

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO PARA BOMBEO DE AGUA
UTILIZANDO GENERADORES FOTOVOLTAICOS**

**JHOVANY ANTONIO BERMUDEZ CALDERON
SANDRA MILENA VARGAS CALDERON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO PARA BOMBEO DE AGUA
UTILIZANDO GENERADORES FOTOVOLTAICOS**

**JHOVANY ANTONIO BERMUDEZ CALDERON
SANDRA MILENA VARGAS CALDERON**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero electricista**

Directora

Dra. MONICA ANDREA BOTERO LONDOÑO

Co-directora:

Mgs. MARÍA ALEJANDRA MANTILLA V.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEORICO	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS	15
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA FINCA BELLA VIRGINIA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR.	18
1.3 SUBSISTEMA MOTOR-BOMBA	23
1.3.1 Conceptos necesarios para realizar una selección adecuada de la bomba	23
1.3.2 Fundamentos para la evaluación energética de sistemas motor-bomba.	29
1.4 RECURSO SOLAR	31
2. ESTUDIO DEL SISTEMA DE BOMBEO EMPLEADO EN LA FINCA BELLA VIRGINIA.....	33
2.1 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA.....	34
2.2 MEDICIONES DE CAMPO	35
2.2.1 Escenarios para la toma de mediciones	36
2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	38
2.3.1 Cálculo de pérdidas y eficiencia de la bomba EE 1.5 20-1	38
2.3.2 Factor de potencia bajo diferentes cargas de la bomba EE 1.5 20-1.....	41
2.3.3 Operación de la Bomba sumergible C1 series 20XC1-05P4-2W230	42
2.3.4 Operación de Hy-flo KM 100N	42
3. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO	43
3.1 EQUIPO DE BOMBEO PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA LA VIVIENDA.....	43
3.2 EQUIPO DE BOMBEO PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA RIEGO Y CONSUMO ANIMAL	44
4. ARREGLO FOTOVOLTAICO	46
4.1 RADIACIÓN SOLAR DIARIA- LA MESA DE LOS SANTOS, SANTANDER.	46
4.2 DIMENSIONAMIENTO	47
4.2.1 Selección del inversor	47
4.2.2 Arreglo fotovoltaico	48
5. DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA.....	53
5.1 CUADRO DE CARGA INICIAL	53
5.2 CÁLCULOS DE REGULACIÓN	54

5.3	CÁLCULOS DE CANALIZACIONES Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS.....	56
5.4	ANÁLISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.....	56
5.5	SELECCIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCION.....	57
5.6	ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS	64
5.7	DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	64
5.8	CÁLCULO DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES.....	66
5.9	DIAGRAMA UNIFILAR.....	68
5.10	CUADRO DE CARGA FINAL.....	69
6.	FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DIMENSIONADO PARA OTROS USUARIOS DEL SECTOR	70
6.1	ORGANIZACIÓN DE LA ENCUESTA	70
6.1.1	Descripción del proceso llevado a cabo para encuestar.	71
6.1.1	Ficha resumen.....	72
6.2	INDICADORES DE LAS ENCUESTAS	74
6.3	ANÁLISIS Y RESULTADOS TECNICOS	77
6.4	ANÁLISIS SOCIAL Y RESULTADOS.....	78
7.	PRESUPUESTO.....	86
7.1	ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN (ROI).	98
8.	CONCLUSIONES	101
	CITAS BIBLIOGRAFICAS.....	103
	BIBLIOGRAFIA	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1. Altamira Reservado.	16
Figura 1-2. Finca Bella Virginia	17
Figura 1-3. Finca el Espinal.	18
Figura 1-4. Esquema hídrico actual del suministro de agua para riego y consumo animal.	19
Figura 1-5. Esquema hídrico actual para riego de vegetación.	20
Figura 1-6. Sistema hídrico actual para suministro de agua potable.....	21
Figura 1-7. Diagrama unifilar conexión de motobombas.	22
Figura 1-8. Curvas características de las bombas; donde H es la altura manométrica, N la velocidad en rpm, ANPA la carga neta positiva de succión, η la eficiencia.	23
Figura 1-9. Altura geométrica de un sistema, donde 1 es el nivel superior del agua en el pozo y 2 nivel superior del agua en el depósito.	27
Figura 1-10. a) Esquema con carga de succión negativa b) Esquema con carga de succión positiva	27
Figura 1-11. Esquema de motobomba con parámetros de medición.....	30
Figura 1-12. Nivel de referencia, succión y a centros manómetros.....	31
Figura 1-13. Tipos de radiación incidente en la tierra.....	32
Figura 2-1. Pérdida de energía en un sistema hidráulico.	33
Figura 2-2. Metodología utilizada para estudiar el sistema de bombeo.....	34
Figura 2-3. Válvula de cierre utilizada en pruebas hidráulicas.	38
Figura 2-4. Factor de potencia en prueba de carga Motobomba EE 1.5 20-1.	42
Figura 3-1. Esquema representativo del sistema de bombeo de agua de la cisterna al tanque de almacenamiento	44
Figura 3-2. Esquema representativo del sistema de bombeo de agua del lago al sitio de riego más lejano y hacia el tanque de almacenamiento de agua.....	45
Figura 4-1. Valores mínimos de radiación mensual 2008-2014.	46
Figura 5-1. Procedimiento para la decisión de necesidad de protección.	57
Figura 5-2. Dimensión del Arreglo fotovoltaico	59
Figura 5-3. Sistemas de puesta a tierra interconectadas.	65
Figura 5-4. Diagrama unifilar aguas debajo del inversor	67
Figura 5-5. Esquema de instalación del sistema fotovoltaico aguas arriba del inversor	67
Figura 6-1. Ruta llevada a cabo para realizar las encuestas.....	71
Figura 6-2. CDT en los lugares encuestados.	75
Figura 6-3. Energía demandada diaria requerida en los lugares encuestados.....	77

Figura 6-4. Gráfico de porcentajes del análisis de la pregunta 1.	79
Figura 6-5. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 2.....	79
Figura 6-6. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 3.....	80
Figura 6-7. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 5.....	80
Figura 6-8. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 6.....	81
Figura 6-9. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 10.	81
Figura 6-10. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 13.	82
Figura 6-11. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 14.	82
Figura 6-12. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 15.	83
Figura 6-13. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 16.	84
Figura 6-14. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 17.	84
Figura 6-15. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 18.	85
Figura 6-16. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 19.	85
Figura 7-1. Consumo mensual en kWh/mes.....	99
Figura 7-2.Flujo neto de efectivo.	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1. Observaciones del sistema eléctrico actual en la finca.	22
Tabla 1-2. Factor de fricción de acuerdo al tipo de tubería	25
Tabla 2-1. Descripción de las mediciones de campo.	35
Tabla 2-2. Datos nominales Hy-flo KM 100N	35
Tabla 2-3. Datos nominales Moto-Bomba EE 1.5 20-1	36
Tabla 2-4. Datos nominales Bomba sumergible C1 series 20XC1-05P4-2W230	36
Tabla 2-5. Valores promedio obtenidos en la prueba de caudal máximo	37
Tabla 2-6. Valores promedio obtenidos en la prueba de operación normal.	37
Tabla 2-7. Parámetros específicos en pruebas de caudal máximo y operación normal.	39
Tabla 2-8. Variables medidas versus curva de rendimiento.	40
Tabla 2-9. Cálculo de pérdidas en el conductor motobomba EE 1.5 20-1	41
Tabla 2-10. Cálculo de pérdidas en el conductor motobomba C1 series 20XC1-05P4-2W230	42
Tabla 3-1. Elementos del sistema de bombeo para abastecimiento de agua potable.	43
Tabla 3-2. Elementos del sistema de bombeo para abastecimiento de agua para riego y consumo animal.	45
Tabla 4-1. Precios cotizados de inversores DC/AC.	47
Tabla 4-2. Datos técnicos inversos GELA GS 3 K	48
Tabla 4-3. Precios de Paneles Solares Cotizados	50
Tabla 4-4. Comparación de Posibles Arreglos Fotovoltaicos	50
Tabla 4-5. Arreglo de paneles para el funcionamiento de la motobomba del lago.	51
Tabla 4-6. Especificaciones técnicas de panel solar UPSOLAR 250W.	51
Tabla 5-1. Cuadro de Carga inicial.	53
Tabla 5-2. Cuadro de regulación de carga	55
Tabla 5-3. Valores típicos de riesgo tolerable.	56
Tabla 5-4. Valores de probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de paso o contacto por descargas directas a la estructura.	59
Tabla 5-5. Valores de factores de reducción en función del tipo de suelo o piso.	60
Tabla 5-6. Valores de factores para la determinación de las pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.	60
Tabla 5-7. Valores de la probabilidad de daño a la estructura por descargas directas.	61
Tabla 5-8. Valores de factores de reducción rp en función de las medidas de prevención para reducir las consecuencias de fuego.	62
Tabla 5-9. Valores de factor de reducción rf en función del riesgo de fuego de la estructura.	62

Tabla 5-10. Valores de factor de incremento hz en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro.	63
Tabla 5-11. Valores de factores para la determinación de las pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructura por arco eléctrico.	63
Tabla 5-12. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.	64
Tabla 5-13. Consideraciones de los electrodos de puesta a tierra.....	65
Tabla 5-14. Conductores del electrodo de puesta a tierra y de puesta a tierra de los equipos.	65
Tabla 5-15. Cuadro de carga final para el tablero general.	69
Tabla 6-1. Modelo ficha resumen	74
Tabla 6-2. Porcentajes de error entre el método exacto y por omisión para el cálculo de la CDT. .	76
Tabla 6-3. Fincas encuestadas en las que sería posible la implementación del sistema de bombeo autónomo con generadores fotovoltaicos dimensionado.	78
Tabla 7-1. Presupuesto General.	86
Tabla 7-2. Herramientas utilizadas en la implementación el sistema de bombeo solar.	86
Tabla 7-3. Lista de recursos.....	87
Tabla 7-4. Unidad Constructiva Montaje de Tablero Principal.	89
Tabla 7-5. Unidad Constructiva Montaje del Generador Fotovoltaico.	89
Tabla 7-6. Unidad Constructiva Montaje de sistema hidráulico.....	90
Tabla 7-7. Unidad Constructiva Instalación de cableado de AC y SPT.	90
Tabla 7-8. Unidad de obra de TP1.1.....	91
Tabla 7-9. Unidad de obra de TP1.2.....	92
Tabla 7-10. Unidad de obra de GV2.1.	93
Tabla 7-11. Unidad de obra de GV2.2.	94
Tabla 7-12. Unidad de obra de GV2.3.	95
Tabla 7-13. Unidad de obra de CPT1.1.	96
Tabla 7-14. Unidad de obra de CPT1.2.	97
Tabla 7-15. Unidad de obra de CPT1.3.	98
Tabla 7-16. Cuadro de carga consumo de 4 personas 3 días por semana.	99

RESUMEN

TITULO: DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO PARA BOMBEO DE AGUA UTILIZANDO GENERADORES FOTOVOLTAICOS.

AUTORES: JHOVANY ANTONIO BERMUDEZ CALDERON
SANDRA MILENA VARGAS CALDERON. ¹²

PALABRAS CLAVE: PANELES SOLARES, RETORNO DE INVERSIÓN, SISTEMA DE BOMBEO.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto se realizó el dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua utilizando un generador fotovoltaico con base en los datos de irradiación solar específica de la Mesa de los Santos departamento de Santander, y características correspondientes a la carga hidráulica del sector tomadas directamente en mediciones de campo.

Este sistema tendría un mejor rendimiento que los sistemas actuales utilizados, representaría un avance para que el país entre en la conciencia de implementación de aplicaciones con energías limpias y un ahorro económico para los usuarios por medio de un retorno de inversión vía tarifa.

En búsqueda de hacer una comparación con el sistema tradicional se realiza un análisis de eficiencia del sistema existente; examinando las componentes alimentación, motor y bomba; además de un análisis de los subsistemas motor-bomba y generador fotovoltaico, para el sistema dimensionado.

En función de la modalidad práctica social se encuestó una muestra poblacional para determinar las directrices y características más importantes que se necesitaba del sistema así como el perfil de la utilización del sistema de bombeo fotovoltaico. Con el objetivo final de concluir si las fincas poseen un mismo perfil y si es posible estandarizar un diseño, además se encontró un gran interés de la población en implementar este sistema y su posible inversión.

Con base en los estudios realizados se seleccionaron las partes del sistema de bombeo fotovoltaico y se presenta un presupuesto de implementación.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Directora: Mónica Andrea Botero Londoño, Doctora en Ciencias Físicas.

ABSTRACT

TITLE: SIZING OF STAND ALONE WATER PUMPING SYSTEMS USING PHOTOVOLTAIC GENERATION.

AUTHORS: JHOVANY ANTONIO BERMUDEZ CALDERON
SANDRA MILENA VARGAS CALDERON.³⁴

KEY WORDS: EFFICIENCY, PUMPING SYSTEM, RETURN ON INVESTMENT, SOLAR PANELS.

DESCRIPTION:

In this project the sizing of a system of water pumping is performed using a photovoltaic generator based on data specific solar radiation in the area "Los Santos, Santander" (population that is affected by lack of water supply) and features corresponding to the hydraulic head of the sector taken directly from field measurements.

This system would outperform existing systems used; represent a breakthrough in terms of the country to enter into the consciousness of deploying applications with clean energy and economic savings for users by means of a return on investment through rate.

In search of comparison with the traditional system we analysis the system efficiency performed by examining the power components, motor and pump; and an analysis of subsystems motor pump, power conditioning and photovoltaic generator to the system dimensioned.

Depending on the social practice mode was polled a sample population to give the most important guidelines and characteristics of the system was needed and a profile of the use of photovoltaic pumping system. Based on the results it could be concluded if the farms had the same profile and if possible to standardize design also indicative of the interest that would have the population of the sector in implementing this system and its possible investment was obtained.

Through studies conducted every part of the photovoltaic pumping system was selected and presented an implementation budget.

³ Bachelor Thesis.

⁴ Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronics Engineering and Telecommunications. Director: Mónica Andrea Botero Londoño, PhD in physics.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica con recursos no renovables cada vez es menos sostenible y crea un impacto ambiental negativo; sin embargo, cambiar los métodos de generación tradicionales (centrales térmicas e hidráulicas) por generación limpia, es un proceso que requiere una alta inversión económica y estructural. Sin embargo, los seres humanos podríamos empezar a implementar sistemas alternativos de generación de energía eléctrica a pequeña escala, utilizándolos para procesos cotidianos que aporten a la disminución de la huella de carbono en el planeta y eviten el agotamiento de los recursos energéticos.

Tratando de cumplir con la idea planteada, se ha decidido buscar problemáticas de la población en nuestra región a las cuales se le pueda dar solución mediante aplicaciones de generación limpia. El municipio Los Santos carece de afluentes que sirvan para consumo humano y producción agropecuaria, además debido a su ubicación geográfica se caracteriza por su poca cobertura vegetal y baja humedad atmosférica, esto ocasiona que el 80% de las quebradas no tengan caudal en verano y sean solo canales naturales de drenaje en el momento en que se presentan lluvias. A nivel rural debido a factores específicos como manejo inadecuado de las microcuencas y deforestación de los causes de las quebradas se presentan problemas de escasez de agua. [28]

En 2013 la población del municipio era de 11.700 habitantes de los cuales 9.853 no pertenecen a la cabecera municipal y según el último censo nacional generado por el DANE solo el 32.6% contaba con el servicio de acueducto [34]. Debido a esto, existen varios cuerpos de agua o lagunas artificiales construidos por el hombre para el almacenamiento de este recurso [28], la mayoría de la población depende de la ganadería y agricultura para su sostenimiento y se ve obligada a la utilización de sistemas de bombeo, los cuales actualmente funcionan conectados a la red eléctrica o por combustión interna, implicando gastos económicos en pagos de factura eléctrica y compra de combustibles.

Para lograr un avance en este escenario se dimensionó un sistema autónomo para bombeo de agua utilizando generadores fotovoltaicos, con lo cual también se desea eliminar a mediano plazo los costos del servicio eléctrico inherentes a la utilización de sistemas de bombeo tradicionales.

El inicio de la utilización de sistemas autónomos de bombeo utilizando generadores fotovoltaicos, contribuye a la reducción notable de estos gastos a mediano plazo, ya que los costos que radican son los de implementación y mantenimiento, donde este último se caracteriza por su bajo valor ya que básicamente se reduce solo a la limpieza, además, la sencillez del sistema y la duración de las nuevas bombas, permiten también la amortización del costo.

Por otra parte, estos sistemas de bombeo poseen varias ventajas, entre las cuales se destacan: que su diseño es simple, ya que no requieren un banco de baterías; estos no dependen de la existencia de una red distribuidora de energía eléctrica para ser puesto en funcionamiento; las bombas modernas pueden operar a grandes profundidades y son más durables y eficientes; la vida útil de un sistema de bombeo solar es de aproximadamente 20 años.

El dinero que se deja de pagar al operador de red en energía eléctrica, bien se puede utilizar en soluciones como la reforestación, que ayuda a mejorar las condiciones ambientales para la escases de agua que afronta esta región y en el caso de personas con pocos recursos este ahorro ayudaría a mejorar su calidad de vida.

El sistema autónomo para bombeo de agua utilizando generadores fotovoltaicos, es un pequeño aporte para evitar el incremento del deterioro del planeta. Por un lado, se elimina la utilización de motobombas que consumen combustibles que polucionan el ambiente, y por otra parte, no se conecta a la red eléctrica que usa energía generada a partir de grandes centrales hidráulicas y térmicas. Con el dimensionamiento del sistema en esta región, se logra su optimización, aprovechando al máximo los niveles de irradiación típicos en la zona.

Hoy en día en nuestro país, las aplicaciones con generadores fotovoltaicos no son muy comunes ya que se necesita un espacio amplio para la instalación de los paneles y un costo de inversión inicial más alto de lo que supondría un valor mensual por alimentar cargas directamente de la red, esta inversión varía según la potencia a suministrar.

Sin embargo a partir de la emisión de la Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, se busca cambiar las condiciones para aumentar la implementación de sistemas con fuentes de generación no convencional, dentro de las finalidades de esta ley se tiene:

Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismos que estimulen desarrollo de tales fuentes en Colombia.

Establecer los criterios y principios que complementen el marco jurídico actual, otorgando certidumbre y estabilidad al desarrollo sostenible de las fuentes no convencionales de energías, principalmente aquellas de carácter renovable y al fomento de la gestión eficiente de la energía suprimiendo o superando gradualmente las barreras de tipo jurídico, económico y de mercado, creando así las condiciones propicias para el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, y el desarrollo de un mercado de eficiencia energética y respuesta de la demanda.

1. MARCO TEORICO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS

Para la realización de este proyecto se hizo una investigación previa mediante un recorrido en el cual se observaron las condiciones del sector, se socializó con los habitantes en busca de ver sus necesidades y su accesibilidad al recurso hídrico. Se encontró que no todos contaban con las mismas condiciones para la obtención de agua, notándose una disminución de este recurso a lo largo de la Mesa de los Santos desde el Sector Mesitas hasta Linderos donde se afrontaba una escasez de agua. A partir de las observaciones y aportes de los habitantes se pudieron notar tres sectores de los cuales se realizó una breve descripción:



los Santos.

Sector 1: Según los habitantes de este sector las lluvias son frecuentes, se observó que el terreno es húmedo, existe mayor proporción de lagos y pozos profundos con un buen nivel de agua; gran vegetación y aprovechamiento de aguas lluvias mediante filtrado y recolección. Una aproximación de lo que comprende este sector es: desde entrada a la Mesa de los Santos (peaje) hasta la iglesia Santa María de



Sector 2: Menor proporción y nivel medio o bajo en lagos y pozos profundos; los habitantes describen lluvias tenues entre 3 y 4 veces al mes. En cuanto a habitantes, es el más poblado de la Mesa de los Santos. Comprende, aproximadamente, desde la Iglesia Santa María de los Santos hasta Linderos.



Sector 3: Terreno árido; escasas de agua para consumo (la alcaldía de los Santos ha tenido que recurrir a repartir agua con ayuda del equipo de bomberos de Piedecuesta); limitantes de riego de cultivos y para uso de aseo personal de la comunidad; niveles muy bajos de agua en lagos y cisternas. Aproximadamente este sector comprende desde Linderos hacia el pueblo Los Santos.

El mecanismo utilizado para la interacción con las personas del sector y la obtención de información básica de los sistemas de bombeo utilizados actualmente fueron encuestas realizadas en campo. Para el diseño de las encuestas, primero se modeló una entrevista que fue realizada a tres fincas en cada uno de los sectores mencionados anteriormente. Las preguntas realizadas en la entrevista eran abiertas con el objetivo de conocer diversos factores que estuvieran fuera de nuestro marco de referencia y que solo se podrían saber desde la experiencia de los usuarios del sector. (Anexo L)

Con la información de las entrevistas, se procedió a diseñar las preguntas de las encuestas para caracterizar el sistema de bombeo y la cantidad de energía diaria necesaria. El análisis y resultados de las encuestas se encuentran en el capítulo 6.

Las fincas donde se aplicaron las entrevistas fueron:

- ALTAMIRA RESERVADO CONJUNTO-SECTOR 3

La entrevista se realizó con la administradora del conjunto y el encargado de las motobombas.

Figura 1-1. Altamira Reservado.



El conjunto Altamira, cuenta con 3 lagos con áreas aproximadas de 14000 m², 4000 m² y 5600m² respectivamente. Las parcelas son provistas de agua por un tanque aéreo el cual se llena diariamente, de allí el agua llega a tanques subterráneos por medio de la presión atmosférica y el suministro a cada casa se realiza a través de hiflo. Los datos detallados se encuentran en la ficha técnica encontrada en anexos.

- BELLA VIRGINIA

La finca cuenta con cuatro lagos artificiales; actualmente es utilizado solo uno. El agua de este proviene de agua naciente y aguas lluvias; es usada para riego y consumo animal. Se bombea de cinco a siete veces por semana durante dos horas para riego y para el llenado de un tanque de almacenamiento de 500 L y 3 m de altura.

Para consumo humano se bombea el agua de una cisterna. Se bombea cuatro veces por semana hacia un tanque de almacenamiento de 3 [m³] ubicado en la casa donde mediante un Hy-flo es impulsada el agua por la tubería.

Figura 1-2. Finca Bella Virginia



- EL ESPINAL

Ubicada a 10 km de la carretera principal Piedecuesta- Los Santos, la finca tiene un área de 3 hectáreas, de las cuales 2 son cultivadas.

Se tiene un lago artificial que es llenado mediante bombeo de agua desde un arroyo o escurrimiento cuando llueve. El aprovechamiento del arroyo es máximo cuando circula agua (días de lluvia) por todo el caserío que se encuentra cerca a este, bombeándose todo el agua posible día y noche hacia lagos artificiales. Tienen 2 motobombas eléctricas de 3 HP y una de combustible de 2 hp que es usada para riego.

El agua potable es obtenida de un pequeño acueducto proveniente de un nacimiento, su uso es dosificado y exclusivo para consumo humano en el sector.

Sin embargo la situación del sector es crítica ya que la escasez de cualquier tipo de precipitación los mantiene en sequía total y sin necesidad de usar sus bombas hasta por periodos de más de seis meses, el entorno es seco y árido y solo se pueden observar cultivos de tabaco que por sus características es la única opción viable.

Figura 1-3. Finca el Espinal.



Se observó que el sector tres no es viable desde el punto de vista económico para un sistema de bombeo solar, ya que las personas del sector no han podido cultivar sus tierras debido a la escases hídrica y se encuentran en una situación crítica al no poder generar recursos, además debido a la frecuencia de uso el retorno de inversión tomaría demasiado tiempo, para la situación actual no es una necesidad ni prioridad.

Una vez realizadas las entrevistas se determinó la selección de la finca Bella Virginia para el dimensionamiento del sistema autónomo para bombeo de agua. El perfil de uso del sistema de bombeo es común en el sector y cuenta con las características necesarias como frecuencia de bombeo, recurso hídrico para consumo humano (cisternas de agua potable) y riego (lagos) además de que se contó con aprobación y apoyo de los propietarios para llevar a cabo las mediciones y toma de datos necesarios.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA FINCA BELLA VIRGINIA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR.

En las figuras 1-1, 1-2 y 1-3 se muestran esquemas en los cuales se describen los puntos de ubicación de las motobombas y sus datos de placa, las distancias desde el punto de captación al punto de descarga y características generales del sistema.

El diagrama unifilar del sistema eléctrico para el sistema de bombeo se muestra en la figura 1-4.

Figura 1-4. Esquema hídrico actual del suministro de agua para riego y consumo animal.

