

EVALUACIÓN TÉCNICO - FINANCIERA DEL USO DE PANELES SOLARES EN
UN SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO, COMO ESTRATEGIA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA Y DE LOS COSTOS OPERATIVOS.

KATHERINE ORJUELA VELASQUEZ
JEISON HERNAN VANEGAS REYES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ
2019

EVALUACIÓN TÉCNICO - FINANCIERA DEL USO DE PANELES SOLARES EN
UN SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO, COMO ESTRATEGIA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA Y DE LOS COSTOS OPERATIVOS.

KATHERINE ORJUELA VELASQUEZ
JEISON HERNAN VANEGAS REYES

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director
Ing. Lina María Ladrón de Guevara Rangel
Ingeniera ambiental

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ
2019

Nota de aceptación

Ingeniero Edinson Enrique Jimenez

Ingeniero Nelson Fernandez Barrero

Bogotá D.C., agosto 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la institucional y rector del claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Postgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería de petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRIGUEZ ESPARZA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Dedico este logro a mi linda familia, mi abuela Teresa Velasquez y mi madre Claribel Orjuela que sin ellas nada de esto sería posible gracias por su lucha, esfuerzo, y llevarme a ser la mujer que hoy soy, llenándome de ejemplos y grandes valores, agradezco su amor, paciencia y todo el apoyo brindado las amo.

A mi novio Wilfer Rivera que puso toda su disposición y paciencia para conmigo y por su apoyo incondicional.

Katherine Orjuela Velasquez

Quiero dedicarles este logro a mis padres Blanca Reyes y Federico Vanegas por ser mi mayor orgullo y ejemplo a seguir, a mis hermanos por su apoyo constante, a mi novia Catalina Herrera por sus valiosos consejos y por brindarme día a día las fuerzas necesarias para culminar mi carrera universitaria.

Jeison Hernán Vanegas Reyes

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, por sus consejos, por su comprensión, paciencia y por permitirnos lograr una de las más importantes metas de nuestras vidas.

A SERINPET LTDA. Por brindarnos la oportunidad de realizar el presente proyecto, con una asesoría integral y colocar a nuestra disposición los recursos técnicos y humanos para culminar el proyecto a feliz término.

A nuestra directora del proyecto: Ingeniera Lina María Ladrón de Guevara quien hizo parte fundamental del presente proyecto, por su paciencia, orientación, dedicación y aporte de todos sus conocimientos durante todo el proceso de su realización.

A él ingeniero Alejandro Ladrón de Guevara por abrirnos las puertas de su compañía, facilitándonos el acceso a capacitaciones que nos permitieron comprender el correcto uso de la unidad utilizada en el proyecto.

A Benjamín Alexis Garavito Linares, ingeniero de petróleos de ACIPET, por su asesoría brindada en la búsqueda y realización del tema para nuestro proyecto de grado.

A DEL RIO S.A.S. por su capacitación sobre el tema de energía solar fotovoltaica, proporcionándonos herramientas fundamentales para el diseño del sistema de paneles solares y su funcionamiento.

A la ingeniera Yatnielah Isbel Pirela Roper, por el tiempo y dedicación que se tomó para orientarnos en cada paso de nuestro proyecto, aconsejándonos y colaborándonos para la culminación del mismo.

Al ingeniero de petróleos Sebastián Alejandro Gómez Alba y a la geóloga Adriana por su motivación y oportunas correcciones para finalizar el proyecto de la mejor manera.

A la Universidad de América, por contribuir con nuestra formación académica y darnos las herramientas necesarias para el desarrollo y culminación del presente proyecto, y así prepararnos para nuestro futuro profesional como Ingenieros de Petróleos íntegros.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	24
1. ENERGÍA SOLAR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
1.1 CARACTERÍSTICAS Y GENERALIDADES DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS	25
1.2 HISTORIA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	25
1.3 DESARROLLO EN EL MUNDO	26
1.4 DESARROLLO EN COLOMBIA	28
1.5 ENERGÍA SOLAR	35
1.6 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	36
1.6.1. Funcionamiento.	37
1.6.2. Ventajas y Desventajas.	37
1.7 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	38
1.7.1. Sistemas conectados a la red eléctrica	38
1.7.2. Sistema fotovoltaico aislado.	40
1.7.3. Sistema fotovoltaico hibrido	41
1.8 TIPOS DE PANELES	42
1.8.1. Paneles solares policristalinos	42
1.8.2. Paneles solares monocristalinos	43
1.9 TIPOS DE BATERÍAS O ACUMULADORES	45
1.9.1. Estacionarios.	45
1.9.2. De arranque.	45
1.9.3. Batería de plomo acido	45
1.9.4. Batería de plomo antimonio	45
1.10 INVERSORES	45
1.10.1. Convertidor corriente continua –corriente continua	45
1.10.2. Convertidor de corriente continua- corriente alterna.	46
1.11 INSTALACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO.	46
1.11.1. Cálculo de paneles solares	46
1.11.1.2. Energía consumida	46
1.11.1.3. Consumo de energía diario.	46
1.11.1.4. Consumo energético total	47
1.11.1.5. Calculo de radiación solar diaria	47
1.11.1.6. Horas de sol pico (HSP).	47
1.11.1.7. Número de paneles solares (NPS).	48

1.11.2. Cálculo de baterías	48
1.11.3. Calculo de potencia convertidores.	49
1.12 LEY 1715 DEL AÑO 2014	49
2. SISTEMA DE BOMBEO MECANICO	52
2.1 GENERALIDADES	52
2.2 FUNCIONAMIENTO	52
2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO	53
2.3.1 Equipos de Superficie	53
2.3.1.1 Motor.	53
2.3.1.2 Unidad de Bombeo Superficial.	53
2.3.1.3 Cabezal y Conexiones Superficiales.	53
2.3.1.4 Barra Pulida	53
2.3.2 Equipos de Subsuelo	53
2.3.2.1 Sarta de Varillas.	53
2.3.2.2 Bombas de Subsuelo.	54
2.4 TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO	54
2.4.1 Unidad de Bombeo Convencional	54
2.4.2 Unidad de Bombeo Mark II.	56
2.4.3 Unidades Balanceadas Por Aire	57
2.4.4 Unidad de Bombeo Rotaflex	58
2.4.5 Unidad Hidráulica de Bombeo Mecánico	59
2.5 Unidad Hidráulica de Bombeo Mecánico modelo A1-2-60-2 SERINPET	60
2.5.1 Descripción Técnica de la unidad	60
2.5.2 Componentes UHBM.	61
2.5.2.1 Unidad Hidráulica de Potencia.	61
2.5.2.2 Pedestal.	62
2.5.3 Importancia del aceite hidráulico en el funcionamiento de la unidad	63
2.5.4 Mantenimiento de la unidad.	63
2.5.5 Ventajas	64
3. SELECCIÓN DEL POZO Y DISEÑO DEL SISTEMA NO CONVENCIONAL	66
3.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN.	66
3.1.1 Selección del pozo	67
3.1.1.1 Niveles de radiación solar Cimitarra Santander	67
3.1.2 Bases de datos ANH.	67
3.1.3 Banco de información petrolera.	68
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA ENERGIZAR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	70
3.2.1 Cantidad de paneles solares	70
3.2.1.1 Conversión de unidades.	70

3.2.1.2	Cálculo de consumo real.	70
3.2.1.3	Energía consumida.	70
3.2.1.4	Cálculo de energía diaria.	71
3.2.1.5	Niveles de radiación solar Cimitarra Santander.	71
3.2.1.6	Horas de sol pico.	72
3.2.1.7	Numero de paneles solares	72
3.2.1.8	Cantidad de baterías.	72
3.2.1.9	Diseño completo.	73
4.	SIMULACIÓN DE LA UNIDAD HIDRAULICA DE BOMBEO MECANICO	
UHBM I: A1-2-60-2		74
4.1	GENERALIDADES DEL SOFTWARE RODSTAR	75
4.2	PASO A PASO IMPLEMENTACIÓN DE LA SIMULACIÓN UTILIZANDO SOFTWARE RODSTAR	76
4.2.1	Resultados SIMULACIÓN (24 HORAS)	80
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
5.	ANÁLISIS FINANCIERO	82
5.1	COSTOS UNIDAD DE BOMBEO HIDRÁULICO 5 HP CONECTADO A REDES NACIONALES.	82
5.1.1	Costo energía eléctrica.	82
5.1.1.1	Conversión de unidades.	82
5.1.1.2	Consumo real 5Hp diario	83
5.1.1.3	Precio por kWh/día Santander.	83
5.1.1.4	Precio total por año	83
5.1.3.1	Proyección costo energía eléctrica a 5 años	83
5.1.2	Costo de mantenimiento preventivo	84
5.1.3	Costos unidad de bombeo hidráulico 1 hp / paneles solares.	85
5.1.3.1	Valor de la unidad de bombeo hidráulico 1Hp	85
5.1.3.2.	Costo mantenimiento preventivo de la bomba hidráulica 1Hp	85
5.1.4	Costo instalación paneles solares	87
5.2	EGRESOS.	87
5.2.1	Egresos unidad 5Hp	87
5.2.2	Egresos unidad 1Hp	88
5.3	INGRESOS.	89
5.4	FLUJO DE CAJA	89
5.5	EVALUACIÓN FINANCIERA.	91
5.5.1	Tasa interna de oportunidad (TIO)	91
5.5.2	Valor presente neto (VPN).	92
5.5.3.	TIR (tasa interna de retorno).	92
5.6	ANÁLISIS	93
5.7	ANÁLISIS TRIBUTARIO LEY 1715 2014	93

6.	CONCLUSIONES	94
7.	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFIA	97
	ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa radiación solar mundial	28
Figura 2. Radiación solar Colombia	29
Figura 3. Promedio anual de horas de sol al día región caribe	30
Figura 4. Promedio anual de horas de sol al día región andina	31
Figura 5. Promedio anual de horas de sol al día región pacifica	32
Figura 6. Promedio anual de horas de sol al día región amazonia	33
Figura 7. Promedio anual de horas de sol al día región Orinoquía	34
Figura 8. Esquema semiconductor	36
Figura 9. Esquema paneles solares	37
Figura 10. Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica	39
Figura 11. Sistema fotovoltaico aislado	40
Figura 12. Sistema fotovoltaico hibrido	41
Figura 13. Panel solar policristalino	43
Figura 14. Panel solar monocristalino	44
Figura 15. Estimación de radiación solar	47
Figura 16. Numero de ciclos vs profundidad de descarga	49
Figura 17. Ciclo de funcionamiento del sistema de bombeo mecánico	52
Figura 18. Unidad de Bombeo Mecánico Convencional	55
Figura 19. Unidad de Bombeo Mecánico Mark II	56
Figura 20. Unidad de bombeo balanceada por aire	57
Figura 21. Unidad de bombeo Rotaflex	58
Figura 22. Unidad de bombeo hidráulico	60
Figura 23. Partes del tren motor	61
Figura 24. Unidad de potencia hidráulica	62
Figura 25. Actuador Hidráulico y Pedestal	63
Figura 26. Datos de producción para equipo encendido 24 horas	66
Figura 27. Niveles radiación solar Cimitarra-Santander	67
Figura 28. Datos diarios de producción Campo Opon Enero – agosto 2018	68
Figura 29. Cuenca valle medio del magdalena, campo Opón	69
Figura 30. Diseño panel solar con tráiler	74
Figura 31. RODSTAR	76
Figura 32. Información inicial Lilia 5 en RODSTAR	77
Figura 33. Información de producción Lilia 5 RODSTAR	78
Figura 34. Información de la bomba pozo Lilia 5 RODSTAR	78
Figura 35. Información sarta de varillas pozo Lilia 5 RODSTAR	79
Figura 36. Selección de la unidad hidráulica de bombeo mecánico	80
Figura 37. Tabla de resultados RODSTAR	80
Figura 38. Flujo de caja unidad 5Hp	90
Figura 39. Flujo de caja unidad 1Hp	91

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas sistema fotovoltaico	38
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema de bombeo convencional	55
Tabla 3. Ventajas y desventajas unidad de Bombeo Mark II	57
Tabla 4. Ventajas y desventajas unidad de bombeo por aire.	58
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la unidad Rotaflex	59
Tabla 6. Mantenimiento UHBM	64
Tabla 7. Niveles de radiación anuales campo Opón	65
Tabla 8. Datos iniciales para la corrida	77
Tabla 9. Proyección precio energía eléctrica a 5 años	84
Tabla 10. Presupuesto repuestos unidad hidráulica 5Hp	84
Tabla 11. Proyección del mantenimiento a 3 años unidad 5Hp	85
Tabla 12. Presupuesto repuestos unidad hidráulica 1Hp	86
Tabla 13. Proyección del mantenimiento a 3 años unidad 1Hp	87
Tabla 14. Costo sistema fotovoltaico	87
Tabla 15. Egresos unidad 5Hp año 0	88
Tabla 16. Egresos unidad 1Hp año 0	88
Tabla 17. Ingresos del proyecto	90
Tabla 18. Flujo de caja unidad hidráulica 5 Hp	90
Tabla 19. Flujo de caja unidad hidráulica 1 Hp	91

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Consumo real	46
Ecuación 2. Energía consumida	46
Ecuación 3. Consumo energético diario	47
Ecuación 4. Horas de sol pico	48
Ecuación 5. Numero de paneles solares	48
Ecuación 6. Cantidad de baterías	48
Ecuación 7. Potencia del convertido	49
Ecuación 8. Ingresos	89
Ecuación 9. Flujo de caja neto	89
Ecuación 10. Valor presente neto	92
Ecuación 11. Tasa interna de retorno	93

LISTA DE CÁLCULOS

pág.

Cálculo 1. Conversión Hp a Watts	70
Cálculo 2. Consumo real UHBM	70
Cálculo 3. Energía consumida por hora	71
Cálculo 4. Cálculo de energía diaria	71
Cálculo 5. Determinación HSP	72
Cálculo 6. Determinación número de paneles solares	72
Cálculo 7. Cantidad de baterías	73
Cálculo 8. Potencia del inversor	73
Cálculo 9. Conversión unidades Hp a watts	83
Cálculo 10. Consumo real unidad 5Hp	83
Cálculo 11. Consumo energético diario 5Hp	83
Cálculo 12. Precio de kWh por año	83

ABREVIATURAS

°API: gravedad API.
°C: grados Celsius.
°F: grados Fahrenheit.
Bbl: barriles.
BPD: barriles por día.
BPDC: barriles de petróleo producido por día
cm³: centímetros cúbicos.
Ft: pies.
Ft²: pies cuadrados.
HSP: horas de sol pico
H: hora
Kwh: kilowatt por hora.
Hp: caballos de fuerza.
Kg: kilogramos
Lbs: libras
LBF: libra Fuerza
Mwh: megavatios por hora.
M²: metro cuadrado
Pulg: pulgada
RPM: revoluciones Por Minuto
SPM: strokes por minuto
V: voltios
W: watt.
Wh: watt por hora

GLOSARIO

BARRA PULIDA: es una pieza sólida en acero que se mueve dentro de la tubería, es la conexión entre el equipo de superficie y de subsuelo su función principal es soportar el peso de la sarta de varillas, de la bomba y del fluido de la tubería.

BIMODAL: dos periodos de alta y dos de baja irradiación solar durante el año.

BOMBA DE FONDO: equipo que da la energía necesaria para producir los fluidos del fondo del pozo a superficie. Funciona bajo el principio de desplazamiento positivo y es de tipo pistón. Sus partes básicas son el cilindro, el émbolo y dos válvulas de bola.

BOMBEO MECÁNICO: un sistema de bombeo para operaciones de levantamiento artificial que utiliza una fuente de energía de superficie para accionar un arreglo de bomba de fondo de pozo. Un arreglo de balancín y manivela genera un movimiento alternativo en una sarta de varillas de bombeo que se conecta al arreglo de bomba de fondo de pozo. La bomba contiene un arreglo de pistón y válvulas para convertir el movimiento alternativo en movimiento vertical de los fluidos.

CORRIENTE ALTERNA: corriente eléctrica variable de forma cíclica con respecto a su magnitud y a su dirección.

CORRIENTE CONTINUA: corriente de intensidad constante en la que el movimiento de las cargas es en el mismo sentido.

DISPERSIÓN: es el fenómeno por el cual distintas longitudes de onda se refractan con ángulos distintos al atravesar medios materiales.

ENERGÍA SOLAR: es un tipo de energía renovable que se genera a partir del sol debido a su radiación electromagnética, luz, calor y rayos ultravioleta, El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).

GRAVEDAD API: sus siglas American Petroleum Institute, es una media de densidad, que, en comparación con el agua a temperaturas iguales, determinan que tan pesado o liviano es el petróleo.

LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL: sistema de equipos utilizados para asegurar la producción de fluidos desde el fondo del pozo hasta la superficie cuando esta no es suficiente para que el pozo fluya por sí solo. Ejemplos de estos sistemas son: bombeo mecánico, bombeo electro sumergible, levantamiento asistido con gas, bombeo hidráulico, bombeo de cavidades progresivas y/o la combinación de estos.

MONOMODAL: trata de un periodo de alta y uno de baja irradiación solar durante el año.

PEDESTAL: es una estructura metálica que se ensambla en la cabeza del pozo

Incluye base, cables, sensores, finales de carrera y mangueras, se encarga principalmente de soportar el peso de las varillas y de conducir las mangueras del sistema hidráulico para inyectar el fluido en fondo

POTENCIA: es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo, puede asociarse a la velocidad de un cambio de energía dentro de un sistema.

POZO: es una obra de ingeniería encaminada a poner en contacto un yacimiento DE hidrocarburos con la superficie, Es una perforación efectuada en el subsuelo con barrenas de diferentes diámetros y con revestimiento de tuberías, a diversas profundidades, para la prospección o explotación de yacimientos.

RADIACIÓN SOLAR: conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un Cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatios por metro cuadrado).

RADIACIÓN DIRECTA: es aquella que se obtiene directamente del sol.

RADIACIÓN DIFUSA: es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor.

RADIACIÓN REFLEJADA: es como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más recibe

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA: es la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm ($1,5 \times 10^{-8}$ m).

UNIDAD HIDRÁULICA DE BOMBEO MECÁNICO: basa su funcionamiento en la presión hidráulica generada por una bomba conectada a un motor de combustión interna o eléctrico que le supe energía, llena un recipiente cilíndrico que levanta y recoge un pistón al momento de la carga y descarga transmitiendo este movimiento recíprocante a la barra pulida mediante bridas que se sujetan al elevador acoplado a dicha barra manteniendo el _ de bombeo mecánico no-convencional.

VOLTAJE: denominado también como *tensión* o *diferencia de potenciales* una

magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica se mide en voltios.

ZONA RADIATIVA: es una capa en el interior de una estrella en donde la energía es transportada principalmente hacia el exterior por medio de difusión radiactiva, más que por convección.

ZONA CONVECTIVA: es el rango de radios en los que la energía es transportada principalmente por medio de convección. En contraste, en la zona radiativa, la energía se transporta por radiación. La convección estelar consiste de movimiento de masa de plasma dentro de la estrella, el cual usualmente forma patrones de corriente circulares en donde el plasma caliente asciende y el plasma frío desciende.

RESUMEN

El propósito del presente proyecto está basado en una evaluación técnico financiera, para hacer uso de paneles solares con el fin de energizar una unidad hidráulica de bombeo mecánico y facilitar la producción en pozos que tienen difícil acceso o alejados de redes eléctricas nacionales.

En primer lugar, se especifican las características y generalidades de la energía solar fotovoltaica y de los paneles solares. Se muestra en el marco teórico los inicios de las celdas fotovoltaicas, el desarrollo en el mundo y el desarrollo en Colombia. Se describe tipos de sistemas fotovoltaicos, tipos de paneles solares y a partir de ahí se selecciona el más adecuado de acuerdo a las características necesarias, ventajas, desventajas, por último, se da a conocer la ley 1715 del año 2014 la cual se enfoca en los beneficios tributarios para la industria de hidrocarburos.

Posteriormente se describirán características y generalidades del sistema de bombeo mecánico, allí se mostrará porqué la unidad hidráulica de bombeo mecánico UHBM I: A1-2-60-2 e la empresa SERINPET tiene mayores ventajas con respecto a la convencional.

Se hará la selección de un pozo de acuerdo a las características de localización, profundidad y °API que se ajustan a los parámetros de funcionamiento de la unidad. Seguido a la selección del pozo se hará el diseño de los paneles solares necesarios para energizar dicha unidad.

Se evaluará el pozo mediante el software RODSTAR y se realizará una simulación con la unidad hidráulica de bombeo mecánico de la empresa SERINPET de 1 hp para el sistema a 24 horas. Finalmente, con el indicador financiero seleccionado de valor presente neto se evaluará si el proyecto es viable.

Palabras claves: Bombeo mecánico, Unidad hidráulica de bombeo mecánico Paneles solares, energías solar fotovoltaica y crudos livianos.

