozos taladrados, agua potable para el beneficio de la comunidad rural de Arenas Blancas.

B. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de bombeo de agua potable extraída del subsuelo para suplir las necesidades básicas del área rural del corregimiento de Arenas Blancas.
- Diseñar el circuito con paneles solares fotovoltaicos para el sistema de bombeo.
- Analizar los costos de proyecto.

V. Marco Teórico

Enfoque respecto al desarrollo sostenible

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015), “La producción de energía es el mayor contribuyente al cambio climático y representa aproximadamente el

60% de las emisiones globales totales de gases de efecto invernadero” (ONU, 2015).

Uno de los objetivos del desarrollo sostenible es energía asequible y no contaminante, donde se busca garantizar o facilitar el acceso a una energía fiable, moderna y sostenible para todos.

La vida del ser humano depende de servicios energéticos confiables y factibles para funcionar sin trabas y de manera moderada. Un sistema energético bien instaurado favorece a todos los sectores: desde las industrias, la educación, la medicina, la agricultura, las infraestructuras, las comunicaciones y la alta tecnología. La falta de acceso al suministro de energía y sistemas de transformación obstruye el avance económico y humano.

Imagen 1. Objetivos del desarrollo sostenible



Fuente: (ONU, 2015)

Desde hace 150 años aproximadamente, los combustibles fósiles como el petróleo, carbón o gas han sido las principales fuentes para obtener electricidad, pero al incinerar estos combustibles con alto índice de carbono genera grandes cantidades de gases de efecto invernadero, responsables en gran medida del cambio climático y generan efectos que perjudican el bienestar de las comunidades y el medio ambiente. El consumo de energía eléctrica en el mundo está aumentando a un ritmo acelerado, esta situación amenaza el impulso económico de los países que no cuentan con un suministro de electricidad estable.

En el mundo, más de 1.200 millones de personas no cuentan con servicio de electricidad, esto representa al 20% de la población mundial y se encuentra concentrada en su mayoría en doce países de África y Asia (ONU 2015). Una solución factible a este flagelo sería aumentar las inversiones en servicios de energía sostenible, incluyendo prontamente nuevas tecnologías en el mercado a partir de una extensa gama de distribuidores. Los países pueden agilizar la transición a un programa energético factible, eficaz y sostenible invirtiendo en recursos energéticos renovables, priorizando métodos de alto rendimiento energético e implementando tecnologías e infraestructura de energías limpias o no contaminantes. Todos podemos contribuir en el ahorro de electricidad al utilizar de manera responsable los aparatos eléctricos, también podemos utilizar medios de transporte público, caminar o ir en bicicleta para reducir las emisiones de carbono o gases de efecto invernadero.

Agua limpia y saneamiento.

Otro de los objetivos de desarrollo sostenible que contempla el desarrollo de este proyecto tiene que ver con el agua limpia y saneamiento, cuyo objetivo es afianzar la disponibilidad y la coordinación sostenible del agua y el saneamiento para todos, si bien se ha logrado progresar de forma trascendental a la hora de extender el acceso a agua potable y saneamiento, en el mundo existen miles de millones de personas, principalmente en las zonas rurales, que no cuentan con servicios básicos. Según los últimos estudios (2015) de la Organización de Naciones Unidas “una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable salubre, dos de cada cinco personas no cuentan con una instalación básica destinada a lavarse las manos con agua y jabón y más de 673 millones de personas aún defecan al aire libre” (ONU, 2015).

La pandemia por el virus del Covid-19 ha colocado de manifiesto la distinción vital del

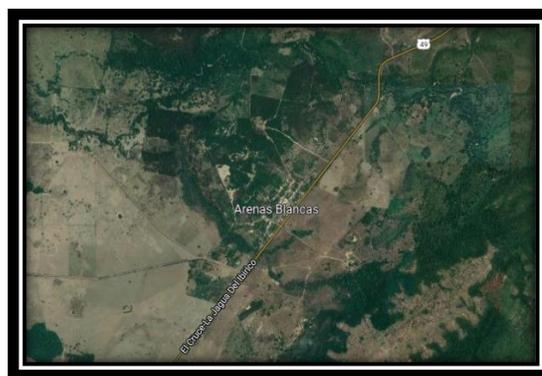
saneamiento, la higiene y un acceso idóneo a agua limpia para prevenir y refrenar las enfermedades teniendo en cuenta que la higiene de las manos salva vidas. De acuerdo con la ONU, “el lavado de manos es una de las acciones más sólidas que se pueden implementar para reducir o controlar la reproducción de patógenos y prevenir infecciones, incluyendo el virus del Covid-19. Aun así, en el mundo actualmente hay miles de millones de personas que no tienen acceso a agua salubre porque los fondos económicos son insuficientes para el desarrollo de programas enfocados a solucionar este flagelo” (ONU, 2020).

Ámbito del estudio - Localización

La vereda de Arenas Blancas hace parte del municipio de Chiriguaná (Cesar), según los datos suministrados por la alcaldía municipal (Alcaldía Municipal de Chiriguaná Cesar, 2021), la vereda cuenta con una población que se aproxima a los 800 (aprox.) habitantes en su área urbana y 170 (aprox.)

habitantes en su área rural distribuidas en pequeñas fincas y parcelas. La economía del corregimiento depende en un 50% de la agricultura y un 35% del ganado bovino y caprino. La vereda cuenta con servicio de energía eléctrica en el casco urbano y desde el año 1995 goza del servicio de acueducto gracias a la construcción de una planta de extracción de agua subterránea y que funciona con energía eléctrica. Existen alrededor de 35 parcelas o pequeñas fincas que conforman el área rural del corregimiento de Arenas Blancas las cuales en su gran mayoría (85% aprox.) no cuentan con servicios de energía eléctrica ni acueducto. El agua para consumo humano es extraída manualmente de pozos construidos artesanalmente o en algunos casos traída desde arroyos y riachuelos alejados considerablemente de las viviendas, lo que implica un gran esfuerzo para hacerse del preciado líquido.