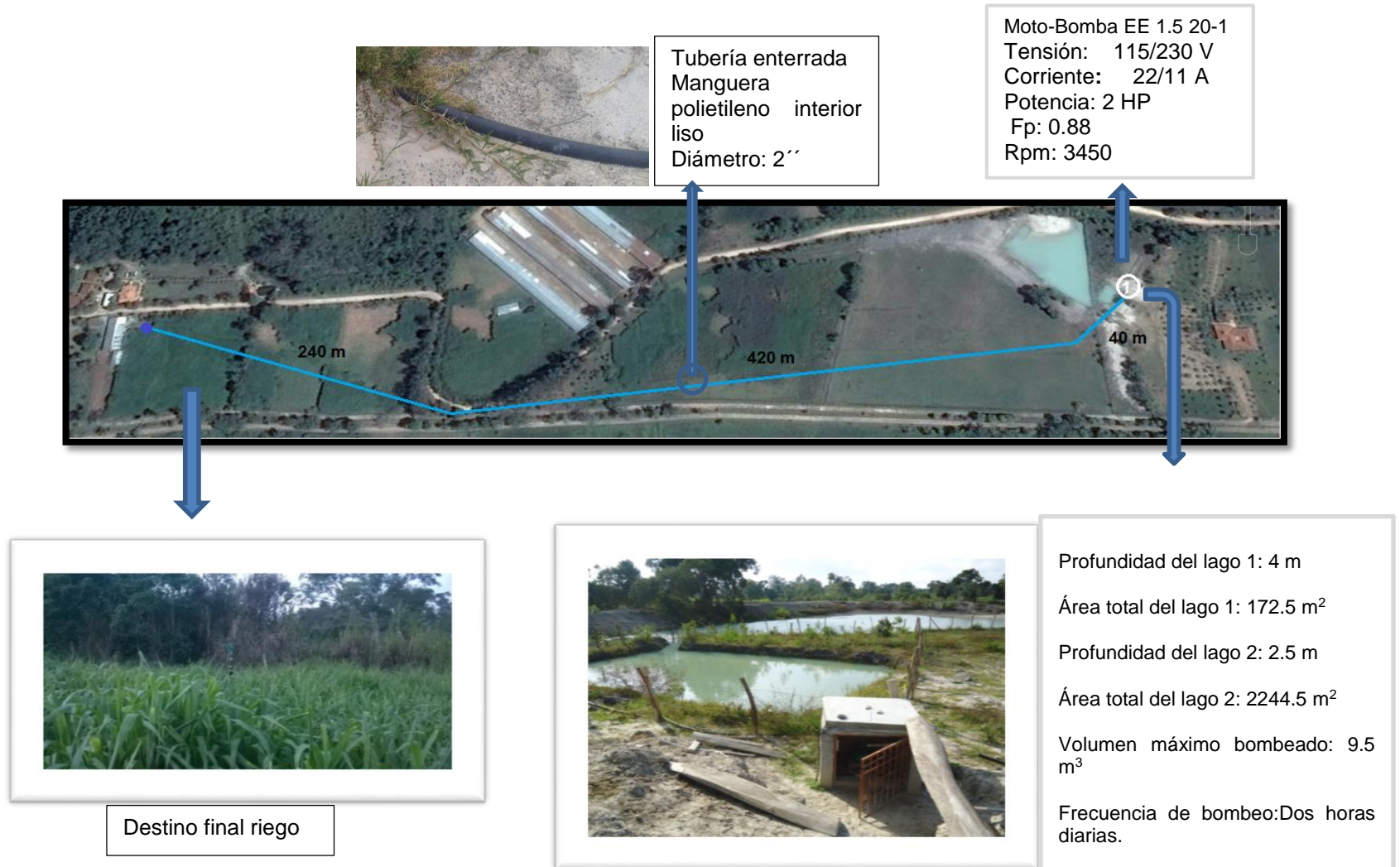


Figura 1-5. Esquema hídrico actual para riego de vegetación.



Del punto 1 también se bombea agua a tres secciones diferentes, con una longitud máxima de 200 m a una altura del terreno aproximada de 4 m, el máximo volumen sigue siendo 9.5 m^3 .



Figura 1-6. Sistema hídrico actual para suministro de agua potable.

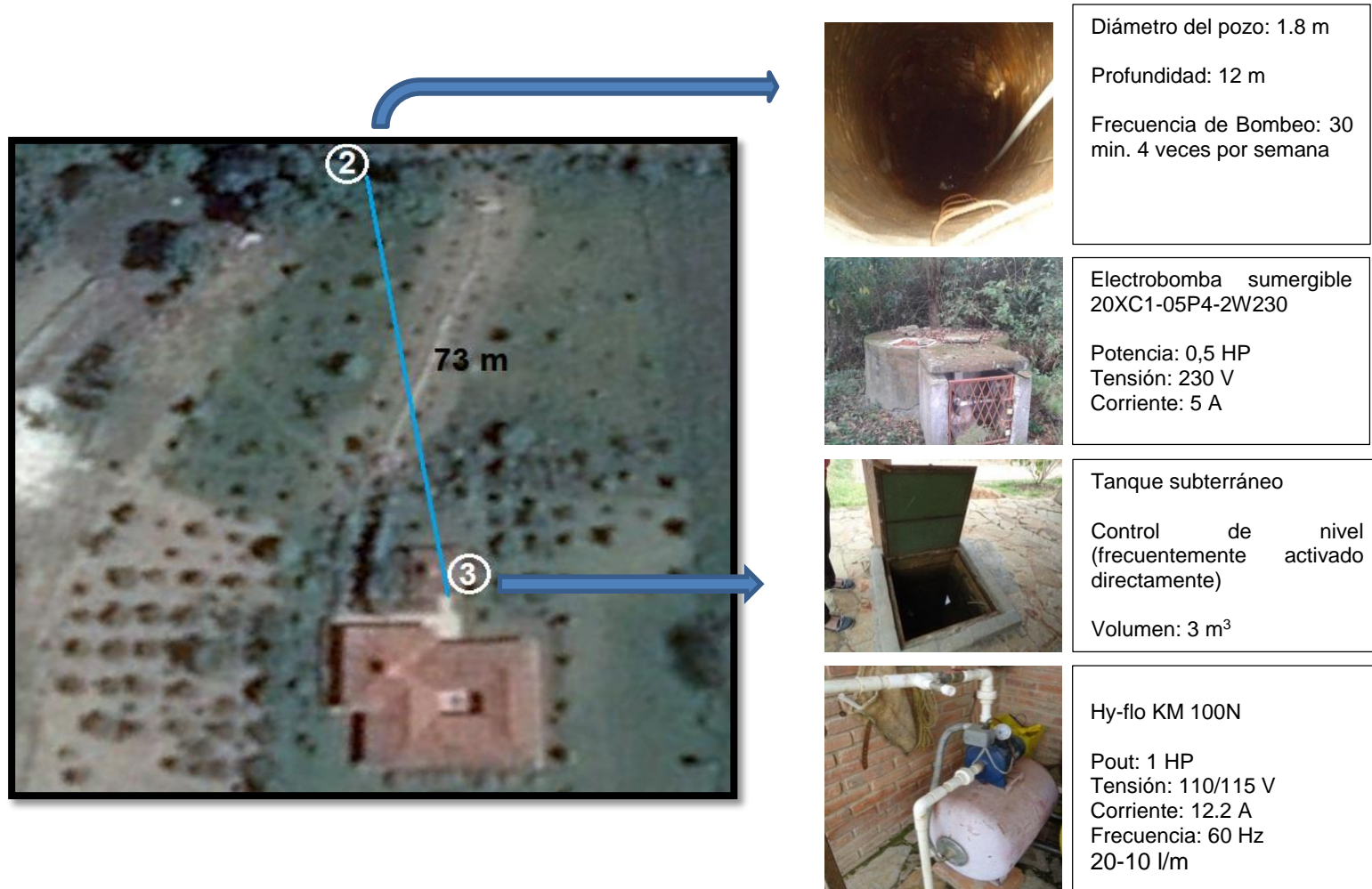
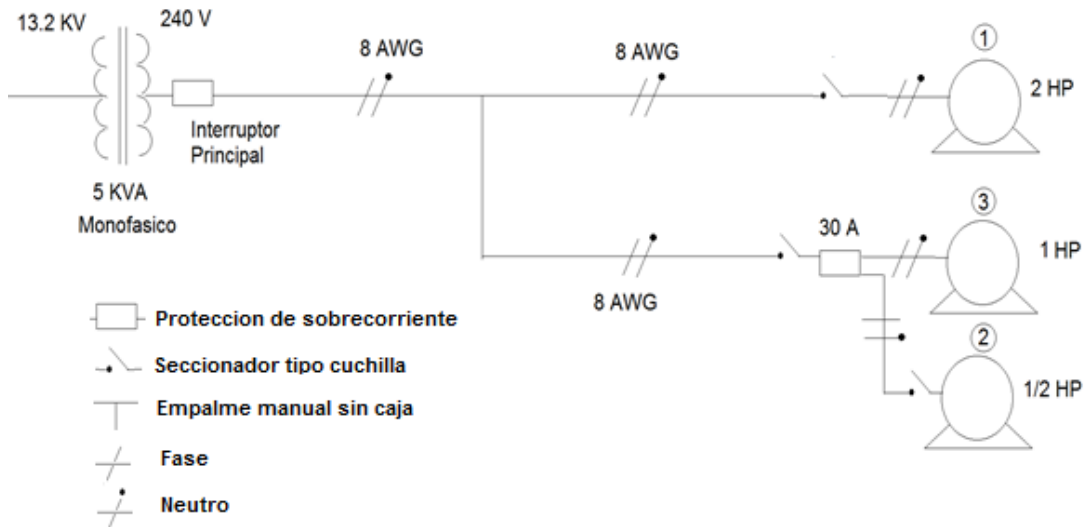


Figura 1-7. Diagrama unifilar conexión de motobombas.



Al realizar la inspección del sistema eléctrico que alimenta las motobombas, se encontraron varias falencias con respecto a lo estipulado por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, las cuales se mencionan a continuación:

Tabla 1-1. Observaciones del sistema eléctrico actual en la finca.

OBSERVACION	NO CUMPLE CON
El alimentador de las motobombas no tiene ninguna protección contra cortacircuitos ni falla a tierra.	RETIE 220.21.2 i)
No existe ningún medio principal de desconexión visible para la motobomba de 2 HP.	*NTC 2050 430-102 C)
El punto de derivación a las motobombas se hizo con un empalme directo uniendo los conductores, y posteriormente se cubrió de cemento imposibilitando la toma de medidas.	*NTC 384
No existe ninguna protección para el circuito ramal de la moto-bomba de 2 HP.	*NTC 2050 430 C
No hay puesta a tierra de las partes metálicas no portadoras de corriente.	RETIE 220.21.2 d)

*De obligatorio cumplimiento según RETIE 27.1

1.3 SUBSISTEMA MOTOR-BOMBA

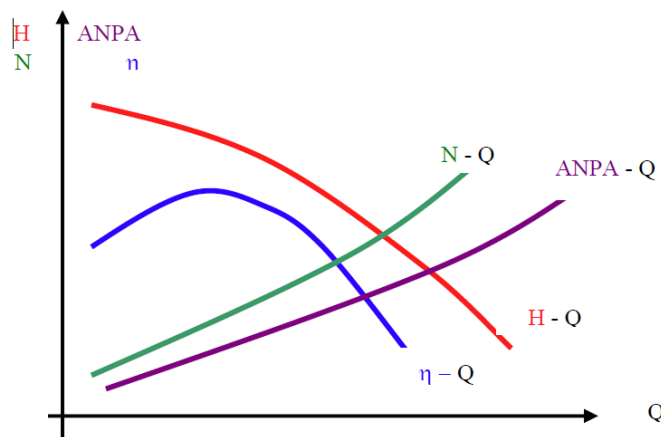
1.3.1 Conceptos necesarios para realizar una selección adecuada de la bomba

Para la selección del equipo de bombeo se debe tener un conocimiento completo del sistema en que trabajará la bomba y motor; como altura máxima de bombeo; tipo, tamaño, longitud, y accesorios de la tubería que implican pérdidas; profundidad del pozo y consumo máximo diario; para evitar hacer una selección errónea que causará el mal funcionamiento de la bomba, lo que a su vez afectará a la eficiencia y eficacia del sistema.

Por tanto los usuarios deben hacer una selección adecuada de la bomba dependiendo de las condiciones del sitio de instalación e información que se encuentra en los catálogos de bombas que ofrecen los fabricantes.

Curvas características de las bombas: Las bombas permiten conocer cuatro curvas características; H (carga dinámica), η (eficiencia) y N (velocidad) en función del caudal Q y otra llamada "Altura Neta Positiva de Aspiración" ANPA en función de Q .

Figura 1-8. Curvas características de las bombas; donde H es la altura manométrica, N la velocidad en rpm, ANPA la carga neta positiva de succión, η la eficiencia.



Fuente: PÉREZ FARRÁS, Luis E. Selección Fina de Bombas. Cátedra de Construcciones Hidráulicas. Universidad de Buenos Aires, 2005. p. 7

Caudal: En la selección de un equipo de bombeo, se debe determinar el caudal o los caudales con los que trabajaran durante su vida útil. En proyectos de agua potable, el caudal que se utiliza para la selección de bombas es, una proporción del caudal máximo diario en función del número de horas de bombeo, así: [5]

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N} [m^3/s] \quad (1.1)$$

Dónde:

Q_b = Caudal de bombeo, m^3 /s .

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo diario, m^3/s .

N = Número de horas de bombeo.

La inadecuada selección de los equipos de bombeo por una incorrecta determinación de los caudales, podría tener graves consecuencias. Tales como, si la bomba trabaja con caudales mayores al nominal, podrá haber sobrecarga del motor, cavitación, y bajo rendimiento. Si trabaja con caudales menores al nominal, trabajará con bajo rendimiento y, en caso de capacidad extremadamente baja, podrá presentarse calentamiento excesivo.

Altura estática o carga estática:

$$H_e = H_d \pm H_s \quad (1.2)$$

H_e = Altura dinámica o altura de bombeo, m. Carga estática total

H_s = Carga de succión [m], es la distancia vertical del espejo de agua al centro de la bomba; puede ser positiva o negativa dependiendo de si el pozo se encuentra encima o debajo de la bomba respectivamente. [7]

H_d = Carga de impulsión o de descarga [m] es la distancia vertical desde la bomba hasta el punto de descarga cuando se trata de un tanque elevado.

Carga de rozamiento o carga dinámica: Es la columna en metros de líquido, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión, descarga y de sus accesorios. La columna de rozamiento existe, tanto en el extremo de succión como en el de descarga de una bomba y varía con la velocidad del líquido, tamaño del tubo, condición interior del tubo, tipo del tubo y naturaleza del líquido.

$$h_T = h_p + h_s \quad (1.3)$$

h_p , pérdidas primarias
 h_s , pérdidas secundarias

Carga de velocidad: Distancia de caída necesaria para que un líquido adquiriera una velocidad dada. [20]

$$h_v = \frac{V^2_2 - V^2_1}{2 * g} \quad (1.4)$$

Siendo

$$V = Q/A \quad (1.5)$$

Pérdidas primarias: *Pérdidas por rozamiento:* dependen del tipo de material y el acabado interno de la tubería (liso o rugoso) y el régimen en que se maneja el flujo del fluido, si es laminar o turbulento.

$$h_t = f \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación de Darcy-Weisbach.} \quad (1.6)$$

El factor de fricción (f) es adimensional y es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería [26]. A continuación se presentan las diversas leyes para determinar este factor según el tipo de tubería:

Tabla 1-2. Factor de fricción de acuerdo al tipo de tubería

LEY DE	TUBERIA	FORMULA
Poiseuille	Lisa y rugosa	$f = 64/R$ [21]
Blasius	Lisa	$f = 0.316/R^{1/4}$ [4]
Kármán Prandtl	Lisa	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} [R\sqrt{f} - 0.8]$ [1]
Kármán Prandtl	Rugosa	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left[\frac{D}{k} + 3.48 \right]$ [1]
Colebrook-White	Rugosa	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left[\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right]$ [1]

R en las formulas dadas es el número de Reynolds, depende de la velocidad, viscosidad del fluido y diámetro interno de la tubería.

Si el número de Reynolds es muy grande, f dependerá de la rugosidad relativa. Con estos datos de rugosidad absoluta y el número de Reynolds, se puede determinar el coeficiente de rozamiento en el DIAGRAMA DE MOODY. [1]

Pérdidas secundarias: Estas pérdidas son ocasionadas debido a los accesorios de la tubería, como cambios de sección y dirección de la corriente en contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas, entre otros. Estas pérdidas en general son pérdidas de velocidad y se expresan de la siguiente forma:

$$h_l = k_l \frac{V^2}{2g} \quad (1.7)$$

Donde k_l es el coeficiente de pérdida, depende de la geometría del accesorio y del coeficiente de fricción (h_f), las pérdidas se evalúan para cada accesorio en forma individual, por medio de tablas y graficas que indican los valores de k_l . [1]

Pérdidas de acuerdo a la longitud equivalente: Estas pérdidas también se expresan en términos de una longitud equivalente L_{eq} se define como: [1]

$$h_T = f \frac{L+L_{eq}}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{Pérdidas totales de la carga} \quad (1.8)$$

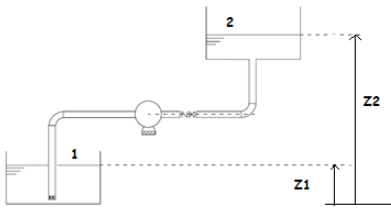
Carga dinámica total: Se usa la ecuación de Bernoulli aplicada en un sistema de bombeo como el mostrado en la figura 2.

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 fluido. [6]

En este caso entre los puntos 1 y 2 incluyendo las pérdidas de la tubería la Carga Dinámica Total será:

$$CDT = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_T \quad [m] \quad (1.9)$$

Figura 1-9. Altura geométrica de un sistema, donde 1 es el nivel superior del agua en el pozo y 2 nivel superior del agua en el depósito.



Fuente: Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Guía Técnica de Selección de Equipos de Transporte de Fluidos. Editorial IDAE, Madrid, 2012. p. 13.

En sistemas atmosféricos ($P_1 = P_2 = P_{atm}$) y para fines prácticos se considera la velocidad de succión despreciable $V_1 = 0$ y γ es el peso específico del agua en N/m^3 . [8]

Carga neta positiva de succión N_{PSH} : Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. Se da en metros del líquido manejado, equivalentes a la presión en Kg/cm^2 requeridos para forzar el líquido a la bomba. Esta puede ser positiva o negativa. [20]

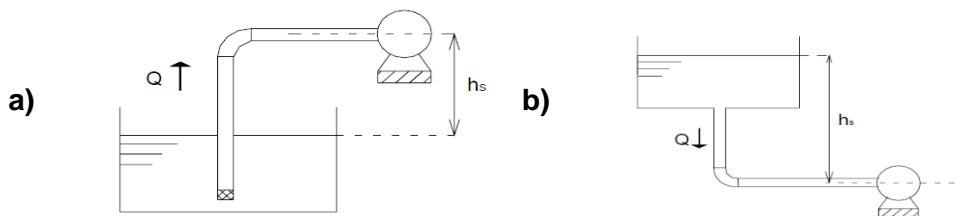
$$N_{PSHD} = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} - h_s - h_T \text{ [mc. a.]} \quad (1.10)$$

h_s , carga estática de succión negativa

$$N_{PSHD} = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} + h_s - h_T \text{ [mc. a.]} \quad (1.11)$$

h_s , carga estática de succión positiva

Figura 1-10. a) Esquema con carga de succión negativa b) Esquema con carga de succión positiva



Fuente: VIEJO ZUBICARA, y Manuel, ALVAREZ FERNANDEZ, Javier. Bombas, Teoría, Diseños y Aplicaciones. Tercera Edición. Editorial Limusa, S.A. de C.V México, 2004. p. 122.

Carga neta positiva de succión disponible N_{PSHD} : esta depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo. Si se varía cualquiera de estos puntos, la N_{PSH} puede alterarse. [20]

Carga neta positiva de succión requerida N_{PSHB} : esta depende del diseño de la bomba y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad. [20]

La NPSH disponible debe ser mayor que la NPSH requerida para evitar la cavitación. [25]

Potencia hidráulica: Potencia desarrollada por la bomba sobre el líquido: [19]

$$W_{Kw} = \frac{CDT * Q * \gamma}{1000} \quad [kW] \quad (1.12)$$

Potencia al freno: Potencia requerida por la bomba del motor: [19]

$$B_{Kw} = \frac{CDT * Q * \gamma}{1000 * \eta} \quad [kW] \quad (1.13)$$

Mayor a la potencia hidráulica debido las pérdidas mecánicas o hidráulicas que ocurren en la bomba.

Selección de la tubería: La elección del diámetro de las tuberías de la instalación debe realizarse con el objetivo de limitar las pérdidas de carga originadas por el rozamiento del flujo de agua con las paredes de la tubería. No obstante, debe llegarse a una solución que haga económicamente rentable la instalación, dado que a mayor diámetro mayor es el costo de la tubería.

Por otro lado, los diámetros de los orificios de aspiración e impulsión de la bomba, sólo determinan el diámetro mínimo que ha de tener la tubería, pudiéndose emplear accesorios que acoplen el agarre a la bomba con el diámetro que resulte de la tubería.

El dimensionado final de los diámetros de las tuberías debe ser tal que las velocidades alcanzadas por el agua en el interior de las tuberías sean como máximo:

- Tubería de aspiración: 1,8 m/s
- Tubería de impulsión: 2,5 m/s [27]

Velocidades del agua por el interior de los conductos inferiores a 0,5 m/s podría originar problemas de sedimentación lo que más adelante puede suceder atascos en la tubería, mientras que velocidades superiores a los 2.5 m/s podría originar fenómenos abrasivos en las paredes interiores de las tuberías que afectarían a su durabilidad y las pérdidas en la tubería serían mayores y se generan ruidos molestos por el golpe de ariete. [27]

Tanque de almacenamiento de agua potable: La utilización de baterías para el almacenamiento de energía en días sin sol no es muy rentable, encarece el sistema innecesariamente. Para ello se ha decidido almacenar la energía en forma de agua en un tanque de almacenamiento. Se recomienda almacenar el agua para tres días de abasto.

Almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías. Después de cinco años o menos, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas. El almacenamiento por baterías normalmente se justifica sólo cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche. La introducción de baterías en un sistema de bombeo FV podría reducir su confiabilidad e incrementar sus requerimientos de mantenimiento.

1.3.2 Fundamentos para la evaluación energética de sistemas motor-bomba.

Potencia Manométrica entregada por la motobomba: Se define como la energía por unidad del tiempo suministrada al fluido.

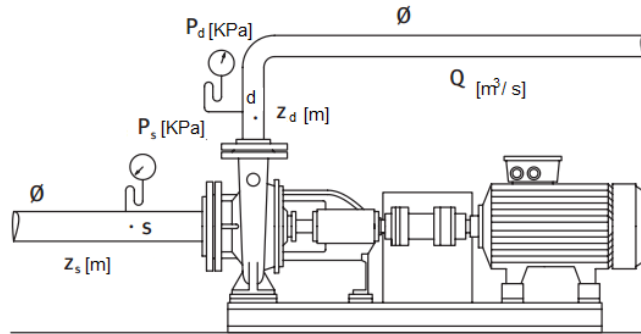
$$P_m = \rho * g * Q * H_m [W] \quad (1.14)$$

Donde ρ es la densidad del agua, g la gravedad y Q el caudal en [m³/s]

Altura manométrica (H_m): Consta de tres términos que relacionan energía de presión, potencial y cinética respectivamente. Para suministrar un caudal de agua Q , la bomba debe proporcionar la energía necesaria para mantener el flujo entre desde la fuente de agua hasta el punto de suministro. [2]

$$H_m = \frac{P_{descarga} - P_{succion}}{\rho g} + (Z_d - Z_s) + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} [m.c.a.] \quad (1.6)$$

Figura 1-11. Esquema de motobomba con parámetros de medición.



Fuente: modificado de: Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Guía Técnica de Selección de Equipos de Transporte de Fluidos. Editorial IDAE, Madrid, 2012. p. 15.

Para aplicaciones prácticas resultará suficiente suponer:

$$H_m = \frac{P_{descarga} - P_{succion}}{\rho g} \quad [m. c. a.] \quad (1.16)$$

Si no es posible medir la presión de succión:

$$H_m = \frac{P_d}{\rho g} + N_s + D_{r-m} + h_v + h_{fs} \quad [m. c. a.] \quad (1.17)$$

P_d = presión de descarga medida (KPa).

N_s = nivel de succión (m).

D_{r-m} = nivel de referencia a centros del manómetro (m).

h_v = carga de velocidad (mca).

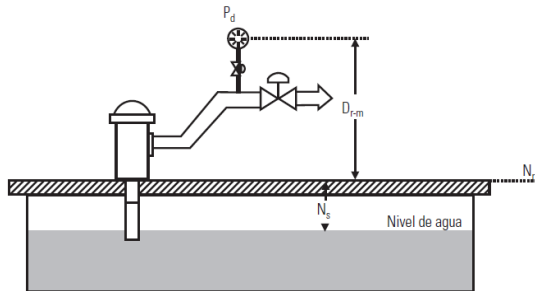
h_{fs} = pérdidas por fricción en la tubería de succión (mca).

El nivel de succión (N_s) es la distancia vertical entre el nivel de referencia y el espejo de agua de donde se está bombeando el agua, en condiciones de operación normal y estable.

El nivel de referencia a centros de manómetros (D_{r-m}) es la distancia vertical entre el nivel de referencia y la posición del manómetro usado para medir las cargas de presión tanto en la succión como en la descarga.

Nivel de referencia (N_r), es el nivel seleccionado como referencia para todas las mediciones hidráulicas, normalmente el plano inferior de la placa base de montaje del equipo de bombeo. [3]

Figura 1-12. Nivel de referencia, succión y a centros manómetros.



Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo. Evaluación de Sistemas De Bombeo De Agua. Iniciativa de Agua y Saneamiento Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático Washington, D.C. 2011. p. 22.

1.4 RECURSO SOLAR

Los datos de radiación solar diaria se obtuvieron de RETScreen (Renewable Energy Technologies Screen), que es un software de gestión de energía limpia para la eficiencia energética, las energías renovables y el análisis de viabilidad de proyectos de cogeneración, así, como el análisis de rendimiento de energía. Específicamente, RETScreen toma los datos de satélite de POWER (Prediction of Worldwide Energy Resource) de la NASA para asegurar que la información climática de toda la superficie del planeta esté disponible. [23]

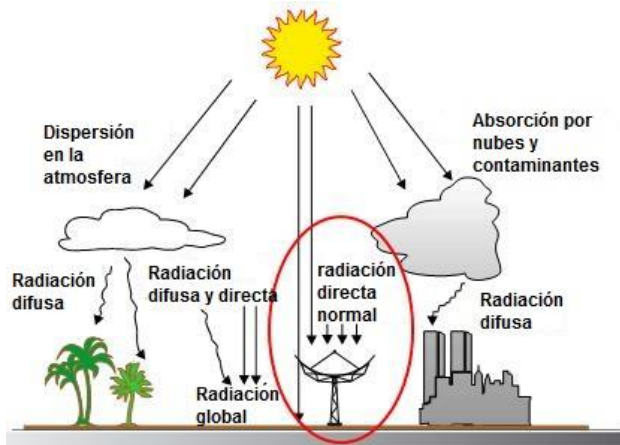
Radiación difusa y radiación directa normal en una superficie horizontal

El total de radiación solar global (es decir, todas las condiciones de nubosidad) es la suma de la radiación difusa y directa normal. La radiación difusa en la superficie de la tierra es la radiación restante que se obtiene con un pirheliómetro que bloquea por medio de una banda de sombra o disco de seguimiento la radiación directa normal. Del mismo modo, la radiación directa normal es la cantidad de radiación solar en la dirección del sol, y se mide típicamente usando un pirheliómetro de seguimiento del sol durante todo el día.