ABSTRACT

The purpose of the present project is based on a technical financial evaluation, to make use of solar panels in order to energize a hydraulic mechanical pumping unit and facilitate production in wells that are difficult to access or away from national electricity networks.

First, the characteristics and generalities of photovoltaic solar energy and solar panels are specified. The beginnings of photovoltaic cells, development in the world and development in Colombia are shown in the theoretical framework. It describes types of photovoltaic systems, types of solar panels and from there the most suitable one is selected according to the necessary characteristics, advantages, disadvantages, finally it is announced the law 1715 of the year 2014 which focuses on the benefits tributaries for the hydrocarbon industry.

Later, characteristics and generalities of the mechanical pumping system will be described, there will be shown why the hydraulic pumping unit UHBM I: A1-2-60-2 e the SERINPET LTDA., company has greater advantages than the conventional one.

The selection of a well will be made according to the characteristics of location, depth and °API that adjust to the operating parameters of the unit. Following the selection of the well, the design of the solar panels necessary to energize said unit will be made.

The well will be evaluated using the RODSTAR software and a simulation will be carried out with the hydraulic pumping unit of SERINPET of 1 hp for the system at 24 hours. Finally, with the selected financial indicator of net present value, it will be evaluated if the project is viable.

Keywords: Mechanical pumping, Hydraulic pumping unit, Solar panels, Photovoltaic solar energy and light crude oil.

INTRODUCCIÓN

El sol es la fuente de energía con mayor potencial que cuenta la humanidad, la cual no ha sido aprovechada totalmente, dada esta oportunidad se buscan alternativas para satisfacer la demanda energética con la que se cuenta a nivel mundial y a la vez lograr una disminución de la contaminación ambiental. Esta demanda energética se encuentra cubierta principalmente por el sistema interconectado nacional o por plantas de diésel. Colombia cuenta con un gran potencial de energía solar debido a su posición geográfica, gracias a esto se evalúa el uso de los paneles solares para suplir esta necesidad.

Continuamente se ha presentado en la industria de hidrocarburos el difícil acceso a pozos que se encuentran alejados de centros urbanos y que cuentan con un difícil acceso a redes eléctricas. Es por este motivo que el presente proyecto se enfoca en un estudio para pozos que se encuentren bajo el mecanismo de producción primaria y que permitan energizar unidades hidráulicas de bombeo mecánico con paneles solares.

El bombeo mecánico es el mecanismo de producción artificial más usado en el mundo. Su operación se basa principalmente en una bomba de subsuelo con acción recíproca, la cual recibe la energía producida en superficie por medio de una sarta de varillas, energía que proviene generalmente de un motor de combustión interna o eléctrica. Este proyecto evalúa técnicamente la unidad de UHBM I: A1-2-60-2 que proporciona la empresa SERINPET Ltda., la cual posee grandes ventajas ante las unidades de bombeo mecánico convencionales, lo cual representa mayor eficiencia de operación.

Para el presente proyecto el pozo seleccionado es el Lilia 5 situado en el Campo Opon y operado en la actualidad por Petrocolombia S.A. Este pozo es el candidato ideal ya que cumple con las características necesarias para la unidad hidráulica de bombeo mecánico UHBM I: A1-2-60-2 de la empresa SERINPET Ltda, unidad que cuenta con un caballo de potencia, para su selección se tienen en cuenta los parámetros de profundidad y tipo de crudo que produce.

Se analiza el pozo Lilia 5 con el uso del software RODSTAR simulador que permite predecir la producción que tendrá el pozo y analizar el diseño de sistemas de bombeo mecánico, se analizará un escenario el cual se centra principalmente en la unidad produciendo 24 horas.

También se identifica los beneficios tributarios que ofrece el gobierno por implementar este tipo de proyectos. Por último, se realiza un estudio financiero del proyecto mediante el indicador Valor Presente Neto (VPN) para identificar si esta la viabilidad del proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnico - financieramente el uso de paneles solares en un sistema de bombeo mecánico, como estrategia para la optimización de la eficiencia y de los costos operativos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Especificar las características, funcionamiento y marco legal del diseño de paneles solares.
2. Describir las características y el funcionamiento del equipo de bombeo mecánico utilizado por la empresa Serinpet Ltda.
3. Describir el sistema de producción de bombeo mecánico energizado con paneles solares, mediante una ingeniería básica mostrando la construcción del diseño.
4. Seleccionar un pozo que, por sus características de producción diaria, profundidad y ubicación sea un candidato ideal para la aplicación del sistema.
5. Evaluar mediante el software RODSTAR el comportamiento de producción del sistema de bombeo mecánico.
6. Evaluar financieramente el uso de paneles solares en un sistema de bombeo mecánico, como estrategia para la optimización de la eficiencia y de los costos operativos mediante el uso del indicador financiero valor presente neto.

1. ENERGÍA SOLAR Y SISTEMA FOTOVOLTAICO

En el presente capítulo se ostentarán las características, generalidades y funcionamiento de las celdas fotovoltaicas. Se explicará el proceso a través del cual los paneles solares transforman la luz solar en electricidad y sus características, mostrando el más apropiado para el desarrollo del presente proyecto. Con ello se expondrán las oportunidades para la industria de hidrocarburos basados en la normativa vigente legal (Ley 1715 del año 2014).

1.1 CARACTERÍSTICAS Y GENERALIDADES DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable o limpia que es proporcionada por el sol debido a la radiación electromagnética. La tecnología fotovoltaica se encarga de convertir la luz solar en energía. Esta energía se identifica como el recurso sostenible de las necesidades futuras de energía en el mundo, donde surge como una alternativa para el consumo de energía eléctrica de manera responsable.

1.2 HISTORIA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica aparece por primera vez en la historia en el año de 1838 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel quien se dedicó al estudio del espectro solar, el magnetismo y efecto fotovoltaico. Edmon creó la primera celda fotovoltaica del mundo, donde usó cloruro de plata para recubrir los electrodos de platino, logrando que los electrodos se iluminaran y generaran voltaje junto con corriente.

En 1878 el inglés William Grylls Adams descubre que si se exponía selenio a la luz solar se generaba electricidad, creando de esta forma la primera celda fotovoltaica de selenio.

En 1953 Calvin Fuller, Gerald Pearson y Daryl Chapinn perfeccionaron este método y crearon las celdas de silicio, donde se logró determinar que esta producía la cantidad de electricidad necesaria para hacer funcionar dispositivos eléctricos¹.

¹OVIEDO-Salazar et al. Historia y uso de energías Renovables [En línea]. Vol. 10. San Nicolás de los Garza, N.L., México, 2015. [Citado el 10 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://ezproxy.uamerica.edu.co:2118/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=f1a64d3e-750e-4e15-ad38-17a8def1ff81%40sdc-v-sessmgr01> ISSN1870-557

En cuanto a la industria de hidrocarburos cabe señalar que se implementa este tipo de tecnología en su mayoría para lugares de difícil acceso a redes eléctricas, al implementar esta tecnología se disminuye la contaminación ambiental y se mejoran los costos asociados.

En 1973 se instalaron en el golfo de México celdas fotovoltaicas para energizar las boyas alrededor del área del bloque 24L, donde se demostró que los paneles solares eran de las mejores alternativas para reemplazar los sistemas de baterías primarias y que los costos de operación eran más bajos.²

Para el año 2006 se evaluó una técnica para la protección catódica utilizando energía solar fotovoltaica con el objetivo de proteger el revestimiento contra la corrosión, principalmente en ambientes marinos. Esta corriente es aplicada durante las horas del día y la producción adicional se almacena en baterías para ser usada durante las horas que no se encuentra expuesta a la luz proveniente del sol.

De esta manera las celdas fotovoltaicas comenzaron a ser usadas como proveedores de energía eléctrica. A partir de estos diseños iniciales la eficiencia de las celdas no ha dejado de crecer y cada día se extiende más en distintos campos de aplicación³.

1.3 DESARROLLO EN EL MUNDO

La energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles esto equivale aproximadamente a un 81%, lo que indica que el 19% restante proviene de energías renovables. En menor medida se aprovecha la energía proveniente del sol y la energía fotovoltaica se considera una de las aplicaciones más adecuadas para utilizar en áreas rurales o que se encuentran alejadas de redes eléctricas nacionales.

Las cantidades de radiación expresadas en términos de irradiación expresadas en el tiempo como: $\frac{\text{energía}}{\text{area}}$ las unidades utilizadas son el kWh/m² por día o por año.

Como se puede ver en la figura 1 no todas las áreas reciben la misma cantidad de radiación solar. La irradiación recibida promedio por año se encuentra entre un máximo de 2200 y 2500 kWh/ m²., mientras que el promedio diario a nivel mundial

² CRABTREE, Reece. Offshore Applications for Solar Energy Cells [En línea]. Houston, Texas., Estados Unidos, 1976 [Consultado el 23 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-2579-MS>

³ KESSLER, Richard, POWERS, Rodney, LASA, Ivan, Intermittent Cathodic Protection Using Solar Power, [En línea] San Diego, California, Estados Unidos, 1998 [Consultado el 23 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/NACE-98651>

está en 4 kWh/ m². Los valores máximos se concentran en las zonas entre los 15° y 30° de latitud, debido a que los rayos solares llegan a la superficie terrestre en forma más perpendicular que sobre otras latitudes, principalmente en las épocas de verano de cada hemisferio. En la noche polar de cada hemisferio, la radiación solar es cercana a cero. En el día polar la radiación solar en los polos es equivalente a la radiación solar de latitudes medias del hemisferio opuesto, pero las temperaturas no son equivalentes, y por ende en los días polares las temperaturas son iguales o menores a 0 °C.⁴

La dependencia a nivel mundial del petróleo ha generado que muchos países tengan la necesidad de iniciar el uso de energías renovables. Países como China, Alemania, España y Estados Unidos son pioneros en el desarrollo de las mayores capacidades instaladas en tecnologías para el aprovechamiento de energía solar.

La figura 1 corresponde al potencial de radiación a nivel mundial, dados los buenos potenciales de radiación. Según la IRENA (International Renewable Energy Agency) por sus siglas en inglés, la energía solar fotovoltaica es la energía solar más utilizada en los últimos 15 años⁵.

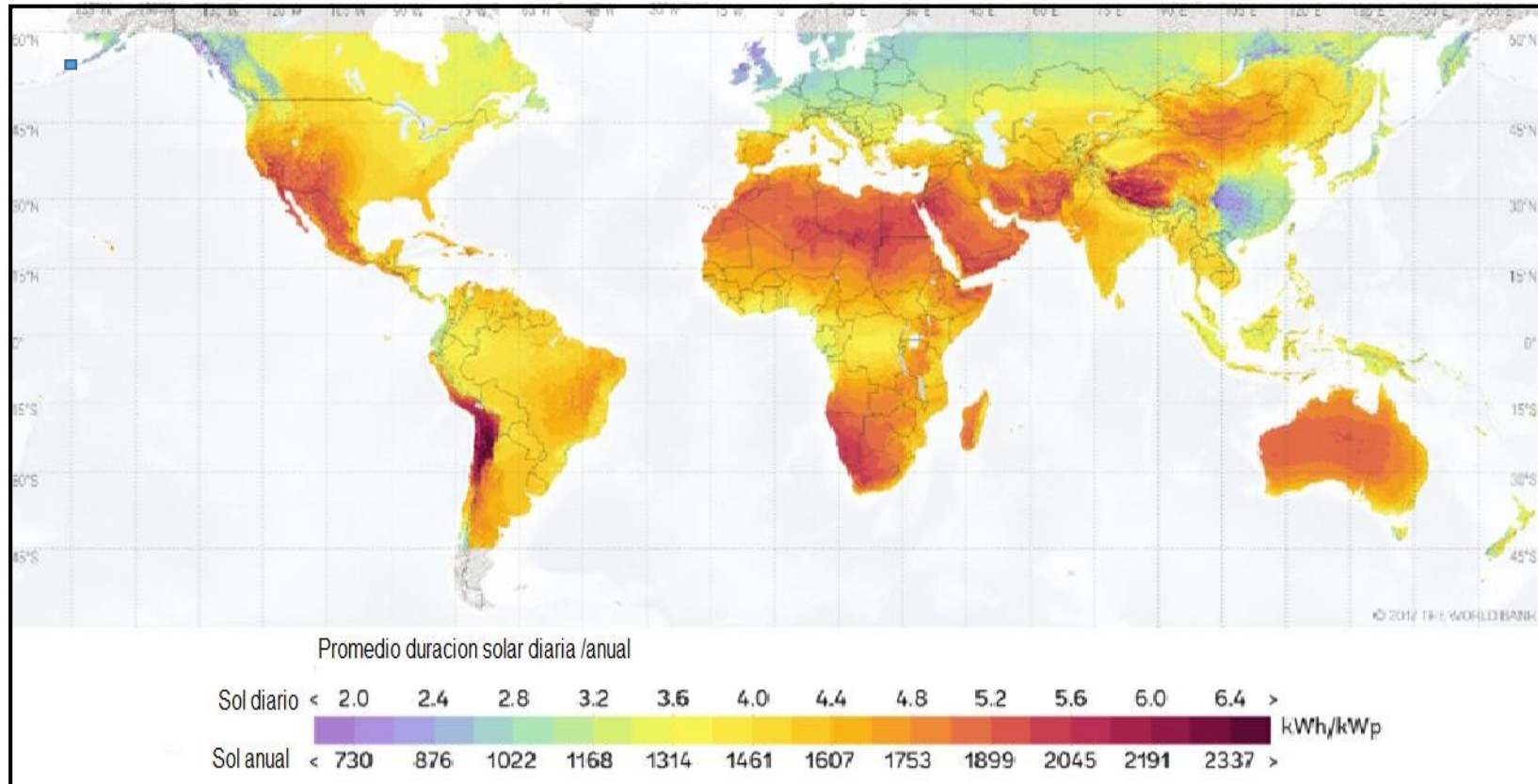
Un ejemplo de cómo se puede utilizar la energía fotovoltaica en el desarrollo de los campos petroleros está en África Aghar. Para el año 2017 este campo de petróleo pesado, ubicado a 130 km al sur de la ciudad de El-Alamein (North Cost) en el desierto occidental de Egipto, contaba con 65 pozos perforados donde se consumían más de 2,5 MW de potencia. Se hizo un piloto de investigación para implementar un sistema de energía solar fotovoltaica y así compartir la carga del generador diésel. Se determinó que este lugar es uno de los mejores perfiles con excelente presencia de luz solar sobre año⁶

⁴INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consulta 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

⁵ IRENA.[Sitio web].publications,[consulta: 20 de marzo de 2019] disponible en: <https://www.irena.org/>

⁶ ELSOHUENI, M, KHALIL, A, Photovoltaic/Gen-Set Hybrid System at Egyptian Western Desert,[En línea], Ravenna, Italia, 2017 [Consulta el 22de marzo de 2019] Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OMC-2017-671>

Figura 1. Mapa radiación solar mundial

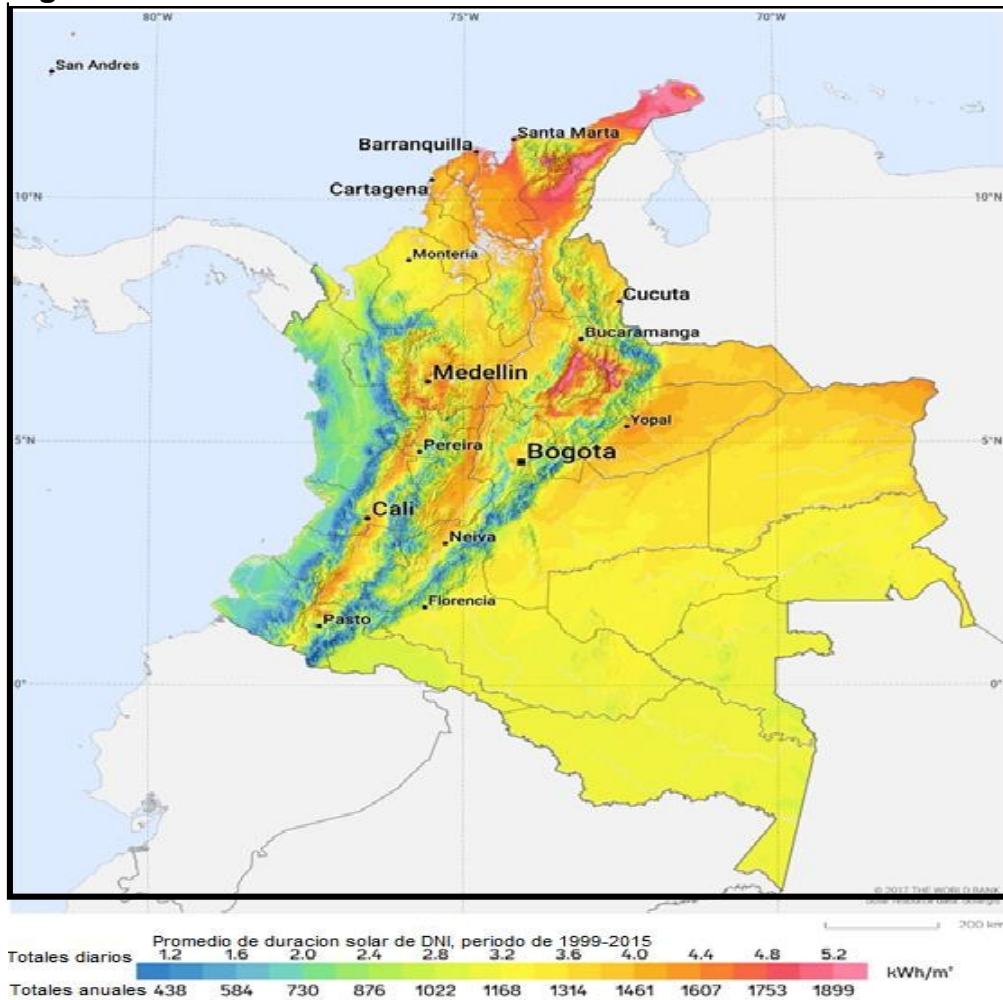


Fuente. SOLARGIS. [Sitio web], Mapas potencial solar fotovoltaico. Disponible en: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/>

1.4 DESARROLLO EN COLOMBIA

Colombia tiene grandes ventajas a nivel energético, debido a que está ubicada en la zona ecuatorial. Cuenta con climas y ecosistemas variados favoreciendo la generación de energía solar. Como se muestra en la figura 2 las zonas con mayor radiación solar se encuentran con niveles superiores a los 4,5 kWh/m² por día.⁷

Figura 2. Radiación solar



Fuente. SOLARGIS [Sitio web], Mapas potencial solar fotovoltaico. Disponible en: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/colombia>.

⁷ GIRALDO, María, et al. LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS ¿UNA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA? [En línea]. Vol. 9.[En línea], Bogotá, Colombia, 2018 [Citado el 24 de marzo de 2019] Disponible en: <http://ezproxy.uamerica.edu.co:2109/eds/detail/detail?vid=4&sid=e786b5ef-0f49-4019-bb3c-92c477114edc%40sessionmgr103&bdata=Jmxhbm9ZXMm2i0ZT1lZHMtY2ZlZS929wZT1zaXRi#AN=131896274&db=bthl> SSN:0123-580X

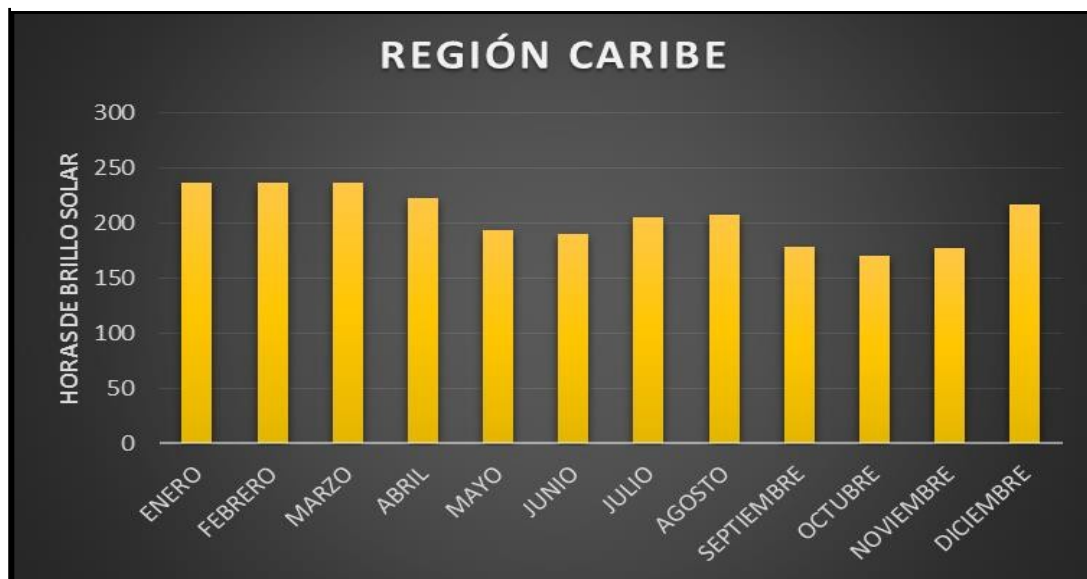
Para el promedio de las horas de sol anuales, se hace una descripción del comportamiento de las regiones del país, donde se manifiestan los picos más altos y bajos de la radiación solar durante el año y se muestran a continuación.