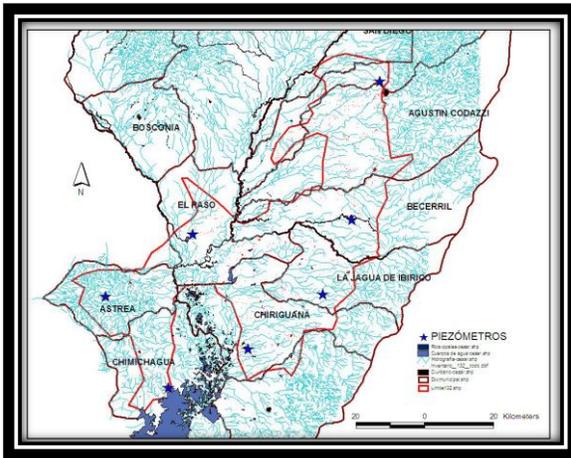
Imagen 2. Mapa, coordenadas GPS e imagen de satélite de Caserío Arenas Blancas (Lugar poblado) Departamento: Cesar Municipio: Chiriguaná. Latitud: 9.46186 Longitud: -73.4576



Fuente: (Google Maps, 2021)

En el departamento del Cesar existe una red de monitoreo de aguas subterráneas supervisadas por Corpocesar, el control de los sistemas de acuíferos tiene como objeto la construcción de poca, mediana y gran profundidad; esto permite conocer y monitorear el comportamiento temporal de indicadores de la calidad y cantidad de las aguas disponibles en el subsuelo.

Imagen 3. Localización de siete piezómetros de la red de monitoreo de aguas subterráneas



Fuente: (INGEOMINAS, 2022)

A continuación, se encuentran los últimos datos que se han registrado del piezómetro ubicado en el municipio de Chiriguana, los cuales se pueden tomar como referencia para los cálculos requeridos para el diseño del proyecto de extracción de agua subterránea para consumo en el área rural de la vereda de Arenas Blancas, por ser este el piezómetro más cercano al área.

Localización del piezómetro: Planta del acueducto local del municipio de Chiriguana.

- Acuífero monitoreado: Depósito de Llanura Aluvial (Qlla).
- Caudal: 1.79 L/s
- Profundidad: 15 metros

- Conductividad: $\mu\text{S}/\text{cm}$
- PH: 6.8 (apto para consumo humano entre 5.5 – 9)

Imagen 4. Monitoreo con sonda convencional en el piezómetro de Chiriguana



Fuente: (CORPOCESAR, 2021)

Los pozos profundos son utilizados como fuente principal de abastecimiento público para la mayoría de las localidades del municipio de Chiriguana; igualmente vienen siendo utilizados para abastecimiento de pequeños sistemas de distritos de riego para pasto de corte y en las regiones dedicadas al cultivo de palma africana, así mismo también son utilizados para la ganadería. Su explotación se realiza mediante equipos de

bombeo eléctricos y a combustible, así como también se observó en algunas áreas rurales la utilización de bombas manuales tipo pistón.

Imagen 5. Acueducto zona urbana de la vereda Arenas Blancas, municipio de Chiriguaná (Cesar) 02-03-202



Fuente: Autor

Principio de energía fotovoltaica

El principio de la energía solar fotovoltaica se basa en efecto fotoeléctrico o fotovoltaico que radica en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se efectúa por medio de algunos materiales cuya

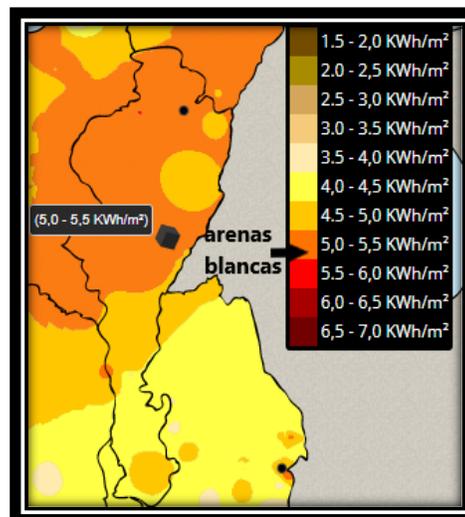
propiedad principal es la de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son atrapados, resulta una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Dado que las condiciones naturales colombianas son propicias para la generación fotovoltaica y los niveles de radiación por región a lo largo del año son constantes. Esto se debe a la cercanía con la zona ecuatorial, previniendo así el cambio climático producto de las estaciones, lo que quedaría por hacer es un conjunto de estudios zonales que posibiliten determinar qué tipo de tecnología presenta mejor eficacia en cada una de las zonas y la concepción de un marco legal que favorezca la implementación de sistemas fotovoltaicos, de tal manera que se pueda adquirir sistemas modulares (paneles solares) y no modulares (baterías, inversores, reguladores, soportes y cableado) con precios que se asemejen a los que se oferta en países que tienen alta capacidad instalada.

La irradiancia solar total extraterrestre (TSI, por sus siglas en inglés) hace referencia a la cantidad de energía procedente del sol, por unidad de área, que recibe todo punto por encima de la atmósfera terrestre, en cada instante de tiempo; por lo tanto, es una cantidad que varía tanto espacial como temporalmente, de acuerdo a la posición de un punto determinado sobre la Tierra y de la posición de ésta en relación con el Sol.

La vereda de Arenas Blancas se encuentra ubicada en el centro del departamento del Cesar y cómo se observa en el siguiente mapa de esta zona del país, el índice de irradiación solar se encuentra entre 5 – 5.5 KW/ m² /día, uno de los índices más altos de Colombia.

Imagen 6. Irradiación global horizontal (Arenas Blancas)



Fuente: (IDEAM, 2022)

Según la orientación global de descenso del costo por metro cuadrado de los paneles solares a través del tiempo, se podría deducir que en los próximos años el costo por vatio generado por un sistema fotovoltaico tendría la posibilidad de rivalizar con el valor de la energía generada por las centrales eléctricas nacionales que dominan el mercado actual, además de tornarse en una alternativa financieramente atrayente para brindar soluciones energéticas a las zonas no interconectadas del territorio nacional.

VI. Alcance

Con este proyecto se busca generar la propuesta de diseñar un sistema de bombeo de agua desde el subsuelo para el consumo para suplir la necesidad de agua potable utilizando energía solar fotovoltaica especial para zonas rurales que no cuentan con servicio de energía eléctrica ni de acueducto.

Con este proyecto se verá beneficiada la comunidad rural del corregimiento de Arenas Blancas ubicada en Chiriguaná / Cesar ya que les servirá como modelo para presentar ante el gobierno municipal, un diseño que permita obtener agua potable utilizando energía solar y ser una comunidad pionera en el uso de este recurso en la región.