Valor estimado por RETScreen

RETScreen para sus cálculos estima la insolación total por hora en una superficie inclinada (H_{th}) teniendo en cuenta la suma de tres componentes denominados solar beam, sky diffuse y surface/sky reflectance. Posteriormente suma los valores hora a hora de H_{th} obteniendo así la insolación diaria. Este procedimiento es menos preciso que el uso de un método "día a día" medido en el sitio, pero los estudios de validación RETScreen indican que los resultados de los procedimientos de cálculo "día promedio mensuales" presentan rangos de 3,9% a 8,9% en diferencia al método por hora "día a día". [24]

Figura 1-13. Tipos de radiación incidente en la tierra.

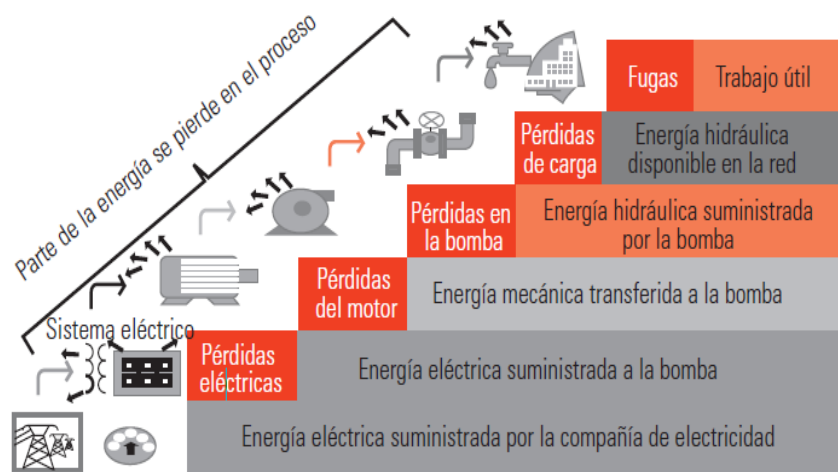


Fuente: Modificado de <<http://www.soda-is.com/eng/index.html>> citado en (05 Mayo de 2015).

2. ESTUDIO DEL SISTEMA DE BOMBEO EMPLEADO EN LA FINCA BELLA VIRGINIA

El principio conceptual del estudio es el balance de energía. Este se basa esencialmente en determinar la energía consumida y las pérdidas en cada componente del proceso de bombeo. El objetivo es poder distinguir cuánta energía suministrada se convierte en trabajo útil, que es el mínimo trabajo para bombear el agua estrictamente necesaria hasta los puntos finales. [3]

Figura 2-1. Pérdida de energía en un sistema hidráulico.



Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo. Evaluación de Sistemas De Bombeo De Agua. Iniciativa de Agua y Saneamiento Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático Washington, D.C. 2011. p. vi.

En este capítulo se realiza un análisis de la eficiencia del sistema de bombeo actual instalado en la finca, donde por medio de la realización de pruebas mecánicas y eléctricas se determina la eficiencia de la bomba y del sistema motor-bomba. Se halla el factor de potencia del equipo de bombeo para determinar su funcionamiento. Este análisis se realiza con el fin de comparar su funcionamiento actual con el esperado según las curvas de rendimiento y posteriormente con los equipos de bombeo seleccionados en el capítulo 3.

Este análisis de eficiencia solo fue posible realizarse para la motobomba BARNES de 2 HP ya que para la sumergible FRANKLIN de 0,5 HP la instalación actual no facilitó la realización de las pruebas además de que este equipo fue adquirido e instalado recientemente en el lugar.

2.1 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA.

La metodología se dividió en cuatro etapas.

- Investigación previa: Situación particular del sistema y su uso.
- Recopilación de datos: Recopilar los datos que ayudan a describir el sistema.
- Planificación y toma de las mediciones de campo.
- Análisis de la información.

En la figura 2-2 se presenta esquemáticamente el trabajo realizado.

Figura 2-2. Metodología utilizada para estudiar el sistema de bombeo.



2.2 MEDICIONES DE CAMPO

El objetivo de estas mediciones es caracterizar el funcionamiento de la motobomba a través de sus parámetros eléctricos e hidráulicos la descripción se muestra en la tabla 2-4.

Tabla 2-1. Descripción de las mediciones de campo.

Tipo de medición	Parámetro a medir	Objetivo	Equipo o Herramientas
Eléctricos	Corriente	Caracterizar el comportamiento de la motobomba a diferentes cargas.	Pinzas Amperimétricas de Potencia - BK Precision 325
	Tensión	Junto con la corriente obtener potencia y estudiar regulación de tensión.	Multímetro digital Triplet 9045
	Potencia [KW]	Calcular eficiencia	Pinzas Amperimétricas de Potencia - BK Precision 325
Hidráulicos	Caudal de descarga	Determinar el caudal de operación del equipo	Contador Iberconta y cronometro digital.
	Presión de descarga	Obtener carga de operación del equipo	Manómetro tipo Bourdon
	Niveles de referencia	Obtener carga de operación y pérdidas de carga hidráulica.	Cinta métrica

Valores de placa de los equipos de bombeo: Los equipos de bombeo utilizados actualmente en la Finca Bella Virginia son:

Tabla 2-2. Datos nominales Hy-flo KM 100N

Hy-flo KM 100N			
20-10 l/m	60 Hz	Pin:1.3 KW	12.2 A
Pout: 1 HP	3400 RPM	110/115 V	70µF

Fuente: Ficha técnica.

Tabla 2-3. Datos nominales Moto-Bomba EE 1.5 20-1

Moto-Bomba EE 1.5 20-1				
Fases: 1	Impulsor: 5,150	Motor: siemens 1RF3 096-2YB99	Eficiencia: 67,5 %	Torque nominal: 4 Nm
Succión: 1 ½'' NPT	H max: 37 mca	Tensión: 115/230 V	Fp: 0.88	Torque de Arranque: 8.1 Nm
Descarga: 1 ½'' NPT	Q max : 95 gpm	Corriente: 22/11 A	Rpm: 3450	Corriente de arranque Ia/In: 5

Fuente: Ficha técnica (Ver Anexo R)

Curva de rendimiento Moto-Bomba EE 1.5 20-1 en Anexo F.

Tabla 2-4. Datos nominales Bomba sumergible C1 series 20XC1-05P4-2W230

Bomba sumergible C1 series 20XC1-05P4-2W230				
Fases: 1	5 A	0.5 HP	20 gpm	230 V

Fuente: Manual de bomba C1 franklin Electric (Ver Anexo R)

Curva de rendimiento Bomba sumergible C1 series 20XC1-05P4-2W230 en Anexo F.

2.2.1 Escenarios para la toma de mediciones

Se realizaron tres tipos de pruebas con la motobomba de mayor potencia con la ayuda de una válvula que permitía simular diferentes tipos de carga, variado desde totalmente abierta a totalmente cerrada. Los parámetros eléctricos corriente, tensión y potencia activa se registran a lo largo de todas las pruebas. (Ver anexo N)

Las mediciones de presión a la descarga se realizan lo más cerca posible de la motobomba con un manómetro, las de caudal se realizan en la captación productora de agua a una distancia mayor de 20 veces el diámetro de la tubería, durante un período de 20 minutos, excepto en la prueba de altura máxima. Si no se detectan variaciones de caudal mayores +/- 5%, se considerará el valor registrado como el valor de gasto medio suministrado a la red por esta captación.

Al disponer de un medidor de flujo se selecciona la escala del instrumento más adecuada, para este caso en litros y se tomaran muestras discretas de tiempo cada vez que el medidor registraba un giro completo (10 litros), posteriormente se calcula la relación l/s.

El diámetro de la tubería de transporte es de 2", pero el medidor utilizado tiene una boca de entrada de ¾" y de salida de ½", por lo cual se debió realizar unas contracciones graduales para reducir el diámetro y luego un ensanchamiento gradual para devolverlo a las 2" originales.

Prueba de caudal máximo

Como su nombre lo indica en esta prueba se obtiene el máximo caudal posible, se realiza con la válvula totalmente abierta y el líquido recirculando entre el lago y la motobomba, arrojando los datos promedio mostrados en la tabla 2-5, y con un caudal mínimo y máximo 1.28 y 1.3537 [l/s] respectivamente presentando un delta de caudal de 4.86%. (Ver anexo N)

Tabla 2-5. Valores promedio obtenidos en la prueba de caudal máximo

W	Fp	Caudal [l/s]	Caudal [gpm]	Presión medida [kg/cm ²]
1318	0,764	1,329	21,06	1,75

Prueba en condiciones de operación normal

Se midieron las variables eléctricas e hidráulicas en condición normal de funcionamiento desde la zona 1 hasta el punto de riego ubicado a una distancia de 700 m. (Ver anexo N)

Tabla 2-6. Valores promedio obtenidos en la prueba de operación normal.

W	Fp	Caudal [l/s]	Caudal [gpm]	Presión medida [kg/cm ²]
1261.5	0,73	0,968	15,3	1,68

Prueba de simulación de carga

Las variables eléctricas e hidráulicas se miden variando una válvula de cierre ubicada a 2,5 m de la salida de la motobomba. En la válvula (mostrada en la figura 2-3) se utilizó como dial cinco marcas equidistantes desde totalmente abierta hasta totalmente cerrada, en cada posición se mide corriente, tensión, potencia activa y presión. (Ver anexo N)

El objetivo final es analizar el comportamiento del factor de potencia de la motobomba ante las diferentes cargas de trabajo y ubicar el punto de operación normal. Los resultados y análisis se muestran en la sección 2.3.2.

Figura 2-3. Válvula de cierre utilizada en pruebas hidráulicas.



Corrección del valor medido de presión

Con la instalación del medidor de flujo y sus accesorios se genera una pérdida de presión que es anormal al funcionamiento típico del sistema, esta pérdida es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido, y se ve afectada por la brusquedad con la que se haga la reducción del diámetro, que se determina por un ángulo de reducción. [1]

Sin embargo experimentalmente se puede estimar la disminución de carga que ejerce el conjunto accesorios-medidor, tomando la medida de presión de la motobomba en un punto de operación antes de implementar el medidor y posteriormente otra medición después de instalarlo, así tendríamos la pérdida producida por las reducciones, ensanchamientos y el medidor.

Por medio de este método se estimó que la pérdida de presión que originaba el acople era de $0,62 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$, este valor se tiene en cuenta al calcular la altura manométrica en cada una de las pruebas.

2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

La información obtenida por medio de las pruebas de máximo caudal y de operación normal permitió obtener la eficiencia del sistema motor-bomba. Con la prueba de carga se analizara el comportamiento del factor de potencia y con la de altura máxima su límite funcional.

2.3.1 Cálculo de pérdidas y eficiencia de la bomba EE 1.5 20-1

Durante su operación, las bombas sufren pérdidas naturales como resultado de los mecanismos hidráulicos que suceden en el interior y exterior de sus componentes, por lo cual no se puede mantener la eficiencia de la bomba durante su vida útil.

Con base a la dificultad de medir la potencia mecánica por separado y de ahí medir la eficiencia de la bomba, se evalúa la eficiencia electromecánica del conjunto bomba-motor.

Esto se realiza calculando la energía entregada al líquido por el sistema motor-bomba por unidad de tiempo P_h y la eficiencia del sistema se obtiene de la relación entre la potencia en KW suministrada por la red eléctrica y la potencia P_h . [2]

Tabla 2-7. Parámetros específicos en pruebas de caudal máximo y operación normal.

Nivel de succión N_s [m]	1,1	
Nivel de referencia a centros manométricos D_{r-m} [m]	0,5	
Diámetro tubería [m]	0,0508	
Material de la tubería	Polietileno	
Área de tubería [m²]	2.026*10 ⁻³	
Rugosidad	0,00014	
	Caudal máximo	Operación normal
Velocidad [m/s²]	0,66	0,48
Carga de velocidad h_v [m]	0,022	0,012
Numero de Reynolds	3*10 ⁴	2*10 ⁴
Factor de fricción		
Ecuación Blasius (Lisa)	0,023	0,025
Grafica de moody	0,023	0,025
Aproximación	0,023	0,025
Perdidas por fricción h_{fs} [m]	2,33	1,23

De acuerdo a la ecuación 1.17 las alturas manométricas para el máximo caudal y la operación normal son:

$$H_{m M C} = (17,5 + 6.2) + 1.1 + 0.5 + 0.022 + 2.33 = 27.65 [m]$$

$$H_{m O N} = (16.8 + 6.2) + 1.1 + 0.5 + 0.012 + 1.23 = 25.84 [m]$$

Y de acuerdo a la ecuación 1.14 las potencias hidráulicas:

$$P_{pMC} = 1000 * 9.81 * (1.329 * 10^{-3}) * 27.65 = 360.5 W$$

$$P_{pON} = 1000 * 9.81 * (0.968 * 10^{-3}) * 25.84 = 245.4 W$$

Cálculo de eficiencias

Eficiencia en caudal máximo:

$$P_{in} = 1318.4 W$$

$$P_{out} = 434.8 W$$

$$\eta = \frac{360.5}{1318.4} = 27.34 \%$$

Eficiencia en el punto de operación:

$$P_{in} = 1261.2 W$$

$$P_{out} = 245.378 W$$

$$\eta = \frac{245.4}{1261.2} = 19.45\%$$

El rendimiento esperado de la motobomba con base en el caudal medido y su curva de rendimiento versus el obtenido en campo se muestra a continuación.

Tabla 2-8. Variables medidas versus curva de rendimiento.

Caudal	Parámetro	Valores obtenidos en campo.	Valores esperados según curva de rendimiento.
21 [gpm]	Carga [m]	27,65	33,5
	Eficiencia M-B	0,274	0,34*
15 [gpm]	Carga [m]	25,84	34
	Eficiencia M-B	0,194	0,31**

*Eficiencia del motor 67.5%, eficiencia de la bomba en ese punto de operación 50%.

** Eficiencia del motor 67.5%, eficiencia de la bomba en ese punto de operación 46%.

Para la carga medida de 27,4 [mca] se obtuvo un caudal de 21 [gpm], difiriendo de los 50 [gpm] mostrados en la curva de rendimiento para esta misma carga.

Para la carga en operación normal de la motobomba de 25.84 [m] se ha medido un caudal de 15 [gpm] sin embargo se esperaría un caudal cercano a los 60 [gpm] según muestra la curva.

Para los datos de carga anterior la bomba debería tener eficiencias de 50% y 46% respectivamente, que junto con la eficiencia del motor reduciría la eficiencia del sistema a a 34% y 31%, sin embargo los datos medidos en campo arrojan que las eficiencias del sistema con válvula totalmente abierta y en el punto de operación son 27.4% y 19.4%, lo que representa una pérdida de energía sustancial debido al mal rendimiento de la motobomba.

Cálculo de pérdidas en el conductor: El conductor de la red es calibre 8 AWG, las horas de servicio corresponden a dos horas diarias durante siete días a la semana.

Tabla 2-9. Cálculo de pérdidas en el conductor motobomba EE 1.5 20-1

2.142 Ω /km
Distancia desde el transformador hasta el punto final: 140 m
$R_{Total} = (2.142) * 0.14 = 0.29 \Omega$
$I_{promedio} = 7.4 A$
$P = 7.4^2 * 0.29 = 15.88 W$
Operación = 672 h/año
Pérdidas de energía = 10671.36 Wh/año

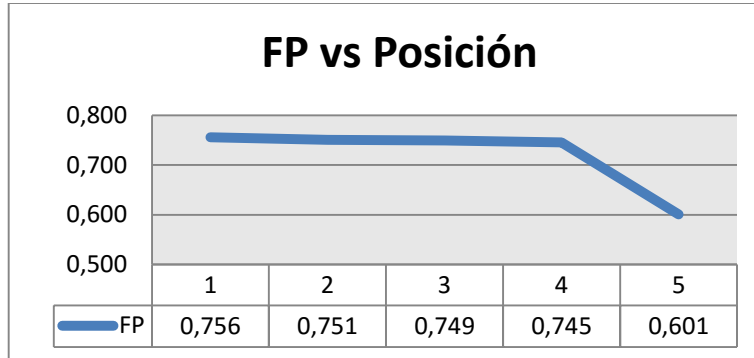
2.3.2 Factor de potencia bajo diferentes cargas de la bomba EE 1.5 20-1.

Se realizaron cinco sesiones para tomar medidas de campo. A partir de ellas se ha hallado el factor de potencia en cada posición de carga.

En la figura 2-4 se muestra el comportamiento del factor de potencia donde se observa que decrece a medida que se aumenta la carga, este deterioro ocasiona un incremento de la corriente, la cual a su vez eleva las pérdidas en el sistema, a través de efecto joule en conductores y embobinados.

En el punto de operación la motobomba tiene un fp igual a 0,73 en adelante, ubicándose en la prueba entre la cuarta y quinta posición (ver figura 2-4), es decir llegando al punto de altura máxima, que es punto en el cual la válvula de prueba está totalmente cerrada.

Figura 2-4. Factor de potencia en prueba de carga Motobomba EE 1.5 20-1.



2.3.3 Operación de la Bomba sumergible C1 series 20XC1-05P4-2W230

Como se estableció la carga para la cisterna es de aproximadamente 20 [m], según su curva de rendimiento debe entregar 25 [gpm]. La frecuencia de uso es de cuatro días por semana durante treinta minutos.

Tabla 2-10. Cálculo de pérdidas en el conductor motobomba C1 series 20XC1-05P4-2W230

2.142 Ohm/km
Distancia desde el transformador hasta el punto final: 114 m
$R_{\text{Total}} = (2.142) * 0.114 = 0.244 \Omega$
$I_{\text{promedio}} = 5 \text{ A}$
$P = 5^2 * 0.244 = 6.1 \text{ W}$
Operación = 100 h/año
Pérdidas de energía = 610 Wh/año

2.3.4 Operación de Hy-flo KM 100N

La función de esta motobomba es entregar presión horizontal al agua almacenada en el tanque, la frecuencia de uso es muy variada ya que funciona con ON/OFF cada vez que es abierta o cerrada una llave en la casa o jardín. Un promedio de uso diario oscila alrededor de 4 horas.

3. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

Para la selección del equipo de bombeo se debe tener un conocimiento completo del sistema en que trabajará la bomba y motor; como altura máxima de bombeo; profundidad del pozo; consumo máximo diario y tipo, tamaño, longitud y accesorios de la tubería; para evitar hacer una selección errónea que causará el mal funcionamiento de la bomba, lo que a su vez afectará a la eficiencia y eficacia del sistema.

Por tanto se debe hacer una selección adecuada de la bomba dependiendo de las condiciones del sitio de instalación e información que se encuentra en los catálogos que ofrecen los fabricantes de bombas. Esta adecuada selección de la carga hace que el sistema a dimensionar sea más eficiente tanto técnico como económicamente; ya que si se determina una carga mayor a la necesaria repercute en que la selección del número de paneles solares del arreglo fotovoltaico sea mayor.

Se realizaron cálculos que garanticen la elección de la bomba más adecuada; la cual deberá cumplir con la mejor eficiencia y potencia, suministrando el caudal requerido sin dejar de atender las necesidades de carga dinámica total. De esta selección se encontró un número de bombas DC y AC que cumplen con estos requerimientos, el segundo paso que se realizó para la selección fue una comparación económica de la cual se determinó el equipo de bombeo final para proceder con el dimensionamiento del sistema. (Ver anexo)

3.1 EQUIPO DE BOMBEO PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA LA VIVIENDA

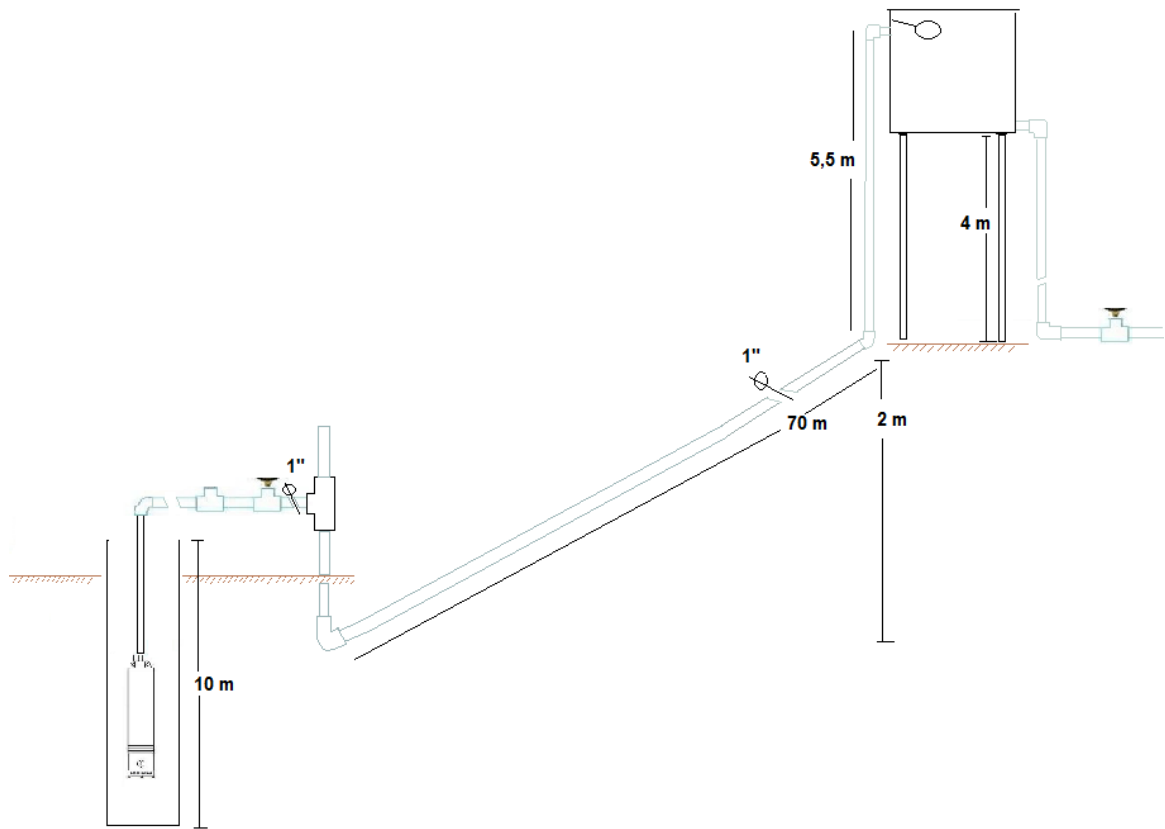
Se determinó la utilización de un tanque aéreo para el almacenamiento de agua para tres días de abasto y reemplazar el uso de baterías y del hy-flo. También se eligió el diámetro adecuado de la tubería de impulsión para minimizar las pérdidas por fricción. (Ver Anexo A)

Se seleccionó la bomba centrífuga sumergible FRANKLIN 20XC1-05P4-2W230 (Ver cálculos y proceso de selección en Anexo A). Esta se encuentra actualmente instalada en la finca y no se tendrá que invertir en su compra. En la figura 3-1 y la tabla 3-1 se muestra los elementos del sistema de bombeo dimensionado.

Tabla 3-1. Elementos del sistema de bombeo para abastecimiento de agua potable.

Tanque de almacenamiento de agua	2500 litros; a una altura mínima de 4 m
Tubería de impulsión	PVC de diámetro de 1"
Motobomba sumergible	FRANKLIN 20XC1-05P4-2W23 de 0,5 HP

Figura 3-1. Esquema representativo del sistema de bombeo de agua de la cisterna al tanque de almacenamiento



3.2 EQUIPO DE BOMBEO PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA RIEGO Y CONSUMO ANIMAL

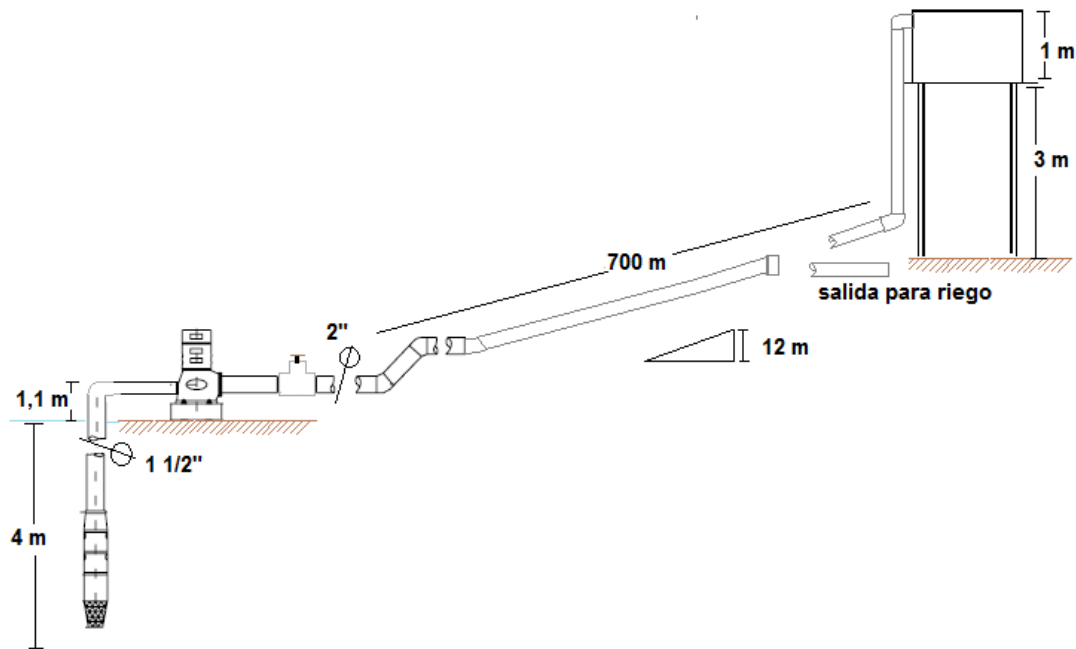
Los cálculos se realizaron para el bombeo de agua hacia el lugar más lejano, ya que es donde se requerirá mayor capacidad de la motobomba a seleccionar. Para este sistema se cuenta con un pequeño tanque de almacenamiento de agua para consumo animal, no es necesaria la construcción de un tanque de mayor capacidad ya que para días no soleados se opta por la no utilización de la bomba. Se destaca que el riego no es necesario diariamente en la finca. (Ver Anexo B)

En la tabla 3-2 y la figura 3-2 se muestra los elementos del sistema de bombeo dimensionado para riego y consumo animal.