- **Región caribe:** en esta región se presenta un comportamiento bimodal donde los promedios más altos de irradiación solar se encuentran en los comienzos del mes de febrero y a mitad del año en los meses de julio y agosto. Los meses con menor promedio de irradiación son de abril a mayo y entre septiembre a noviembre.

En San Andrés y Providencia tienen un comportamiento bimodal máximo entre los meses de marzo a mayo y entre julio y agosto, y los mínimos se dan entre julio, octubre y diciembre.

En la **figura 3** se muestra el promedio de las horas de sol al día. Para determinar esta grafica se utilizaron las principales ciudades de la región. (Riohacha, Providencia, Barranquilla, Sincelejo y San Andrés).

Figura 3. Promedio anual de horas de sol al día región caribe



Fuente: elaboración propia, con base en: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

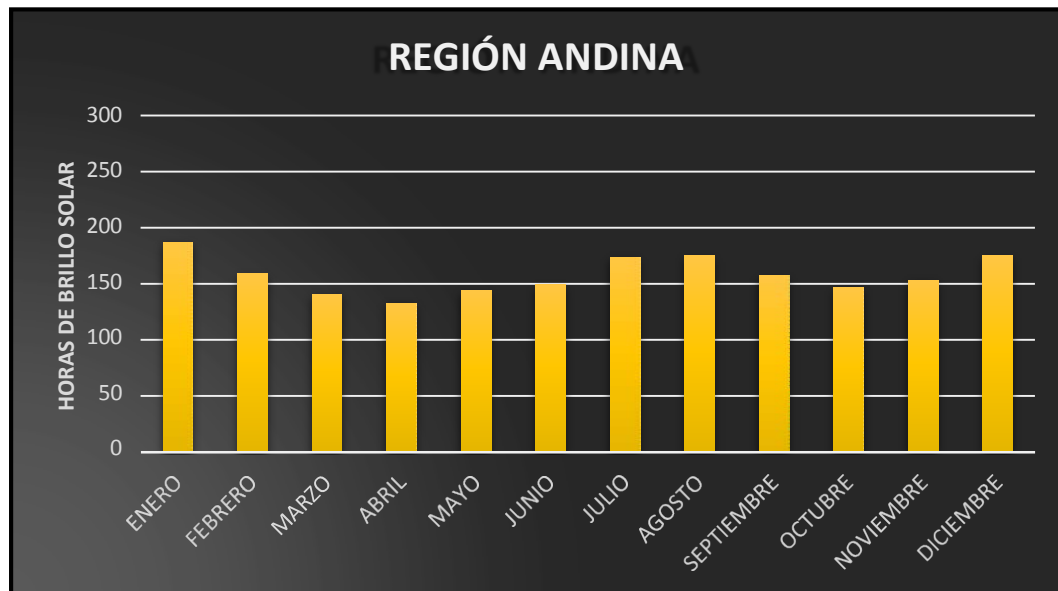
- **Región Andina:** esta región muestra un comportamiento bimodal, indica que los

meses con valores más altos son entre enero a febrero y entre julio y agosto. los meses con los valores más bajos de irradiación ocurren en abril, mayo, octubre y noviembre.

En algunas estaciones de Nariño se presenta un comportamiento monomodal con valores más bajos a principios y finales del año y más altos entre julio y septiembre⁸.

En la **figura 4** muestra el promedio de horas de sol al día. Para esta figura se incluyeron las principales ciudades de la región (Cúcuta, Bucaramanga, Ibagué, Medellín Y Tunja).

Figura 4. Promedio anual de horas de sol al día región andina



Fuente: elaboración propia, con base en: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

- **Región Pacífica:** esta región en el norte muestra un comportamiento monomodal, con los valores más altos de radiación en los primeros meses del

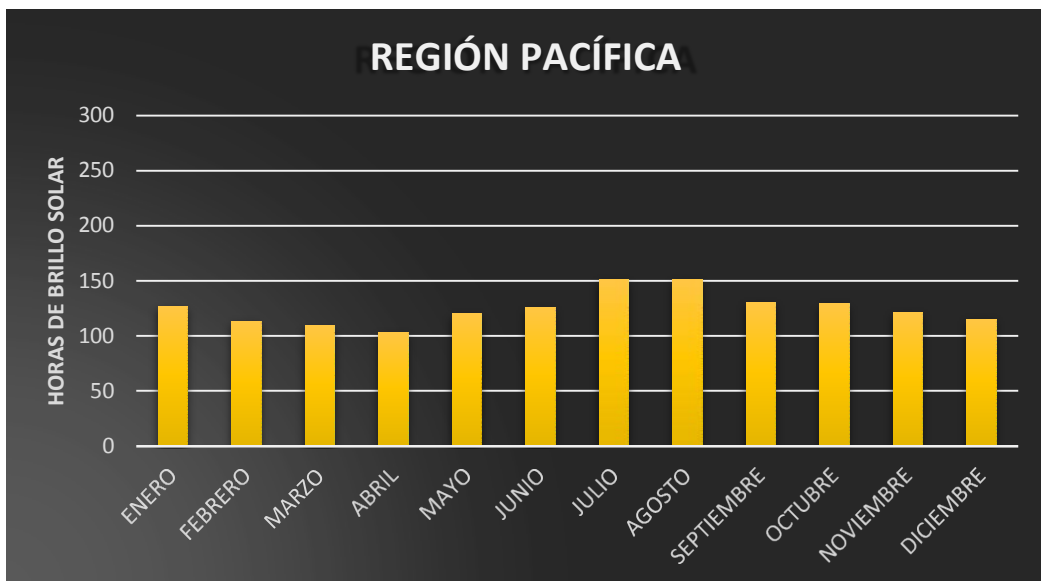
⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

año. Los valores más bajos se presentan a mediados y finales del año.

Para el resto de la región se muestra un comportamiento bimodal con promedios altos de marzo a mayo y entre agosto y septiembre, mientras que los valores más bajos se presentan a mediados y finales del año.

En la **figura 5** se muestra el promedio de horas de sol al día, para esta figura se incluyeron las principales ciudades de la región (Quibdó, Popayán, Cali y Pasto).

Figura 5. Promedio anual de horas de sol al día región pacífica

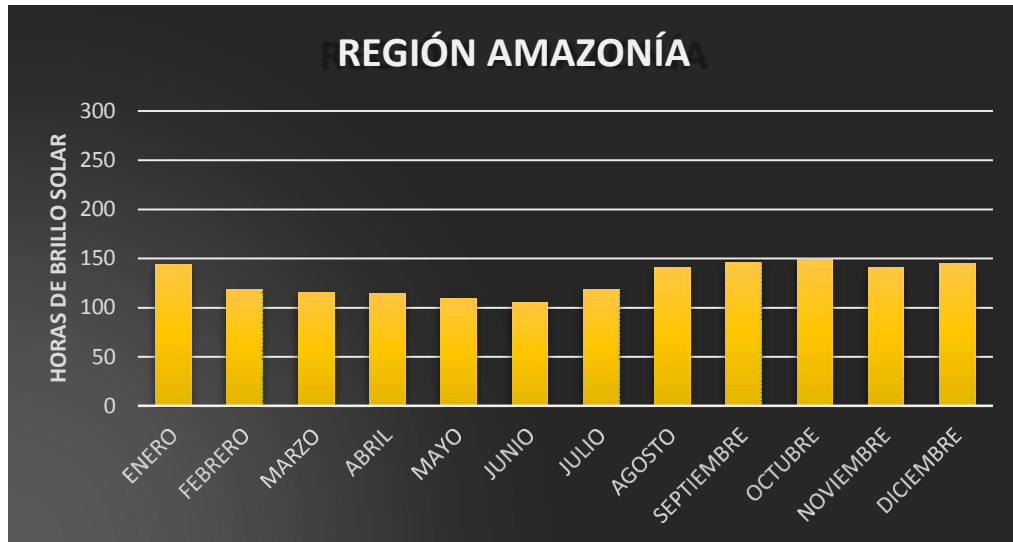


Fuente: elaboración propia, con base en: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

- **Región Amazonía:** esta región tiene un comportamiento monomodal. En el área sur de la región los valores más altos se dan en el mes de junio a julio mientras que los para los más bajos a finales del año. Para el resto de la región se presenta un comportamiento contrario con el área del sur.

En la **figura 6** Se muestra el promedio de horas de sol al día, para lograr esta figura se incluyeron las principales ciudades de la región (Mocoa, Florencia, Leticia, Mitú Y San José Del Guaviare).

Figura 6. Promedio anual de horas de sol al día región amazonia

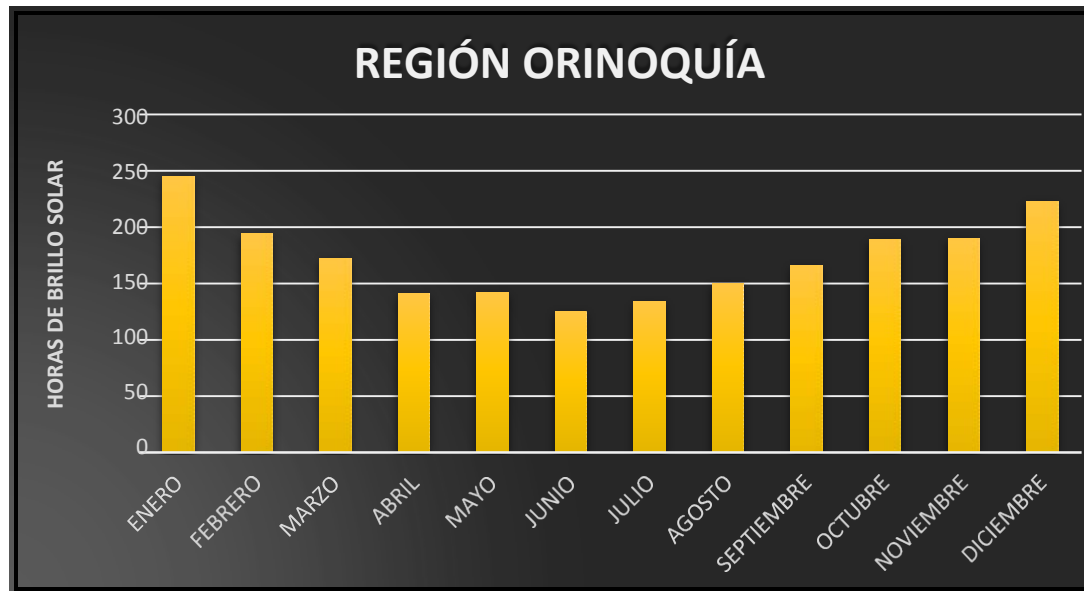


Fuente: elaboración propia, con base en: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

- **Región Orinoquía:** gran parte de la región presenta un comportamiento monomodal con valores más altos a principios y finales del año y bajos a mediados del año.

En la **figura 7** se muestra el promedio de las horas de sol al día. Para lograr esta figura se utilizaron los valores utilizando el promedio de las principales ciudades de la región (Arauca, Yopal, Puerto Carreño Y Villavicencio).

Figura 7. Promedio anual de horas de sol al día región Orinoquía



Fuente: elaboración propia, con base en: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

La zona del magdalena, Guajira y San Andrés y Providencia presentan mayor promedio de radiación solar un valor estimado entre 5 y 6 kWh/m² la zona de Casanare, Arauca, Guainía, Guaviare, Amazonas, Putumayo y Vaupés con radiaciones de 4 a 5 kWh/m² y las zonas del pacifico donde se presentan los menores promedios de radicación solar muy inferiores a 3 kWh/m².

El INEA (instituto de ciencias nucleares y energías alternativas) realizo un estudio “censo y evaluación de los sistemas fotovoltaicos en Colombia” donde logro estimar que se encuentran cerca de 48500 módulos fotovoltaicos instalados donde representan un ahorro energético en fuentes convencionales de energía cerca de 2,85 MWh por año.⁹

Se destaca el sistema hibrido demostrativo solar fotovoltaico, en el hospital de Nazareth en la Guajira, este ha traído grandes beneficios a la región, la planta solar más grande del país se encuentra en Barranquilla en la cubierta del éxito panorama, donde se utilizaron 6.300 m² y se instalaron 2.070 paneles de silicio de la marca Yingli. La cual representa el 24% de la energía del almacén.

⁹ NEA, Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia. [sitio web], Bogotá[23 de marzo de 2019].Archivo pdf, Disponible en: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/CENSO%20Y%20EVALUACION%20DE%20SISTEMAS%20SOLARES%20FOTOVOLTAICOS%20INSTALADOS%20EN%20COLOMBIA%20INEA%201996.pdf>

Se han ido investigando desarrollos y mejoras en cuanto a energías renovables donde su objetivo principal es alcanzar el suficiente abastecimiento de la energía eléctrica y la potencia a nivel nacional, la UPME (unidad de planeación minero energética) realiza anualmente una revisión de un plan de expansión de los recursos de generación y de redes de transmisión.

En Colombia la energía solar fotovoltaica presenta beneficios en el sector energético nacional, esto se debe que en primer lugar han venido disminuyendo los precios en especial en cuanto a los módulos fotovoltaicos y han llevado a que el costo del sistema como tal, este nivelado y resulte competitivo en algunos casos con las tarifas del mercado en especial a niveles comerciales y residenciales.

1.4 ENERGÍA SOLAR

Esta se define como la energía producida por reacciones nucleares al interior del sol, donde son transmitidas en ondas electromagnéticas a través del espacio¹⁰ donde este irradia a una tasa de $3,9 \times 10^{26}$ vatios, sobre la parte superior de la atmósfera, el planeta recibe un promedio de 367 vatios por cada metro cuadrado, donde esta puede ser convertida en diferentes tecnologías tales como:

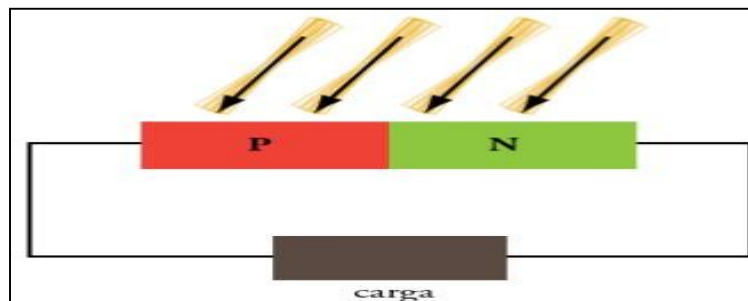
- **Energía solar pasiva** Donde esta permite la climatización e iluminación de espacios en todo tipo de construcción, haciendo uso de ventanas, cubiertas transparentes, etc., convenientemente colocadas.
- **Energía solar activa** En este tipo de tecnología se hace uso de colectores planos para el calentamiento de agua, la calefacción de espacios y la refrigeración.
- **Energía solar térmica** Este tipo de tecnología transforma la energía proveniente del sol para transferirla a un medio portador generalmente agua o aire donde esta se calienta hasta producir vapor hasta obtener energía eléctrica.
- **Energía solar fotovoltaica** Este tipo de tecnología puede convertir la luz solar directamente en electricidad mediante las celdas fotovoltaicas las cuales son dispositivos que utilizan materiales semiconductores, la producción de estos es obtenida sin generar contaminación o ruido, para este proyecto será objeto de estudio esta tecnología

¹⁰ Romero, Luis Carlos, Energías renovables: descripción, tecnología y usos finales. [sitio web], Bogotá, [consulta: 23 de marzo de 2019]. Archivo pdf. Disponibles en: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ENERGIAS%20RENOVABLES%20DESCRIPCION%20TECNOLOGIA%20USOS%20FINALES%20UPME.pdf>

1.6 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para esta tecnología la cual consiste en la transformación de energía solar en energía eléctrica, esta puede ser utilizada inmediatamente o puede que se almacene y ser utilizada cuando se necesite. El aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica se realiza por medio de un semiconductor que transforma parte de la energía recibida en corriente continua. El semiconductor se denomina célula solar la cual compone de un material al que se le han creado dos regiones, una que se podría considerar de carga positiva (P) y otra negativa (N). La unión de ambos (P, N) al ser expuestos a la radiación solar, produce una circulación de electrones y cuando se conecta una carga se produce la corriente continua¹¹ representado en la figura 7.

Figura 8. Esquema semiconductor



Fuente: Tobajas, Vázquez, Carlos. Energía solar fotovoltaica, Cano Pina, 2018. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=5349504>.

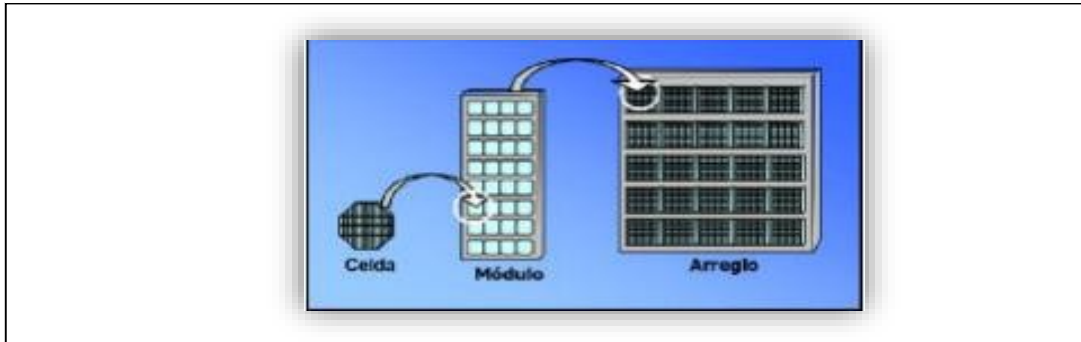
Esta tecnología alcanza eficiencias comerciales de un 30%, en sistemas de mayor potencia, es muy utilizada en la generación de electricidad en telecomunicaciones, sistemas individuales, cargadores de baterías y electrificación en zonas no interconectadas, así como en fachadas de edificaciones donde están integradas las celdas¹².

Esta genera una corriente eléctrica para uso directo o de almacenamiento, una celda típica es cuadrada, llegan a medir 10 centímetros, puede generar una potencia eléctrica hasta de un vatio. Las celdas individuales se ensamblan para formar módulos, típicamente de 10, 20 y 40 celdas, cuando se necesita generar más electricidad se agrupan los módulos para generar lo que se conoce como arreglo normalmente este puede ser de 10 módulos como se muestra en la figura 9.

¹¹ Tobajas, V. C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.c>

¹² INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consultado 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

Figura 9. Esquema paneles solares



Fuente: ¹ Romero, Luis Carlos, Energías renovables: descripción, tecnología y usos finales. [sitio web], Bogotá, [consulta: 23 de marzo de 2019]. Archivo pdf. Disponibles en: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ENERGIAS%20RENOVABLES%20DESCRIPCION%20TECNOLOGIA%20USOS%20FINALES%20UPME.pdf>

1.6.1 Funcionamiento. El sistema funciona cuando el campo de módulos fotovoltaicos los cuales se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que suministren la potencia esperada, se convierten en energía eléctrica de la energía solar que puede recibir durante el día, e a corriente se transporta o se almacena en una batería, la energía eléctrica que los módulos envían a la batería pasan por un controlador de carga la cual se encarga de proteger los elementos que estén conectados de una sobrecarga, descargas excesivas y altos voltajes.

1.6.2 Ventajas y Desventajas. Aunque la fabricación de las celdas fotovoltaicas se requiere el uso de materiales tóxicos, se considera necesario implementar este sistema ya que esta tecnología proporciona un impacto ambiental mucho menor con otras tecnologías, en la tabla 1 se presentan las ventajas y desventajas que otorga esta tecnología y se logra evidenciar que se proporcionan más ventajas que desventajas lo cual conlleva a elegir este sistema con mayor seguridad.

Tabla 1. Ventajas y desventajas sistema fotovoltaico

Ventajas	Desventajas
1. No contaminante	1. Fuente de energía intermitente depende del clima
2. Fuente inagotable de energía	2. Rendimiento energético bajo
3.No requieren combustible	3. Los costos de inversión inicial son un poco elevados
4. Sistemas silenciosos	4. Para recolectar bastante energía solar se requieren grandes extensiones de terreno
5. Una vez instalada tiene un costo energético nulo	5. Falta de elementos almacenadores económicos y fiables
6. Fácil transportación	
7. Equipo resistente al medio ambiente extremo	
8. Incentivos tributarios	
9. Evita un costoso mantenimiento a las redes eléctricas en zonas de difícil acceso	
10. Mantenimiento y costo muy bajo	
11. Sistemas sencillos y fácil de instalar	
12. Larga duración (vida útil de aproximadamente 30 años)	

Fuente: elaboración propia.