VII. Metodología

El proyecto comprende una investigación descriptiva ya que como afirma (Hernández - Sampieri, 2015) “es un método eficaz para obtener información que podría ser empleada para el desarrollo de cualquier tipo de trabajo o servicios sociales y educativos” (Hernández - Sampieri, 2015). Teniendo en cuenta el

concepto anterior, el proyecto utiliza este tipo de investigación ya que las variables son analizadas por cada uno de los objetivos propuestos. Y de campo dado que los datos son tomados directamente del lugar o sitio de estudio, en este caso el área rural del corregimiento de Arenas Blancas. Cabe resaltar que estos datos son cuantitativos y que nos permitirán tener una base de información para los diferentes cálculos de las variables que serán analizadas. Del mismo modo, estos datos o información podrán ser utilizada por los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar/Cesar, en la aplicación de sistemas solares con sistemas de bombeo de agua potable, incluso podrán plantear otros diseños en el que se utilice energía solar para suplir otras necesidades teniendo en cuenta que es muy diverso el uso que se le puede dar a una energía renovable con mucho futuro como lo es la energía solar fotovoltaica aun teniendo en cuenta que no habrá implementación, pero de igual importancia para los interesados en futuras

aplicaciones en la zona de estudio o en general, en cualquier zona rural que no cuente con servicios básicos.

El modelo de estudio cuantitativo comprenderá la estimación de las de personas que se beneficiarían con la implementación de este proyecto en la región donde se realice el estudio, beneficio que llevaría agua potable a sus hogares aprovechando los recursos que por desconocimiento no han podido utilizar, la disponibilidad del diseño de un sistema de bombeo de agua potable utilizando energía solar y el uso que significaría de manera temporal y espacial. En base a los valores finales de este estudio, se determinarán las ofertas actuales en el mercado, en la región, las comunidades que aprovechen de forma eficiente el potencial del uso de la energía solar como fuente para el desarrollo y aprovechamiento para muchas otras actividades.

Para dar cumplimiento a este proyecto se propone el siguiente diseño metodológico.

El proyecto se desarrollará en tres etapas:

Etapa 1.

Se continuará la investigación de antecedentes o de otros proyectos donde se hubieran utilizado sistemas de bombeo de agua potable del subsuelo para suplir las necesidades de otras comunidades, incluso se puede realizar un sondeo en la zona para determinar la profundidad y disposición de agua del subsuelo teniendo en cuenta de que existen varios pozos perforados de forma artesanal con el objetivo de poder identificar cual sistema es más eficiente.

- Para el diseño del sistema de bombeo de agua potable extraída del subsuelo para suplir las necesidades o saneamiento básico del área rural del corregimiento de Arenas Blancas.
- Para el diseño de la estructura para soportar el tanque elevado teniendo en cuenta su altura y capacidad del tanque se tendrán en cuenta estudios sobre volumen de consumo de agua potable por personas y altura

necesaria del tanque elevado para una buena disposición del líquido.

Etapa 2.

En esta etapa después de tener identificado el sistema de bombeo de agua subterránea a realizar y el diseño del mismo, se procederá a calcular el sistema eléctrico correspondiente a la carga, se dimensionarán los paneles solares necesarios y todos los elementos que requiera el sistema de energía solar fotovoltaica, también se diseñara la base para los paneles teniendo en cuenta que se ubicaran por encima del tanque elevado o depósito de agua para para aprovechar la sombra de los paneles disminuyendo o evitando el calentamiento del agua. Este diseño se puede abordar teniendo en cuenta diferentes métodos dependiendo su nivel de complejidad, del grado de optimización en la obtención de los resultados y del número de variables consideradas.

Etapa 3.

Culminado el diseño del sistema de bombeo, el cálculo de capacidad del tanque o depósito, el diseño y altura optima de la estructura, el circuito eléctrico y paneles solares necesarios, se procede a determinar los costos del proyecto.

VIII. Ubicación dentro de las líneas de trabajo del programa

Este proyecto está enfocado dentro de las líneas de investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica. Línea de eficiencia energética

Beneficiarios directos y métodos para el uso de los resultados de este proyecto

Los usuarios que se benefician con este proyecto son los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar/Cesar, que a través de esta información contenida en este documento podrán de manera fácil y ágil tener acceso a dicha información, además la comunidad

rural del corregimiento de Arenas Blancas quienes están organizados como junta de acción comunal y para quienes está dirigido este diseño de bombeo de agua potable utilizando energía fotovoltaica y que podrá suplir su necesidad de agua potable.

IX. Cálculos y desarrollo del diseño

Parámetros técnicos del sistema de bombeo

Se requiere definir los parámetros de factores que influyen en el sistema para bombeo de agua subterránea con la exposición de la zona escogida para el estudio, buscando de esta manera, determinar el consumo promedio de agua potable para la población, de esta forma, conocer las necesidades hídricas básicas del área o zona y proceder a calcular el diámetro de los tubos o conductos y demás componentes necesarios para la estructura del pozo profundo, estimando las pérdidas de energía que se generen en el sistema y el cálculo de la carga

total sobre la bomba, por último, el tanque de agua para el depósito necesario.

Descripción de la zona de estudio

Se ha contemplado para el diseño del sistema de bombeo, las siguientes características o propiedades demográficas específicas de la zona monitoreada, y así determinar el consumo hídrico requerido por la comunidad.

El proyecto está enfocado a diseñar un sistema de bombeo de agua subterránea para suplir la necesidad del acceso a agua potable de los habitantes de las diferentes parcelas y pequeñas fincas del corregimiento de Arenas Blancas (Latitud: 9.46186 Longitud: -73.4576) del municipio de Chiriguaná (Cesar).

Según los datos obtenidos por medio de la alcaldía del Municipio de Chiriguaná y la información recopilada en el corregimiento, existen 35 parcelas en la zona con un número de integrantes de 5 miembros por familia y 3

trabajadores que llegan del casco urbano diariamente a realizar labores del campo (Alcaldía Municipal de Chiriguaná Cesar, 2021). Estas familias también se dedican a la cría de ganado porcino y avícola y para suplir el agua necesaria para su desarrollo podríamos adicionar en los cálculos un 25% al consumo estimado.