Tabla 3-2. Elementos del sistema de bombeo para abastecimiento de agua para riego y consumo animal.

Tubería de succión	Polietileno de diámetro 1 1/2"
Tubería de impulsión	Polietileno de diámetro 2"
Motobomba centrífuga	BARNES EE 1.5 10-1 de 1 HP

Figura 3-2. Esquema representativo del sistema de bombeo de agua del lago al sitio de riego más lejano y hacia el tanque de almacenamiento de agua.



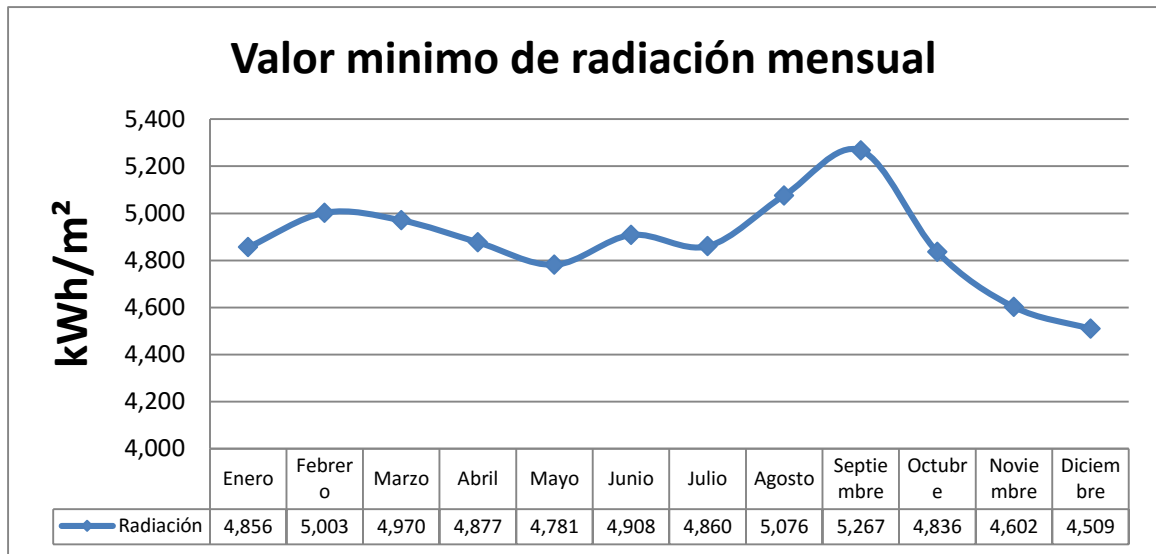
4. ARREGLO FOTOVOLTAICO

En el siguiente capítulo se mostrará el estudio realizado de radiación y temperatura de la zona para determinar el valor mínimo de radiación mensual promedio y temperatura máxima con el que trabajará el arreglo fotovoltaico. Se realiza la selección del inversor DC/AC teniendo en cuenta la potencia máxima de entrada para las motobombas seleccionadas en el capítulo 3 y se determina el número de paneles y su configuración requerida para alimentar la carga.

4.1 RADIACIÓN SOLAR DIARIA- LA MESA DE LOS SANTOS, SANTANDER.

Tomando la ubicación geográfica del sitio de estudio cuyas coordenadas son 6°50'16.13"N 73°04'13.57"W o en decimal 6.837814, -73.070436 y utilizando el software RETscreen se obtuvo un registro de Radiación solar diaria desde el 1 de enero de 2008 hasta el 30 de noviembre de 2014, el valor mínimo por mes en este periodo de tiempo se muestra en la figura 4-1.

Figura 4-1. Valores mínimos de radiación mensual 2008-2014.



Fuente: Tomado de software RETscreen.

Para realizar los cálculos se seleccionó la radiación del mes más crítico es decir de mayor sequía e irradiancia, en donde se tendría mayor volumen de bombeo, por lo tanto se tomó para el diseño el máximo gasto de agua en el menor mes de radiación, siendo este diciembre con un valor de 4,5 kWh/m².

En este mismo lapso de tiempo se analizaron las temperaturas, para realizar las correcciones en la tensión de salida del arreglo fotovoltaico, siendo 24,03 °C y 29,28 °C los valores máximos y mínimos respectivamente, valores registrados en el Anexo G.

Al realizar el análisis de los datos de temperatura e irradiancia en el sector, se encontró que el nivel de radiación solar es suficiente para la instalación de este tipo de sistemas, además, los rangos de temperatura son adecuados y no se necesita realizar correcciones a la tensión de salida del arreglo.

4.2 DIMENSIONAMIENTO

4.2.1 Selección del inversor

Las potencias máximas de las dos motobombas seleccionadas son: $P1 = 1007,4W$, potencia máxima del motor FRANKLIN sumergible; $P2 = 1569,9W$, potencia máxima del motor SIEMENS para la bomba BARNES.

Con la radiación mínima registrada en el sitio de instalación del sistema se determinan las horas pico solares (4,509 hps), estas horas van a determinar el intervalo de tiempo en el que se tendrá una radiación de $1000 W/m^2$, para este caso el intervalo sería desde las 9:45 am a las 2:15 pm aproximadamente, esto para tener en cuenta el horario de utilización de las motobombas y obtener el mayor aprovechamiento de los paneles solares. La suma de las horas de bombeo de las dos motobombas es menor al número de horas pico solares (1.3 h para la bomba sumergible y 2 h para la bomba superficial) para por lo tanto se decide la utilización de un solo inversor y la alternación del uso de las dos cargas; se requiere entonces, un inversor DC/AC de 2000 W de acuerdo a la mayor carga.

Se solicitaron precios de inversores en empresas del país de las cuales se obtuvieron respuestas de tres empresas. (Ver cotizaciones en Anexo P)

A continuación se muestran las especificaciones de potencias y precios de inversores que cumplen con la potencia máxima y tensión de AC requerida para alimentar la carga:

Tabla 4-1. Precios cotizados de inversores DC/AC.

	MARCA FHOENIX	POTENCIAS [W]	PRECIO	CON IVA
EMPRESA	GREEN ENERGY	3000W /24VDC	\$ 5.492.781,00	\$ 6.371.626,00
	ERGEA S.A.S	3000W/24VDC	\$ 7.120.300,00	\$ 8.259.548,00
	MARCA GELA GS	POTENCIAS [W]	PRECIO	CON IVA
EMPRESA	GREEN ENERGY	2400-24VDC/230VAC	\$ 1.480.160	\$ 1.716.986
	MARCA Fronius Galvo	POTENCIAS [W]	PRECIO	CON IVA

Continuación Tabla 4-1.

	MARCA FHOENIX	POTENCIAS [W]	PRECIO	CON IVA
EMPRESA	SENERGY SOL	2000	\$ 7.308.000,00	\$ 8.700.000,00
	MARCA SOLECTRIA	POTENCIAS [W]	PRECIO	CON IVA
EMPRESA	SENERGY SOL	2000	\$ 4.872.000,00	\$ 5.800.000,00
	*MARCA ENFHASE	POTENCIAS [W]	TOTAL	TOTAL CON IVA
EMPRESA	SENERGY SOL	8X250W -- 2000W	\$ 8.032.800,00	\$ 8.980.000,00

*En esta marca solo se encontraron microinversores con bajas potencias, por lo cual se presupuestó los arreglos correspondientes con un Envoy Gateway y cable con conector engage.

Ya que todos cumplen con los requerimientos técnicos se seleccionó el inversor marca GELA GS de 3000VA/2400W 24VDC/230VAC por ser la mejor alternativa económica. Sus especificaciones técnicas se muestran en la tabla 4-2.

Tabla 4-2. Datos técnicos inversos GELA GS 3 K

MODELO	GELA GS 3K
ENTRADA	
voltaje Nominal DC	24 VDC
Rango Aceptable de Voltaje	21 VDC-29VDC
Eficiencia	>90%
SALIDA	
Voltaje AC	230 VAC+5%
Potencia Pico	6000 VA
Forma de Onda	Sinodal pura

Fuente: Modificado de ficha técnica inversor GELA GS 3k.

4.2.2 Arreglo fotovoltaico

Se realizó de acuerdo a las máximas potencias de las motobombas seleccionadas. La demanda se determina según las horas de utilización de las motobombas en el día; hay que recordar que este número de horas es el requerido para que las motobombas, trabajando en sus puntos de operación, suplan la demanda hidráulica requerida en el día:

$$CARGA\ INSTALADA = POTENCIA * \frac{horas}{dia} = ENERGIA \left[\frac{Wh}{dia} \right] \quad (4.1)$$

$$D1 = 1007,4W * 1,326 \frac{horas}{dia} = 1335,8 \left[\frac{Wh}{dia} \right]$$

$$D2 = 1569,9 \text{ W} * 2 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} = 3139,8 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]$$

Donde D1 es la demanda requerida por el sistema de bombeo de agua de la cisterna y D2 es la requerida por el sistema de bombeo de agua del lago. La demanda total es de: $4,48 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right]$.

El proceso seguido para determinar el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico es el siguiente:

Demanda diaria ajustada por ineficiencia: Se supone una eficiencia del sistema de 90%;

$$D_{ajustada} = \frac{D}{\eta} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right] \quad (4.2)$$

Calculo de la corriente diaria:

$$I_{Ah/dia} = \frac{D}{V_{DC}} \left[\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right] \quad (4.3)$$

Corriente del arreglo fotovoltaico:

$$I_{arreglo} = \frac{I_{Ah/dia}}{h} [A] \quad (4.4)$$

Donde h es el número de horas de utilización de la carga.

Numero de filas en paralelo:

$$\text{filas en paralelo} = \frac{I_{arreglo}}{I_p} \quad (4.5)$$

Numero de columnas en serie:

$$\text{filas en serie} = \frac{V_{DC}}{V_p} \quad (4.6)$$

Selección del panel: Se han cotizado varias marcas de paneles solares policristalinos (ver anexo P) de diferentes potencias encontrados en el mercado colombiano con ello se procedió a realizar el proceso de dimensionamiento y se determinó el arreglo más conveniente económicamente de acuerdo a sus características técnicas. (Ver Anexo H)

En la tabla 4-3 se muestran los precios cotizados y en la tabla 4-4 la comparación de arreglos posibles con los Paneles Solares cotizados.

Como ya se había determinado alternar el uso de las cargas para la utilización de un solo inversor, el arreglo se dimensionó para la demanda más grande (motobomba del lago). Con lo anterior se determinó el arreglo de la tabla 4-5 con paneles marca UPSOLAR de 250W, este arreglo es suficiente para la carga menor. En la tabla 4-6 se muestran las especificaciones de los paneles seleccionados.

Tabla 4-3. Precios de Paneles Solares Cotizados

MARCA	EMPRESA	MODELO	POTENCIA [W]	PRECIO	CON IVA
Yingli, Jinko	ERGEA S.A.S	mc-Si 255W	255	\$ 879.750	\$ 879.750
UPSOLAR	GREEN ENERGY	UP-M250P	250	\$ 765.056	\$ 887.465
UPSOLAR	GREEN ENERGY	UP-M310P	310	\$ 953.466,00	\$ 1.106.020
Canadian Solar	SENERGYSOL	255W CS6P	255	\$ 714.000,00	\$ 850.000,00
TECNIGREEN	ENERGIA POTENCIA	Y USP-5M-200P-36	200	\$ 760.000,00	\$ 881.600,00
TECNIGREEN	ENERGIA POTENCIA	Y UPS-6M-250P-60	250	\$ 938.000,00	\$ 1.088.080,00

Tabla 4-4. Comparación de Posibles Arreglos Fotovoltaicos

CARGA	MOTOBOMBA LAGO			
DEMANDA [Wh/día]	3139,8			
potencia del panel [W]	250w UPSOLAR	310w UPSOLAR	200W TECNIGREEN	250W TECNIGREEN
DEMANDA AJUSTADA [Wh/día]	3489	3489	3489	3489
CORRIENTE DIARIA [A]	145,36	145,36	145,36	145,36
A DEL ARREGLO FV [A]	72,68	72,68	72,68	72,68
FILAS PARALELO	8,9	8,5	6,16	8,8
FILAS SERIE	0,784	0,656	1,41	0,8
TOTAL PANELES	9	9	14	9
TOTAL COSTO	\$ 6.885.504,00	\$ 8.581.194	\$ 10.640.000,00	\$ 8.442.000,00

Tabla 4-5. Arreglo de paneles para el funcionamiento de la motobomba del lago.

DEMANDA [Wh/día]	3139,8
potencia del panel [W]	250
DEMANDA AJUSTADA [Wh/día]	3488,7
CORRIENTE DIARIA [A]	145,4
A DEL ARREGLO FV [A]	72,68
FILAS PARALELO	8,896
FILAS SERIE	0,784
TOTAL PANELES	9
TOTAL COSTO	\$ 6.885.504,00
TOTAL COSTO CON IVA	\$ 7.987.185,00

Tabla 4-6. Especificaciones técnicas de panel solar UPSOLAR 250W.

UPSOLAR	
MODEL	UP.M250P
Potencia máxima Pm (Wp)	250
Voltaje máximo Vm (V)	30,6
Corriente máxima Im (A)	8,17
Voltaje de corto-circuito Voc (V)	38,0
Corriente de corto-circuito Isc (A)	8,50
Eficiencia del modulo	15,4%
Tensión máxima del sistema (V)	1000(IEC)/1000(UL)
Tolerancia de potencia	0/+3%
Corriente de protección (A)	20A

Fuente: Modificación Ficha Técnica panel solar UPSOLAR 250W.

Evaluación de la tensión máxima y potencia máxima del panel con respecto a la temperatura ambiente: estos parámetros disminuyen a medida que la temperatura aumenta, por ende es importante evaluar el comportamiento del panel en el sitio de instalación:

La tensión máxima del panel a 25°C es de 30,6 V con el coeficiente de temperatura para la tensión máxima de -0.42 ± 0.03 (%/°C). Y la potencia máxima es de 250 W a 25°C y coeficiente -0.43 ± 0.05 (%/°C).

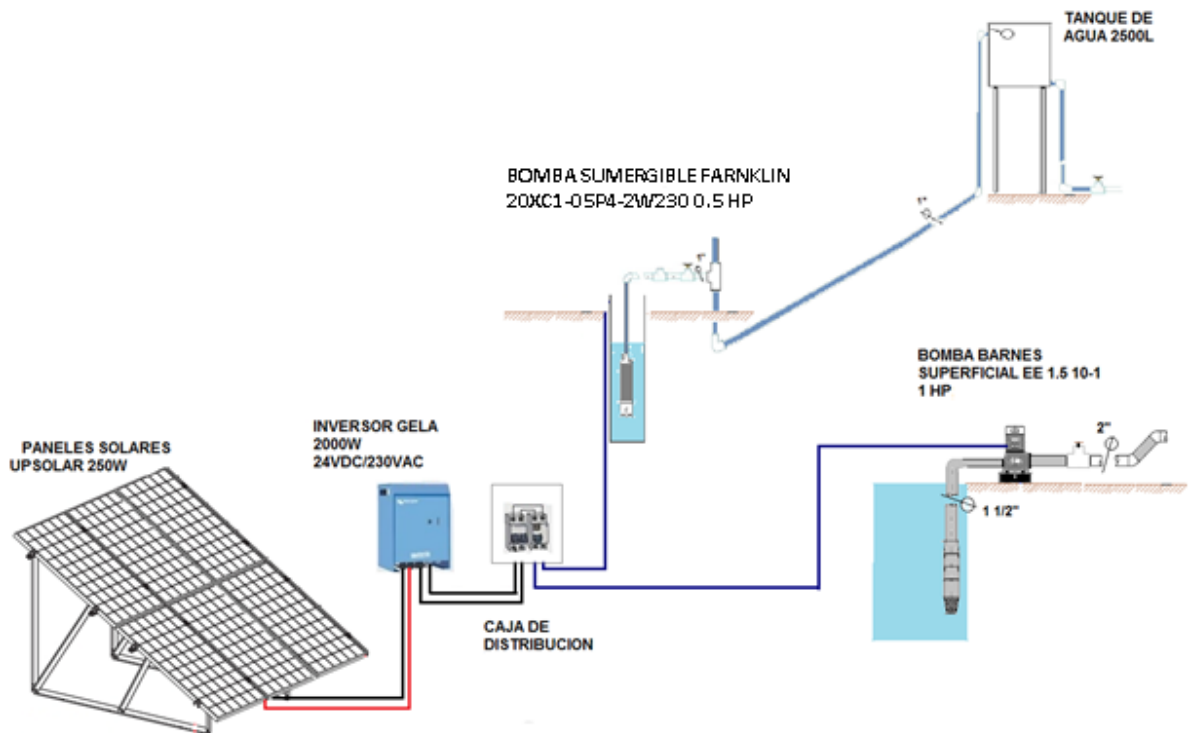
La temperatura máxima registrada en el sitio de instalación es de 29,28°C. Por lo tanto la temperatura aumenta 4,28 y la tensión disminuye un 1,93% ; $V_m = 30,01$ V; y la potencia disminuye un 2,05% obteniéndose una potencia mínima de 244,9 W.

La disminución de tensión y potencia con respecto al aumento de la temperatura ambiente del sitio de instalación del sistema no es considerable, por lo tanto, esto no representaría un problema en el momento del funcionamiento del arreglo fotovoltaico.

Evaluación de la corriente máxima del panel con respecto a la variación de la irradiancia: se requerirá el uso de las motobombas por 3 horas y media y se ajustará su uso durante las horas pico solares, donde se espera tener una radiación constante de 1000 W/m^2 como ya se había mencionado, por lo que no se tendrá que evaluar la variación de la corriente para este dimensionamiento.

A continuación se muestra un diagrama resumen del sistema dimensionado:

Figura 4-2 Sistema de bombeo dimensionado.



5. DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA

Para el diseño eléctrico del sistema se tendrán en cuenta los requerimientos exigidos por el Reglamento Técnico Colombiano de Instalaciones Eléctricas RETIE en su sección 10.1.1; atendiendo la Nota 1 y 2 en cuanto a la profundidad en que se traten los ítems y nivel de riesgo asociado al tipo de instalación a diseñar, se contemplaran únicamente los siguientes ítems:

- a) Análisis y cuadros de cargas iniciales incluyendo el factor de potencia.
- b) Cálculos de regulación.
- c) Cálculos de canalizaciones.
- d) Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
- e) Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- f) Cálculo del sistema de puesta a tierra.
- g) Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.
- h) Elaboración de diagramas unifilares.
- i) Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.

5.1 CUADRO DE CARGA INICIAL

Tabla 5-1. Cuadro de Carga inicial.

Circuito	Carga Instalada Total [W]	Factor de Potencia Promedio	Carga Instalada total [VA]	Corriente Máxima de Fase [A]	Tipo y Calibre del conductor	Corriente de Protección [A]	Protección Seleccionada	Observación
1	1007,4	0,73	1380	6	THW 14 AWG	7,5	1X15 A	Motobomba FRANKLIN 20XC1-05P4- 2W230
2	1569,9	0,75	2093,2	9,1	THW 14 AWG	11,4	1X15 A	Motobomba BARNES EE 1.5 10-1

Observaciones:

- Para motores con un factor de servicio rotulado no menor a 1,15; como el caso de los dos motores de las bombas seleccionadas; la corriente de disparo de los dispositivos de protección es el 125% de la corriente nominal a plena carga. [18]

- En general las bombas usan el factor de servicio con el que está construido el motor, por lo que el concepto de corriente a plena carga no es muy significativo, entonces se toma la corriente del factor de servicio para hallar las protecciones.
- Los conductores son tipo THW, para la instalación subterránea de baja tensión. Los conductores de los circuitos ramales que alimenten un solo motor deben tener una capacidad de corriente no menor al 140 % de la corriente nominal del motor a plena carga [17].

5.2 CÁLCULOS DE REGULACIÓN

Para determinar el calibre de los conductores se deberá tener en cuenta la regulación de tensión, la cual se calcula mediante la ecuación 5.1. La caída de tensión del alimentador de las motobombas no debe ser superior al 3% trabajando a máxima carga. [12]

$$\delta\% = \frac{F_c * KG * M}{V^2} \quad (5.1)$$

En donde,

F_c: factor de corrección para conexión monofásica. [11]

KG: constante de regulación para conductores de cobre aislado en ducto no metálico. [10]

M: momento determinado como potencia aparente en KVA por distancia en m.

Con el cálculo de regulación para los circuitos alimentadores de las motobombas se determinan los calibres de conductores finales (fase, neutro y tierra); por lo tanto en la tabla 5-15 se muestra el cuadro de carga final.

Tabla 5-2. Cuadro de regulación de carga

TABLERO GENERAL	CÁLCULO DE REGULACIÓN DE CARGA									
Tensión de línea [V]: 230										
Circuito Ramal No.	Tipo de circuito	FP	Dmax [KVA]	I [A]	Calibre Fase AWG	Longitud [m]	Momento [kVA-m]	Constante KG	Factor de corrección	Regulación (%)
1	Mon.(FN)	0,8	1,38	6	14	35	48,3	752,235	8	5,5
1	Mon.(FN)	0,8	1,38	6	12	35	48,3	476,467	8	3,5
1	Mon.(FN)	0,8	1,38	6	10	35	48,3	302,877	8	2,2
2	Mon.(FN)	0,8	2,09	9,1	14	40	83,7	752,235	8	9,5
2	Mon.(FN)	0,8	2,09	9,1	12	40	83,7	476,467	8	6,0
2	Mon.(FN)	0,8	2,09	9,1	10	40	83,7	302,877	8	3,8
2	Mon.(FN)	0,8	2,09	9,1	8	40	83,7	196,463	8	2,5

5.3 CÁLCULOS DE CANALIZACIONES Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS.

Selección de ductos: El número de conductores por tubo es de tres (Fase, Neutro y Tierra). Se elige tubo rígido de PVC para la instalación subterránea. El tamaño de la tubería es de ½” para la alimentación de la motobomba FRANKLIN y ¾” para la motobomba BARNES. [9]

5.4 ANÁLISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Las descargas atmosféricas representan un riesgo para la estructura física y aún más importante para los seres vivos cerca de la instalación. Para reducir las pérdidas debidas a rayos se requieren medidas de protección, cuyas características deben determinarse por medio de la evaluación del riesgo. En el presente análisis se evalúa el riesgo debido a impactos directos en la estructura ya que no hay estructuras cerca del punto de instalación y se tendrá en cuenta factores de lesión a seres vivos y daños físicos.

Se siguió el procedimiento establecido en la NTC 4552-2, de obligatorio cumplimiento por la Norma RETIE 16.2, debido a que el sistema es aislado de la red eléctrica no se tuvo en cuenta las descargas en las acometidas del servicio (S3), ni las descargas cercanas a las acometidas del servicio (S4).

Como objetivo final se determinará si el límite de riesgo es tolerable o si se deben adoptar medidas de protección.

Riesgo tolerable R_T : Los valores representativos de riesgo tolerable R_T se definen en la tabla 5-3.

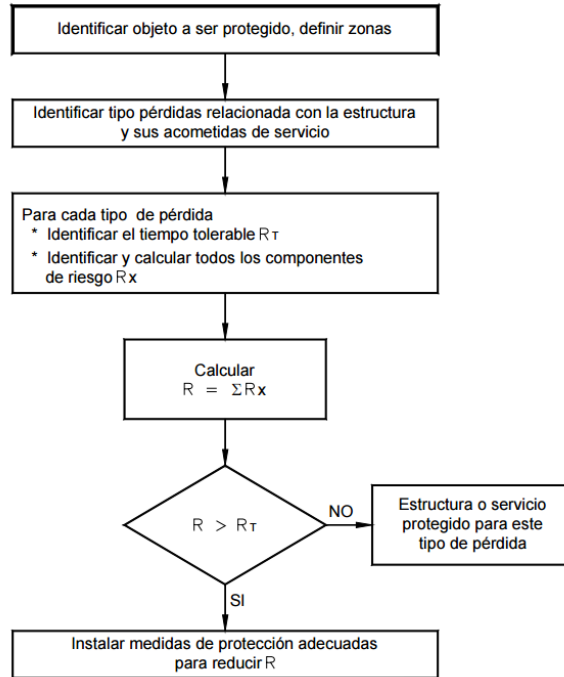
Tabla 5-3 Valores típicos de riesgo tolerable.

Tipo de pérdida	$R_T (y^{-1})$
Pérdida de vidas o lesiones permanentes	10^{-5}
Pérdida de servicio público	10^{-3}
Pérdida de patrimonio Cultural	10^{-3}

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2

Después de identificar el valor de R_T se calcula el componente de riesgo específico de la instalación R como la sumatoria de los subcomponentes R_X y se evaluará la relación $R > R_T$, el procedimiento se muestra en la figura 5-1.

Figura 5-1. Procedimiento para la decisión de necesidad de protección.



Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; figura 2.

5.5 SELECCIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCION

Se determinan los valores más críticos para evaluar los componentes de riesgo, las categorías de daño evaluadas son D1 (Lesiones a seres vivos) y D2 (Daños físicos), cada componente tiene la siguiente estructura:

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (5.2)$$

Donde N_x representa el número de eventos peligrosos; P_x la probabilidad de daño y L_x la pérdida consecuente.