1.7 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los esquemas fotovoltaicos básicos se dividen en tres clases.

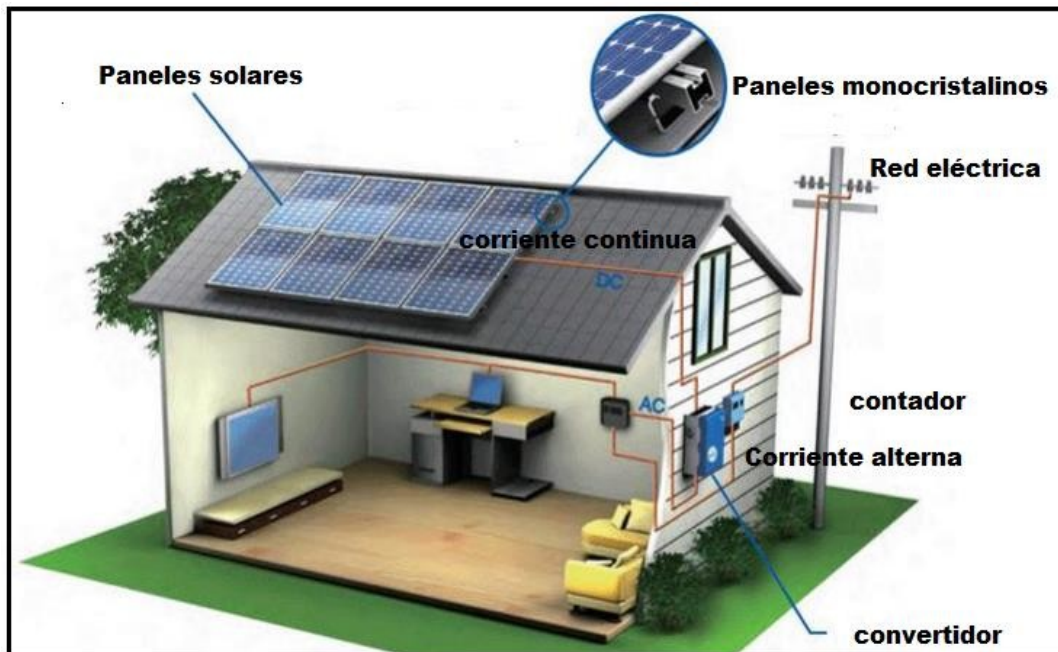
1.7.1 Sistemas conectados a la red eléctrica. Para estos sistemas se cuenta con disponibilidad de redes eléctricas, para esta contribuye la disminución de emisión de dióxido de carbono en la atmosfera.

Al instalar el sistema fotovoltaico se encarga de inyectar en kWh la energía

generada a la red, con ello se hace uso de un contador que ayuda a cuantificar lo que se genera y se inyecta a la red y así disminuir la cantidad de kWh de las redes eléctricas y los costos por kWh consumidos.

El consumo de electricidad se hace directamente de la red, este sistema fotovoltaico es una instalación independiente como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica



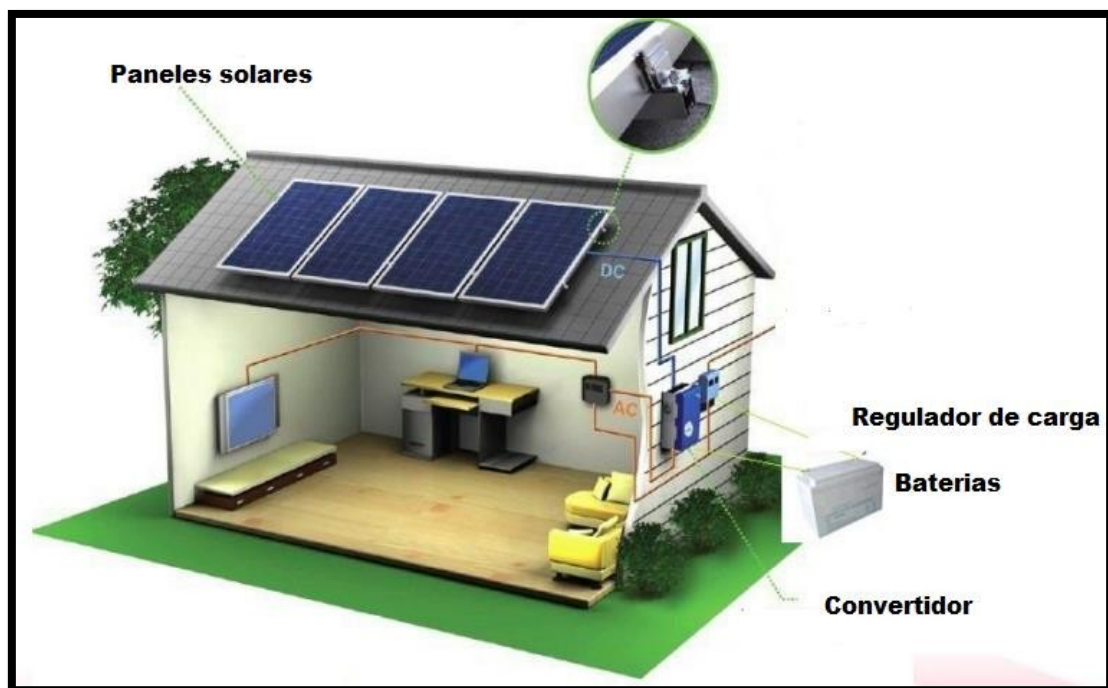
Fuente: elaboración propia, con base en: DEL RIO S.A.S.

- **Componentes principales.** Tal como indica la **figura 9** sus principales componentes son:
 - **Paneles solares:** Este transforma la energía que proviene del sol en energía eléctrica que va directamente a las redes nacionales.
 - **convertidor:** Este transforma la corriente continua producida por los paneles solares en corriente alterna de las mismas características que la red nacional.
 - **Contador:** Este elemento es fundamental ya que mide la energía producida y enviada a la red para que sea facturada y disminuya los precios autorizados por la compañía prestadora del servicio.
- **Mantenimiento** Para el mantenimiento se reduce a la limpieza de los paneles, cuando se detecte suciedad sólida y que el convertidor visualmente funcione bien.

1.7.2 Sistema fotovoltaico aislado. Para los sistemas aislados se emplean en lugares con difícil acceso a redes eléctricas donde este resulta más económico que extender una línea de la red eléctrica nacional.

Los paneles solo producen energía durante las horas de luz solar, donde lo que se requiere es un pleno funcionamiento de las 24 horas del día es de suma necesidad un sistema que acumule toda la energía (baterías) y posteriormente utilizarlo cuando no se esté generando.

Figura 11. Sistema fotovoltaico aislado



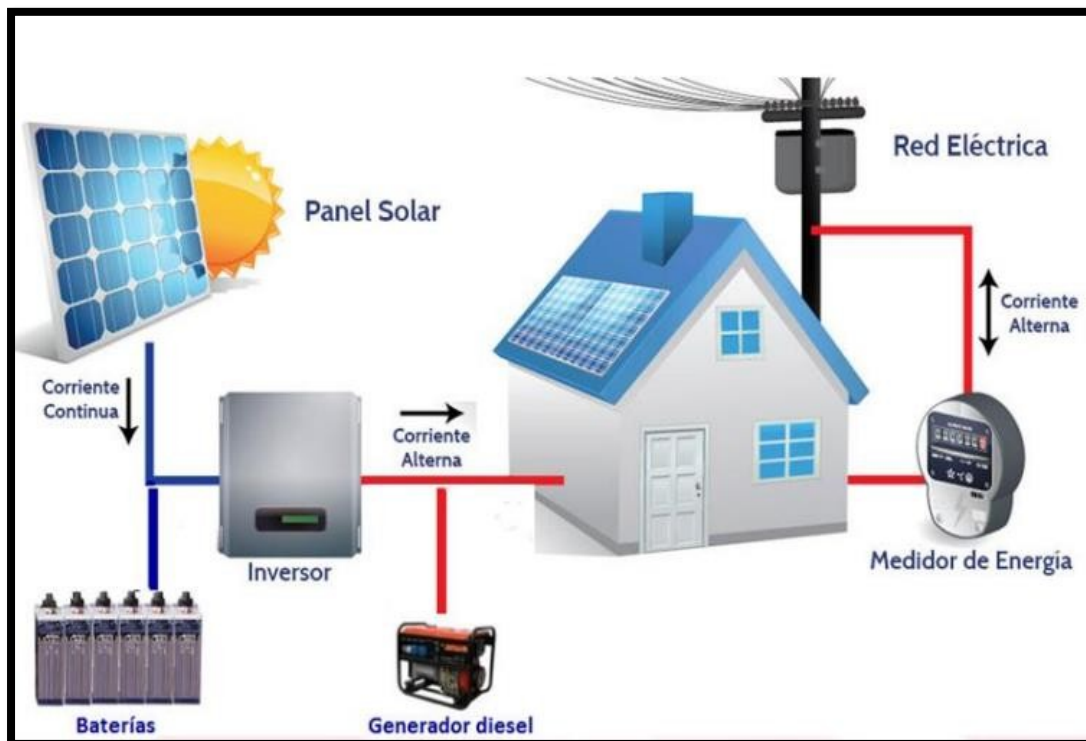
Fuente: elaboración propia, con base en: DELRIO S.A.S.

- **Componentes** los sistemas fotovoltaicos constan de los siguientes elementos.
 - **Paneles solares:** Transforma la energía que proviene del sol en energía eléctrica y carga las baterías.
 - **Regulador de carga:** Este elemento controla la carga de la batería evitando que se produzcan descargas excesivas que disminuyen la vida útil del acumulador, este sistema puede incorporar un seguimiento de potencia máxima, que es un dispositivo que aumenta el rendimiento.

- **Baterías:** Estos dispositivos acumulan la energía suministrada de los paneles solares. Cuando no hay generación solar, la electricidad la otorga directamente la batería y no proviene de los paneles.
- **Convertidor:** la corriente que es generada por los paneles o que proporciona la batería es corriente continua, como en la mayoría de la industria se utiliza corriente alterna, este dispositivo se encarga de convertirla.
- **Mantenimiento:** se indica que los paneles no dejan de producir electricidad pero que con el tiempo pueden bajar su rendimiento, la vida útil aproximada de estos sistemas es de 30 años y su mantenimiento solo basta con limpiarlos eliminando la suciedad solidificada, por ende hacen un sistema fiable. Por otro lado las baterías tienen una vida útil de aproximadamente de 10 años, se debe controlar que el nivel de agua del electrolito este en los límites aceptables, para mantenerlo se utiliza agua destilada.

1.7.3 Sistema fotovoltaico híbrido Este sistema hace una combinación de los sistemas conectados y aislados de la red, funcionan de manera similar a los sistemas anteriormente mencionados y hacen que funcionen como un respaldo cuando ocurre un apagón.

Figura 12. Sistema fotovoltaico híbrido



Fuente: elaboración propia, con base en: DELRIO S.A.S

- **Componentes** el sistema híbrido contiene los siguientes elementos los cuales hacen la combinación de los sistemas anteriormente descritos.
 - **Paneles solares**
 - **Convertidor**
 - **Generador diésel**
 - **Contador**

1.8 TIPOS DE PANELES

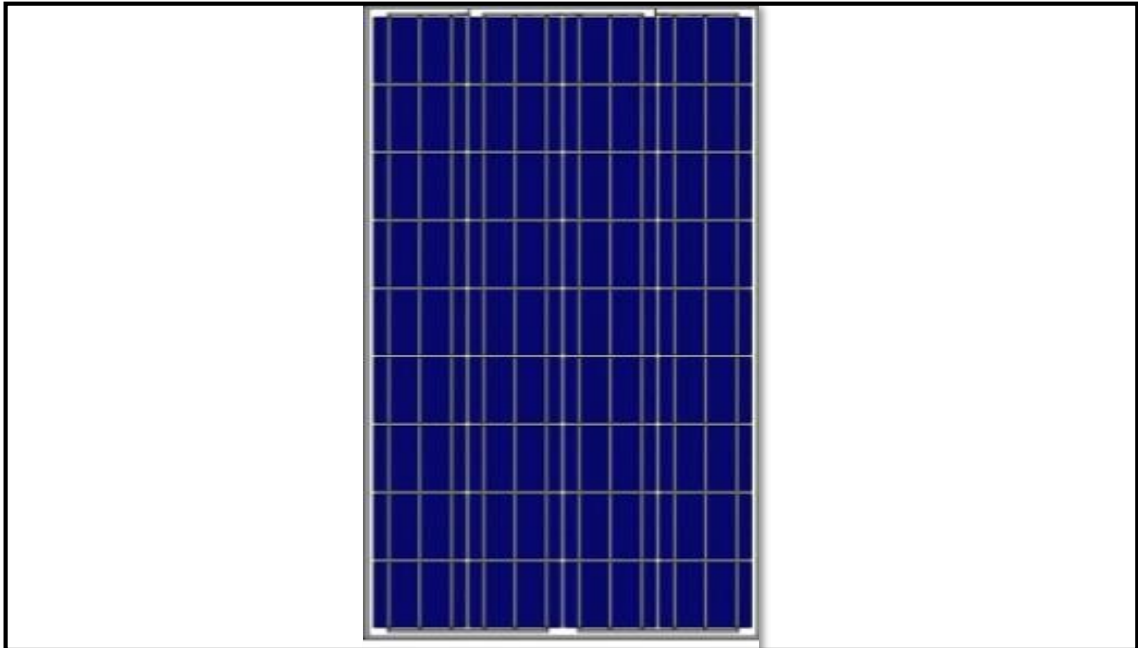
Su función principal es absorber la energía radiante solar. Un panel solar está compuesto por un número variable de células solares, que se encuentran conectadas en serie o en paralelo. Los paneles solares están ensamblados entre dos estratos, uno superior de cristal de silicio y el inferior de material plástico.

1.8.1 Paneles solares policristalinos. Estos paneles están hechos de un material similar al silicio, donde en vez de pasar por un proceso lento, su fabricación es más rápida y económica son de color azul marino, pero resulta menos eficiente este sistema.

El silicio fundido se coloca en un molde y se deja enfriar con un cristal granulado. Se usa el método de moldeado, el cristal que rodea los granos no es uniforme y se ramifica en cristales más pequeños, por ende, el término de policristalino y cuenta con un aspecto desordenado con variación de color azul.¹³

¹³ PANELES SOLARES POLICRISTALINOS. Amerisolar. [Sitio Web]. Disponible en: <https://es.weamerisolar.eu/best-solar-panels/polycrystalline-solar-panels>

Figura 13. Panel solar policristalino



Fuente: PANELES SOLARES POLICRISTALINOS. Amerisolar. [Sitio Web]. Disponible en: <https://es.weamerisolar.eu/best-solar-panels/polycrystalline-solar-panels>

- **Características:** Son paneles solares que cuentan con una garantía de vida de 30 años y sus características principales son:
 - Módulo de alta eficiencia de conversión con hasta 16.73% debido a su tecnología de fabricación.
 - Baja degradación y excelente rendimiento bajo altas temperaturas y condiciones de baja luminosidad.
 - Tolerancia de potencia de 0 a 3%.
 - Alta resistencia al amoníaco y brisa marina¹⁴.

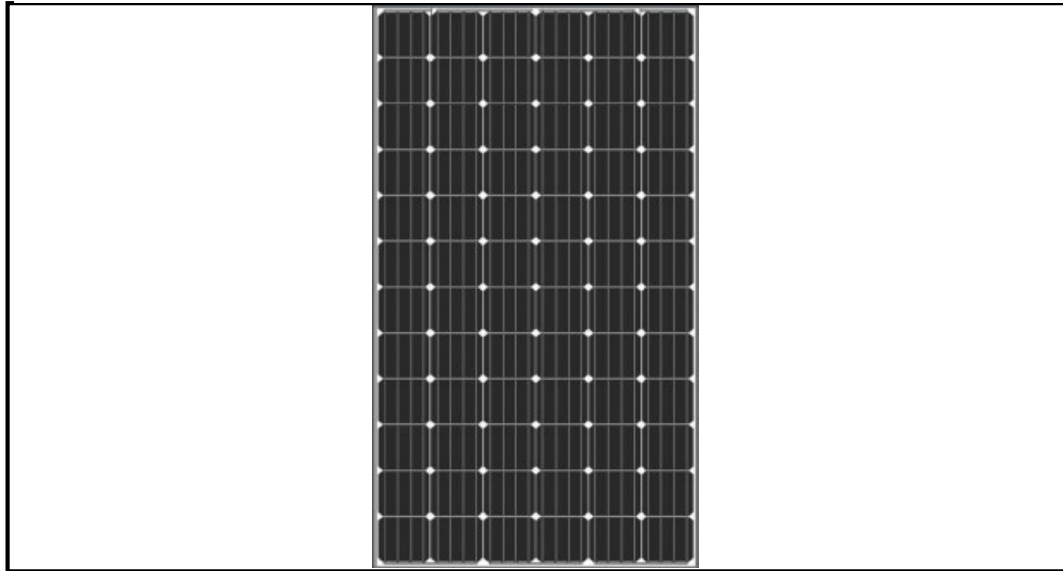
1.8.2 Paneles solares monocristalinos. Proporcionan el rendimiento más elevado. Se obtienen del silicio puro fundido y dopado con boro, mayormente utilizados desde hace muchos años ya que son los más antiguos, confiables y

¹⁴ PANELES SOLARES MONOCRISTALINOS. Amerisolar. [Sitio Web]. Disponible en: <https://es.weamerisolar.eu/best-solar-panels/monocrystalline-solar-panels/>

eficientes métodos para la producción de energía solar, pero su fabricación implica lentitud en el proceso y altos costos de igual manera presentan una rentabilidad energética.

Cada módulo está hecho con un solo cristal de silicio y se reconoce por su color que típicamente es negro o azul muy oscuro.

Figura 14. Panel solar monocristalino



Fuente. PANELES SOLARES MONOCRISTALINOS. Amerisolar. [Sitio Web]. Disponible en: <https://es.weamerisolar.eu/best-solar-panels/monocrystalline-solar-panels/>

- **Características** Estos paneles solares cuentan con un alto rendimiento y confiabilidad para ser conectados a redes eléctricas o sistemas aislados sus características principales son:
 - Diseño ligero.
 - Baja degradación y excelente rendimiento bajo altas temperaturas y condiciones de baja luminosidad.
 - Módulo de alta eficiencia con una conversión hasta 15.28% debido a su avanzada tecnología de fabricación.
 - Tolerancia de potencia positiva de 0 a 3%.

- Resistencia al amoniaco y brisa marina.
- Resistencia de degradación inducida por potencial.¹⁵

1.9 TIPOS DE BATERÍAS O ACUMULADORES

En un sistema solar fotovoltaico el acumulador o batería es el encargado de almacenar la energía eléctrica que produce el panel solar fotovoltaico, después de que la radiación solar se incluya en la placa solar.

Las baterías pueden ser:

1.9.1 Estacionarios. Están destinados a permanecer fijos en un determinado lugar y no producen corrientes elevadas en periodos cortos de tiempo.

1.9.2 De arranque. Están previstas para suministrar cantidades elevadas de energía eléctrica en un periodo de corto tiempo.

1.9.3 Batería de plomo acido. Tipo de batería más utilizado debido a su bajo costo, están compuestas de plomo y ácido sulfúrico como electrolito, esto en una solución de agua destilada.

- **Baterías AGM.** Están son útiles para las instalaciones solares, conllevan una elevada intensidad de descarga. Es una batería recargable, sellada y de plomo acido, donde no requiere ni mantenimiento ni ventilación.

1.9.4 Batería de plomo antimonio batería de placas tubulares, es de la más utilizadas para instalaciones medianas o grandes, tiene resistencia a descargar moderadamente altas, aunque como todas las baterías su vida depende de la profundidad de descarga.¹⁶

1.10 INVERSORES

Son dispositivos capaces de transformar la corriente eléctrica de manera que resulte apta para usos específicos. Los más usados son.

1.10.1 Convertidor corriente continua –corriente continua. Estos convertidores

¹⁵ PANELES SOLARES MONOCRISTALINOS. {Sitio web}. {Consultado 23, febrero, 2019}. Disponible en: <https://es.weamerisolar.eu/best-solar-panels/polycrystalline-solar-panels/>

¹⁶ Tobajas, Vázquez, Carlos. *Energía solar fotovoltaica*, Cano Pina, 2018. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=5349504>.

son idóneos para lo que se llama pérdidas de utilización, la eficiencia de estos convertidores es mayor al 90% y casi constante para cualquier entrada. Estos convertidores son usados en aquellos casos en que la tensión en los bornes de la batería no coincide con la requerida por los aparatos de consumo. Presenta como beneficio estabilizar la tensión de salida, para que así funcionen mejor los equipos.