La organización mundial de la salud plantea que “Cada persona necesita al día entre 30 y 50 litros de agua sin contaminantes químicos ni microbianos nocivos, para beber y para la higiene” (OMS, 2021) del mismo modo que, la posterior tabla de datos describe la cuantía total o promedio del consumo diario de litros de agua potable que requiere la población, teniendo en cuenta que el corregimiento de arenas blancas se encuentra en una de las regiones más cálidas del país con temperaturas que se aproximan a los 38 Grados centígrados en verano (IDEAM, 2022), es importante esclarecer que el promedio de consumos que allí son

referenciados, han sido tomados de un estudio o censo ejecutado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

Tabla 1. Consumo total diario de agua por parcela del corregimiento Arenas Blancas

LOCALIDAD	ARENAS BLANCAS		
HABITANTES ZONA RURAL			170
NÚMERO DE PARCELAS			35
DESCRIPCION	CAN TIDA D	CONSU MO L/DIA	CONSU MO TOTAL
HABITANTES POR PARCELA	5	50 L	250 L
TRABAJADORES POR PARCELA	3	50 L	150 L
GANADO PORCINO Y AVICOLA		25% DEL CONSUMO TOTAL	100 L
CONSUMO TOTAL DIARIO AGUA			500 LITROS

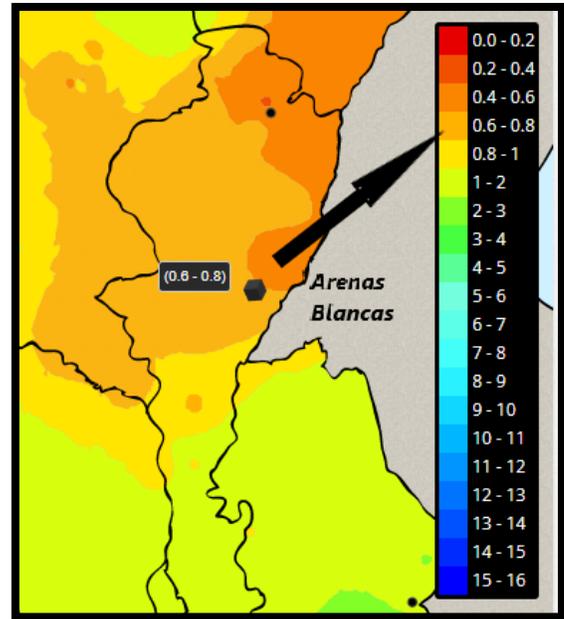
Fuente: Autor

Cálculo del caudal para el diseño del sistema

Para el área rural del corregimiento de Arenas Blancas se plantea un promedio de consumo de agua diarios de 500 litros por parcela, este

sector revela un número promediado de días al año sin irradiación solar de 0.6 a 0.8 días y solamente en el mes de mayo su peor promedio de 1 día por mes, por ello involucra un “extra” en el depósito para el respaldo del líquido para el consumo, concibiendo agua para 0.5 días se requiere un volumen extra de 250 litros. Teniendo en cuenta que no contaremos con bombeo de agua en la noche y las primeras horas de la mañana, el diseño de este proyecto prevé acumular agua en su depósito en vez de energía eléctrica, para ello contaremos con un adicional de 250 litros para un total de 1000 litros en el depósito.

Imagen 7. Comportamiento del número medio anual de días sin brillo solar (Arenas Blancas)



Fuente: (IDEAM, 2022)

La insolación solar diaria la calculamos con la siguiente formula:

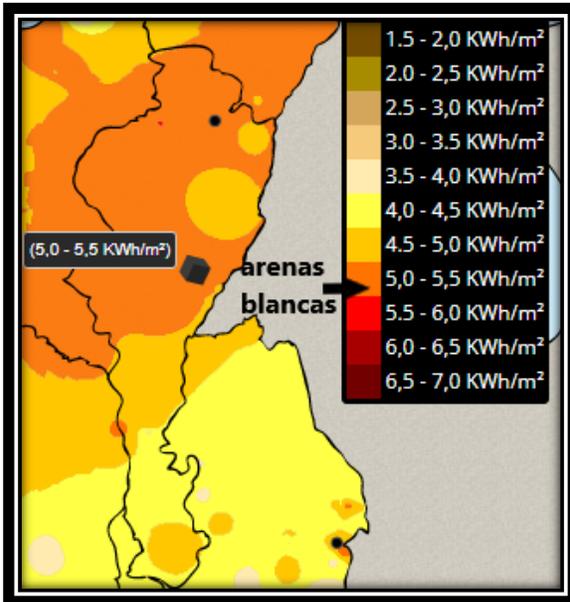
$$In = \frac{\text{Radiación solar } \frac{KWh}{m^2}}{\text{Potencia nominal paneles } \frac{KW}{m^2}}$$

(ecuación1)

La irradiación solar en el corregimiento de Arenas Blancas es muy alta (5 – 5.5 KW h/m2) y tiene un promedio de días sin brillo de sol muy bajo (0.5 días/año). De acuerdo con el atlas de Radiación solar y ozono de la región caribe colombiana, el promedio de

irradiación solar del corregimiento es de 5 KW/m² (ver la siguiente figura).

Imagen 8. Irradiación global horizontal Arenas Blancas



Fuente: (IDEAM, 2022)

La potencia o capacidad nominal empleada por la industria en sus paneles solares es de 1 KW/m², esto implica que la insolación solar sería:

$$In = \frac{5 \frac{KWh}{m^2}}{1 \frac{KW}{m^2}} = 5h \quad (\text{Ecuación 1}^a)$$

Teniendo en cuenta esta información, proviene plantear el régimen de bombeo o

caudal que se requiere, siendo este el volumen o la magnitud total de agua que sería bombeada en el tiempo de mayor insolación solar.

$$Qr = \frac{Vr \frac{1 m^3}{m}}{In \frac{5 h}{h}} = 0.2 \frac{m^3}{h} = 200 L/h$$

(ecuación 2)

Componentes del sistema hidráulico

El diseño o la proyección de pozos profundos para la extracción de agua para el consumo humano, consiste en determinar los materiales necesarios para su construcción y dimensionarlo para que este ofrezca una producción eficaz, con el fin de se garanticen los criterios mostrados a continuación:

- Agua potable de excelente calidad.
- Pozo perforado con una vida útil amplia (25 años aproximadamente).
- Agua potable sin presencia de arena.
- Costos reducidos a corto y largo plazo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a establecer todas las variables necesarias para diseñar el pozo profundo.

Entubado del pozo

La entubación en la construcción del pozo, es esencial y esto se debe a que cumple los dos objetivos primordiales siguientes: (Vélez, 2011) asegura que los dos objetivos son “Sostener las paredes de la perforación y constituir la conexión hidráulica que pone el acuífero en comunicación con la superficie de terreno o con los elementos de extracción correspondientes” (Vélez, 2011) Para este propósito es necesario contemplar que el ancho o diámetro del entubado debe admitir una instalación eficaz de la bomba y que provoque un valor inferior de pérdidas generadas por la fricción, por esto aconsejan que la medida sea 2 unidades mayores que el diámetro o ancho nominal de la bomba, para ello, en la próxima tabla se dispone de los entubados sugeridos para diferentes medidas de caudales.