Las componentes RC, RM, RU, RV, RW y RZ, no son evaluados ya que no hay personas dentro de la instalación, no hace parte de un sistema interconectado, ni tiene estructuras cercanas, por lo tanto los valores críticos son:

RA: Componente de riesgo (lesiones a seres vivos por tensiones de paso y contacto-impacto en la estructura).

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (5.3)$$

RB: Componente de riesgo (daños físicos por chispas dentro de las estructura - Impacto en la estructura).

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (5.4)$$

Dónde:

$$N_D = DDT * Ad * Cd * 10^{-6} \quad (5.5)$$

De donde:

$$Ad = LW + 6H(L + W) + 9\pi(H)^2 \quad (5.6)$$

DDT es igual a 1 según valores tomados de NTC 4552-1 para Bucaramanga, el valor de Cd se toma en 0,25 para objeto rodeado de árboles más altos de la tabla 10, NTC 4552-2. El área efectiva (Ad) de la instalación se calcula con los datos mostrados en la figura en la figura 5-2 y una H=1.5 m, dando un valor de 181.

Con los datos anteriores y reemplazando en la ecuación 5.5 se obtiene el valor del promedio anual de descargas sobre la estructura (N_D).

$$N_D = 4.525 * 10^{-5}$$

Los valores de probabilidad PA de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de paso o contacto por descargas directas a la estructura, son función de las medidas de protección existentes así (tabla 5-4).

$$P_A = 10^{-1} * 10^{-2} * 10^{-2}$$

Figura 5-2. Dimensión del Arreglo fotovoltaico

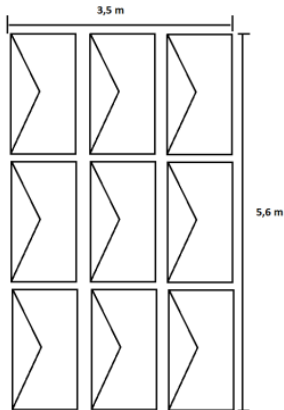


Tabla 5-4. Valores de probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de paso o contacto por descargas directas a la estructura.

Medida de Protección	P _A
Sin medidas de protección	1
Aislamiento eléctrico de bajantes expuestas. (Ej. al menos 3 mm de polietileno)	10 ⁻²
Equipotencialización efectiva del suelo	10 ⁻²
Avisos de advertencia	10 ⁻¹
NOTA Si más de una medida de protección ha sido tomada, el valor de P _A es producto de los valores correspondientes según esta tabla.	

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; tabla 14.

Las pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (L_A), se puede estimar como:

$$L_A = ra * Lt \quad (5.7)$$

En donde:

ra: Factor reductor de pérdida de vidas por características del suelo o terreno (véase la Tabla 5-5).

Lt : Pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

$$Lt = \frac{n_p}{n_t} * \frac{t_p}{8760} \quad (5.8)$$

Dónde:

n_p : Número de posibles personas en peligro (víctimas).

n_t : Número total de personas esperadas en la estructura.

t_p : Tiempo en horas al año que las personas están presentes en el lugar peligroso.

Tabla 5-5. Valores de factores de reducción en función del tipo de suelo o piso.

Tipo de Superficie	Resistencia de contacto [KΩ] ⁽¹⁾	r_a y r_u
Agricultura, concreto	≤ 1	10 ⁻²
Mármol, cerámica	1 - 10	10 ⁻³
Gravilla, tapete	10 - 100	10 ⁻⁴
Asfalto, madera, linóleo	≥ 100	10 ⁻⁵
⁽¹⁾ Valores medidos entre 400 cm ² electrodos con una fuerza de 500 N y un punto infinito		

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; tabla 27

Para las condiciones del sitio de instalación del sistema fotovoltaico se tienen los siguientes valores:

Tabla 5-6. Valores de factores para la determinación de las pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

r_a	10 ⁻²
n_p	8
n_t	1
t_p	62 (10 min diarios)

Reemplazando en la ecuación 5.8 se tiene que $Lt = 0,056$.

Por lo tanto de la ecuación 5.7 $L_A = 0,56 * 10^{-3}$.

Reemplazando este valor en la ecuación 5.3 se tiene $R_A = 2,534 * 10^{-13}$.

Para determinar el factor R_B se selecciona la probabilidad de daño (PB) y las pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura (LB).

El valor de la probabilidad de daño a la estructura por descargas directas PB, es función del nivel de protección (NPR) así:

Tabla 5-7. Valores de la probabilidad de daño a la estructura por descargas directas.

Características de la estructura	Nivel de protección contra rayos	P _B
No Protegida	--	1
Estructura protegida	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estructura con un sistema de captación aéreo de acuerdo al nivel I y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes.		0,01
Estructura con techo metálico o un sistema de captación aéreo con protección completa de cualquier instalación el techo contra impactos directos de rayo y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes.		0,001
NOTA Los valores de probabilidad descritos en la tabla son posibles siempre y cuando el sistema de protección contra rayos cumpla con los criterios de NTC 4552.		

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; tabla 15.

Para el arreglo fotovoltaico no protegida se determina el valor de $P_B = 1$.

Las pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructura por arco eléctrico, se puede estimar así:

$$L_B = r_p * h_z * r_f * L_f \quad (5.9)$$

Dónde:

r_p : Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende de medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio (véase la Tabla 28).

r_f : Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura (véase la Tabla 29);

h_z : Factor de incremento de pérdida debida a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas (véase la Tabla 30);

L_f : Pérdida de vidas humanas por daños físicos. L_f se puede estimar a través de la siguiente ecuación 5.10:

$$L_f = \frac{n_p}{n_t} * \frac{t_p}{8760} \quad (5.10)$$

Tabla 5-8. Valores de factores de reducción r_p en función de las medidas de prevención para reducir las consecuencias de fuego.

Medida de prevención	r_p
Sin medida de prevención	1
Una de las siguientes prevenciones: Extintores manuales; instalaciones de alarma manual; hidrantes, compartimientos contra fuego; rutas de evacuación	0,5
Una de las siguientes prevenciones: Extintores automáticos; instalaciones de alarma automática (*)	0,2
(*) Solo si esta protegida contra sobretensiones o otros daños y tiempo de respuesta de los bomberos menor a 10 min. Si más de una de estas medidas de provisión se aplican, es necesario tomar el valor mas bajo entre los calculados individualmente. En una estructura con riesgo de explosión $r_p = 1$.	

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; tabla 28.

Tabla 5-9. Valores de factor de reducción r_f en función del riesgo de fuego de la estructura.

Riesgo de fuego	r_f
Explosión	1
Alto	10^{-1}
Ordinario	10^{-2}
Bajo	10^{-3}
Ninguno	0

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; tabla 29.

Tabla 5-10. Valores de factor de incremento h_z en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro.

Clase especial de riesgo	h_z
Sin riesgo especial	1
Nivel bajo de pánico (Edificación de dos pisos con un número no mayor a 100 personas)	2
Nivel medio de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes entre 100 y 1 000 personas)	5
Dificultad de evacuación (edificación con personas inmobilizadas)	5
Nivel alto de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes superiores a 1 000 personas)	10
Peligro por ambiente alrededor	20
Contaminación del ambiente alrededor	50

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552-2; tabla 30.

Para las condiciones del sitio de instalación del sistema fotovoltaico de acuerdo a las tablas 5-8, 5-9 y 5-10 se tienen los siguientes valores:

Tabla 5-11. Valores de factores para la determinación de las pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructura por arco eléctrico.

r_p	0.5
r_f	$1 \cdot 10^{-2}$
h_z	1

Reemplazando en la ecuación 5.10 se tiene que $L_f = 0,056$.

Por lo tanto de la ecuación 5.9 $L_B = 2,8 \cdot 10^{-4}$.

Reemplazando este valor en la ecuación 5.4 se tiene $R_B = 1,267 \cdot 10^{-8}$.

Luego;

$$R_A + R_B = 2.2625 \cdot 10^{-7} = R$$

De acuerdo a la tabla 5-3, R es menor a R_T y según el diagrama 5-1 el arreglo se considera protegido para estos tipos de pérdidas y no es necesario implementar otras medidas de protección.

5.6 ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS

Tabla 5-12. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.

CONTACTO INDIRECTO
<p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falla de conductor de puesta a tierra.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, mantenimiento preventivo y correctivo.</p>
CORTOCIRCUITO
<p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.</p>
ELECTRICIDAD ESTÁTICA
<p>POSIBLES CAUSAS: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, solidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales.</p>
EQUIPO DEFECTUOSO
<p>POSIBLES CAUSAS: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCION: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas.</p>
RAYOS
<p>POSIBLES CAUSAS: Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCION: puestas a tierra, equipotencialización, topología de cableados. Además suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.</p>

Fuente: Modificado del RETIE; Tabla 9.5 Factores de riesgos eléctricos más comunes.

5.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para esta instalación se determina la utilización de dos electrodos de puesta a tierra, donde uno se instalará para la protección de falla a tierra del tablero de distribución donde

llegan las acometidas de DC y AC y otro para la protección del arreglo fotovoltaico de acuerdo a la NTC 2050 sección 690-47 donde se debe instalar un sistema de electrodo de tierra que cumpla lo establecido en los Artículos 250-81 a 250-86. Estos electrodos deberán conectarse equipotencialmente junto con la puesta a tierra de pararrayos del sistema fotovoltaico para formar la instalación del electrodo de puesta a tierra según lo establecido en la NTC 2050 Artículo 281.

Figura 5-3. Sistemas de puesta a tierra interconectadas.

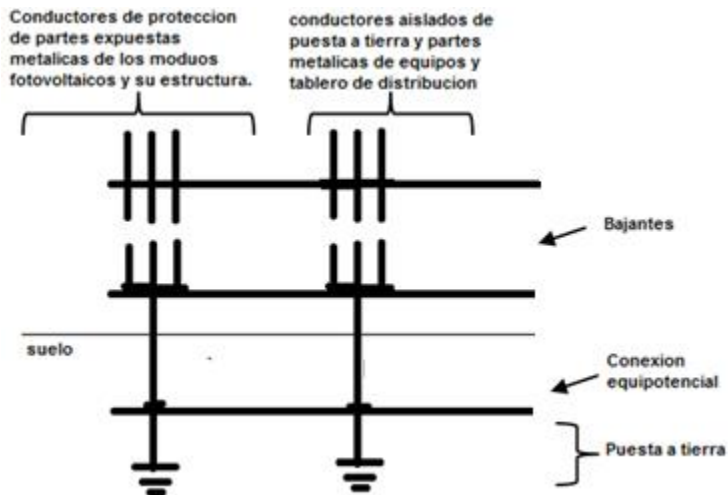


Tabla 5-13. Consideraciones de los electrodos de puesta a tierra.

TIPO DE ELECTRODO	Varilla
MATERIAL	Cobre
DIÁMETRO	12,7 mm
LONGITUD MÍNIMA	2,4 m

Fuente: RETIE sección 15.3.1

Tabla 5-14. Conductores del electrodo de puesta a tierra y de puesta a tierra de los equipos.

CONDUCTOR	MATERIAL	CALIBRE
Conductor del electrodo de puesta a tierra	Cobre	*8 AWG
Conductor de puesta a tierra del inversor.	Cobre	**14 AWG

Fuente: NTC 2050 *Tabla 250-94; ** Tabla 250-95.

Observaciones:

- Los electrodos de puesta a tierra cumplen los requisitos establecidos en el RETIE 15.3.1.
- Se pondrán a tierra todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos fotovoltaicos, equipos y encerramientos de conductores, independientemente de su tensión. El conductor de puesta a tierra de los equipos debe tener una sección transversal igual a la de los conductores de los circuitos. [14]
- El electrodo de puesta a tierra tendrá una longitud de 2,40 m. [13]
- Para la conexión equipotencial de los electrodos se conectará mediante un puente de conexión equipotencial de cobre de sección transversal no inferior a 13,29 mm² (6 AWG) o equivalente según lo establece la norma NTC 2050 sección 800-40 d).

5.8 CÁLCULO DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES

Protecciones aguas abajo del inversor: Las protecciones de los circuitos ramales de alimentación de las motobombas se muestran en la Tabla 5-15 . Para el alimentador principal; debido al uso alternado de las motobombas; se tiene en cuenta la corriente de la carga mayor, por lo tanto, la corriente del alimentador es de 125% de 9,1 A. La protección principal es de 1x15 A. (Ver figura 5-4)

Protecciones aguas arriba del inversor:

Circuitos fotovoltaicos: La corriente nominal en los circuitos fotovoltaicos es la corriente de cortocircuito de los módulos; 8,5 A. La corriente para la selección de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes es 1,25 veces la corriente nominal, 10,62 A. Se selecciona fusibles de DC de 15 A. [16]

Circuito fotovoltaico de salida: La corriente nominal es la suma de la corriente de cortocircuito de los módulos en paralelo; 76,5 A. la corriente de los dispositivos de protección es 95,62 A; por lo tanto se selecciona interruptores automáticos de DC de 100 A. [15]

Cableado: Con la corriente nominal del circuito fotovoltaico de salida se elige cable tipo Solar calibre 6 AWG 7 hilos; y para los circuitos fotovoltaicos calibre 14 AWG 7 hilos. En la figura 5-5 se muestra las protecciones seleccionadas y calibres de conductores.

Figura 5-4. Diagrama unifilar aguas debajo del inversor

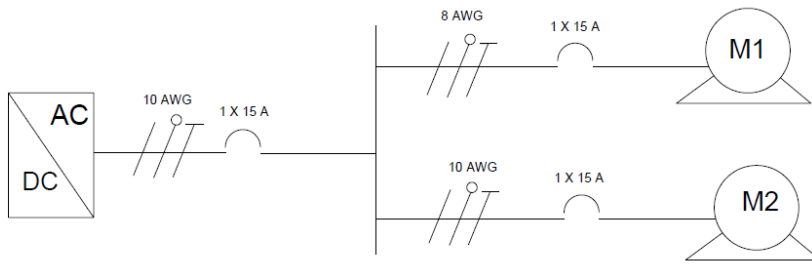
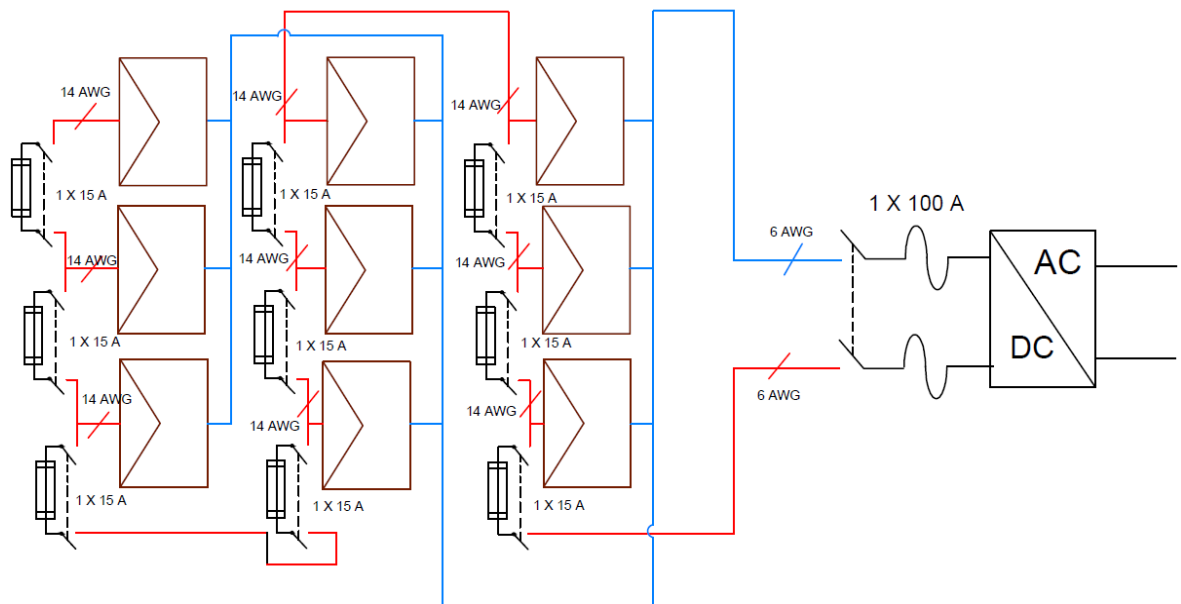
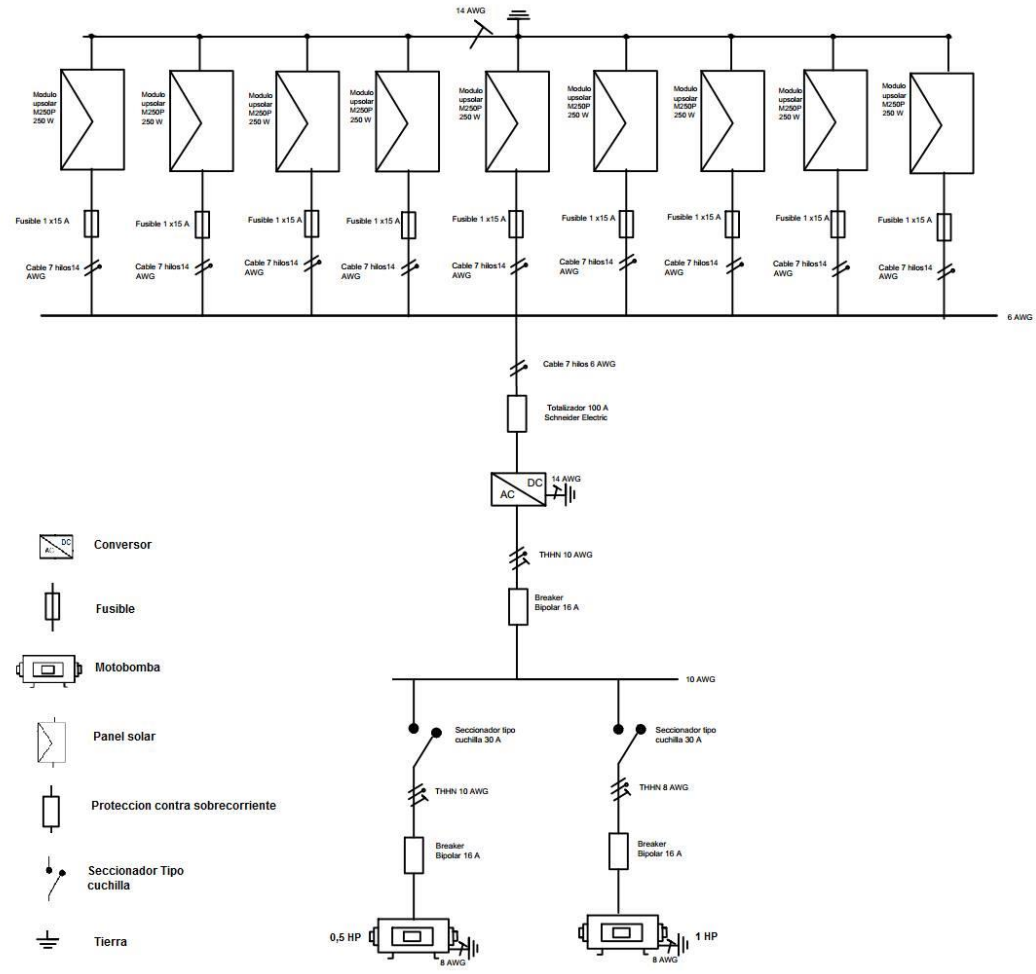


Figura 5-5. Esquema de instalación del sistema fotovoltaico aguas arriba del inversor



5.9 DIAGRAMA UNIFILAR



- Conversor
- Fusible
- Motobomba
- Panel solar
- Proteccion contra sobrecorriente
- Seccionador Tipo cuchilla
- Tierra

PROYECTO: Sistema Autónomo para Bombeo de Agua Utilizando Generadores Fotovoltaicos.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Por: Jhovany Antonio Bermúdez Calderón.
Sandra Milena Vargas Calderón.

5.10 CUADRO DE CARGA FINAL

Tabla 5-15. Cuadro de carga final para el tablero general.

TABLERO GENERAL		CUADRO DE CARGAS										
Tensión de línea [V]: 230												
Circuito Ramal No.	Tipo de circuito	Carga Instalada total [W]	FP	Carga Instalada total [VA]	Corriente Máxima de Fase [A]	Conductor calibre AWG				Protección	Ductería	Observación
						Fase	Neutro	Tierra	Tipo			
1	Mon (FN)	1007,4	0,73	1380	6	10	10	10	THW	1X15 A	1/2" PVC	Motobomba FRANKLIN 20XC1-05P4-2W230
2	Mon (FN)	1569,9	0,75	2093,2	9,1	8	8	8	THW	1X15 A	3/4" PVC	Motobomba BARNES EE 1.5 10-1

6. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DIMENSIONADO PARA OTROS USUARIOS DEL SECTOR

Las encuestas tienen como finalidad realizar una evaluación básica de los sistemas de bombeo de agua utilizados en las fincas o granjas del sector de La Mesa de los Santos, para determinar el posible uso del sistema dimensionado en este proyecto.

Con la información recolectada de las entrevistas acerca del uso de motobombas, esquemas observados y recurso hídrico, se pudo determinar los puntos claves a tener en cuenta en la encuesta, también pre visualizar que posibles situaciones se podrían encontrar y como obtener los parámetros necesarios para el proyecto.

6.1 ORGANIZACIÓN DE LA ENCUESTA

Las preguntas de la encuesta se encuentran clasificadas en cuatro grupos y aunque puede que algunas preguntas encajen en varios de estos, se dividieron según su rol principal como sigue:

Preguntas filtro: Permiten eliminar perfiles a los que no les es útil el sistema. Las componen la pregunta 1 y 7.

Datos del consumo eléctrico: Su objetivo es poder estimar la potencia tomada de la red eléctrica. Están compuestas por las preguntas 2, 3, 4, 5 y 6.

Datos de carga dinámica: Permite estimar la carga que deben manejar las motobombas. Las preguntas son 8, 9, 11 y 12.

Datos de consumo hídrico: Su objetivo es aproximarnos al valor de volumen máximo consumido de agua por día, esta serie de preguntas permite estimar el consumo de varias formas ya que este dato es el menos común entre los encuestados. Las preguntas para ello son 10, 13, 14, 15, 16 y 17.

Interés en el proyecto: Su objetivo es ver que actitud muestran los encuestados ante la alternativa planteada. Preguntas 18, 19 y 20.

La encuesta diseñada se muestra en el Anexo G.

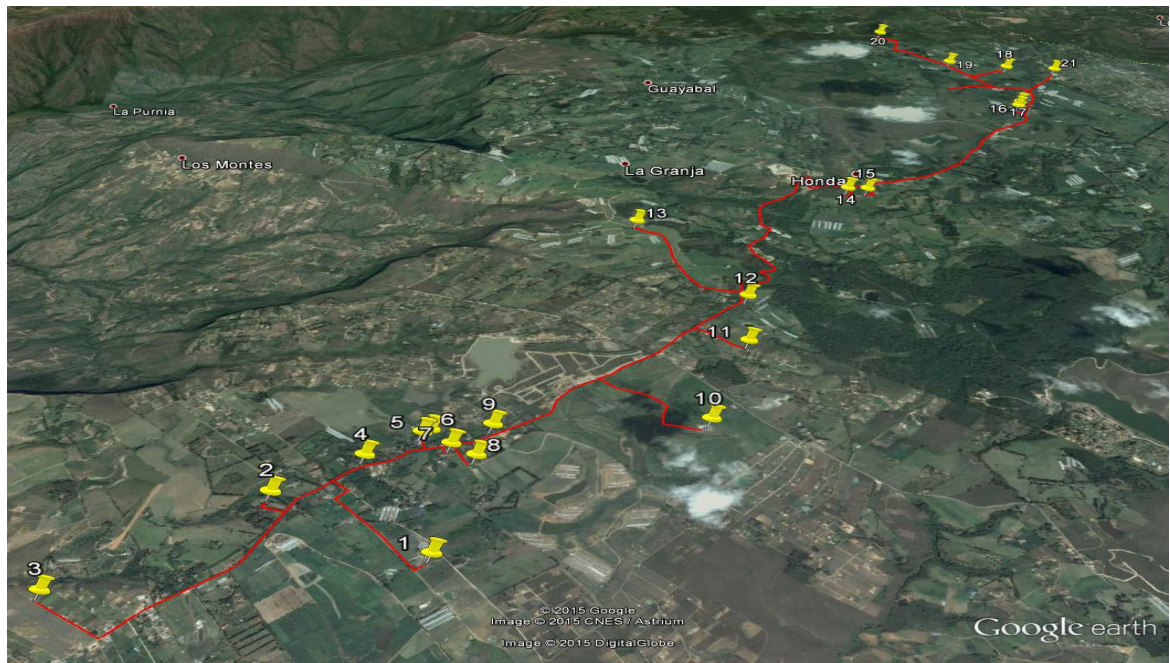
6.1.1 Descripción del proceso llevado a cabo para encuestar.

La figura 24. tiene la ruta de los lugares donde se logró una encuesta exitosa y posee una longitud aproximada de 20 km abarcando desde Altamira reservado hasta linderos, a lo largo de esta ruta se tomaron las desviaciones posibles, sin embargo la cantidad de encuestas realizadas se ve limitada por los factores mostrados a continuación:

- Inseguridad de ingresar a propiedades privadas cuya casa principal se encontraba muy lejos de las vías de acceso.
- Falta de colaboración por parte de la población debido a recientes sucesos de hurto de bombas en el sector.
- No se encontró al personal idóneo para la realización de esta encuesta.
- Debido al perfil del sector se encontraba gran cantidad de casas para fines de semana o de alquiler que no cumplían con los lineamientos del proyecto, por su mínimo consumo o no utilización de motobombas.