1.10.2 Convertidor de corriente continua- corriente alterna. Estos equipos se encargan de transformar la corriente continua que llega a los paneles solares y baterías en corriente alterna, estos equipos se encargan de mantener la tensión de salida dentro de los márgenes establecidos, limitar la intensidad de salida dentro de los márgenes establecidos y mantener la frecuencia de salida.

1.11 INSTALACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

El diseño básico de un sistema fotovoltaico, incluye cantidad de paneles solares, cantidad de baterías y potencia del inversor, la forma de desarrollarlo es mediante cálculos básicos y se representa a continuación:

1.11.1 Cálculo de paneles solares. para el cálculo de los paneles solares se realiza el siguiente proceso. Son cálculos simples que se explicaran a continuación:

1.11.1.1 Cálculo de consumo real. En primer lugar es necesario tener en cuenta que los equipos no trabajan a un 100% de eficiencia, por ende se debe calcular la eficiencia del equipo a su 100% y así obtener el sobreestimado de energía.

Ecuación 1. Consumo real

$$\text{consumo real} = \frac{\text{energía del equipo}(W)}{\text{eficiencia del equipo}(\%)}$$

Fuente: elaboración propia, con base en: DELRIO S.A.S.

1.11.1.2 Energía consumida. La energía necesaria por los equipos a los que será suministrada la energía eléctrica, generalmente viene expresado en watts por hora, para conocerlo se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Energía consumida

$$\text{energía equipo}(Wh) = \text{potencia unitaria}(W) * \text{numero de uso diario}(h)$$

Fuente: elaboración propia con base en DELRIO S.A.S.

1.11.1.3 Consumo de energía diario. Para conocer el consumo diario se hace mediante la **ecuación 3** y es medida en Wh/d (wattios hora /día).

Ecuación 3. Consumo energético diario

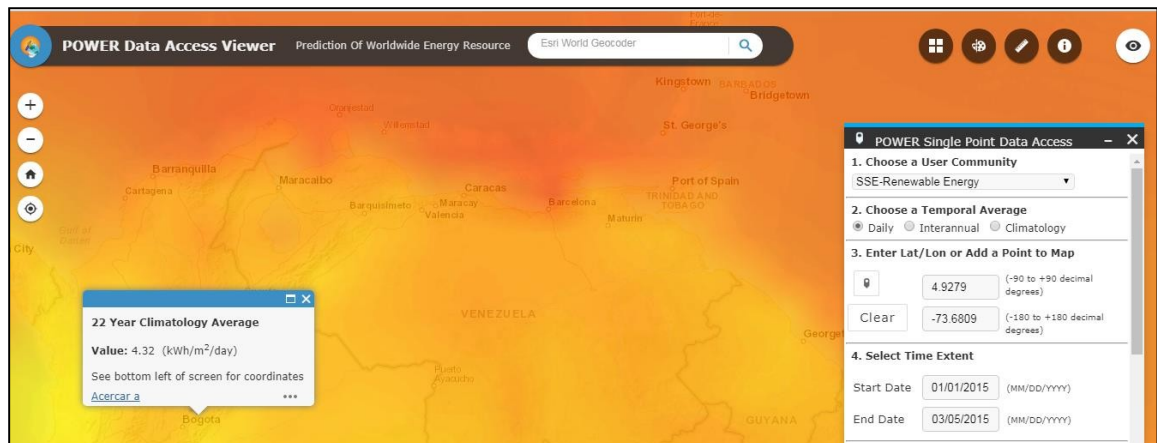
$$\text{consumo energetico Wh/día} = \text{energia equipo (Wh)} * 24h$$

Fuente: elaboración propia, con base en: DELRIO S.A.S.

1.11.1.4 Consumo energético total. Para tener un funcionamiento óptimo de los equipos a energizar junto con los paneles solares, es necesario adicionar un 30% al consumo anteriormente calculado en la **ecuación 3**.

1.11.1.5 Calculo de radiación solar diaria. Los niveles de radiación no son uniformes en toda la tierra y varía según su región, para determinar el valor de irradiación emitida, expresadas en kWh/m²/día, se hace búsqueda de una fuente confiable, para estimaciones de irradiación solar esta la página web de la NASA¹⁷, donde solo deben ser ingresados los datos de ubicación de la zona de interés y serán estimados los valores de irradiación.

Figura 15. Estimación de radiación solar



Fuente: Nasa.gov [Sitio web]. Power data acces viewer.[Consulta 15 de mayo de 2019].Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/>

1.11.1.6 Horas de sol pico (HSP). Una vez que se conoce la radiación solar, se divide en la radiación solar incidente para calibrar los módulos. (1kw/m2), donde se obtendrá la cantidad de horas de sol pico, este es el número de horas equivalentes que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1000w/m2 para así obtener la insolación total de un día, ya que el sol varia constantemente a lo largo del día

¹⁷ Nasa.gov [Sitio web]. Power data acces viewer.[Consulta 15 de mayo de 2019].Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/>

Ecuación 4. Horas de sol pico

$$HSP = \frac{\text{Radiacion solar} \left(\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}} \right)}{1 \frac{kW}{m^2}}$$

Fuente: elaboración propia, con base en: DELRIO S.A.S.

1.11.1.7 Número de paneles solares (NPS). Para conocer la cantidad de paneles solares necesarios, se hará con la **ecuación 5**. En esta fórmula se utilizará el consumo energético total adicionando el 30%, las horas de sol pico anteriormente calculadas y la eficiencia de los paneles solares donde oscila entre un 70 y 80%. La potencia pico del módulo, se describe como la potencia suministrada por el modulo a condiciones estándar.

Ecuación 5. Numero de paneles solares

$$NPS = \frac{\text{Consumo energetico total} \left(\frac{kWh}{dia} \right)}{HSP \left(\frac{kWh}{dia} \right) * \text{eficiencia del panel}(\%) * \text{potencial pico del modulo}(kW)}$$

Fuente: elaboración propia con base en DELRIO S.A.S.

1.11.2 Cálculo de baterías. Las baterías son elementos indispensables para los sistemas que se encuentran aislados, su fin es almacenar la energía eléctrica, para su posterior uso en horas que no haya sol en el sistema, ya que debe contar con un respaldo.

Ecuación 6. Cantidad de baterías

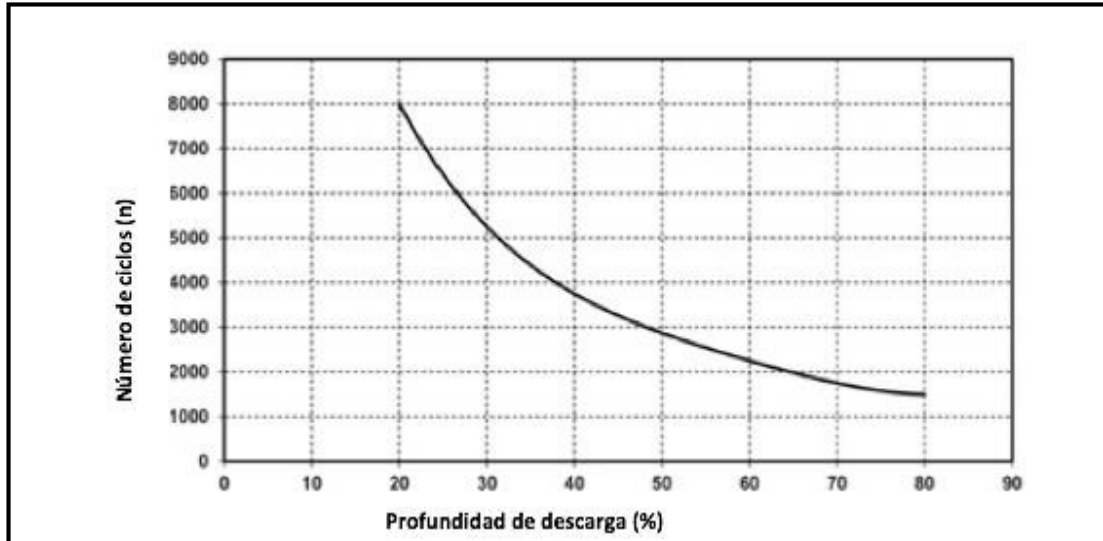
$$\text{cantidad de baterías} = \frac{\text{Consumo energetico total}}{\text{voltaje} * \text{profundidad de descarga} * 0.9}$$

Fuente: elaboración propia con base en DELRIO S.A.S.

Donde el consumo de energía total está calculado anteriormente en el apartado 1.11.1.4, el voltaje de la batería viene determinado en voltios, datos que se proporcionan en la batería a usar, para la profundidad de descarga máxima admisible, estos valores dependen de cada batería, pero son valores que oscilan entre un 0,5 y 0,8 para conocer estos valores se determinan en las fichas técnicas de cada una y 0.9 ya que se considera una pérdida de energía del 10% en el uso del inversor.

Para conocer la cantidad de ciclos, debido a la profundidad de descarga se hace mediante la siguiente figura.

Figura 16. Numero de ciclos vs profundidad de descarga



Fuente: SUNFIELDS EUROPE [Sitio web]. Equipos Fotovoltaicos. [Consulta 15 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/>

1.11.3 Cálculo de potencia convertidores. Para el cálculo de los convertidores se hace una suma de potencia de los equipos a utilizar y se multiplica por el coeficiente de simultaneidad del uso de estos, cuenta con valores que oscilan entre 50 y 70%.

Ecuación 7. Potencia del convertidor

$$\text{Potencia del convertidor} = \text{potencia to}(W) * \text{coeficiente de simultaneidad}$$

Fuente: elaboración propia, con base en: DELRIO S.A.S.

1.12 LEY 1715 DEL AÑO 2014

Para el presente proyecto es necesario hablar de esta ley, la cual tiene como finalidad promover el uso de energías limpias para el país y que con ello se promueva la implementación, participación en zonas no interconectadas con el fin de evitar emisiones de gases y aumentar el crecimiento de estas energías en el país.

Este proyecto solo se enfocará en los artículos que sean de beneficio al sector petrolero, ya que es necesario hacer un previo estudio para conocer y orientar a compañías sobre los beneficios tributarios que otorga el gobierno implementando este tipo de energías.

Para conocer los incentivos tributarios se citarán los siguientes artículos:

- **Deducción especial en renta y complementarios.**

Artículo 11. Incentivos a la generación de energías no convencionales. Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada. El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión. Para los efectos de la obtención del presente beneficio tributario, la inversión causante del mismo deberá obtener la certificación de beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y ser debidamente certificada como tal por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en concordancia con lo establecido en el artículo 158-2 del Estatuto Tributario.

- **Exclusión del IVA para compra de equipos nacionales e importados**

Artículo 12. Instrumentos para la promoción de las FNCE. Incentivo tributario IVA. Para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA. Para tal efecto, el Ministerio de Medio Ambiente certificará los equipos y servicios excluidos del gravamen, con base en una lista expedida por la UPME.

- **Exenciones a gravámenes arancelarios**

Artículo 13. Instrumentos para la promoción de las energías renovables. Incentivo arancelario. Las personas naturales o jurídicas que a partir de la vigencia de la presente ley sean titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con

dichas fuentes. Este beneficio arancelario será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos. La exención del pago de los Derechos Arancelarios a que se refiere el inciso anterior se aplicará a proyectos de generación FNCE y deberá ser solicitada a la DIAN en un mínimo de 15 días hábiles antes de la importación de la maquinaria, equipos, materiales e insumos necesarios y destinados exclusivamente a desarrollar los proyectos de energías renovables, de conformidad con la documentación del proyecto avalada en la certificación emitida por el Ministerio de Minas y Energía o la entidad que este faculte para este fin.

- **Depreciación acelerada**

Artículo 14. Instrumentos para la promoción de las FNCE. Incentivo contable depreciación acelerada de activos. La actividad de generación a partir de FNCE, gozará del régimen de depreciación acelerada. La depreciación acelerada será aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin, a partir de la vigencia de la presente Ley. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual. La tasa podrá ser variada anualmente por el titular del proyecto, previa comunicación a la DIAN, sin exceder el límite señalado en este artículo, excepto en los casos en que la ley autorice porcentajes globales mayores¹⁸.

¹⁸ Ley 1715 del año 2014. {Sitio web}. {Consultado 23, febrero, 2019}. Disponible en: [panels/http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

2. SISTEMA DE BOMBEO MECANICO

En este capítulo se realizará una descripción de las generalidades y características de los sistemas de levantamiento artificial por bombeo mecánico, así como una descripción de la unidad hidráulica patentada por la empresa SERINPET LTDA.

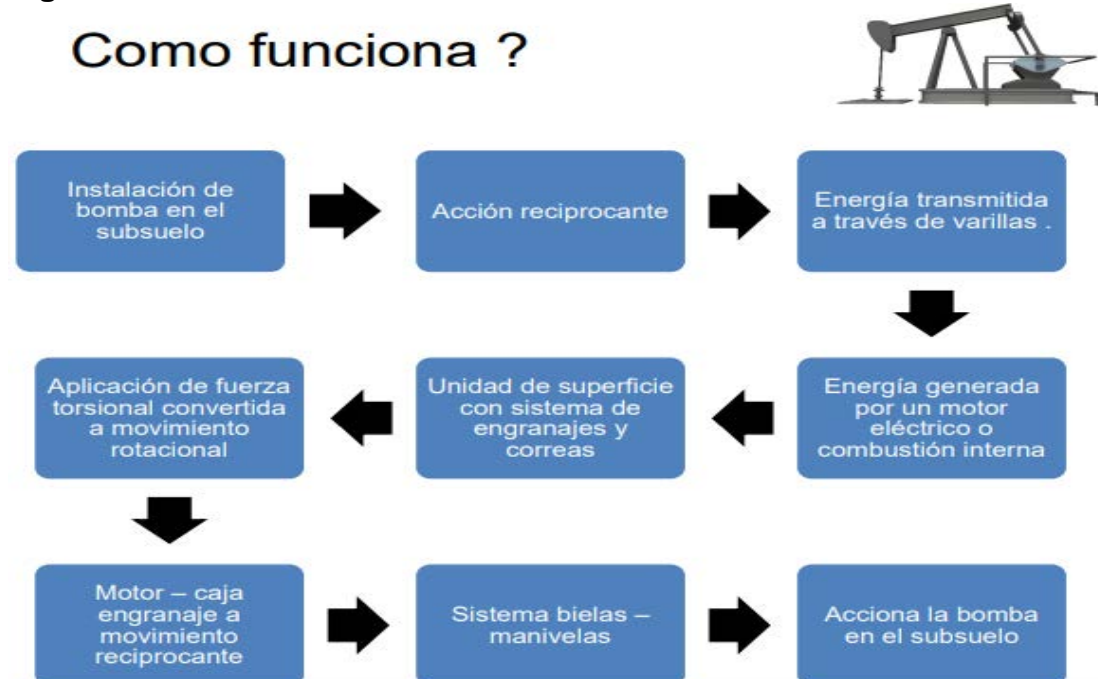
2.1 GENERALIDADES

Es el mecanismo de producción artificial más usado en el mundo, su operación se basa principalmente en una bomba de subsuelo con acción recíprocante, la cual recibe la energía producida en superficie por medio de una sarta de varillas. Esta energía proviene generalmente de un motor de combustión interna o eléctrica, la cual en su unidad más común (machine) mueve una unidad de superficie mediante un sistema de engranajes y correas.

2.2 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del sistema de bombeo mecánico se describe detalladamente en la **Figura 17**.

Figura 17. Ciclo de funcionamiento del sistema de bombeo mecánico



Fuente: VILLA, Guillermo., [Sitio web], wixsite. [Consulta 2 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://guillermovilla2013.wixsite.com/produccion/produccion-ii>

2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO

El sistema de bombeo mecánico se compone de diferentes equipos tanto de superficie como de subsuelo los cuales cumplen una función fundamental para el adecuado funcionamiento del sistema de levantamiento artificial.

2.3.1 Equipos de Superficie. A continuación, se describe el equipo de superficie usado en el sistema de bombeo mecánico.

2.3.1.1 Motor. Se encarga de suministrar la energía necesaria a la unidad de bombeo para levantar los fluidos provenientes del pozo. Pueden ser de combustión interna o eléctrica, siendo esos últimos los de mayor aplicación en la industria.

2.3.1.2 Unidad de Bombeo Superficial. Su función principal es convertir el movimiento rotacional de la unidad motriz en una acción reciprocante u oscilatoria, otra de sus funciones es reducir la velocidad del motor para adecuarse a la velocidad del bombeo necesaria, se encarga también de mantener la verticalidad de la varilla pulida.

- **Bomba:** en este tipo de unidad el motor mediante el reductor de engranes hace girar la manivela que a su vez hace que se mueva el balancín.
- **Unidad de Bombeo Hidráulico:** en esta unidad el motor se encarga de mover una bomba hidráulica por medio de la cual este sistema de fluido mueve en forma reciprocante unos cilindros mediante gatos hidráulicos.

2.3.1.3 Cabezal y Conexiones Superficiales. En el cabezal del pozo se utilizan válvulas para el control y manejo de fluidos, así como accesorios para la operación del equipo de bombeo mecánico y el aparejo de producción.

2.3.1.4 Barra Pulida. Es una pieza sólida en acero que se mueve dentro de la tubería, es la conexión entre el equipo de superficie y de subsuelo su función principal es soportar el peso de la sarta de varillas, de la bomba y del fluido de la tubería.

2.3.2 Equipos de Subsuelo. Son los equipos o accesorios que se encargan de la operación del sistema en subsuelo, se compone principalmente del sistema de varillas y de las bombas de subsuelo.

2.3.2.1 Sarta de Varillas. La sarta de varillas conecta la bomba de fondo con la barra pulida. La función principal es transmitir el movimiento oscilatorio de la barra pulida a la bomba. Esto proporciona la potencia necesaria por la bomba para producir hidrocarburos. La resistencia, vida útil y fuerzas friccionales de la sarta de

varillas tiene un impacto significativo en la economía de un pozo.

2.3.2.2 Bombas de Subsuelo. Las Bombas de Subsuelo son típicamente clasificadas en base al mecanismo a través del cual estas le agregan energía al fluido (bien sea incrementando su velocidad o presión) y aún más por la manera específica en que ese mecanismo es implementado. Este sistema de clasificación, divide las bombas en diferentes tipos o categorías diferentes: Dinámicas o de Desplazamiento Positivo.

2.4 TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO

En este mecanismo de producción artificial hay diferentes tipos de equipos de superficie y de subsuelo, que se diferencian principalmente en su diseño, costos y operación entre ellos tenemos:

- Unidad de Bombeo Convencional.
- Unidad de Bombeo Mark II.
- Unidad de Bombeo Balanceadas por Aire.
- Unidad de Bombeo Rotaflex.
- Unidad Hidráulica de Bombeo Mecánico.

2.4.1 Unidad de Bombeo Convencional. Es la unidad de uso más común a nivel mundial, requiere un mantenimiento mínimo y su operación es muy sencilla, su principio de funcionamiento consiste en la transmisión de movimiento rotativo por medio de correa a la caja de transmisión, la cual reduce su velocidad a través de un sistema de engranajes.

Este movimiento angular más lento es comunicado a la viga viajera mediante la conexión biela-manivela, convirtiéndolo en alternativo vertical, que se refleja en el ascenso y descenso de la barra pulida. Estas unidades son balanceadas generalmente en la manivela. Sin embargo, los equipos con cajas de engranaje pequeñas pueden ser balanceados en la viga viajera. La capacidad de la caja de engranajes varía en el rango de 25 a 912 MLbs-pulg, y la longitud de las carreras entre 12 y 192 pulg.

Figura 18. Unidad de Bombeo Mecánico Convencional



Fuente: Pumping Unit Parts and Services[en línea].Etados Unidos,2014-.[consulta: 23 febrero 2019].disponible en:<https://www.weatherford.com/en/documents/brochure/products-and-services/production-optimization/pumping-unit-parts-and-services/>

Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema de bombeo convencional

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Costos de mantenimiento bajos 	<ul style="list-style-type: none"> • No es una unidad eficiente en ciertas operaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Puede rotar en sentido horario y antihorario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere cajas de engranaje más grandes que otro tipo de unidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Puede bombear más rápido que unidades como la MARK II. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere menos contrabalanceo que otras unidades. 	

Fuente: VILLA, Guillermo., [Sitio web], wixsite. [Consulta 2 de marzo de 2019]. Disponible en:<https://guillermovilla2013.wixsite.com/produccion/produccion-ii>

2.4.2 Unidad de Bombeo Mark II. Este tipo de unidad consiste principalmente en una variable del diseño convencional, cambiando la posición de los brazos y el poste maestro para obtener un sistema torsional, con el fin de reducir el torque de los engranajes.

Este diseño permite soportar más fluido sin sobrecargar el equipo. Es un equipo más costoso en comparación con el convencional, la capacidad de la caja varía en el rango de 114 Mlb/pulg hasta 1280 Mlb/pulg y la longitud de carrea entre 64 y 216 pulgadas.