Imagen 9. Diámetro recomendado de entubado de pozos según caudales

Caudal l/s	Diámetro nominal tazones (pul)	Diámetro óptimo (pul)	Diámetro Mínimo (pul)
<6	4	6 DI	5 DI
5-11	5	8 DI	6 DI
10-25	6	10 DI	8 DI
22-41	8	12 DE	10 DI
38-57	10	14 DE	12 DI
54-82	12	16 DE	14 DE
76-114	14	20 DE	16 DE
101-189	16	24 DE	20 DE

Fuente: (Vélez, 2011).

A la hora de seleccionar los materiales para el entubado, el poli-cloruro de vinilo (PVC) es usualmente empleado en pozos perforados cuyas profundidades son inferiores a 300 metros y para agua corrosiva en gran medida, es de destacar otros materiales como la fibra de vidrio, el acero, y asbesto-cemento también son empleados con gran frecuencia.

Por lo tanto, como el caudal necesario es de 0.2 m³/h o 200 L/h se establece que el entubado aconsejable sería tubos en PVC de tipo acampanado con una dimensión nominal de 4 pulgadas, además en un futuro se podría aumentar la demanda de agua para proyectos de piscicultura, avicultura u otro ya que el acuífero nos podría aportar hasta un máximo de 5400 litros por hora y no sería necesario aumentar el diámetro de la perforación del pozo.

Tabla 2. Tubería en PVC 4'' para pozo profundo

TUBERÍA ACAMPANADA RDE 21 PAVCO PVC	
Diámetro nominal	4 pulgadas
Referencia	2900331
Peso	1.84 Kg/m
Diámetro exterior promedio	114.30 mm (4.50 pulgadas)
Espesor de pared mínimo	3.30 mm (0.13 pulgadas)
Diámetro interior promedio	107.70 mm (4.24 pulgadas)

Fuente: (PAVCO WAVIN, 2022)

Perforación y construcción del pozo

Para el diseño del pozo perforado se deben tener en cuenta las siguientes variables: método de perforación, profundidad, entubado, rejilla, desarrollo, protección sanitaria y filtro de grava.

La profundidad en un pozo vertical se define esencialmente por los rasgos de la formación a explotar, la longitud de perforación depende del tipo de acuífero y la regulación por parte de los entes estatales.

Según los datos obtenidos del piezómetro más cercano al corregimiento de Arenas Blancas, ubicado en el municipio de Chiriguaná, este tiene una profundidad de 15 metros y ofrece un caudal de aforo de 1.97 L/s (CORPOCESAR, 2021). También se recopilaron datos en una visita al corregimiento, donde se evidenció pozos perforados en el área rural con una profundidad de 15 metros y al consultar a la comunidad sobre la profundidad del agua en dichos pozos, ellos informan que el agua en verano alcanza una profundidad de 10 metros

y en invierno alcanza los 5 metros aproximadamente.

Con toda esta información recopilada se puede determinar que la profundidad adecuada para el diseño de la perforación de los pozos debe hacerse a 15 metros. Al contactar diferentes prestadores de servicio de perforación de pozos en la zona, se pudo corroborar que es la profundidad de perforación recomendada para esta localidad, el método de perforación utilizado es con máquinas y torres de perforación.

En la cotización del servicio, para un pozo de 15 metros de profundidad, con un diámetro de entubado de 4 pulgadas, recomiendan perforación con diámetro de broca de 8,5 pulgadas para tener un buen filtrado o rejilla con grava. Además, realizan la limpieza del pozo entregándolo libre de lodo y listo para instalar el sistema de bombeo seleccionado. Por último y muy importante, la fabricación de la protección sanitaria, la cual consiste en una placa de concreto en la zona superior del

pozo, la cual evita la contaminación con aguas superficiales que puedan afectar el PH y la salubridad del agua subterránea.

Imagen 10. Equipo de perforación utilizado en la zona



Fuente: Autor

Todo esto contempla la construcción de un pozo perforado y fue cotizado en un valor de 200,000 pesos/metro, teniendo en cuenta que el diseño contempla un pozo de 15 metros de profundidad podemos calcular que dicha obra

tendría un valor aproximado de 3 millones de pesos a la fecha del mes de marzo del 2022.

Tabla 3. Cotización de construcción de pozo perforado

Datos sobre perforación del pozo	
Profundidad	15 metros
Diámetro de perforación	8.5 pulgadas
Diámetro de entubado	4 pulgadas
Tipo de filtro	Gravilla
Tipo de rejilla	Tubo perforado
Precio por metro	\$200,000
Precio total	\$3,000,000

Fuente: TR Perforaciones S.A.S

Determinación del diámetro óptimo de la tubería de salida de la bomba

Para determinar el diámetro óptimo de la tubería se deben tener en cuenta cálculos técnicos y económicos. Normalmente, cuanto mayor sea la longitud del tramo de tubería entre la bomba y el depósito, mayor será la caída de presión. El tamaño óptimo es el

mínimo rango de tamaño eficiente desde un análisis económico.

A continuación, se expresa la ecuación para el cálculo de capacidad del tubo de salida.

$$Q = (\pi \cdot d^2) / 4 \cdot V \quad (\text{Ecuación 3})$$

Q = caudal de líquido a ser bombeado;

d = diámetro del tubo;

v = Velocidad de flujo.

Para realizar el cálculo del diámetro ideal de la tubería, se suele emplear los valores óptimos de velocidad de la guía del medio bombeado, estos datos son producto a base de experimentos (cálculo de diámetro de tuberías (INTECH GmbH, 2022)).

Tabla 4. Rango de velocidades optimas dentro de la tubería en m/s

Medio bombeado (liquido)	Rango de velocidad m/s
Lado aspiración	0.8 a 2 m/s
Lado de compresión	1.5 a 3 m/s

Fuente: (INTECH GmbH, 2022)

$$Q = 0.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$d_o = ?$$

$$v_o = 1.5 \text{ m/s} = 5400 \text{ m/h}$$

$$d_o = \sqrt{(4 \cdot Q) / (\pi \cdot v_o)} \quad (\text{Ecuación 3a})$$

$$d_o = \sqrt{\frac{\left(4 \cdot \frac{0.2 \text{ m}^3}{\text{h}}\right)}{\left(\pi \cdot \frac{5400 \text{ m}}{\text{h}}\right)}}$$

$$d_o = 0.00687 \text{ m} = 0.27 \text{ pulgadas}$$

Según el cálculo anterior, para establecer el diámetro del tubo de salida de la bomba teniendo en cuenta el caudal del líquido a bombear (200 L/h - 0.88 gal/m), el tubo necesario sería de 0.27 pulgadas. Según la tabla de Mott Robert L. referente a Mecánica de fluidos, se recomienda el uso de tubos de salida de bomba con un diámetro de 0.5 o 1/2 pulgada para caudales menores a 17.5 gal/m. por lo tanto, en este diseño tendremos en cuenta esta recomendación soportada por los cálculos realizados.