En este proceso se encontraron tres tipos de lugares: fincas pequeñas dedicadas a la ganadería, viveros o cítricos; fincas Avícolas con grandes consumos de agua; y los conjuntos de vivienda tipo parcelas con bombeo global. Se encuestaron 21 fincas de las cuales en cuatro se contactó directamente con los dueños y 17 con los administradores.

Figura 6-1. Ruta llevada a cabo para realizar las encuestas.



Fuente: Google Earth. Mesa de Los Santos, Santander.

6.1.1 Ficha resumen

Con los datos obtenidos de las encuestas se diseñaron unas fichas resumen que permiten visualizar los valores objetivos.

Los datos de la ficha se obtienen directamente de la encuesta, y con ellos se procede a calcular los tres parámetros que nos sirvieron de indicativos en el análisis, estos datos se muestran en rojo en la tabla 6-1. En el Anexo ENCUESTAS (archivo Excel) se encuentran las fichas técnicas de todos los sitios.

Carga Dinámica Total: Para las condiciones de cada lugar, se procederá a calcular un valor aproximado de la Carga Dinámica Total a partir de la ecuación 7.2.

$$CD = (\text{distacia vertical} + \text{distancia horizontal}) * 0,02 \quad (6.6.1)$$

$$CDT = CD + CE \quad (6.2)$$

Donde CD o carga dinámica, representa un incremento en la presión suministrada debido a la resistencia del flujo de agua ocasionada por la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que recorre el agua. Para esto se recurre a las preguntas 8, 9 y 11, y estimamos la distancia de la tubería como la suma entre las distancias horizontales y verticales.

Las distancias obtenidas en las encuestas fueron comparadas con datos tomados de google earth permitiendo ver la coherencia de los datos.

La carga dinámica tomada por omisión es aproximadamente el 2% de la distancia de recorrido del agua o lo que es equivalente a la longitud total de la tubería (referencia).

CE representa la carga estática, la cual se va tomar como la distancia desde el espejo del agua hasta el punto de descarga, este dato se obtiene a partir de la pregunta 11.

Consumo Hídrico en litros/día: Para calcular el consumo hídrico diario se tuvieron en cuenta varias consideraciones ya que estimar este valor depende más del proceso diario de la finca que de alguna ecuación o dato específico. Por lo cual, la serie de preguntas realizadas permiten prever diversas alternativas teniendo como soporte valores de consumo diario por persona, consumo de animales y riego de cultivos por metro cuadrado.

- Consumo diario por persona:
Para la selección de este valor se tomó en cuenta el gasto en lavado de ropa, sanitario, ducha, lavado de platos, aseo de vivienda, consumo propio y lavado de manos, tomando como valor máximo 160 L.
- Consumo por cabeza de ganado:
Una vaca lechera puede consumir entre 38 y 110 litros de agua por día (l/d), un bovino para carne de 26 a 66 l/d. [31]
- Riego por metro cuadrado:
Para obtener las necesidades diarias de agua se recurre al método de la ETP o evaporación potencial para la planta; para el sector se tiene un clima fresco/húmedo por lo tanto una temperatura promedio menos a 20°C, humedad relativa promedio menor al 50% y una ETP 3,5 mm/día [32] .Los cálculos se realizarán siempre para la situación más desfavorable, esto es, para el mes de máximo consumo, que suele coincidir con Julio.

La eficiencia del riego se estima en un 87% y junto con los parámetros anteriores se calcula el consumo como sigue:

$$\frac{l}{m^2} = \frac{ETP}{Eficiencia} * Kc * Area [m^2] \quad (6.3)$$

Donde Kc es el coeficiente de cultivo. [32]

Energía Hidráulica: Hace referencia a la energía que requiere determinada cantidad de fluido para moverse una distancia específica. Para este caso se calculará la energía que gasta el consumo diario en moverse la CDT expresada en metros, con la utilización de una constante física que ayuda a calcular la energía en watts – hora necesaria para levantar un litro de agua una distancia de un metro.

$$Energia\ Hidraulica = \frac{CDT[m] * Gasto [l/día]}{367 \left[\frac{l * m}{Wh} \right]} \quad (6.4)$$

Para lugares donde por su uso se tiene más de una carga dinámica total, se calcula la energía requerida para cada CDT junto con su gasto respectivo y posteriormente se suman para obtener la energía hidráulica total.

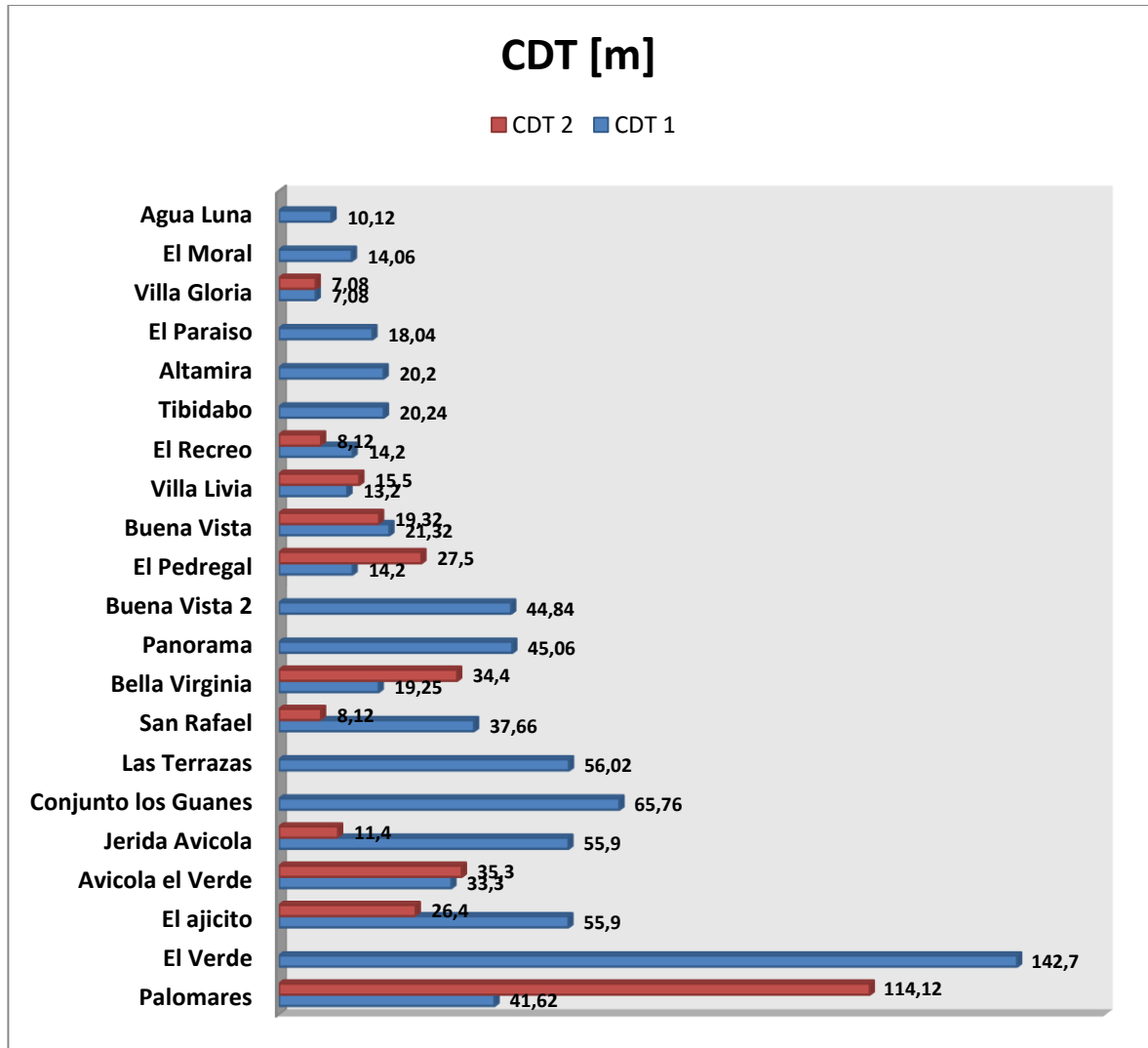
Tabla 6-1. Modelo ficha resumen

Buena Vista 1			
El agua bombeada se usa para consumo humano y de ganado, disponen de un tanque de almacenamiento de 2500 litros y 4000 litros respectivamente se usa un sistema automático para bebedero de ganado, que también bebe directamente del lago.			
Datos del consumo eléctrico		Días/semana	Duración [h]
Motobombas	2 Hp	7	1
	2 Hp	7	1
Más de una a tiempo	No		
Datos carga dinámica total			
Distancias [m]		Altura [m]	CDT [m]
Cisterna - Tanque	250	16	21,32
Lago - Tanque	150	16	19,32
Profundidad Lago [m]	6	Profundidad Cisterna	9
Datos Consumo Hídrico			Litros/Día
Número de personas que residen		14	2500
Capacidad del Tanque Cisterna [m³]		2,5	4000
Capacidad del Tanque Lago [m³]		4	
Tiempo de vaciado [días]		2	
Cultivos	No	Ganado	si
Área de Cultivos [m²]		Frec. de riego	
Cantidad de ganado	100	Bebederos [m³]	0,6
Energía Hidráulica [Wh/día] Cisterna		145,2316076	
Energía Hidráulica [Wh/día] Lago		210,5722071	
Energía Hidráulica Total [Wh/día]		355,8038147	

6.2 INDICADORES DE LAS ENCUESTAS

Carga dinámica total: La carga dinámica total es un parámetro clave en la elección de motobombas, así que con los resultados de las encuestas se analizó si las motobombas seleccionadas en el dimensionamiento cumplen con las exigencias encontradas en el sector. La comparación de CDT's se encuentra en la figura 7-5.

Figura 6-2. CDT en los lugares encuestados.



Comparación entre los dos métodos utilizados para hallar la carga dinámica total:

El primer método es el expresado en la ecuación 1.9 (calculo completo) y el segundo en la ecuación 6.2 (método por omisión). El porcentaje por omisión de 2% asume un máximo de pérdidas por accesorios y fricción en tuberías, típico de materiales como el PVC. Por el método utilizado en el capítulo 3, se tuvo en cuenta la rugosidad específica de la tubería y la pérdida en cada uno de los accesorios instalados.

Las CDT para cada uno de los sistemas de la finca Bella Virginia se muestran en la tabla 6-2.

Tabla 6-2. Porcentajes de error entre el método exacto y por omisión para el cálculo de la CDT.

Sistema	CDT Omisión (m.c.a)	CDT Exacto (m.c.a)	% error
Cisterna - Tanque	19,25	18,1	6,35%
Lago – Riego (2%)*	34,4	21,9	57,08%
Lago – Riego (1%)**	27,2	21,9	24,2%

*Porcentaje de pérdidas por omisión 2%. **Porcentaje de pérdidas por omisión 1%

Para el sistema cisterna –tanque se utiliza tuberías de PVC, y para el sistema Lago-riego se utiliza tubería de polietileno, este tipo de tubería no requiere accesorios, por lo tanto, a mayor longitud el porcentaje de error entre los metodos se incrementará ya que se supondrá una pérdida de accesorios que no existen. Si se disminuye el porcentaje de pérdidas para la tubería de polietileno a 1% de la longitud total, se tiene una aproximación más exacta.

Las CDT halladas por omisión teniendo en cuenta un porcentaje de pérdidas de 1% en polietileno y 2% en PVC, se encuentran dentro de las curvas características de las motobombas seleccionadas en el capítulo 3. Con base en lo anterior se determina que las CDT halladas en las fincas encuestadas son válidas para realizar la comparación con el sistema dimensionado en este proyecto.

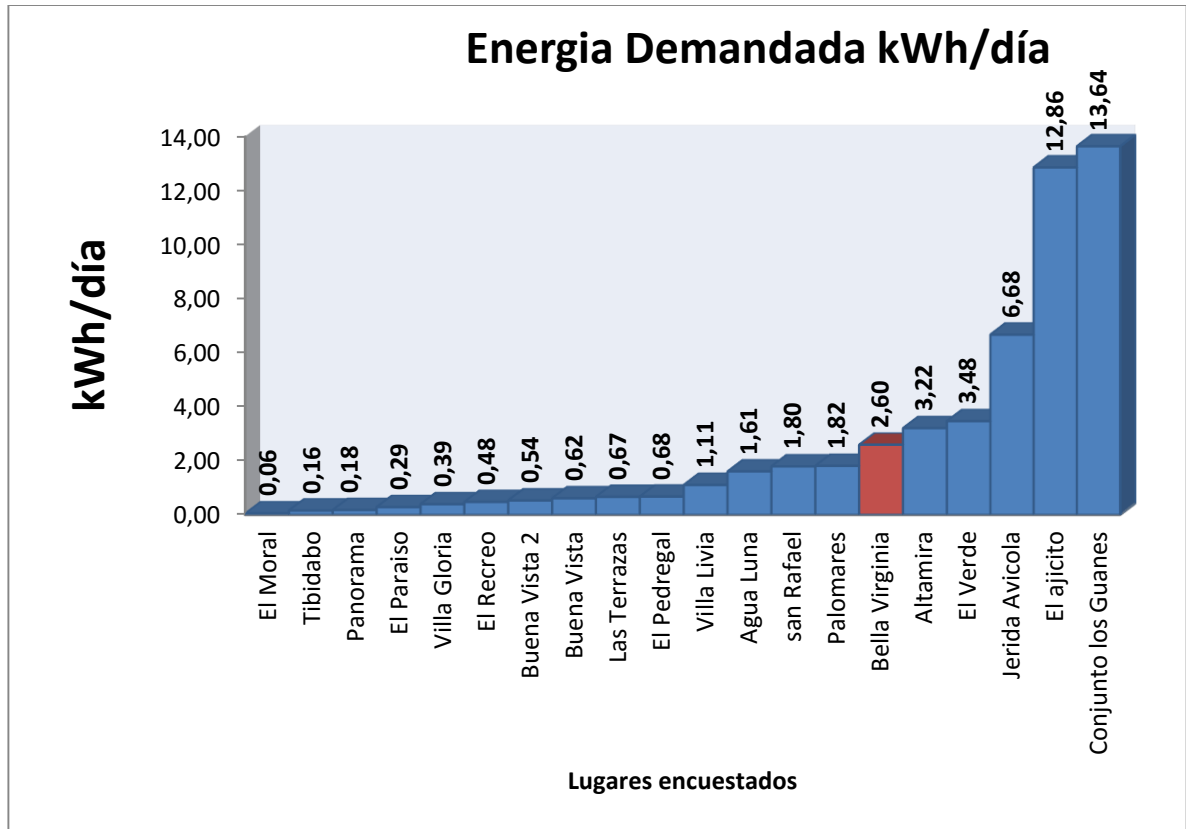
Energía diaria del arreglo fotovoltaico: Con la energía hidráulica se calculó la energía requerida de un generador fotovoltaico para suplir la demandada. Para ello se supuso una eficiencia de motor de 76%, correspondiente a motores monofásicos semiabiertos Nema 56J por ser los más utilizados para acople directo en moto-bombas centrifugas, este motor está diseñado con un alto par y baja corriente de arranque.

Y para la bomba se consideró una eficiencia de 45% que corresponde a valores de máxima eficiencia suponiendo una adecuada selección, por lo tanto la eficiencia del sistema motor –bomba se muestra en la ecuación 6.5.

$$\text{Eficiencia}_{\text{Motor bomba}} = \text{Eficiencia}_{\text{Motor}} * \text{Eficiencia}_{\text{Bomba}} = 34.2\% \quad (6.5)$$

$$\text{Energia FV} = \frac{\text{Energia Hidraulica}}{\text{Eficiencia}_{\text{Motor bomba}}} \quad (6.6)$$

Figura 6-3. Energía demandada diaria requerida en los lugares encuestados.



En los sitios donde se requiere más de una motobomba se halló para cada CDT la energía demandada y se grafican las máximas de cada sitio en la figura 6-6, con el objetivo de comparar las demandas del sector respecto a la finca modelo.

6.3 ANÁLISIS Y RESULTADOS TECNICOS

Se debe notar que no es correcto calcular el número de paneles a partir de la energía demandada mostrada en figura 6-6 ya que no está teniendo en cuenta la carga específica a conectar (motobomba). Lo correcto es seleccionar la carga a partir de las CDT y con sus datos técnicos calcular el arreglo fotovoltaico.

Se realizó una comparación de cada CDT de las fincas encuestadas con las curvas características de las motobombas seleccionadas para el sistema dimensionado, donde se considera posible o no la instalación de dicho sistema dependiendo de los tipos de motobombas necesarias en cada finca (superficial o sumergible). El generador fotovoltaico dimensionado en este proyecto es adecuado para las fincas denotadas con "SI" en la tabla 6-3 ya que fue diseñado para alimentar la mayor carga (motobomba BARNES 1 HP) y el uso de las motobombas es alternado.

Tabla 6-3. Fincas encuestadas en las que sería posible la implementación del sistema de bombeo autónomo con generadores fotovoltaicos dimensionado.

FINCA	TIPO DE MOTOBOMBA NECESARIA	POSIBLE
<i>El tibidabo</i>	1 superficial	SI
<i>El Ajcico</i>	-----	NO
<i>El Recreo</i>	1 superficial y 1 sumergible	SI
<i>Buena Vista 1</i>	1 superficial y 1 sumergible	SI
<i>Buena Vista 2*</i>	1 sumergible	SI
<i>El verde</i>	-----	NO
<i>Granja el verde (Avícola)</i>	-----	NO
<i>El Paraíso</i>	1 superficial	SI
<i>Palomares</i>	-----	NO
<i>Lo Guanés Conjunto</i>	-----	NO
<i>Agua Luna (Avícola)</i>	1 superficial	SI
<i>Jerida (Avícola)</i>	-----	NO
<i>Panorama</i>	-----	NO
<i>Las Terrazas</i>	-----	NO
<i>El Moral</i>	1 superficial	SI
<i>Villa Gloria (Avícola)</i>	2 superficial	SI
<i>San Rafael</i>	-----	NO
<i>Villa Libia Avícola</i>	2 superficial	SI
<i>El Pedregal</i>	1 superficial y 1 sumergible	SI
<i>Altamira Reservado Conjunto</i>	1 superficial	SI

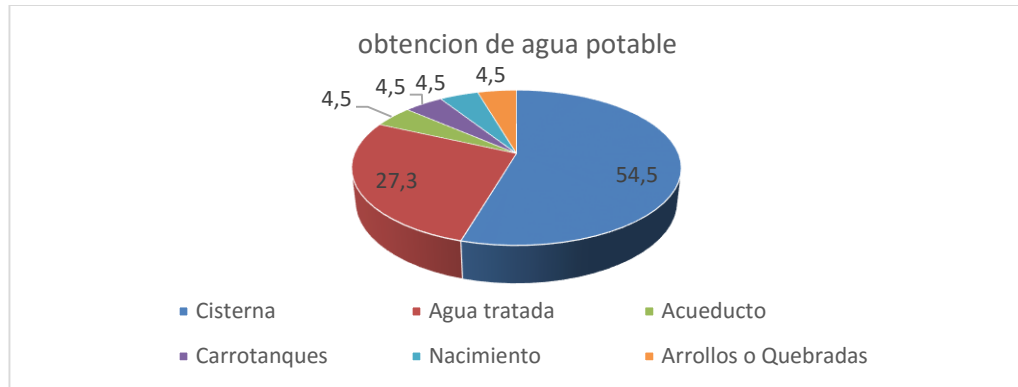
*Para esta finca el sistema fotovoltaico se reduciría ya que solo se necesitaría la motobomba de 0,5 HP. Se puede determinar fácilmente el sistema fotovoltaico necesario con los datos técnicos del motor y el procedimiento de la sección 4.2.

6.4 ANÁLISIS SOCIAL Y RESULTADOS

En este apartado se analiza las respuestas obtenidas en la encuesta desde un punto de vista social, en el cual se profundiza sobre las necesidades detectadas en el sector. Se muestra el análisis de las preguntas más relevantes en este aspecto, las demás se muestran en el anexo Q.

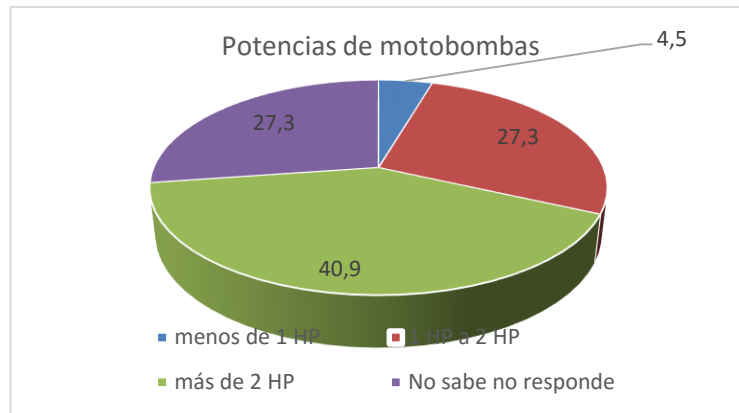
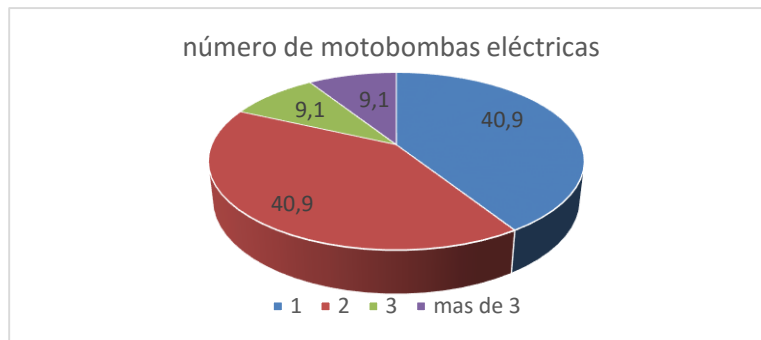
PREGUNTA 1. Análisis: Más del 50% de la población encuestada depende del uso de cisternas para la obtención del agua potable y casi un 30% deben recurrir al tratamiento del agua. Esto trae consigo un gasto económico superior por el servicio del agua potable, a comparación con el 4,5% que cuentan con un acueducto. En total la población que se ve obligada al uso de sistemas de bombeo para obtener el agua potable es de un 90,9%. Las granjas avícolas del sector deben recurrir a carro tanques para suplir las necesidades de agua potable para la producción animal, ya que el recurso disponible en las fincas no es suficiente; este 4,5% sufre aún más con los costos del servicio de agua potable. Se resalta que el 95,5% de la población encuestada no cuenta con el servicio de acueducto.

Figura 6-4. Gráfico de porcentajes del análisis de la pregunta 1.



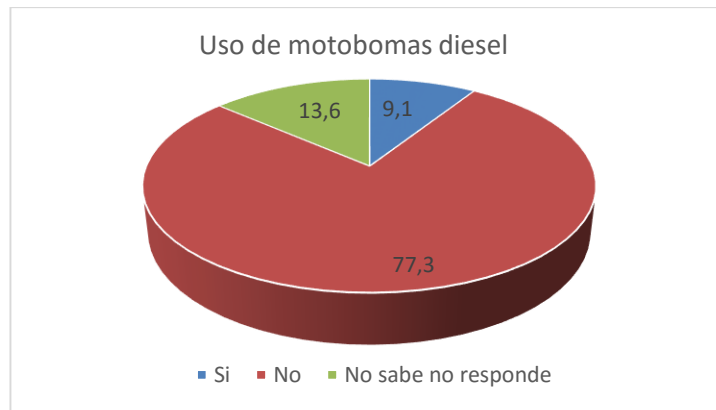
PREGUNTA 2. Análisis: El 40,9% de la población encuestadas requiere de hasta dos motobombas para el abastecimiento de agua en la finca o granja; en total un 59,1% usa más de una motobomba y un 40,9% utiliza motobombas de más de 2 HP. Es evidente la necesidad de este mecanismo de bombeo de agua y los gastos en energía eléctrica que involucra las altas potencias de los equipos utilizados en la gran mayoría de las fincas del sector.

Figura 6-5. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 2.



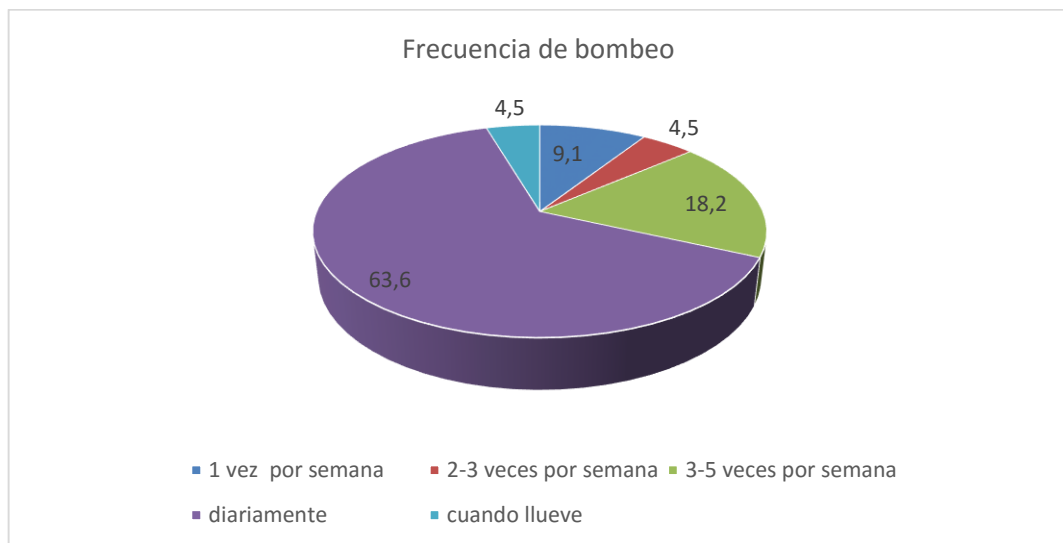
PREGUNTA 3. Análisis: Sólo un pequeño porcentaje de la población usa motobombas diésel y de este porcentaje todos usan menos de dos; la finalidad común de este tipo de motobombas es como reserva en el caso de que existan cortes de energía eléctrica, pero su uso no es común debido a los costos extras en combustible. En cuanto al 77,3% de la población que no usa este tipo de equipo de bombeo, se puede concluir que la capacidad económica de la mayoría de la población no es baja para adquirir como respaldo estas motobombas.