Figura 19. Unidad de Bombeo Mecánico Mark II



Fuente: PORRAS TIRADO, Javier. EVALUACIÓN TÉCNICO FINANCIERA DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO COMBINADO BOMBEO MECÁNICO E HIDRÁULICO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL YACIMIENTO POR MEDIO DE REGISTROS DE PRODUCCIÓN EN UN POZO EN CAMPO PROVINCIA [en línea]. tesis de pregrado. Universidad de América. Bogotá, 2016 [consultado 23 de febrero de 2019]. disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/101/1/5101395-2016-2-IP.pdf>

Tabla 3. Ventajas y desventajas unidad de Bombeo Mark II

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Tiene menor torque en la mayoría de los casos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No bombea tan rápido como una unidad convencional
<ul style="list-style-type: none"> • Menor costo, comparada con la balanceada por aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Rota en sentido antihorario
<ul style="list-style-type: none"> • Es más eficiente que las unidades convencionales en la mayoría de los casos 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de existir golpe de fluido podría causar más daño a la sarta de varillas y la bomba.

2.4.3 Unidades Balanceadas Por Aire. Son unidades que se caracterizan por utilizar un cilindro de aire comprimido en reemplazo de las piezas metálicas, lo que facilita el transporte de la unidad debido a su reducción de peso, así como los costos de instalación, aunque los costos de mantenimiento si son significativamente altos debido al sistema de balanceo el cual se compone de cilindro de aire, compresor y controles neumáticos.

Figura 20. Unidad de bombeo balanceada por aire



Fuente. PORRAS TIRADO, Javier. EVALUACIÓN TÉCNICO FINANCIERA DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO COMBINADO BOMBEO MECÁNICO E HIDRÁULICO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL YACIMIENTO POR MEDIO DE REGISTROS DE PRODUCCIÓN EN UN POZO EN CAMPO PROVINCIA [en línea]. tesis de pregrado. Universidad de América. Bogotá, 2016 [consultado 23 de febrero de 2019]. disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/101/1/5101395-2016-2-IP.pdf>

Tabla 4. Ventajas y desventajas unidad de bombeo por aire.

Ventajas	Desventajas
•Compacta y fácil de balancear.	•Requieren mayor mantenimiento (compresor de aire, cilindro de aire.
•Los costos de transporte son bajos (menor peso)	•La condensación del aire en el cilindro puede constituir un problema serio.
•Tamaños más grandes que otro tipo de unidad.	•la caja de engranaje podría dañarse si el cilindro pierde la presión de aire.
•Rota tanto en sentido horario como antihorario.	

Fuente: VILLA, Guillermo., [Sitio web], wixsite. [Consulta 2 de marzo de 2019]. Disponible en:<https://guillermovilla2013.wixsite.com/produccion/produccion-ii>

2.4.4 Unidad de Bombeo Rotaflex. Es uno de los sistemas más recientes y modernos que se están utilizando actualmente en las operaciones de bombeo mecánico, tiene una gran eficiencia en pozos profundos y de alto potencial, el uso de este tipo de unidad de bombas de varilla puede ser ideal en lugar de bombas electro sumergibles. Tiene una longitud de carrera de 306 pulgadas lo que significa ahorros operacionales e incremento de productividad.

Figura 21. Unidad de bombeo Rotaflex



Fuente: SERINPET LTDA.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la unidad Rotaflex

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">•Fácil operación y mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none">•Es problemática en pozos con alta desviación.
<ul style="list-style-type: none">• Cambio de la tasa de producción por cambio en la velocidad e de bombeo.	<ul style="list-style-type: none">•No puede ser usada en pozos costa afuera por los grandes equipos de superficie.
<ul style="list-style-type: none">•Puede bombear el pozo a una muy baja presión de entrada para obtener la máxima producción.	<ul style="list-style-type: none">• La capacidad de producción es limitada en comparación con otras unidades.

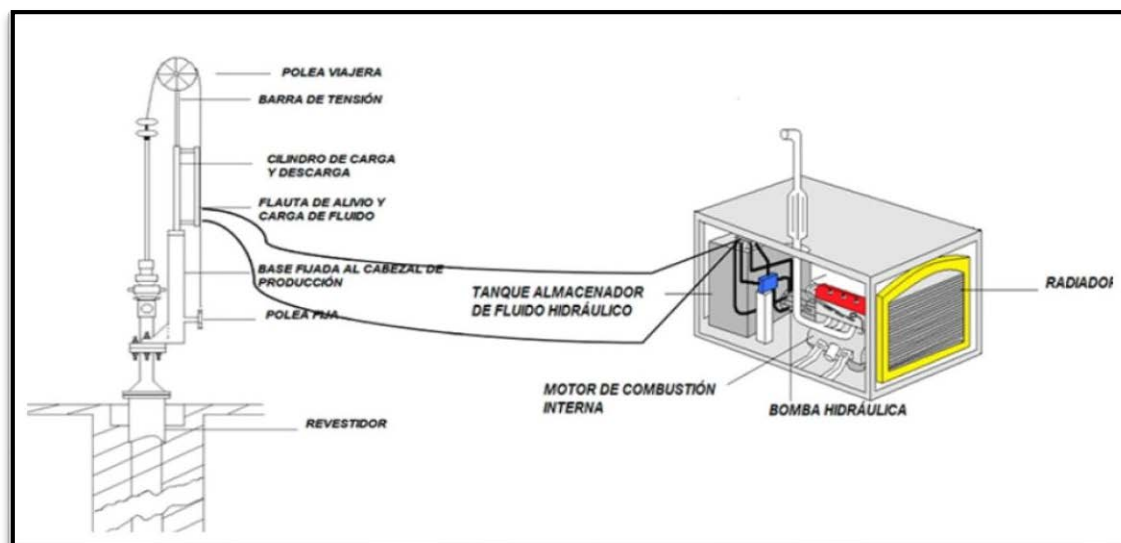
Fuente: VILLA, Guillermo., [Sitio web], wixsite. [Consulta 2 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://guillermovilla2013.wixsite.com/produccion/produccion-ii>

2.4.5 Unidad Hidráulica de Bombeo Mecánico. Mediante presión hidráulica generada por una bomba conectada a un motor de combustión interna o eléctrico que le sule energía, llena un recipiente cilíndrico que levanta y recoge un pistón al momento de la carga y descarga transmitiendo este movimiento reciprocante a la barra pulida mediante bridas que se sujetan al elevador acoplado a dicha barra manteniendo el principio de bombeo mecánico no-convencional.

Básicamente las unidades hidráulicas de bombeo mecánico trabajan como cualquier otra unidad, ya que lo que éstas hacen es subir y bajar una sarta de varillas, colocando así el pozo en producción; pero a diferencia de las demás unidades convencionales, éstas realizan el trabajo con un actuador hidráulico. En general las unidades hidráulicas de bombeo mecánico están construidas de forma modular.

El primer módulo, es la unidad hidráulica de potencia, la cual posee el motor, bomba, circuitos hidráulicos y eléctricos que en conjunto se encarga de proporcionarle la energía hidráulica al segundo módulo. El segundo módulo lo componen el pedestal y actuador hidráulico. El pedestal se ensambla sobre la cabeza de pozo. Su función es la de servir como base del actuador hidráulico, conducir el aceite hasta el actuador, y proporcionar un sitio para la ubicación de los sensores finales de carrera. El actuador hidráulico tiene como función convertir la energía hidráulica en energía mecánica, con lo cual realiza el movimiento de subir y bajar la sarta de varillas.

Figura 22. Unidad hidráulica de bombeo mecánico



Fuente: SANCHEZ NAVARRO, Yoel. Evaluación del comportamiento de producción en pozos con unidad de bombeo Hidráulico Corlift [En línea],2010, abril 2. [consultado 23 febrero de 2019]. Disponible en:<http://oilproduction.net/produccion/artificial-lift-systems/bombeo-mecanico/item/1763-evaluacion-del-comportamiento-de-produccion-en-pozos-con-unidad-de-bombeo-hidraulico-corlift>

2.5 Unidad Hidráulica de Bombeo Mecánico modelo A1-2-60-2 SERINPET

Este tipo de unidades hidráulicas de bombeo mecánico son ideales para pozos de baja producción, mejorando el consumo eléctrico de los proyectos y el llenado de la bomba de subsuelo. Son un desarrollo tecnológico ampliamente eficiente, ya que es una máquina que posee entre 60 y 360 pulgadas de recorrido y opera con motores de 1 y 200 Hp, para fuerzas aplicadas en la barra pulida entre 2000 y 49300 Lbf y trabajan un rango de velocidad máxima de 4,5 ciclos por minuto.

2.5.1 Descripción Técnica de la unidad

UHBM I: A1-2-60-2

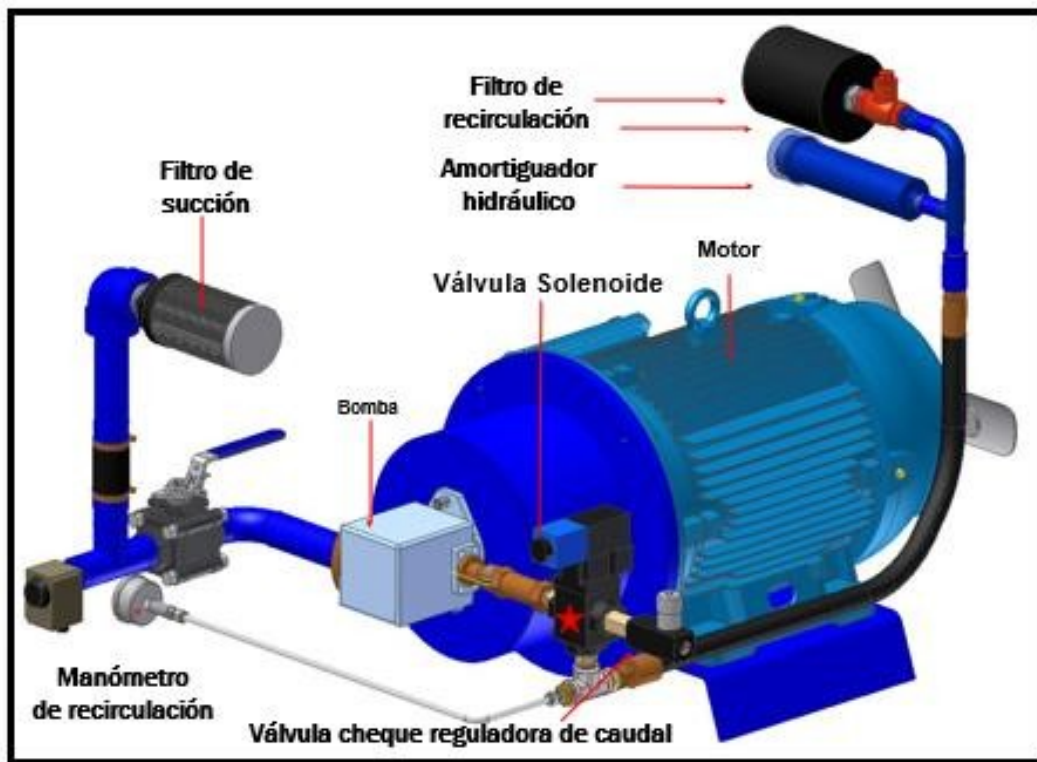
- -Motor eléctrico de 1 hp 220V/440V 1150 RPM.
- -Máxima fuerza: 2000LBF
- -Máximo recorrido: 60 pulgadas (3.5 X 1.5).
- -Máxima Velocidad (rapidez): 2 SPM.
- Presión de seteo o interna 400 PSI
- Temperatura máxima de operación de 70 °C

- Aceite ISO 68
- Peso aproximado total de 400 kg.

2.5.2 Componentes UHBM. Esta unidad se fabrica con diferentes componentes hidráulicos y eléctricos, es de fácil transporte y tiene un costo bajo en comparación con los equipos convencionales.

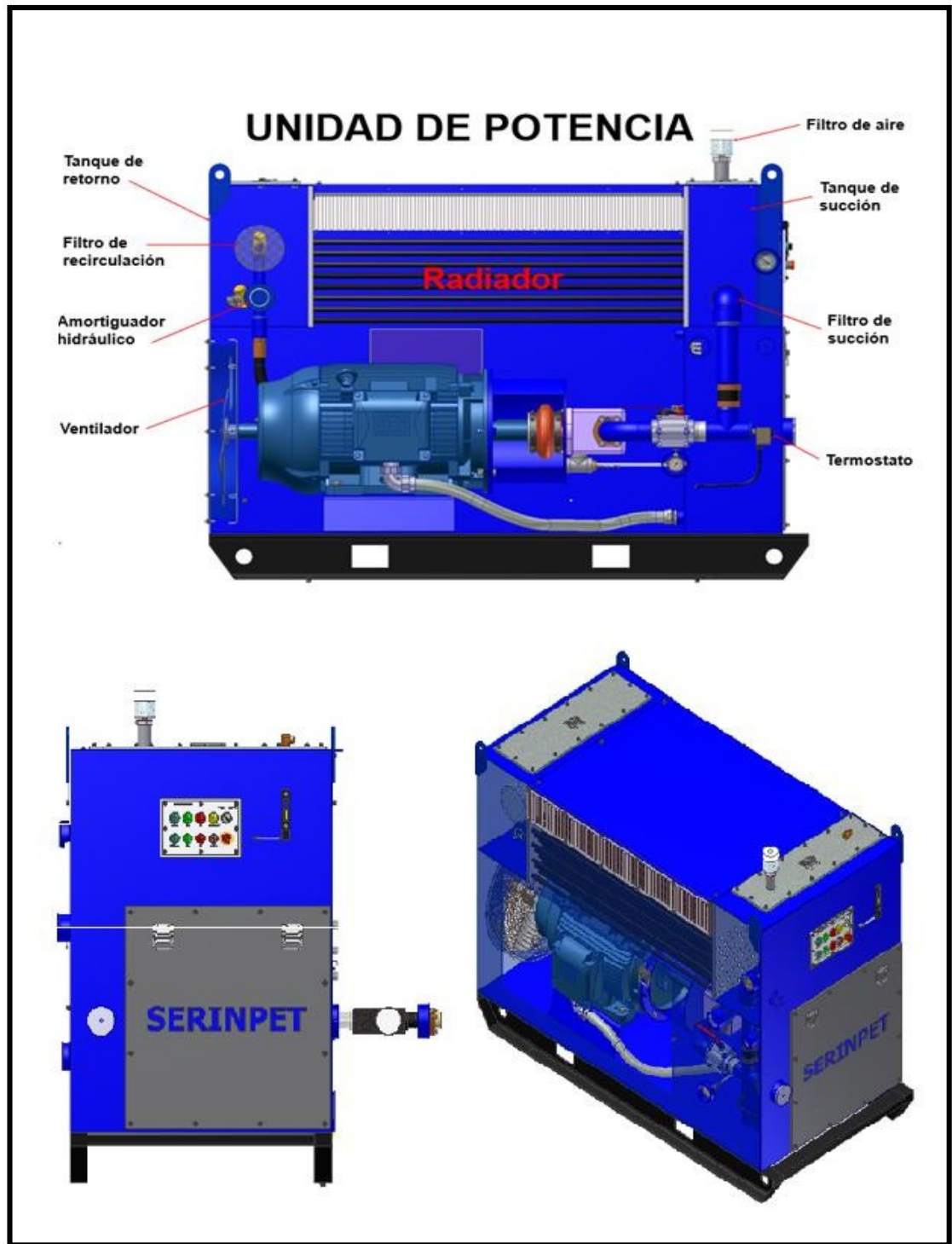
2.5.2.1 Unidad Hidráulica de Potencia. Incluye motor eléctrico, arrancador suave, circuito eléctrico y variador de velocidad hidráulico.

Figura 23. Partes del tren motor



Fuente. SERINPET LTDA.

Figura 24. Unidad de potencia hidráulica



Fuente. SERINPET LTDA.

2.5.2.2 Pedestal. Incluye base, cables, sensores finales de carrera y

mangueras. Se encarga principalmente de soportar el peso de las varillas y de conducir el aceite hidráulico entre la unidad de potencia y el actuador hidráulico.

2.5.2.3 Actuador hidráulico. Incluye acople de varillas y línea de retorno de aceite.

Figura 25. Actuador Hidráulico y Pedestal



Fuente SERINPET LTDA.

2.5.3 Importancia del aceite hidráulico en el funcionamiento de la unidad. En este tipo de sistemas hidráulicos el aceite juega un papel fundamental, ya que es el que se encarga de lubricar las partes móviles, enfriar el sistema y limpiar el mecanismo y además es un excelente anticorrosivo. Por estos factores anteriormente mencionados es primordial para alcanzar una alta confiabilidad en los sistemas hidráulicos la limpieza del aceite en conjunto con temperaturas de operación menores a los 70 ° C.

2.5.4 Mantenimiento de la unidad. Para un correcto funcionamiento de la unidad es necesario realizar un mantenimiento periódico a sus diferentes componentes, para ello se identifican 3 tipos de situaciones dependiendo el tiempo de funcionamiento de cada componente y su correspondiente reemplazo, así:

- **Tipo 1: 6 meses**
- **Tipo 2: 2 años**
- **Tipo 3: 6 años**

Tabla 6. Mantenimiento UHBM

Repuestos	Mtto tipo1	Mtto tipo2	Mtto tipo3
FILTRO DE SUCCIÓN	R L	C	C
FILTRO DE RECIRCULACIÓN	C	C	C
FILTRO DE AIRE	C	C	C
ACOPLE-ELASTÓMERO REX OMEGA	R	C	C
ACEITE HIDRÁULICO	C	C	C
KIT DE MANGUERAS	R	R	C
CONJUNTO ROTATIVO DE LA BOMBA	R	C	C
MANÓMETRO DE ALTA	R	C	C
MANÓMETRO DE BAJA	R	C	C
KIT DE EMPAQUETADURAS	R	R	C
RODAMIENTOS MOTOR			C
TERMÓMETRO			C
PLC			C ^B
DISPLAY PLC			C ^B
VÁLVULA SOLENOIDE			C ^B

Nota: R: revisar, L: limpiar, C: cambiar

A: Eje, retenedor, rodamiento, sellos y rin.

B: Actividad opcional

Fuente. Elaboración propia con base en SERINPET LTDA.

2.5.5 Ventajas

- Largos recorridos y bajos ciclos por minuto
- Fácil mantenimiento, particularmente en: empaques, rodamientos y componentes eléctricos.
- Operación sencilla, requieren supervisión Técnica básica, con entrenamiento suministrado por Serinpet.
- No rompe las varillas en caso de la bomba de fondo se quede pegada.
- Constantemente entrega una medida exacta de la fuerza a la que se someten las varillas.

- No requiere de bases en concreto.
- El Sistema modular.
- El tiempo de instalación es de aproximadamente 2 horas.
- Gran versatilidad, están diseñadas de tal forma que se les puede variar la longitud de la Carrera.
- Permiten variar independientemente la velocidad de descenso y ascenso.
- Es posible variar los golpes por minuto desde un máximo permitido de 4,5 SPM hasta un mínimo de 0,1 SPM, sin la necesidad de variadores de frecuencia.
- Alta eficiencia energética, debido a la posibilidad de ascender a velocidades un poco más lentas con respecto a las velocidades de descenso.
- Peso ligero fácil de transporte e instalar.
- Disminución de la huella de carbono principalmente en la etapa de elaboración ya que es un equipo liviano en comparación a las unidades convencionales de bombeo mecánico.

3. SELECCIÓN DEL POZO Y DISEÑO DEL SISTEMA NO CONVENCIONAL DE ENERGÍA.

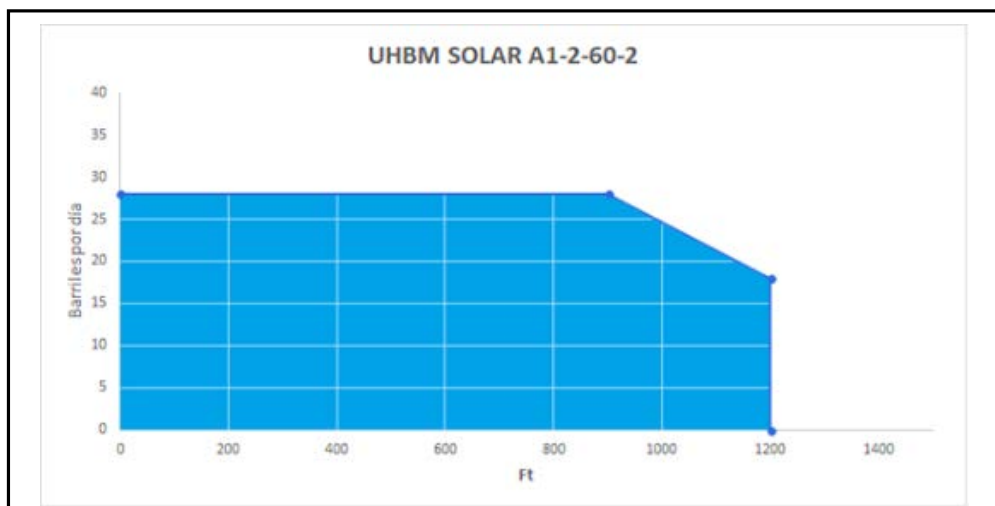
En este capítulo se realizará la selección del pozo candidato ideal para la implementación del diseño no convencional de energía, lo anterior a partir de parámetros propios del presente proyecto. Finalmente se llevará a cabo el diseño del sistema de celdas fotovoltaicas para energizar la unidad hidráulica de bombeo.