Imagen 11. Ayuda para la selección del tamaño de tubos.

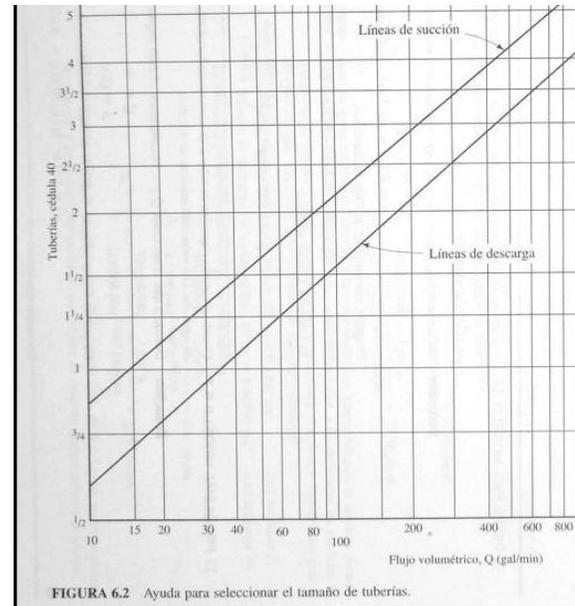


FIGURA 6.2 Ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías.

Fuente: (Mott, 2019)

Dimensionamiento del depósito de agua

Para el dimensionamiento del tanque o depósito de agua se recuerda el cálculo anterior en la tabla 1. Donde nos arrojaba 500 litros de agua/diario para el consumo por unidad de parcela o familia, adicionalmente se calcula 250 litros necesarios para prevenir medio día sin sol o generación de energía fotovoltaica y 250 litros más para suplir el uso de baterías con la acumulación de agua en el depósito. Por lo tanto, nuestro tanque debe ser

de 1000 litros de agua y será instalado en una torre de concreto tipo columna con plataforma con una altura de 2.5 metros suficiente para generar una presión moderada por gravedad en la salida del tanque.

Imagen 12. Tanque elevado en torre con plataforma de concreto en zona urbana del corregimiento de Arenas Blancas



Fuente: Autor

Características del tanque

Se toma como referencia un tanque de agua suministrado por la fábrica colombiana Rotoplast.

• Descripción: Tanque de Agua 1000 Litros Bicapa Negro Con Tapa Rotoplast.

- Altura: 140 cm
- Material: Polietileno
- Ancho: 137 cm
- Modelo: AFCN21005A
- Tipo: Tanques de agua
- Capacidad volumétrica: 1,000 litros

Imagen 13. Tanques cónicos para depósito de agua.



Fuente: (Rotoplast, 2022)

Demanda energética del sistema de bombeo

Ahora se muestran detalles de la potencia requerida para la selección de una bomba sumergible ideal, teniendo en cuenta que cumpla con la altura y el caudal propuesto; luego se calcula el consumo diario de energía del sistema para determinar los paneles solares necesarios.

Para establecer la potencia requerida por la bomba sumergible del diseño, esta se valora a través de la siguiente fórmula:

$$p_A = h_A \gamma Q \quad (\text{Ecuación 4})$$

Los datos generales que se tienen son los siguientes:

- Altura geométrica (Altura aspiración (0) + Altura de impulsión): 18.25 m
- Recorrido total de la tubería: 21.25 m
- Diámetro interior de la tubería: 0.5 pul. (12.7 mm)
- Características de la aspiración:

Teniendo en cuenta que la succión de la bomba sería de forma directa, no existe la necesidad del uso de tubos para la aspiración

del agua, en consecuencia, las pérdidas de este lado serían cero.

➤ Características lado impulsión:

- Altura de impulsión: 18.25 m
- Longitud del tubo: 21.25 m
- # de válvulas retención: 1
- # de codos de 90°: 3
- # de codos de 45°: 2
- Válvula tipo compuerta: 1

➤ Operaciones para calcular la carga total de la bomba (h_A):

➤ Pérdidas de carga en lado de impulsión:

- Longitud de la tubería: 21.25 m
- Pérdidas singulares: 0.12 m (válvula tipo compuerta) + 1.22 m (válvula cheque o de retención) + 1.3 m (3 codos de 90°).
- Longitud equivalente de la tubería: 23.89 m

(los datos de pérdidas por fricción fueron tomados de rotorpump.com)

Con estos valores se puede calcular las pérdidas en metros columna de agua (m.c.a.) a través de la tabla de pérdidas de carga. Es decir, 200 l/h en una tubería con un diámetro de 12.7 mm, corresponde a 5 m por cada 100 m lineales de tubería con las características descritas. Siendo así:

$$5 \times 23.89/100 = 1.2 \text{ m.c.a.}$$

➤ Resultado del cálculo:

La altura manométrica total es igual a la altura de aspiración, más la altura de impulsión, más las Pérdidas de carga en aspiración, más las Pérdidas de carga en impulsión:

$$(0+18.25+0+1.2= 19.45 \text{ m.c.a.})$$

De tal forma que, se debe seleccionar una bomba que eleve un caudal de 200 l/h a una altura de 19.45 m.c.a. (metro de columna de agua).

Tabla 5. Cálculo de carga total sobre la bomba en el diseño.

h_A	Carga total sobre la bomba
Profundidad de la bomba en el pozo	14.5 m
Distancia entre la bomba y base de la plataforma	2 m
Altura de la plataforma	2.5 m
Altura del tanque	1.25 m
Recorrido total de la tubería	21.25 m
h_A total	19.45 m.c.a

Fuente: autor

$$h_A$$

$$= 19.45 \text{ m (carga total sobre la bomba)}$$

$$\gamma$$

$$= 9.81 \text{ KN/m}^3 \text{ (peso específico del agua)}$$

$$Q = 200 \text{ L/h } (5.56 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}) \text{ caudal}$$

requerido salida de la bomba.