Figura 6-6. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 3.



PREGUNTA 5. Análisis: Un 63,6% de la población requiere del bombeo de agua diariamente, esto conlleva al uso diario del equipo de bombeo y un gasto de energía eléctrica muy alto reflejado en las facturas de cada mes para la gran mayoría de la población.

Figura 6-7. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 5.



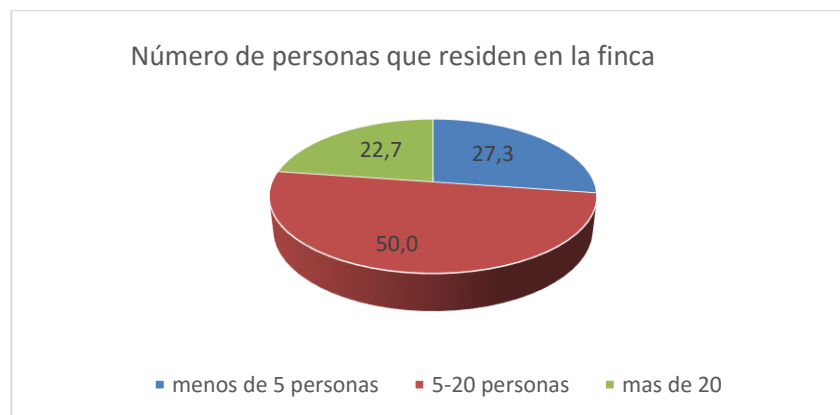
PREGUNTA 6. Análisis: El tiempo de bombeo de agua requerido para la mayoría de la población está entre 3 y 4 horas al día, esto junto con las altas potencias de las motobombas utilizadas por la gran mayoría de la población refleja la alta energía requerida para abastecimiento de agua en las fincas y granjas del sector; ahora un 59,1%, sumando los porcentajes, requieren un tiempo mayor a 3 horas. El 13,6% de la población se ve necesitado al bombeo de agua las 24 horas al día, visto en granjas avícolas o fincas donde se debe aprovechar los grandes caudales de agua en quebradas o arroyos cuando se presentan lluvias.

Figura 6-8. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 6.



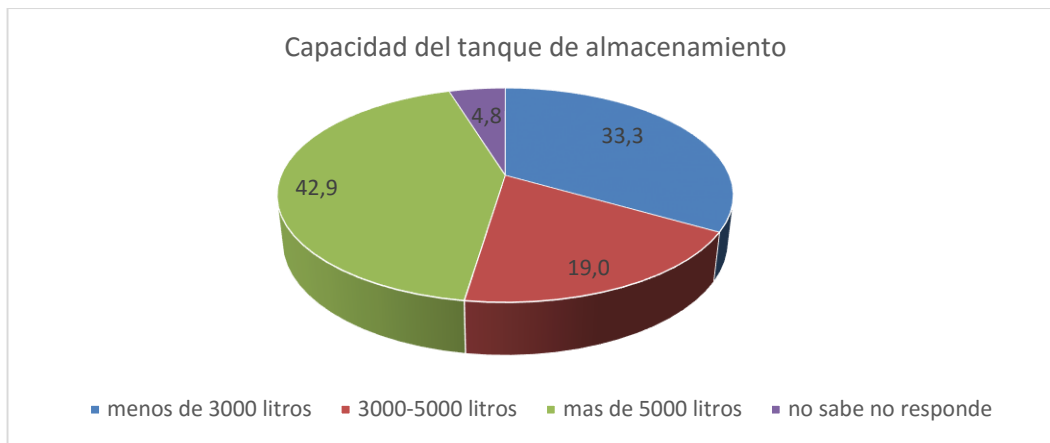
PREGUNTA 10. Análisis: El número de personas promedio que habitan en una finca del sector es de 5 a 20; un número alto que sumado con el 27,7% de las fincas donde habitan regularmente más de 20 personas, determinan un consumo necesario del recurso hídrico bastante alto para el sector. Lo que nuevamente corrobora la necesidad del uso de sistemas de bombeo para el abastecimiento de agua potable.

Figura 6-9. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 10.



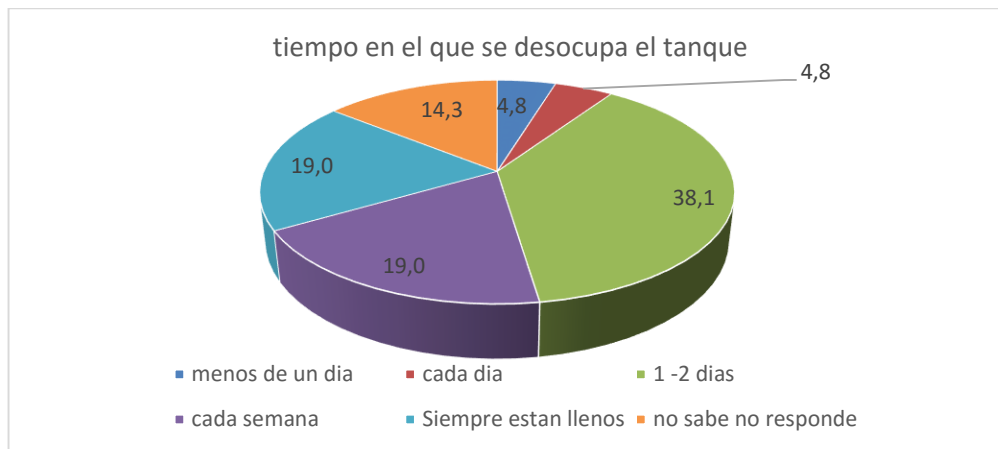
PREGUNTA 13. Análisis: El gran consumo de agua en el sector se ve reflejado en el 42,9% de almacenamiento de agua de más de 5000 litros y el 63,6% de frecuencia de bombeo diario (mostrado en el análisis de la pregunta 5). Esto muestra la alta necesidad del bombeo de agua en el sector, especialmente en granjas avícolas.

Figura 6-10. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 13.



PREGUNTA 14. Análisis: El 61,9% de los tanques de almacenamiento de agua potable utilizados actualmente tienen una capacidad de menos de 2 días de abasto, esto junto al 42,9% de almacenamiento de agua de más de 5000 litros (análisis pregunta 15) muestra nuevamente el alto consumo de agua en el sector.

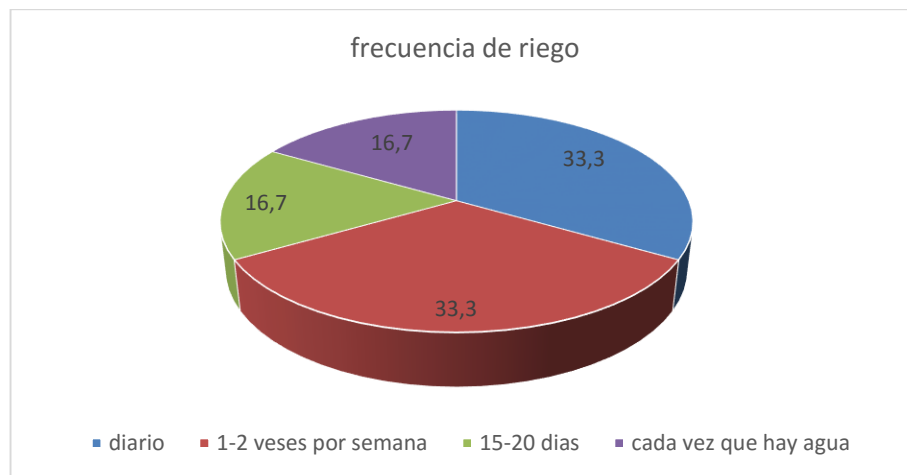
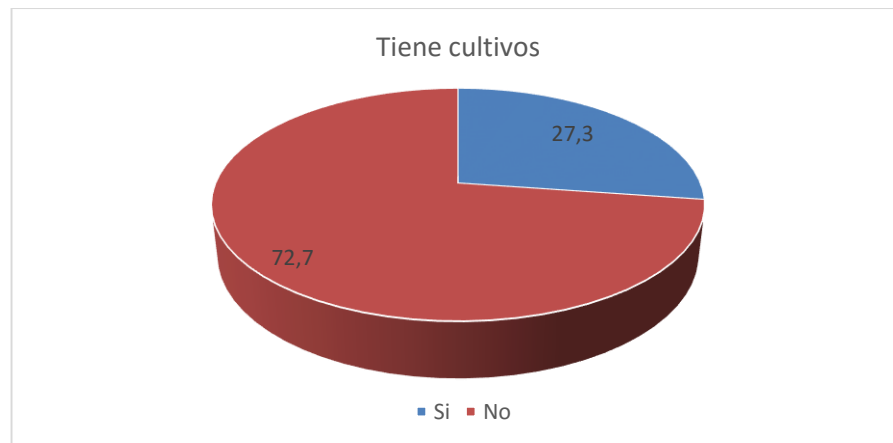
Figura 6-11. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 14.



PREGUNTA 15. Análisis: Sólo un 27,3% de las fincas encuestadas se dedican a la agricultura o siembra de pasto de corte, esto debido a la escases de agua que afronta la región y a las medidas de ahorro del recurso y multas generadas por la alcaldía del

municipio, por ende en el 33,3% de las fincas donde si se tiene cultivos el riego es de 1 a 2 veces por semana, aunque como se pudo notar no en todas las fincas se tienen en cuenta estas medidas de ahorro. Un 16,7% de las fincas donde hay cultivos se limita el riego sólo cuando se cuente con precipitaciones de lluvia.

Figura 6-12. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 15.



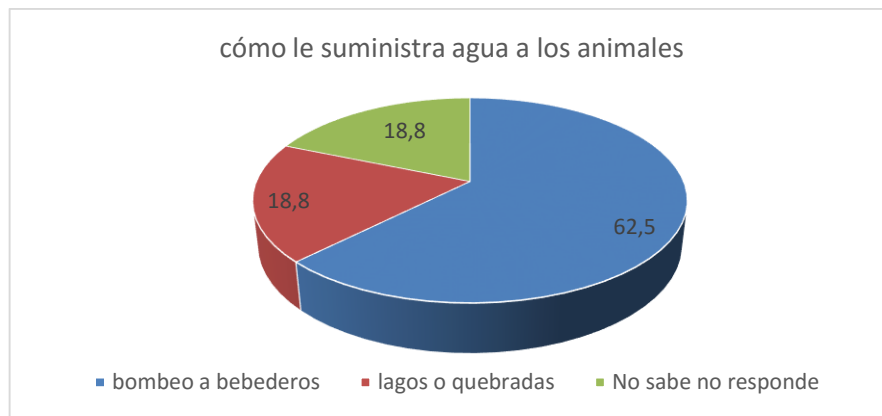
PREGUNTA 16. Análisis: Más del 50% de las fincas y granjas del sector se dedican a la ganadería y avicultura. Mediante la realización de la encuesta se pudo notar que en el sector existe un alto número de avícolas que a su vez se dedican a la ganadería, cabe notar que el consumo de agua de las avícolas muy alto en comparación a un finca tradicional, los requerimientos del bombeo de agua es mayor en estas granjas hasta el punto en que en algunas de ellas se ve la necesidad de traer el recurso hídrico mediante carro tanques por las limitaciones del agua en las granjas con respecto al consumo de las aves.

Figura 6-13. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 16.



PREGUNTA 17. Análisis: Más del 50% de las fincas y granjas donde tienen unidades animales requiere del bombeo de agua a bebederos, en el caso de las avícolas. Para la producción ganadera no es necesario el bombeo y se recurre al desplazamiento de los animales a los lagos artificiales, quebradas o arroyos.

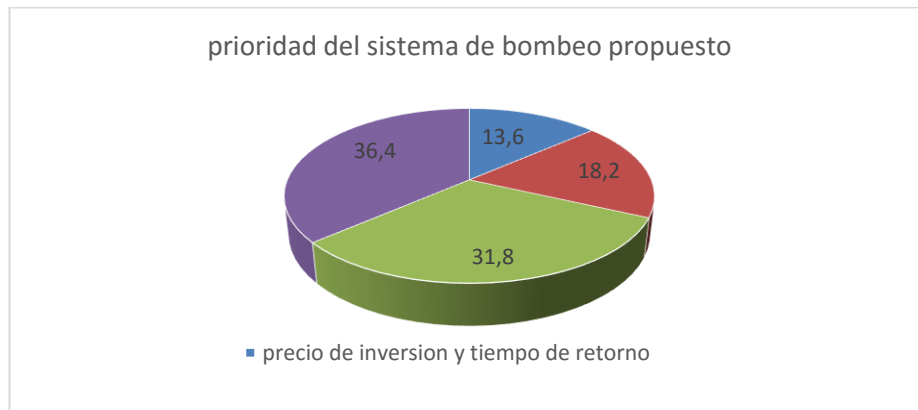
Figura 6-14. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 17.



PREGUNTA 18. Análisis: Para el 50% de los encuestados la prioridad del sistema de bombeo propuesto en este proyecto es la durabilidad, confianza y eficiencia (que encierra el tiempo de bombeo requerido) que pueda ofrecer el sistema, sobre el precio de inversión y el tiempo de retorno. Se puede concluir que la necesidad del bombeo confiable y eficiente del agua es la prioridad para la mayoría de la población del sector de acuerdo a las problemáticas que afrontan para tener acceso al recurso hídrico. No se

puede dejar un lado el 36,4% para el cual la prioridad es el precio de inversión con respecto al tiempo de retorno, por tanto el dimensionamiento del sistema deberá ser no solo viable técnicamente sino económicamente.

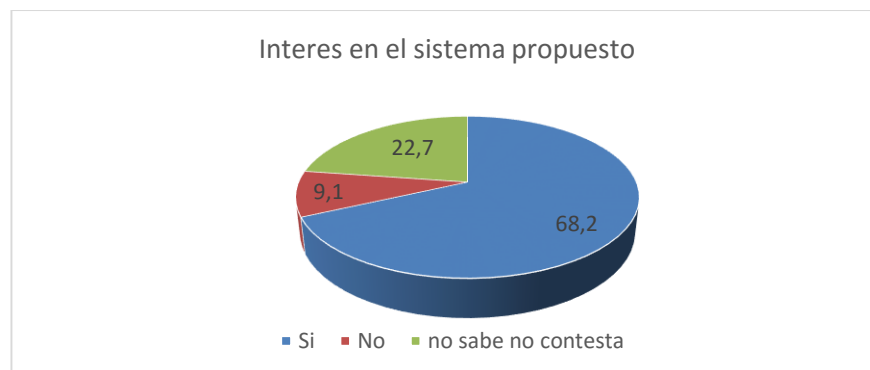
Figura 6-15. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 18.



PREGUNTA 19. Análisis: Más 50% de los encuestados mostraron interés en el sistema propuesto en este proyecto. En el proceso de la realización de la encuesta y socialización con los propietarios del sector se concluye que para las fincas medianas comunes en el sector y granjas avícolas el interés radica en reducir o eliminar los costos de energía eléctrica pagados al operador de red por la utilización de equipos de bombeo y costos adicionales que deben asumir para adquirir el recurso hídrico (compra y el traslado de agua mediante carro tanques en las avícolas); para conjuntos residenciales se mostró interés en este sistema como iniciativa de aplicación de energías limpias en el sector.

Observación: En más del 20% de las fincas no se trató con los propietarios ni administradores que pudieran dar respuesta a la pregunta.

Figura 6-16. Gráficos de porcentajes del análisis de la pregunta 19.



7. PRESUPUESTO.

El presupuesto de los materiales seleccionados se muestra a continuación exceptuando la motobomba sumergible, la tubería de polietileno de 2" utilizada para el riego y la de pvc de 1", ya que estas se encuentran instaladas actualmente en sus puntos de utilización.

Tabla 7-1. Presupuesto General.

PRESUPUESTO GENERAL		
NOMBRE	Sistema autónomo para bombeo utilizando generadores fotovoltaicos	
UBICACIÓN	FINCA BELLA VIRGINIA, MESA DE LOS SANTOS, SANTANDER	
UNIDADES CONSTRUCTIVAS	UC.1	\$ 2.127.644
	UC.2	\$ 10.149.961
	UC.3	\$ 1.622.964
	UC.4	\$ 795.923
	Transporte	\$ 400.000
	Sub Total	\$ 15.096.492
	IMPREVISTOS (2%)	\$ 301.930
	TOTAL	\$ 15.398.421

A continuación se muestra la lista de recursos y las herramientas utilizadas:

Tabla 7-2. Herramientas utilizadas en la implementación el sistema de bombeo solar.

HERRAMIENTAS			
H.1	Guadaña	H.9	Remachadora
H.2	Pica	H.10	Nivel
H.3	Pala	H.11	Metro
H.4	Llave inglesa	H.12	Martillo

Continuación Tabla 7.2

HERRAMIENTAS			
H.5	Pinza amperimetrica	H.13	Taladro eléctrico
H.6	Pinzas	H.14	Brocas de pared
H.7	Alicate	H.15	Destornillador cabeza de estrella
H.8	Barra	H.16	Pegamento para tuberías PVC.

Tabla 7-3. Lista de recursos.

Ítem	DESCRIPCION	un	CANT	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Aislador tipo barril 35 mm	uni	4	\$ 3.300	\$ 13.200
2	Bomba superficial 1 HP BARNES EE 1.5 10-1	uni	1	\$ 440.800	\$ 440.800
3	Bornera porta fusible 22-12 AWG	uni	9	\$ 12.600	\$ 113.400
4	Breaker Bipolar 2x16A C60N Schneider Electric	uni	3	\$ 51.000	\$ 153.000
5	Cable solar 7 hilos 14 AWG	m	50	\$ 950	\$ 47.500
6	Cable solar 7 hilos 6 AWG	m	50	\$ 5.300	\$ 265.000
7	Cable THHN 10 AWG negro	m	40	\$ 2.300	\$ 92.000
8	Cable THHN 10 AWG Blanco	m	40	\$ 2.000	\$ 80.000
9	Cable THHN 10 AWG verde	m	55	\$ 2.300	\$ 126.500
10	Cable THHN 8 AWG negro	m	40	\$ 2.900	\$ 116.000
11	Cable THHN 8 AWG blanco	m	40	\$ 2.900	\$ 116.000
12	cable THHN 8 AWG verde	m	40	\$ 2.900	\$ 116.000
13	Codo de 45° 1"	uni	2	\$ 1.600	\$ 3.200
14	Codo de 90° 1"	uni	3	\$ 1.600	\$ 4.800
15	Cofre intemperie 40x45x20 cms	uni	1	\$ 119.249	\$ 119.249
16	Conector fotovoltaico PV-MC4 macho/hembra	uni	24	\$ 20.500	\$ 492.000
17	Conector killer Nº 8 14 AWG	uni	18	\$ 3.900	\$ 70.200
18	Curva conduit pvc de 1/2"	uni	4	\$ 500	\$ 2.000
19	Curva conduit pvc de 3/4"	uni	4	\$ 400	\$ 1.600
20	Estructura de hormigón completos de 2 mandíbulas de fijación del módulo fotovoltaico OMEGA	uni	9	\$ 82.620	\$ 743.580

Continuación Tabla 7-3.

Ítem	DESCRIPCION	un	CANT	V. UNITARIO	V. TOTAL
21	Fusible vidrio 15 A para bornera	uni	9	\$ 200	\$ 1.800
22	INVERSOR GELA GS 3K	uni	1	\$ 1.716.986	\$ 1.716.986
23	Mandíbula en aluminio - (OMEGA)	uni	18	\$ 12.382	\$ 222.876
24	Panel solar UPSOLAR de 250W	uni	9	\$ 887.465	\$ 7.987.185
25	Pareja de conectores MC4 Solar PV T-branch for solar system macho +hembra	uni	8	\$ 25.944	\$ 207.552
26	Platina cobre 1/8 * 3/4	uni	1	\$ 20.500	\$ 20.500
27	Prensa estopa plástica	uni	20	\$ 1.700	\$ 34.000
28	Riel Din	uni	1	\$ 4.900	\$ 4.900
29	Sección de acrílico transparente 30x15cm x 4 mm de grosor	uni	1	\$ 22.000	\$ 22.000
30	Sensores de nivel	uni	2	\$ 38.600	\$ 77.200
31	T en línea(con circulación en derivación) 1"	uni	1	\$ 1.600	\$ 1.600
32	Tanque 2500 L	uni	1	\$ 850.000	\$ 850.000
33	Terminal aislado tipo anillo 16-14 AWG	uni	18	\$ 350	\$ 6.300
34	Tornillo de cobre para barraje cabeza hexagonal de 1/4" x 3/4 con tuerca y arandela	uni	30	\$ 1.200	\$ 36.000
35	Tornillo galvanizado cabeza hexagonal M8 x 20	uni	30	\$ 600	\$ 18.000
36	Totalizador 100A 220V Schneider Electric	uni	1	\$ 129.000	\$ 129.000
37	Tubo conduit pvc 1/2" x 3 mt.	m	14	\$ 2.900	\$ 40.600
38	Tubo conduit pvc 3/4" x 3 mt	m	17	\$ 3.600	\$ 61.200
39	Tubo o espagueti termoencogible	m	3	\$ 800	\$ 2.400
40	Tubo pvc 1"	m	10	\$ 3.100	\$ 31.000
41	Válvula tipo mariposa abierta por completo	uni	2	\$ 31.500	\$ 63.000
42	Varilla de polo a Tierra 1.80m	uni	2,00	\$ 26.000	\$ 52.000
43	Mano de obra Personal Técnico	hora	8,00	\$ 7.500	\$ 60.000
44	Mano de obra personal oficios varios	hora	20,00	\$ 2.873	\$ 57.455
				TOTAL	\$ 14.819.583

El presupuesto se dividió en unidades constructivas mostradas a continuación:

Tabla 7-4. Unidad Constructiva Montaje de Tablero Principal.

Actividad : Montaje de Tablero Principal		Unidad Constructiva: UC.1
Descripción de la actividad: Se realiza el montaje y fijación del cofre intemperie con sus rieles, portafusiles en donde se ubicaran las protecciones y el barraje de unión de los positivos provenientes de los paneles solares.		
Código	Unidades de Obra	Valor por U.O
TP1.1	Montaje y fijación del cofre intemperie con rieles, portafusiles y barraje de unión de positivos de los circuitos fotovoltaicos.	\$ 352.908
TP1.2	Montaje de protecciones e inversor en el tablero principal.	\$ 1.774.736
TOTAL		\$ 2.127.644

Tabla 7-5.Unidad Constructiva Montaje del Generador Fotovoltaico.

Actividad : Montaje del Generador Fotovoltaico		Unidad Constructiva: UC.2
Descripción de la unidad: Montaje e instalación del generador fotovoltaico con la conexión de cableado hasta el tablero y puesta a tierra de partes metálicas.		
Código	Unidades de Obra	Valor por U.O
GV2.1	Ubicación y fijación de estructuras hormigón; montaje de paneles solares en las estructuras.	\$ 8.975.886
GV2.2	Realizar la conexión paralelo según esquema, circuitos fotovoltaicos positivos hasta bornera portafusiles, de ahí a barraje positivo y de del barraje al inversor y circuito de salida negativo directamente al inversor.	\$ 1.033.002

Continuación Tabla 7-5.

Código	Unidades de Obra	Valor por U.O
GV2.3	Instalación de bajantes de puesta a tierra de estructuras metálicas del arreglo, instalación de varilla de puesta a tierra, conexión bajantes a varilla.	\$ 141.073
TOTAL		\$ 10.149.961

Tabla 7-6.Unidad Constructiva Montaje de sistema hidráulico.

Actividad : Montaje de sistema hidráulico	Unidad Constructiva: UC.3	
Descripción de la actividad: Montaje y conexión de las motobombas en el punto de captación, instalación del tanque de almacenamiento de agua.		
Código	Unidades de Obra	Valor por U.O
SH1.1	Montaje y conexión de las motobombas en el punto de captación y tubería eléctrica.	\$ 607.782
SH1.2	Instalación del tanque de almacenamiento de agua y tubería de agua.	\$ 1.015.182
TOTAL		\$ 1.622.964

Tabla 7-7. Unidad Constructiva Instalación de cableado de AC y SPT.

Actividad: Instalación de cableado de AC y SPT.	Unidad Constructiva: 04	
Descripción de la actividad: Conexión del cableado en AC aguas abajo del inversor, instalación del totalizador y protección de sobre corriente de las motobombas e instalación de las varillas a puesta a tierra con sus conductores.		
Código	Unidades de Obra	Valor por U.O
CPT1.1	Instalación de protección de sobre corriente aguas abajo y aguas arriba del inversor.	\$ 241.350
CPT1.2	Conexión del cableado en AC aguas abajo del inversor.	\$ 500.300

Continuación Tabla 7-7.

Código	Unidades de Obra	Valor por U.O
CPT1.3	Instalación de puesta a tierra de los conductores, inversor y partes metálicas del tablero.	\$ 54.273
TOTAL		\$ 795.923

A continuación se muestran las unidades de obra de cada unidad constructiva:

Tabla 7-8. Unidad de obra de TP1.1.

Unidad de obra: TP1.1						
Descripción de la actividad: Montaje y fijación del cofre intemperie con rieles, portafusibles y barraje de unión de positivos de los circuitos fotovoltaicos.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Aislador tipo barril 35 mm	Aislamiento entre barraje, acrílico y cofre metálico.	uni	4	\$ 3.300	\$ 13.200
3	Bornera porta fusible 22-12 AWG	Contiene los fusibles de protección de cada panel.	uni	9	\$ 12.600	\$ 113.400
15	Cofre intemperie 40x45x20 cms	Contiene protecciones y conexiones de los equipos al barraje.	uni	1	\$ 119.249	\$ 119.249
26	Platina cobre 1/8 * 3/4	Barraje para unión de positivos en la conexión paralelo de paneles solares.	uni	1	\$ 20.500	\$ 20.500
27	Prensa estopa plástica	Protege el cable en el punto de corte. Garantiza el nivel de protección del gabinete.	uni	10	\$ 1.700	\$ 17.000
28	Riel Din	Riel para conexión de protecciones.	uni	1	\$ 4.900	\$ 4.900
29	Sección de acrílico transparente 30x15cm x 4 mm de grosor	Para protección de contacto con barraje.	uni	1	\$ 22.000	\$ 22.000

Continuación Tabla 7-8.

Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
33	Terminal aislado tipo anillo 16-14 AWG	Conexión de cables al barraje.	uni	9	\$ 350	\$ 359
34	Tornillo de cobre para barraje cabeza hexagonal de 1/4" x 3/4 con tuerca y arandela	Conexión de cables al barraje.	uni	15	\$ 1.200	\$ 18.000
35	Tornillo galvanizado cabeza hexagonal M8 x 20	Ensamblaje de equipos	uni	28	\$ 600	\$ 16.800
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	1	\$ 7.500	\$ 7.500
H.9	Remachadora	Instalación de elementos en el tablero.				
H.10	Nivel	Nivelar el Tablero.				
H.11	Metro	Instalación del tablero en la pared.				
H.12	Martillo	Instalación del tablero en la pared.				
H.13	Taladro eléctrico	Instalación de elementos en el tablero.				
H.14	Brocas de pared	Instalación del tablero en la pared.				
					Total	\$ 352.908

Tabla 7-9. Unidad de obra de TP1.2.

Unidad de obra: TP1.2						
Descripción de la actividad: Montaje de protecciones e inversor en el tablero principal						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
4	Breaker Bipolar 2x16A C60N Schneider Electric	Protecciones aguas abajo del inversor.	uni	1	\$ 51.000	\$ 51.000

Continuación Tabla 7-9.

Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V.Unitario	V. Total
21	Fusible vidrio 15 A para bornera	Protección contra sobre corriente en cada panel solar.	uni	9	\$ 200	\$ 1.800
22	INVERSOR GELA GS 3K	Inversor DC/AC	uni	1	\$ 1.716.986	\$ 1.716.986
35	Tornillo galvanizado cabeza hexagonal M8 x 20	Fijación del panel en la pared.	uni	2	\$ 600	\$ 1.200
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	0,5	\$ 7.500	\$ 3.750
H.15	Destornillador cabeza de estrella	Ajuste de partes del Inversor.				
H.13	Taladro eléctrico	Instalación de tornillos en la pared				
H.14	Brocas de pared	Instalación de tornillos en la pared				
					Total	\$ 1.774.736

Tabla 7-10. Unidad de obra de GV2.1.

Unidad de obra: GV2.1						
Descripción de la actividad: Ubicación y fijación de estructuras hormigón; montaje de paneles solares en las estructuras.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
20	Estructura de hormigón completos de 2 mandíbulas de fijación del módulo fotovoltaico OMEGA	Estructura para montaje de paneles solares.	uni	9	\$ 82.620	\$ 743.580
23	Mandíbula en aluminio - (OMEGA)	Para la fijación de los módulos fotovoltaicos	uni	18	\$ 12.382	\$ 222.876
24	Panel solar UPSOLAR de 250W	Generación fotovoltaica	uni	9	\$ 887.465	\$ 7.987.185
35	Tornillo galvanizado cabeza hexagonal M8 x 20	Ensamblaje de equipos	uni	15	\$ 600	\$ 9.000

Continuación Tabla 7-10.

Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	1	\$ 7.500	\$ 7.500
44	Mano de obra personal oficios varios	Obrero	hora	2	\$ 2.873	\$ 5.745
H.1	Guadaña	Limpieza del terreno para instalación	uni	1		
H.2	Pica	Abrir huecos para fijación de estructura	uni	1		
H.3	Pala	Fijar tierra después del montaje de la estructura	uni	1		
H.4	Llave inglesa	Instalación de tornillos galvanizados	uni	1		
					Total	\$ 8.975.886

Tabla 7-11. Unidad de obra de GV2.2.

Unidad de obra: GV2.2						
Descripción de la actividad: Realizar la conexión paralelo según esquema, circuitos fotovoltaicos positivos hasta bornera portafusibles, de ahí a barraje positivo y de del barraje al inversor y circuito de salida negativo directamente al inversor.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
5	Cable solar 7 hilos 14 AWG	Para conexión circuitos fotovoltaicos	m	50	\$ 950	\$ 47.500
6	Cable solar 7 hilos 6 AWG	Para conexión de salida del generador fotovoltaico.	m	50	\$ 5.300	\$ 265.000
16	Conector fotovoltaico PV-MC4 macho/hembra	Terminales para cable solar	uni	24	\$ 20.500	\$ 492.000
25	Pareja de conectores MC4 Solar PV T-branch for solar system macho +hembra	Para conexión paralelo de los paneles solares.	uni	8	\$ 25.944	\$ 207.552

Continuación Tabla 7-11.

Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
27	Prensa estopa plástica	Protege el cable en el punto de corte. Garantiza el nivel de protección del gabinete.	uni	10	\$ 1.700	\$ 17.000
33	Terminal aislado tipo anillo 16-14 AWG	Conexión de cables al barraje.	uni	9	\$ 350	\$ 3.150
39	Tubo o espagueti termoencogible	Para aislamiento de conexiones eléctricas.	uni	1	\$ 800	\$ 800
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	2	\$ 7.500	\$ 15.000
H.5	Pinza amperimétrica	Medición de parámetros eléctricos	uni	1		
H.6	Pinzas	Fijación partes metalizas de conectores PV- MC4	uni	1		
H.7	Alicate	Ponchar conectores PV-MC4	uni	1		
H.4	Lave Inglesa	Ajuste del terminal aislado tipo anillo en barraje				
					Total	\$ 1.033.002

Tabla 7-12. Unidad de obra de GV2.3.

Unidad de obra: GV2.3						
Descripción de la actividad: Instalación de bajantes de puesta a tierra de estructuras metálicas del arreglo, instalación de varilla de puesta a tierra, conexión bajantes a varilla.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
9	Cable THHN 10 AWG verde	Bajantes de puesta a tierra	m	15	\$ 2.300	\$ 34.500
17	Conector killer N° 8 14 AWG	Conexión neutros y tierra	uni	18	\$ 3.900	\$ 70.200
42	Varilla de polo a Tierra 1.80m	Electrodo para puesta a tierra	uni	1	26.000,00	26.000,00
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	1	\$ 7.500	\$ 7.500

Continuación Tabla 7-12.

Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
44	Mano de obra personal oficios varios	Obrero	hora	1	\$ 2.873	\$ 2.873
H.2	Pica	Abrir hueco para enterrar la varilla de polo a tierra	uni	1		
H.8	Barra	Abrir hueco para enterrar la varilla de polo a tierra	uni	1		
H.4	Lave Inglesa	Ajuste de conectores killer	uni	1		
					Total	\$ 141.073

Tabla 7-13. Unidad de obra de CPT1.1.

Unidad de obra: CPT1.1						
Descripción de la actividad: Instalación de protección de sobrecorriente aguas abajo y aguas arriba del inversor.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V. Unitario	V. Total
4	Breaker Bipolar 2x16A C60N Schneider Electric	Protecciones aguas abajo del inversor.	uni	2	\$ 51.000	\$ 102.000
7	Cable THHN 10 AWG negro	Fase AC inversor-protección AC y protección a barraje principal.	m	1	\$ 2.300	\$ 2.300
8	Cable THHN 10 AWG Blanco	Neutro AC inversor-protección AC y protección a barraje principal.	m	1	\$ 2.000	\$ 2.000
9	Cable THHN 10 AWG verde	Tierra AC inversor-protección AC y protección a barraje principal.	m	1	\$ 2.300	\$ 2.300
36	Totalizador 100A 220V Schneider Electric	Protección aguas arriba del inversor.	uni	1	\$ 129.000	\$ 129.000
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	0,5	\$ 7.500	\$ 3.750

Continuación Tabla 7-12.

Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V.Unitario	V. Total
H.15	Destornillador cabeza de estrella	Instalación de cableado eléctrico				
H.6	Pinzas	Instalación de cableado eléctrico				
					Total	\$ 241.350

Tabla 7-14. Unidad de obra de CPT1.2.

Unidad de obra: CPT1.2						
Descripción de la actividad: Conexión del cableado en AC aguas abajo del inversor.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V.Unitario	V. Total
7	Cable THHN 10 AWG negro	Alimentador fase Motobomba sumergible 0,5 HP	m	35	\$ 2.300	\$ 80.500
8	Cable THHN 10 AWG Blanco	Alimentador neutro Motobomba sumergible 0,5 HP	m	35	\$ 2.000	\$ 70.000
9	Cable THHN 10 AWG verde	Alimentador tierra Motobomba sumergible 0,5 HP	m	35	\$ 2.300	\$ 80.500
10	Cable THHN 8 AWG negro	Alimentador fase Motobomba superficial 1 HP	m	30	\$ 2.900	\$ 87.000
11	Cable THHN 8 AWG blanco	Alimentador neutro Motobomba superficial 1 HP	m	30	\$ 2.900	\$ 87.000
12	cable THHN 8 AWG verde	Alimentador tierra Motobomba superficial 1 HP	m	30	\$ 2.900	\$ 87.000
39	Tubo o espagueti termoencogible	Para aislamiento de conexiones eléctricas.	unidad	1	\$ 800	\$ 800
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	1	\$ 7.500	\$ 7.500
H.6	Pinzas	Instalación de cableado eléctrico				
					Total	\$ 500.300

Tabla 7-15. Unidad de obra de CPT1.3.

Unidad de obra: CPT1.3						
Descripción de la actividad: Instalación de puesta a tierra de los conductores, inversor y partes metálicas del tablero.						
Ítem	Descripción	Detalle	unidad	cantidad	V.Unitario	V. Total
9	Cable THHN 10 AWG verde	Bajante de puesta a tierra del inversor y partes metálicas del tablero.	m	4	\$ 2.300	\$ 9.200
12	cable THHN 8 AWG verde	Bajante de puesta a tierra de los conductores.	m	3	\$ 2.900	\$ 8.700
42	Varilla de polo a Tierra 1.80m	Electrodo para puesta a tierra	unidad	1	26.000,00	26.000,00
43	Mano de obra Personal Técnico	Técnico	hora	1	\$ 7.500	\$ 7.500
44	Mano de obra personal oficios varios	Obrero	hora	1	\$ 2.873	\$ 2.873
H.2	Pica					
H.8	Barra					
H.6	Pinzas					
					Total	\$ 54.273

7.1 ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN (ROI).

Para analizar el retorno de inversión (ROI), se debe tener en cuenta sus dos dimensiones; reducción de costo y aumento del beneficio. La reducción de costo se calculó a partir de la cantidad de kWh que se facturan mensualmente. El consumo en la finca bella Virginia se divide entre el diario debido al gasto normal de las personas que lo habitan y el de los sistemas de bombeo, donde se incluye el hy-flo. El gasto mensual en kWh se tomó directamente de las facturas de energía eléctrica en nueve meses de estudio comprendido entre noviembre de 2014 y julio de 2015, el resultado se muestra en la figura 7-1.

En los meses de marzo, abril y mayo solo existió consumo eléctrico por sistemas de bombeo. En el resto de meses se mantiene de tres a cuatro personas tres días por semana, con lo cual se realizó un cuadro de cargas de sus gastos en la tabla 7-2. El

consumo es de aproximadamente 40 kWh/mes, por consiguiente más del 80% del total de energía consumida en el mes es debido al uso de las motobombas y el hy-flo. Entonces, con un CUv promedio de 415 \$kWh (tomado en el mismo periodo muestreado), el valor promedio pagado debido a estas cargas es de \$73.040 mensuales, o su equivalente anual \$876.480. Este valor es variable de acuerdo a las alzas del valor del kWh.

Para calcular el periodo de recuperación de la inversión se representa un diagrama de flujo neto de efectivo, en periodos anuales (ver Figura 7-2). El valor del CUv (\$kWh), para los tres primeros periodos a partir del 2016, según el ministerio de minas y energía, para estrato tres es de \$ 929. Y se tomará en los demás periodos una variación de 2% mensual sobre el CU, según lo establecido por la CREG 168 del 2008.

Figura 7-1. Consumo mensual en kWh/mes.

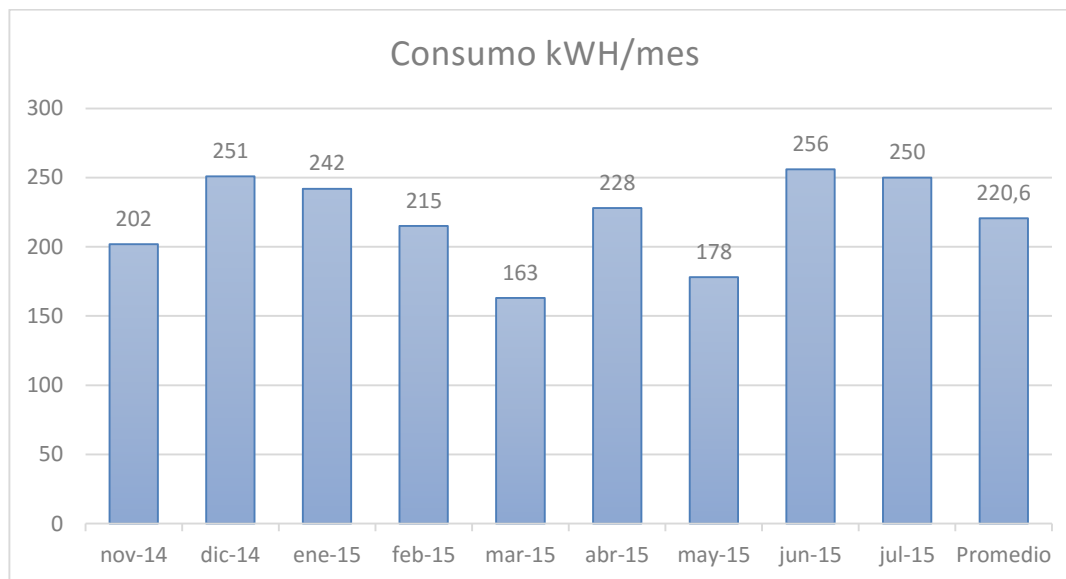


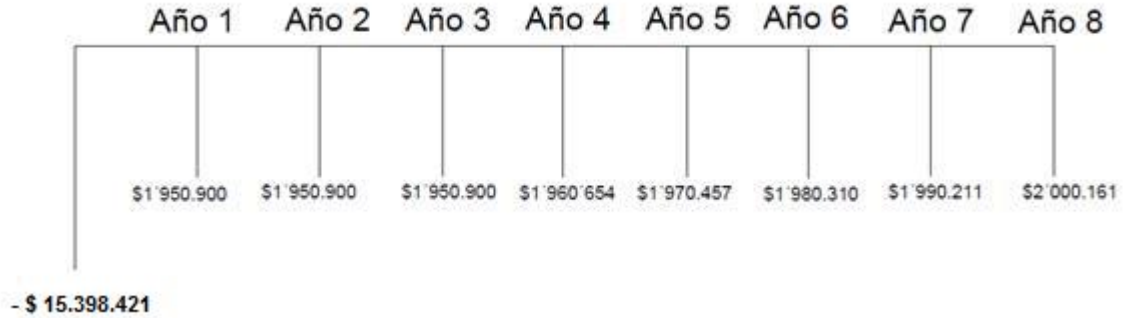
Tabla 7-16. Cuadro de carga consumo de 4 personas 3 días por semana.

Cuadro de carga				
Carga	Cantidad	Potencia W	Horas al día	kWh/día
Nevera	1	75	12	0,9
Televisor 1 CRT 21"	1	200	2	0,4
Televisor 2 CRT 21"	1	200	3	0,6
Iluminación Interior	6	25	4	0,6
Iluminación Exterior	5	25	3	0,375
Iluminación baños	3	25	1	0,075

Continuación Tabla 7-16.

Carga	Cantidad	Potencia W	Horas al día	kWh/día
Iluminación habitaciones	6	25	1	0,15
Licuada	1	350	0,25	0,0875
Lavadora	1	600	0,66	0,396
			Total día	3,1875
			Total semana	9,5625
			Total mes	38,25

Figura 7-2. Flujo neto de efectivo.



El ROI a través del aumento en el beneficio se calcula teniendo en cuenta la deducción del impuesto a la renta otorgada por la ley 1715 de 2014, artículo 11, cuyo fin es el fomento a la investigación, desarrollo e inversión en la utilización de energía a través de fuentes no convencionales de energía y la gestión eficiente. En donde se puede deducir hasta el 50% del valor total de la inversión realizada, con la condición de que el valor máximo por período gravable en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente, antes de restar la deducción.

Estos valores específicos para esos cinco periodos no se pudieron calcular ya que el dato de renta líquida gravable es de conocimiento particular y privado, y no se puede mencionar en documentos públicos, sin embargo esta reducción de impuesto acortaría el plazo de retorno de inversión.

8. CONCLUSIONES

- Las motobombas seleccionadas fueron el resultado de la caracterización específica del punto de trabajo, como resultado se obtuvo un sistema motor-bomba de menor potencia que cumple con la carga dinámica total y el caudal requerido con mejor eficiencia. Al realizar la comparación entre la motobomba de mayor carga actual instalada y la seleccionada en este proyecto se encontró que para el punto de trabajo requerido la eficiencia se mejoraría un 45.1%. Además de la reducción de pérdidas en el equipo también se reducen las pérdidas en los conductores que solo para esta carga sobrepasan los 10 KWh/año. Para la motobomba de la cisterna las pérdidas son mínimas en conductores ya que fue adquirida recientemente por el propietario y su selección fue adecuada.
- Al realizar el análisis de los datos de temperatura e irradiancia en el sector, se encontró que el nivel de radiación solar es suficiente para la instalación de este tipo de sistemas, además, los rangos de temperatura son adecuados y no se necesita realizar correcciones a la tensión de salida del arreglo. La suma de las horas de utilización de las motobombas no sobrepasan las horas pico solares, por tanto, se permite alternar el uso estas y dimensionar el arreglo fotovoltaico para la mayor carga, lo cual permitió reducir el tamaño del arreglo fotovoltaico.
- El retorno de inversión que se obtiene al implementar el sistema de bombeo solar es directamente proporcional al valor del kWh. Teniendo en cuenta el porcentaje de incremento propuesto por el ministerio de minas y energía para el presente año y un incremento mínimo de 0.5% mensual sobre el CU, se tiene un plazo de retorno de inversión de ocho periodos anuales. Lo anterior sin tener en cuenta el valor reducido en los cinco primeros periodos debido a la deducción de impuestos. Por lo tanto la implementación de este proyecto es rentable ya que la vida útil de este sistema es de aproximadamente veinte años para el generador solar y diez años para las motobombas, además los costes de mantenimiento son mínimos.
- La viabilidad de implementación del sistema dimensionado en este proyecto en otras fincas del sector se determinó a partir de los datos de la Carga Dinámica Total. Dando como resultado que el 50% de los sitios encuestados pueden implementar este mismo sistema variando solo la combinación de motobombas ya sea superficial-superficial o superficial-sumergible. Aunque este porcentaje sea alto teniendo en cuenta que se diseñó con los datos específicos de una finca, se concluye que se debe hacer un estudio detallado a cada granja, finca o parcela, para la implementación de un sistema de bombeo fotovoltaico y obtener la mejor relación rendimiento-coste.
- Como se mencionó, la Mesa de los Santos muestra una sectorización debido a la cantidad de recurso hídrico y humedad, lo cual limita la implementación del sistema de bombeo solar fotovoltaico solo al sector 1 y 2. Al realizar las encuestas la percepción de la población fue positiva y se mostró un interés por parte de los usuarios de sistemas de bombeo. En los conjuntos tipo parcelas se observó una

intensión de utilizar adecuadamente la energía y conservación de recursos; utilizando en algunos, techos verdes, sistemas de recolección de aguas lluvias, iluminación natural e incluso lámparas fotovoltaicas, despertando el interés en la utilización de generación limpia para sus motobombas.

En las granjas avícolas y fincas su interés es reducir costos, sobre todo en las granjas avícolas en donde las facturas pagadas en energía eléctrica representan el mayor gasto de su producción y cualquier implementación fotovoltaica es económicamente viable y más aun teniendo en cuenta la emisión de la ley 1715 de 2014.

- Con la implementación del sistema de bombeo autónomo con generadores fotovoltaicos se logrará la disminución a mediano plazo de los costes de energía eléctrica que ofrece el operador de red de la zona y se aumentará la eficiencia del sistema de bombeo en el sector de la Mesa de los Santos, ya que este es viable técnico-económicamente.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] A. CENGEL, Yunus, M. CIMBALA, John. Flujo en Tuberías En: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones. McGraw Hill, México, 2006. p. 341-349.
- [2] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Balance de Energía Mecánica y Rendimientos en Bombas En: Guía Técnica de Selección de Equipos de Transporte de Fluidos. Editorial IDAE, Madrid, 2012. p. 13-15.
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo. Evaluación de Sistemas De Bombeo De Agua. Iniciativa de Agua y Saneamiento Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático Washington, D.C. 2011. p. 11-12.
- [4] BERNIS FRANQUET, José María. Cálculo Hidráulico de las Conducciones Libres y Forzadas. Una aproximación de los métodos estadísticos. Universidad Internacional de Cataluña y Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña, España, 2005. p.103.
- [5] J.M, de Azevedo Netto y Acosta A, Guillermo. Manual de Hidráulica. Ed. HARLA. Sao Paulo, 1975.
- [6] L. MOT, T Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Traducido por Javier Enríquez Brito, México, 2006. p. 168.
- [7] LUSZCZEWSKI, Antoni. Redes Industriales de Tubería. Bombas para agua, Ventiladores y Compresores. Diseño y construcción. Editorial Reverte, S.A España y Reverte Ediciones, S.A. de C.V. México, 1999. p.140.
- [8] MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda edición. Ediciones del Castillo S.A. Madrid. 1986. p.108.
- [9] NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. Electrificadora de Santander. Comité de Normas, 2004.Tabla 3.10
- [10] NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. Electrificadora de Santander. Comité de Normas, 2004.Tabla 3.25
- [11] NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. Electrificadora de Santander. Comité de Normas, 2004. Tabla 3.26

- [12] NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. Electrificadora de Santander. Comité de Normas, 2004. Sección 2.1.4.2
- [13] NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. Sección 250-83
- [14] NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. Sección 690 E
- [15] NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. Sección 690-8
- [16] NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. Sección 690-8
- [17] NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. Sección 430-22 a
- [18] NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. Sección 430 c.
- [19] OROZCO FLOREZ, Martha. Cálculo de la Potencia Hidráulica o Potencia Entregada al Fluido En: Operaciones Unitarias. Editorial Limusa S.A. de C.V., Grupo Noriega Editores, México, 1996. p. 113-118.
- [20] VIEJO ZUBICARA, y Manuel, ALVAREZ FERNANDEZ, Javier. Bombas, Teoría, Diseños y Aplicaciones. Tercera Edición. Editorial Limusa, S.A. de C.V México, 2004. p. 122-123.
- [21] WILSON D, Jerry, J. BUFFA, Anthony, LOW, Bo. Física. Quinta Edición. Traducido por Roberto Luis Escalona García, Virgilio González Pozo y José de la Cera Alonso Ciudad de México, 2003. p. 335.
- [22] 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference (8-12, de Abril, 1991: Lisboa, Portugal). Status and experience of solar PV pumping in developing countries. R. Barlow, B. McNelis, A. Derrick, 1991. 2 p.
- [23] [Citado el 20 de Marzo de 2015] Disponible en <<http://climate.nasa.gov/news/2271/>>

- [24] [Citado el 20 de Marzo de 2015] Disponible en < <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> >
- [25] [Citado el 12 de Mayo de 2015] Disponible en <<http://www.novatec.cr/Utilitarios/Bombas/NPSH.pdf> >
- [26] [Citado el 17 de Mayo de 2015] Disponible en <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/InstalacionesIndustriales/Art_Interes/Tema_5.pdf >
- [27] [Citado el 01 de Junio de 2015] Disponible en <http://www.tuyper.es/opencms/export/sites/tuyper/galeria_descarga/productos/01_tuberia_PVC/03abastecimiento_riego/01Catalogo_PRESION_PVC.pdf >
- [28] [Citado el 10 de junio de 2014] Disponible en <http://www.lossantos-santander.gov.co/apc-aa-files/38366633363761366233646564663361/bHidrografia_1.pdf >
- [29] [Citado el 26 de Junio de 2015] Disponible en <http://www.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf >
- [30] [Citado el 26 de Junio de 2015] Disponible en <<http://www.cidelsa.com.pe/tuberias/Especificaciones%20Tecnicas%20ASTM.pdf> >
- [31] [Citado el 26 de Junio de 2015] Disponible en < http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/67-agua_para_bebida_de_bovinos.pdf >
- [32] [Citado el 26 de Junio de 2015] Disponible en < <http://elriego.com/informacion-tecnica/> >
- [33] [Citado el 27 de Junio de 2015] Disponible en < http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/osorio_e_fj/capitulo3.pdf >
- [34] [Citado el 14 de Julio de 2014] Disponible en < http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/68418T7T000.PDF >

BIBLIOGRAFIA

A. CENGEL, Yunus, M. CIMBALA, John. Flujo en Tuberías En: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones. McGraw Hill, México, 2006. p. 341-349.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Balance de Energía Mecánica y Rendimientos en Bombas En: Guía Técnica de Selección de Equipos de Transporte de Fluidos. Editorial IDAE, Madrid, 2012. p. 13-15.

Banco Interamericano de Desarrollo. Evaluación de Sistemas De Bombeo De Agua. Iniciativa de Agua y Saneamiento Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático Washington, D.C. 2011.

NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. Electrificadora de Santander. Comité de Normas, 2004.

NORMA TECNICA COLOMBIANA. Código Eléctrico Colombiano. NTC 2050. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998.

ANEXOS

Ver Anexos en carpeta adjunta en el CD.