3.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN.

Para la selección del pozo se tomaron en cuenta los siguientes parámetros, los cuales fueron facilitados por la empresa SERINPET LTDA., con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la unidad de bombeo. Adicionalmente la compañía facilitó una gráfica, la cual fue lograda con los resultados obtenidos a través de uso del simulador RODSTAR, véase figura 26.

- Producción máxima diaria de 19 Bpd
- Profundidad máxima de 1200 pies
- Tipo de crudo: liviano
- Ubicación del pozo en una zona de alta radiación solar

Figura 26. Datos de producción para equipo encendido 24 horas

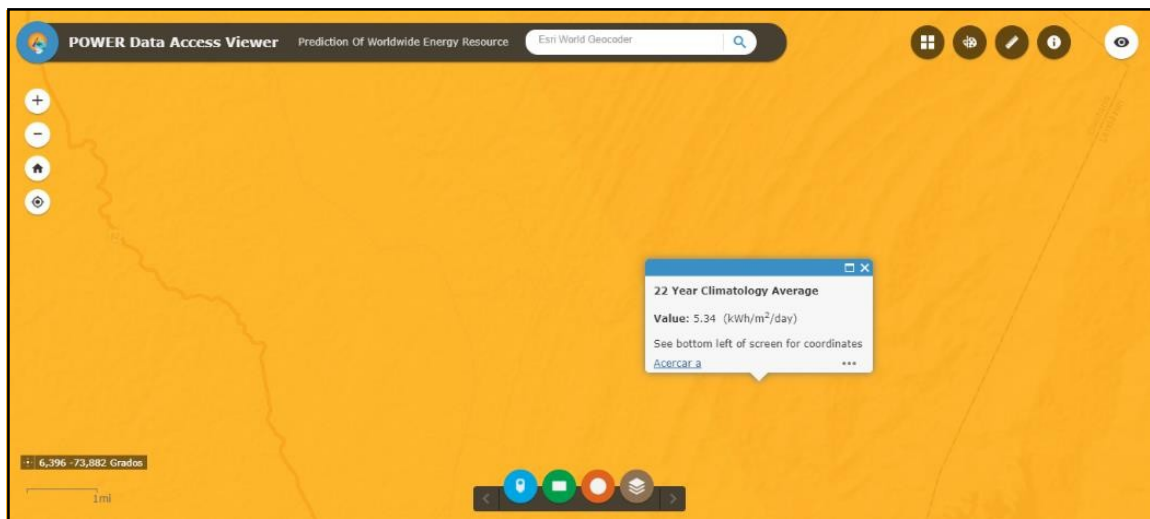


Fuente: SERINPET S.A.

3.1.1 Selección del pozo. Para la selección del pozo a partir de los parámetros anteriormente mencionados se inició con la búsqueda de diferentes campos y pozos, se evidenció que son muy pocos los pozos con estas características en Colombia. Finalmente a través de las bases de datos de las entidades se encontró el pozo con las características deseadas.

3.1.1.1 Niveles de radiación solar Cimitarra Santander. Para los niveles de radiación solar se consulta en la página antes mencionada en el capítulo 1, es importante realizarla con las coordenadas exactas del pozo, zona de interés, del presente proyecto obteniendo como resultado 5,34 kWh/m²/día.

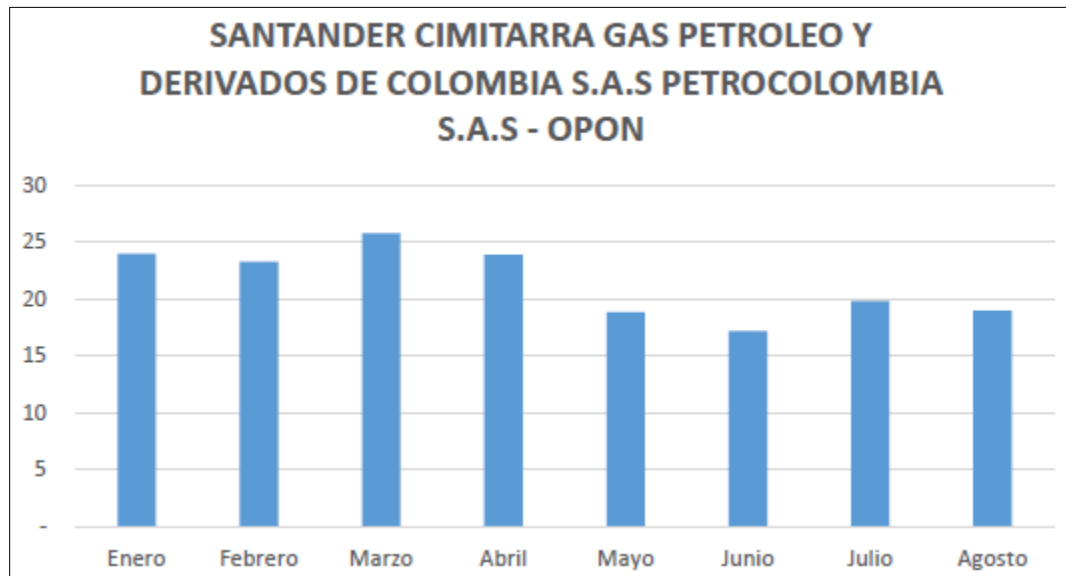
Figura 27. Niveles radiación solar Cimitarra-Santander



Fuente: Nasa.gov [Sitio web]. Power data acces viewer.[Consulta 15 de mayo de 2019].Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/>

3.1.2 Bases de datos ANH. Se consultó en diversas bases de datos de producción promedio diaria de petróleo en el país, principalmente las que facilita la ANH en su portal web, se tomó como referencia los datos de producción diaria promedio del campo Opón para el año 2018 entre los meses de Enero y Agosto expuestos en la **figura 27**, a partir de estos datos se promedió la producción y se obtuvo como resultado 21,5 bpd, para este campo el cual se encuentra ubicado en el municipio de Cimitarra (Santander) en la cuenca del valle medio del magdalena y es operado por la compañía Petrocolombia S.A. Y Gas Petróleo y Derivados S.A.

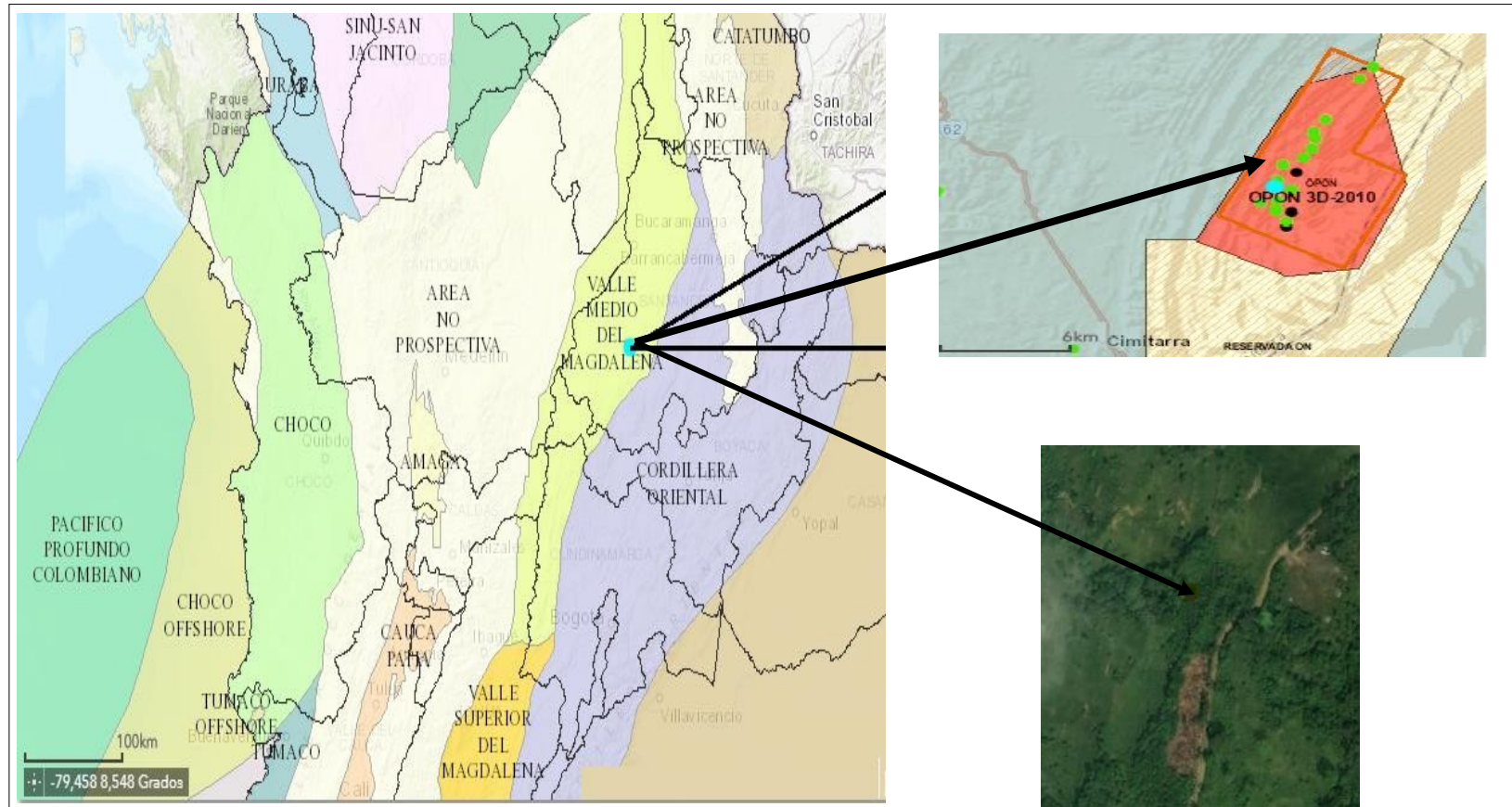
Figura 28. Datos diarios de producción Campo Opon Enero – agosto 2018



Fuente: elaboración propia, con base en: ANH Producción fiscalizada 2018

3.1.3 Banco de información petrolera. A partir de la selección del campo se consultó en el portal web del Servicio Geológico Colombiano, acerca de los pozos pertenecientes al campo Opón, así como su ubicación geográfica, profundidad entre otros aspectos, con estos datos se filtró la información a partir de los criterios requeridos y se seleccionó el pozo Lilia-5 el cual cuenta con una profundidad de 1150 pies un crudo liviano de 40 ° API y según estas características es ideal para la aplicación de este sistema de energía no convencional.

Figura 29. Cuenca valle medio del magdalena, campo Opón



FUENTE: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. [Sitio web]. Bogotá. Banco de información petrolera. [consultado :20 de mayo de 2019]. Disponible en: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/GEOVISOR_BIP/

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA ENERGIZAR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

En esta sección del capítulo 3 se realizará el diseño del sistema de celdas fotovoltaicas para energizar la unidad de bombeo hidráulico de referencia: A1-2- 60-2 de SERINPET LTDA, para el pozo Lilia 5. A partir de cálculos de ingeniería básica se logró determinar la cantidad de paneles que se requieren, teniendo en cuenta factores como ubicación y radiación solar de la locación del pozo, así como la potencia de la unidad.

Este procedimiento fue explicado teóricamente en el capítulo 1, a continuación, se desarrollará el paso a paso de los cálculos respectivos.

3.2.1 Cantidad de paneles solares. La compañía DEL RIO S.A.S. hizo el pertinente asesoramiento y recomendaciones para el diseño del sistema fotovoltaico y así energizar la unidad hidráulica de 1Hp.

3.2.1.1 Conversión de unidades. En primer lugar, se realiza la conversión de unidades de Hp a Watts, por la energía que proporciona el motor es en Hp, ya que para el debido cálculo se requieren en la unidad watts.

Cálculo 1. Conversión Hp a Watts

$$1Hp * \frac{745.6Watts}{1Hp} = 745.6 W$$

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Cálculo de consumo real. La unidad de bombeo hidráulico maneja una eficiencia del 95%, por ende es necesario conocer la eficiencia de la unidad a su 100%, con esto es importante conocer cuántos caballos de potencia son reales, para calcular un sobrestimado de energía, utilizando la **ecuación 1**.

Cálculo 2. Consumo real UHBM

$$consumo\ real = \frac{745.6(W)}{95(\%)} = 784.84W$$

Fuente: DEL RIO S.A.S.

Energía consumida. Continuando con el procedimiento se realiza el cálculo de la ecuación 2, para conocer cuanta energía es consumida por hora.

Cálculo 3. Energía consumida por hora

$$energia (Wh) = 784.84(W) * 1(h) = 784,84Wh$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

3.2.1.3 Cálculo de energía diaria. Para la unidad de 1 Hp se necesitan 1,05 Hp ya que maneja una eficiencia del 95%, mostrando como resultado, para esta unidad se necesita una energía de 784,84 Wh., se requiere conocer la unidad por día.

Cálculo 4. Cálculo de energía diaria

$$consumo\ energetico\ diario \frac{Wh}{dia} = 784.84(Wh) * 24h = 18.836,16 \frac{Wh}{dia}$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

La Energía total es de 18.836,16 Wh/día, para manejar un óptimo funcionamiento de la unidad se requiere adicionar un 30% a la energía total, ya que se toma como medida de contingencia para días nubosos o con poco brillo solar.

La energía que se requiere producir es de 24.487 Wh/dia.

3.2.1.4 Niveles de radiación solar Cimitarra Santander. Para los niveles de radiación solar se consultan en la página antes mencionada en el capítulo 1, ya fueron estimados estos datos arrojando 5,34 kWh/m2/dia.

Para conocer la productividad anual la compañía DEL RIO S.A.S. proporciona los datos anuales para el campo Opón como se observa en la **tabla 7.**

Tabla 7. Niveles de radiación anuales campo Opón

PRODUCTIVIDAD SOBRE IRRADIACIÓN SOLAR									
Lugar	kwh/m2/day						Promedio kwh/m2/day	Producción kWh/kW*year	Producción neta kWh/kW*year
Campo Opon	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	5,34	1948	1558
	5,45	5,41	5,28	5,06	5,19	5,36			
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
	5,67	5,62	5,50	5,10	5,07	5,32			

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

Es necesario conocer la producción anual neta, en este caso se obtiene que para el campo Opón, es de 1558 kWh/kW/año dividido los 365 días del año, se obtiene que la producción neta diaria es de 4.26 kWh/kW/dia.

3.2.1.5 Horas de sol pico. Teniendo en cuenta el promedio de radiación solar obtenida, se calculan las horas de sol pico, donde este es el número de horas obtenidas equivalentes, reemplazando la **ecuación 4**.

Cálculo 5. Determinación HSP

$$HSP = \frac{4,26 \frac{kWh}{kW} / día}{1 \frac{kW}{m^2}} = 4,26 \frac{kWh}{día}$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

Para un mayor rendimiento se hará uso de un tráiler, el cual se encargará de posicionar los paneles solares buscando la radiación durante el día, para este proyecto el tráiler aumentará la radiación solar en un 20%, arrojando un resultado de 5,112 kWh/día.

3.2.1.6 Numero de paneles solares. Finalmente se procederá hallar la cantidad de paneles solares y con ello suplir la energía necesaria de la unidad, haciendo uso de la ecuación 5.

Donde la energía total consumida por día es de kwh/día, se hace la debida conversión a kW para dejar toda la ecuación en las mismas unidades.

Para el presente proyecto se cuenta con paneles solares monocristalinos, con una eficiencia del 80% y una potencia pico del módulo de 310W, especificaciones proporcionadas por el fabricante de los módulos. Con estos datos se procede a realizar la siguiente ecuación.

Cálculo 6. Determinación numero de paneles solares

$$NPS = \frac{24,487 \left(\frac{kWh}{día} \right)}{5,112 \left(\frac{h}{día} \right) * 80(\%) * 0,310(kW)} = 19,3 \text{ paneles solares}$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

Para energizar la unidad es necesario hacer uso de 19 paneles solares.

3.2.1.8 Cantidad de baterías. Se requiere conocer la cantidad de baterías necesarias, reemplazando en la ecuación 6, para efectos de economía se utilizará una batería AGM, donde esta cuenta con un voltaje de 12v y una profundidad de descarga de 50%.

Cálculo 7. Cantidad de baterías

$$Cantidad\ de\ baterias = \frac{24,4285\left(\frac{kWh}{dia}\right)}{12V * 0.5 * 0.9} = 5\ baterias$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

3.2.1.9 Convertidor. La potencia de inversor viene determinada por la **Ecuación 7.**

Cálculo 8. Potencia del inversor

$$potencia\ del\ convertidor = 745.6 * 0,7 = 521,92W$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

Es necesario un inversor de 600W

3.2.1.10 Diseño completo. A continuación se hará una breve descripción del sistema fotovoltaico que se utilizará para energizar la unidad hidráulica de bombeo mecánico lo que incluye:

- **Paneles solares**

- 19 módulos de 310W
- Potencia generada de cada módulo 310W
- Resistencias a vientos fuertes así como a temperaturas extremas
- Dimensiones de cada módulo (área) 1,72 m²
- Generación garantizada según ficha técnica del fabricante de 30 años
- Alta confiabilidad +3%generacion de corriente
- confiabilidad de configuración.

- **Baterías**

- Por recomendaciones de la Empresa DEL RIO S.A.S. se utilizara:
- 1 banco de 5 baterías de AGM o gel (plomo acido), liberación de hidrogeno menor al 2% y no produce emisiones.
- Con una profundidad de descarga diaria del 50% de 3000 ciclos

- **Controlador de carga.**

- Controlador de carga integrado con el inversor
- Capacidad de potencia de 600 W

- **Pruebas de ingeniería**

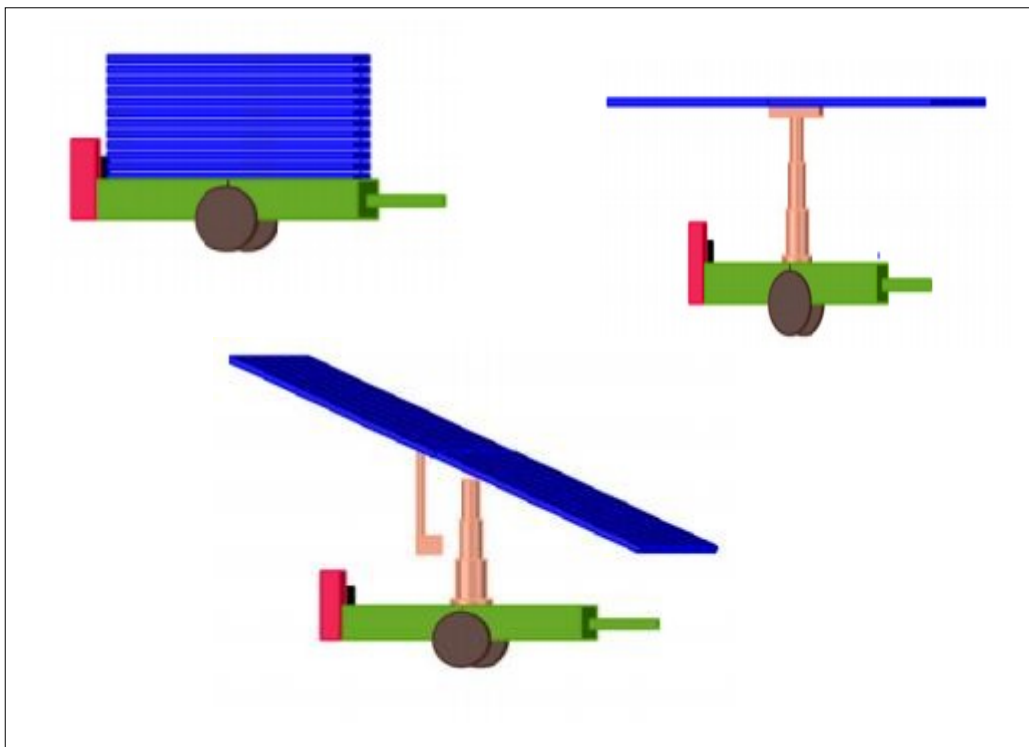
- Prueba de aceptación
- Control visual de aceptación

- Entrenamiento al personal del cliente
- Certificado de cumplimiento planta fotovoltaica
- Transporte al lugar del montaje

➤ **Otros elementos**

Adicionalmente el sistema fotovoltaico incluye un tráiler móvil, el cual permite el desplazamiento del equipo. Puede viajar con los paneles ordenados y al detenerse desplegar y orientar la estructura soporte para captar la mayor cantidad posible de energía solar.