Resuelven:

$$p_A$$

$$= (19.45 \text{ m}) \left(\frac{9.81 \text{ KN}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{5.56 * 10^{-5} \text{ m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$= 10.61 \text{ W} = 0.014 \text{ HP}$$

Selección de la bomba

Después de los diferentes cálculos realizados se observa que, debido al alto índice de irradiación solar por horas de la zona, la poca demanda del líquido contemplado en el proyecto y el bajo caudal necesario; podemos tomar una de las bombas sumergibles de menor caudal / altura que ofrece el mercado. De todas formas, se advierte la importancia del agua en proyectos agrícolas y de ganadería de especies menores para los cuales se podría aprovechar el restante del líquido obtenido.

La bomba seleccionada es una de las que ofrecen el menor rango de caudal/altura en el mercado y una de sus ventajas es que viene con controlador y dos paneles solares listos para instalar.

Tabla 6. Características de bomba seleccionada

Marca	Cheers pump
Modelo	JS3 – 0.9 - 32
Lugar de origen	China

Precio	156 Dólar – 585,178 pesos col.
Aplicación	Agua
Flujo máximo	900 L/h
Combustible	Panel Solar
Voltaje	24 V. CC
Máximo cabeza de bomba	32 m – 100 pies
Potencia	0.15 HP
Diámetro	76mm – 3 pulgadas
Uso	Sumergible
Paneles solares	2 X 80W
Controlador	MPPT

Fuente: (Solar-waterpumps, 2017)

Imagen 14. Componentes principales del kit seleccionado.



Fuente: (Solar-waterpumps, 2017)

En la siguiente imagen se puede observar la curva de eficiencia de la bomba sumergible (1) JS3 – 0.9 – 32, la cual ofrece lo necesario para el proyecto, ya que según los cálculos en el diseño se tiene una cabeza de bomba de

19.45 metros y el caudal necesario es de 200 L/h o 3.33 L/m

Imagen 15. Curva de eficiencia JS3 – 0.9 – 32



Fuente: (Alibaba, 2018)

Accionamiento de la bomba sumergible

Es requerido un accionamiento automático de la bomba debido a la necesidad de controlar el nivel de agua en el depósito, el kit de la bomba sumergible viene con este dispositivo y es fácil su instalación. Para la protección de la bomba también cuenta con un switch de nivel de agua el cual será instalado dentro del pozo junto con la bomba

a la altura de la salida, este dispositivo enviará una señal al controlador del sistema para apagar bomba en caso de que el nivel del agua en el pozo llegue por debajo de lo recomendado o seteado para evitar que la bomba succione aire o trabaje en vacío lo que causaría averías críticas.

Imagen 16. Identificación del sistema de accionamiento



Fuente: (Solar-waterpumps, 2017)

Potencia generada en paneles solares

Dado que el kit de bombeo seleccionado viene con dos paneles solares de 80W y nuestro cálculo de insolación solar en la zona

es de 5 horas (ecuación 1), podemos obtener la potencia generada en los paneles solares por día:

$$Pg = r * In \quad (\text{ecuación 5})$$

$$Pg = 160 \text{ W/h} * 5\text{h/día}$$

$$Pg = 800 \text{ W/día}$$

El precio actual (2022) del KW/h en la costa caribe es de \$589.78 (Energiacaribemar, 2022), la generación por año de los paneles solares serían:

$$Pg = 800 \frac{\text{W}}{\text{día}} * 365 \text{ día} = 292 \text{ KW/año}$$

Lo que significa un ahorro referente al precio de la energía (Pe) de:

$$Pe = 292 \text{ KW/año} * \$589.78 = \$172.215 \text{ anuales.}$$

Tabla 7. Datos finales

Máximo caudal de entrega del pozo.	118 L/min = 7 m ³ /h
Volumen de agua requerido del diseño	1000 L

Caudal de la bomba requerido para el diseño	200 L/h
Máxima caudal entrega de la bomba referente a la altura del diseño	8 L/m = 480 L/h
Generación máxima de potencia en paneles (2x80W)	800W/día = 0.8KW/h

Fuente: autor

Presupuesto

En la siguiente tabla se puede observar una breve descripción del presupuesto basado en cotizaciones realizadas en el mes de marzo del 2022.

Tabla 8. Presupuesto necesario para la implementación del proyecto o diseño.

Construcción del pozo a todo costo	\$ 3,000,000
Construcción de columna - soporte	\$ 520,000
Tanque o depósito	\$ 464,900
Kit bomba solar	\$ 585,178
Soporte para paneles solares	\$ 180,000
Instalación técnica del sistema	\$ 600,000
Tubos de salida, válvulas y accesorios	\$ 120,000

TOTAL	\$ 5,470,078
--------------	---------------------

Fuente: autor.

Finalmente, se entraría a analizar el alcance de este proyecto de llegarse a implementar este diseño, teniendo en cuenta la estimación del tiempo de recuperación de la inversión.

Es primordial destacar el tiempo de vida útil aproximado de los componentes y estructuras presentados en este diseño:

- El pozo perforado tendría una vida útil de 25 años y su mantenimiento resulta muy prolongado, sencillo a bajo costo.
- Está demostrado que los paneles solares tienen una vida útil de 20 a 25 años y su mantenimiento es sencillo, basta con una sencilla limpieza periódica con un paño húmedo y suave para retirar el polvo acumulado en su superficie.
- La bomba sumergible seleccionada para el diseño ofrece una garantía de

3 años, pero su vida útil se aproxima a los 10 años.

Para estimar el tiempo de recuperación de la inversión en la aplicación de este diseño desde el punto vista del agua potable para saneamiento básico sería el siguiente:

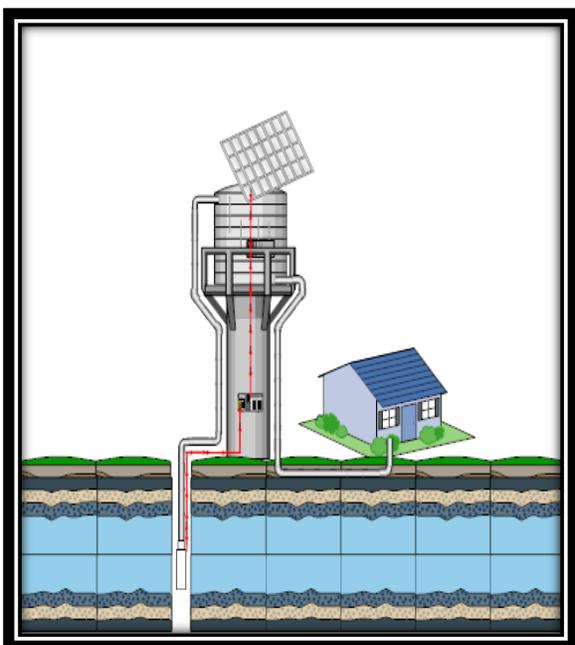
- Disposición de agua potable del sistema = 1 metro cubico diario = 365 m³ / año
- Precio agua potable en la zona = \$1,477 / m³
- Al año se obtendría agua potable por un valor de \$539,105 aproximadamente.
- Valor total del proyecto vs precio agua potable:

$$\$5,470,078 / \$539,105 = 10.15 \text{ años.}$$

Aunque el tiempo de recuperación de la inversión no parezca muy prometedor es muy importante destacar que en la zona contemplada para la aplicación del diseño de extracción de agua subterránea no cuenta con los servicios de energía eléctrica y agua para

el saneamiento básico y en la actualidad no se contempla la posibilidad de que el estado lleve a estas comunidades estos servicios. Por lo tanto, se considera invaluable el beneficio para estas comunidades la implementación de este diseño para suplir la necesidad de agua potable e incentivar el uso de energías limpias en pro del desarrollo del área rural.

Imagen 17. (Smart Draw, 2020)



Fuente: Autor

X. Conclusiones

Para concluir, se puede hacer referencia a los beneficios de gran importancia que genera el uso de energías renovables para el desarrollo de este tipo de proyectos que buscan incentivar la explotación de este recurso como lo es la energía solar y que actualmente se le observa con un futuro muy prometedor en el desarrollo de nuevas tecnologías, paneles solares más eficientes, baterías con más capacidad de carga a bajos costos y actuadores de menor consumo eléctrico.

Aunque el ahorro económico respecto al precio comercial de la energía parezca demasiado bajo (\$172.215 anuales), se debe resaltar que, en esta zona por ser rural, las comunidades o familias no cuentan con este servicio que viene de las grandes hidroeléctricas del país, por este motivo es de gran importancia la implementación de este diseño ya que es muy poco probable que la red eléctrica llegue a estas zonas.

Para el diseño del sistema de bombeo se considera beneficios al instalar los paneles solares en la zona superior al tanque o depósito del agua ya que estos brindarían la sombra necesaria para evitar que el agua se caliente demasiado y teniendo en cuenta que los paneles solares necesitan poco mantenimiento ya que una simple limpieza periódica de su superficie sería suficiente.

En cuanto al volumen de agua indispensable para suplir las necesidades contempladas en el proyecto (1000 L), es importante aclarar que el kit solar de bombeo escogido en el diseño puede ofrecer un máximo de 2400 L teniendo en cuenta las 5 horas óptimas de sol y un caudal de 8 L/min, esto significa el doble de lo necesario en el diseño lo que podría ser aprovechado en la instalación de un tanque paralelo a la misma altura o a nivel de superficie para ser llenado luego de que el tanque primario se encuentre en su nivel máximo y se podría llenar de

forma automática instalando una salida extra desde el nivel superior del tanque principal hacia el secundario, esto significaría tener agua para el requerimiento de un proyecto productivo.

Si se comienza a utilizar energías limpias, renovables no contaminantes en las áreas rurales de difícil acceso a los servicios públicos básicos y en este caso en particular como lo es el agua potable para el consumo humano y saneamiento básico, pronto se iniciarían más programas o proyectos que tengan que ver con el alumbrado o disposición de energía eléctrica de uso doméstico ya esto incentivaría a la inversión y uso de un recurso infinito como lo es la energía solar.

Bibliografía

- Alcaldía Municipal de Chiriguaná Cesar. (2021). *Chiriguaná Cesar*. Obtenido de <http://www.chiriguana-cesar.gov.co/>
- Alibaba. (2018). *Bomba De Agua Solar De Acero Inoxidable*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-304-solar-water-pump-js3-0-9-32-60785089181.html>
- CORPOCESAR. (2021). *Monitoreo con sonda convencional en el piezómetro de Chiriguaná*. Obtenido de <https://www.corpocesar.gov.co/>
- Energiacaribemar. (2022). *Afinia*. Obtenido de <https://energiacaribemar.co/preciosvigentes/>
- Google Maps. (2021). *Chiriguaná*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/@4.5998747,-74.2061816,15z>
- Hernández - Sampieri, R. (2015). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- IDEAM. (2022). *Irradiación global horizontal (Arenas Blancas)*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (2022). *Temperatura*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- INGEOMINAS. (2022). *Localización de siete piezómetros de la red de monitoreo de aguas subterráneas*. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/instituto-colombiano-de-geologia-y-mineria-ingeominas>
- INTECH GmbH. (2022). *Cálculos y selección de tuberías. Diámetro óptimo de tubería*. Obtenido de https://intech-gmbh.es/pipelines_calc_and_select/#pipeline_optimal_diameter
- INTECH GmbH. (2022). *Tuberías*. Obtenido de <https://intech-gmbh.es/>
- Mott, R. (2019). *Mecánica de fluidos*. Obtenido de https://www.academia.edu/38230560/Mecanica_de_fluidos_robert_mott_6ta_edicion
- Naciones Unidas. (2016). *Agua limpia y saneamiento*. Obtenido de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- OMS. (2021). *Necesidades de agua*. Obtenido de <https://www.who.int/es>

- ONU. (2015). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU. (2015). *Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- ONU. (13 de Marzo de 2020). *Tres mil millones de personas no tienen como lavarse las manos para protegerse del coronavirus*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2020/03/1471171>
- ONU. (2022). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- PAVCO WAVIN. (2022). *Construcción*. Obtenido de <https://pavcowavin.com.co/>
- Rodríguez, H. (2020). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 83-89.
- Rotoplast. (2022). *Tanques cónicos para depósito de agua*. Obtenido de <https://www.rotoplast.com.co/es>
- Secretaría de Ambiente. (2021). *Aguas Subterráneas*. Obtenido de <https://www.ambientebogota.gov.co/aguas-subterranas>
- SmartDraw. (2020). *Diseño del sistema de bombeo utilizando software Smart Draw*. Obtenido de <https://www.smartdraw.com/>
- Solar-waterpumps. (2017). *Bombas de agua solares*. Obtenido de <http://www.solar-waterpumps.com/>
- Vélez, M. (2011). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vélez, M., Ortiz, C., & Vargas, M. (1 de Enero de 2011). *Las aguas subterráneas. Un enfoque práctico*. Obtenido de <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/76>