Figura 30. Diseño panel solar con tráiler



Fuente: DEL RIO S.A.S.

4. SIMULACIÓN DE LA UNIDAD HIDRAULICA DE BOMBEO MECANICO UHBM I: A1-2-60-2

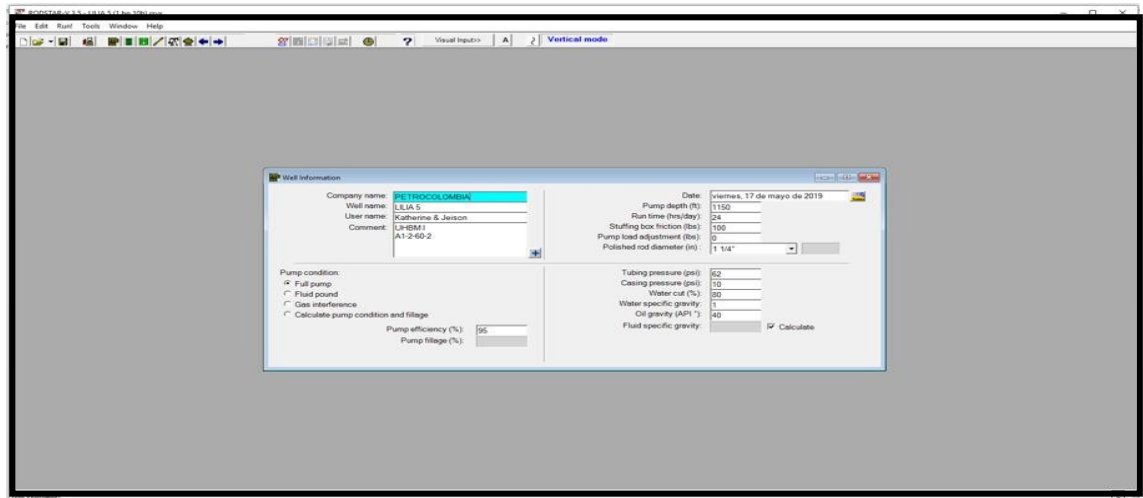
En este capítulo se realizará la simulación del comportamiento de producción diaria de petróleo para la unidad UHBM I: A1-2-60-2 de SERINPET Ltda., mediante el software RODSTAR a partir de la licencia adquirida por la compañía para el uso del simulador, utilizando la información suministrada del pozo Lilia 5 y simulando un escenario que se centra principalmente en la unidad produciendo 24 horas.

4.1 GENERALIDADES DEL SOFTWARE RODSTAR

RODSTAR es el único software predictivo para diseñar sarta de varillas con acero, fibra de vidrio, o fibra de carbón de manera automática en segundos por medio de la ecuación de onda.

A diferencia de los programas de diseño de sistemas de bomba de varilla convencionales que se basan en un enfoque de prueba y error, RODSTAR puede calcular automáticamente los trazos por minuto (spm), el tamaño del émbolo y el diseño de sirena de varilla para obtener la producción "objetivo" introducida por el usuario. Aunque los usuarios expertos pueden ingresar sus propios diseños, aprovechar las capacidades de los expertos del programa minimiza el tiempo y la experiencia requeridos para diseñar sistemas de bombeo de varillas. RODSTAR incluye una gran base de datos de unidades de bombeo y está completamente controlado por menús. Un sistema de ayuda experto sensible al contexto advierte al usuario de las varillas que necesitan acoplamientos de orificios delgados, tamaños de bombas que son demasiado grandes para la tubería, velocidades de bombeo demasiado altas o diseños que pueden resultar en un recorrido grave.

Figura 31. GENERALIDADES DEL SOFTWARE RODSTAR



Fuente: SERINPET LTDA. 2019

4.2 PASO A PASO IMPLEMENTACIÓN DE LA SIMULACIÓN UTILIZANDO SOFTWARE RODSTAR

A continuación, se describirá el procedimiento para una corrida a 24 horas.

1. Como se describe en la **tabla 8**, para iniciar la simulación se indican los datos del pozo principalmente la compañía que lo opera en este caso Petrocolombia S.A, nombre del pozo Lilia 5 así como el nombre de los usuarios que están realizando la simulación, de igual manera se especifica la fecha de la simulación y la unidad que se va a usar para la misma.

Se indican las horas de funcionamiento, para este caso 24 horas, así como la profundidad a la que se encontrará la bomba que es de 1150 pies, se especifican datos como la gravedad API que es de 40 ° y corte de agua que es del 80%, además se especifica la eficiencia de la bomba que para este caso y según la información de nuestro asesor de Serinpet S.A. es de entre 95 y 97 %.

Tabla 8. Datos iniciales para la corrida

Nombre de la Compañía	Petrocolombia
Nombre del pozo	Lilia 5
Nombre de los usuarios	Katherine Orjuela y Jeison Vanegas
Unidad de bombeo	UHBM A1-2-60-2
Fecha	17 de mayo de 2019
Profundidad de la bomba	1150 pies
Tiempo de la corrida	24 horas
Diámetro de la varilla pulida	1 ¼ pulgadas
Presión del tubing	62 PSI
Presión del casing	10 PSI
Corte de agua	80%
Gravedad especifica del agua	1
API del petróleo	40
Eficiencia de la bomba	95%

Fuente: SERINPET LTDA. 2019

Figura 32. Información inicial Lilia 5 en RODSTAR

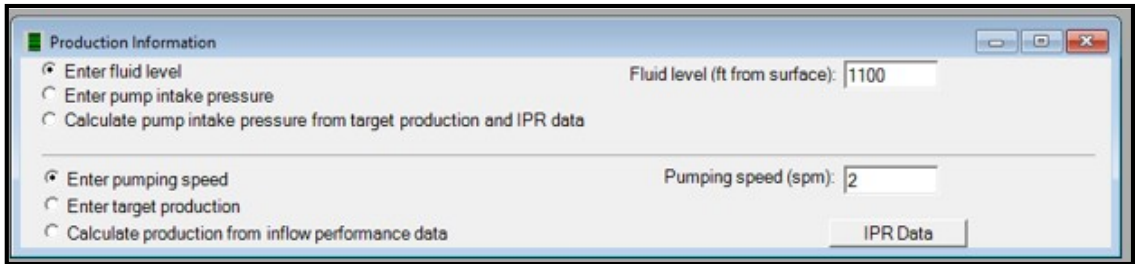
The screenshot shows the 'Well Information' window in the RODSTAR software. It contains the following data:

- Company name: PETROCOLOMBIA
- Well name: LILIA 5
- User name: Katherine & Jeison
- Comment: UHBM1 A1-2-60-2
- Date: viernes, 17 de mayo de 2019
- Pump depth (ft): 1150
- Run time (hrs/day): 24
- Stuffing box friction (lbs): 100
- Pump load adjustment (lbs): 0
- Polished rod diameter (in): 1 1/4"
- Tubing pressure (psi): 62
- Casing pressure (psi): 10
- Water cut (%): 80
- Water specific gravity: 1
- Oil gravity (API °): 40
- Fluid specific gravity: (empty field)
- Pump efficiency (%): 95
- Pump fillage (%): (empty field)
- Pump condition: Full pump, Fluid pound, Gas interference, Calculate pump condition and fillage
- Calculate checkbox:

Fuente: SERINPET LTDA. 2019

2 En la **figura 33**, se especifica los datos de producción y de la bomba de subsuelo el nivel de fluido que para este caso es de 1100 pies desde superficie y la boba tiene una velocidad de 2 strokes por minuto.

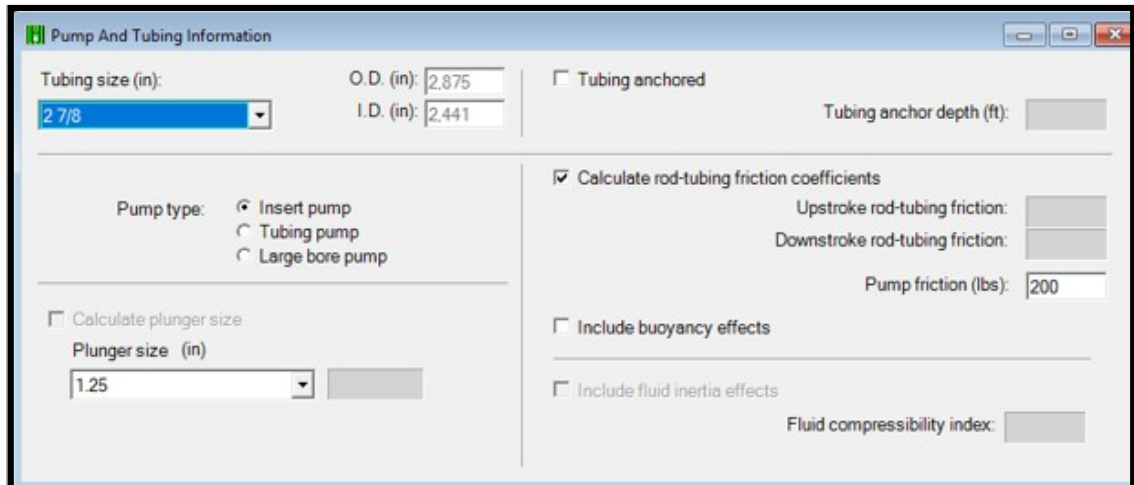
Figura 33. Información de producción Lilia 5 RODSTAR



Fuente: SERINPET LTDA. 2019

3. En la **figura 34**, se especifican los datos de la bomba y la sarta de varillas de subsuelo, donde su tamaño es de 2 7/8 pulgadas, así como el tamaño del embolo de la bomba que es de 1,25 pulgadas y el coeficiente de fricción de la bomba en libras para este caso 200

Figura 34. Información de la bomba pozo Lilia 5 RODSTAR



Fuente: SERINPET LTDA. 2019

4. En la **figura 35**, se especifican las características de las varillas de subsuelo para este caso se usaron dos tipos de varillas de diferente tamaño y de diferente grado, la primera sección es de 1050 pies, grado c (API) Y un diámetro de 1/2 pulgada, la segunda sección es de 100 pies se busca darle peso a la sarta usando varilla de grado Norris C con un diámetro de 1 1/4 pulgadas, este último diámetro es el que tendrá la bomba de subsuelo.

Figura 35. Información sarta de varillas pozo Lilia 5 RODSTAR

The screenshot shows a software window titled "Manual rod string entry". It contains a table with the following data:

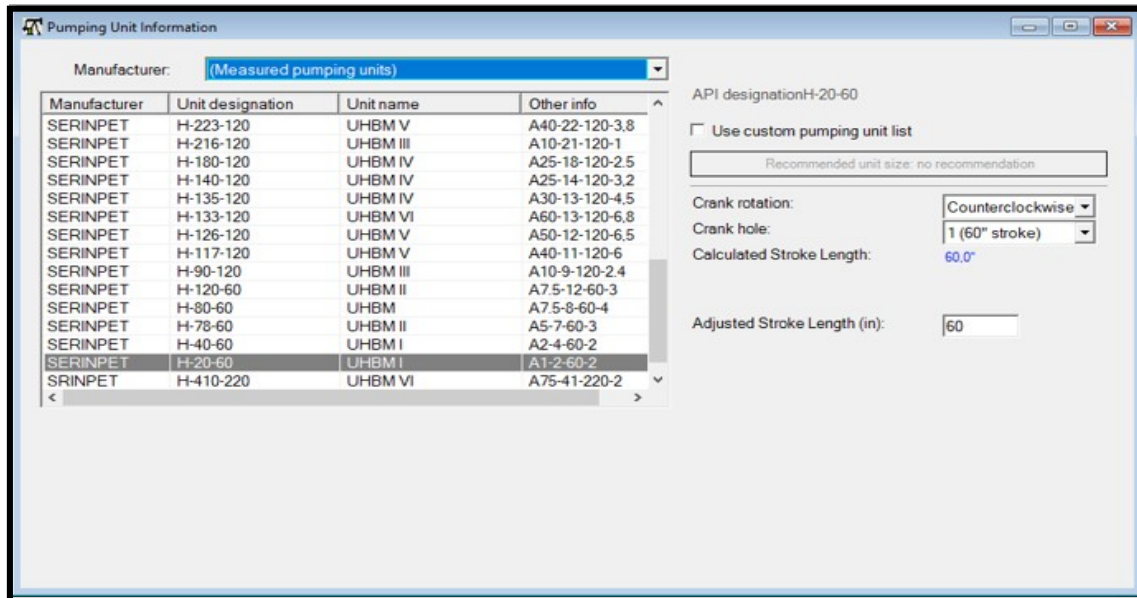
#	Rod Grade	Rod Size (in)	Actual diam. (in)	Length (ft)
1	C (API)	1/2"	0,5	1050
2	Norris C (sinker bar)	1 1/4"	1,25	100

Below the table, the summary statistics are displayed: Rod String Length: (ft): 1150 Pump Depth (ft): 1150. At the bottom, there is a section for "Other rod string information" with input fields for "Additional rod costs (\$): 0", "Steel rod service factor: 0,9", and "Cost description:".

Fuente: SERINPET LTDA. 2019

4. En la figura 36, se realiza la selección de la unidad de bombeo de referencia A1-2-60-2 la cual como se había mencionado anteriormente consta de, 1 caballo de fuerza, 2000 Lbf, 60 pulgadas de recorrido y 2 strokes por minuto.

Figura 36. Selección de la unidad hidráulica de bombeo mecánico



Fuente: SERINPET LTDA. 2019

6. Posteriormente se realiza la simulación y se obtienen los resultados.

4.2.1 Resultados SIMULACIÓN (24 HORAS). A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la primera simulación en un escenario de 24 horas de trabajo de la unidad.

Figura 37. Tabla de resultados RODSTAR

CALCULATED RESULTS (TOTAL SCORE: 87% Grade: B+)			
Production rate (bfpd):	20	Peak pol. rod load (lbs):	1814
Oil production (BOPD):	4	Min. pol. rod load (lbs):	605
Strokes per minute:	2	MPRL/PPRL	0.334
System eff. (Motor->Pump):	15%	Unit struct. loading:	91%
Permissible load HP:	.6	PRHP / PLHP	0.50
Fluid load on pump (lbs):	632	Buoyant rod weight (lbs):	1032
PRHP:	.3	N/No: .01 , Fo/SKr: .022	
Required prime mover size (speed var. not included)	BALANCED		

Fuente: SERINPET LTDA. 2019

Para la anterior simulación se debe tener en cuenta que el campo tiene un corte de agua del 80 %, por este motivo tenemos un resultado de producción diaria de fluido de 20 Bpd y producción de petróleo de 4 Bopd.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la anterior simulación se debe tener en cuenta que el campo tiene un corte de agua del 80 % un valor bastante alto, haciendo énfasis en el dato anteriormente referenciado tenemos como resultado de producción diaria de fluido 20 bpd y una producción de petróleo diaria de 4 bopd **Anexo A**.

5. ANÁLISIS FINANCIERO

En este capítulo se hará el pertinente estudio económico financiero, haciendo una proyección a 5 años, comparando un sistema de bombeo hidráulico de 5hp conectado a redes nacionales y la unidad propuesta por el presente proyecto.

Para el estudio financiero de este proyecto se hará una suposición la cual consiste que para el pozo Lilia 5 se está usando una unidad de bombeo hidráulico de 5Hp de Serinpet Ltda. conectada a redes eléctricas nacionales, unidad que en algún momento fue utilizada en realidad en este campo por parte de la compañía, pero datos como tiempo y de cómo fue la operación de la unidad son desconocidos por cuestiones de confidencialidad de la compañía. A partir de esta suposición se va hacer un cuadro comparativo entre las dos unidades de los beneficios que se obtendrá al manejar la unidad de 1Hp energizado con paneles solares.

Para esta evaluación se utilizará el indicador financiero VPN el cual nos ayudara a ver reflejados por medio de cifras si este proyecto es viable financieramente.

Adicionalmente también se hablará sobre los beneficios tributarios ofrecidos por el gobierno en la ley 1715 del año 2014 para las empresas que realicen proyectos con energía renovable.

5.1 COSTOS UNIDAD DE BOMBEO HIDRÁULICO 5 HP CONECTADO A REDES NACIONALES.

Como anteriormente se aclaró se realizará un supuesto con la unidad de bombeo hidráulica de 5Hp conectada a redes eléctricas nacionales para lograr un cuadro comparativo con nuestra propuesta.

5.1.1 Costo energía eléctrica. Para la unidad hidráulica de 5Hp que es energizada con redes eléctricas nacionales, es necesario conocer el consumo en kWh/día y así poder multiplicarlo por el precio que esta dado en la zona para el sector, por consiguiente, es necesario conocer los kWh/día que consume la unidad hidráulica.

5.1.1.1 Conversión de unidades. Se realizará una conversión de Hp a Watts ya que se cuenta con una unidad de 5Hp.

Cálculo 9. Conversión unidades Hp a watts

$$5Hp * \frac{745.6Watts}{1Hp} = 3.728 W$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

5.1.1.2 Consumo real 5Hp diario. Este cálculo es realizado reemplazando en la **ecuación 1**, a una eficiencia del 90% con 5 caballos de potencia luego se multiplica por hora y por día.

Cálculo 10. Consumo real unidad 5Hp

$$consumo\ real = \frac{3.728(W)}{90(\%)} = 4.142,22$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

Cálculo 11. Consumo energético diario 5Hp

$$consumo\ energetico\ diario \frac{Wh}{dia} = 4.142,22(Wh) * 24h = 99.413,33 \frac{Wh}{dia}$$

Fuente: DEL RIO S.A.S. 2019

5.1.1.3 Precio por kWh/día Santander. De acuerdo al anexo B, el precio en Santander por el consumo eléctrico es de \$564,81 kWh en el sector industrial

5.1.1.4 Precio total por año. Con el fin de calcular el costo total por consumo de electricidad en la unidad de bombeo con 5Hp se realiza la siguiente ecuación. (para efectos de este proyecto se tomará un valor de \$3.378 * USD)

Cálculo 12. Precio de kWh por año

$$x = \frac{99.41 \frac{kWh}{dia} * \$564,8126 * 365\ dias}{3378} = \$6.061,42 USD$$

Fuente: elaboración propia.

5.1.3.1 Proyección costo energía eléctrica a 5 años. se realizara una proyección con un aumento anual al precio de kWh de acuerdo a la inflación promedio anual en Colombia que es de 3,18%.

Tabla 9. Proyección precio energía eléctrica a 5 años

Año	Precio kWh	Consumo kWh/día	Total por año (USD)	
1	\$ 564,81	99,32	\$	6.061,42
2	\$ 582,77	99,32	\$	6.254,17
3	\$ 601,31	99,32	\$	6.453,05
4	\$ 620,43	99,32	\$	6.658,26
5	\$ 640,16	99,32	\$	6.869,99

Fuente: elaboración propia.

5.1.2 Costo de mantenimiento preventivo. La unidad hidráulica de 5hp requiere unos mantenimientos preventivos para evitar unos posibles daños, la empresa se dedica a hacer dichos mantenimientos y nos suministra el costo de los repuestos instalados. En la tabla 9 se muestran los precios para la unidad de 5 Hp.

Tabla 10. Presupuesto repuestos unidad hidráulica 5Hp

Unidad de bombeo 5hp						
Repuestos	Mtto tipo1	Mtto tipo2	Mtto tipo3	Cantidad	Unidad	Precio (USD)
FILTRO DE SUCCIÓN	R L	C	C	1	Uni	108
FILTRO DE RECIRCULACIÓN	C	C	C	1	Uni	130
FILTRO DE AIRE	C	C	C	1	Uni	145
ACOPLE-ELASTÓMERO REX	R	C	C	1	Uni	205
OMEGA						
ACEITE HIDRÁULICO	C	C	C	50	Gal	450
KIT DE MANGUERAS	R	R	C	1	Uni	1768
CONJUNTO ROTATIVO DE LA	R	C	C	1	Uni	2807
BOMBA ^A						
MANÓMETRO DE ALTA	R	C	C	1	Uni	123
MANÓMETRO DE BAJA	R	C	C	1	Uni	53
KIT DE EMPAQUETADURAS	R	R	C	1	Uni	1158
RODAMIENTOS MOTOR			C	1	Uni	220
TERMÓMETRO			C	1	Uni	105
PLC			C ^B	1	Uni	250
DISPLAY PLC			C ^B	1	Uni	118
VÁLVULA SOLENOIDE			C ^B	1	Uni	421

Nota: R: revisar, L: limpiar, C: cambiar
A: Eje, retenedor, rodamiento, sellos y rin.
B: Actividad opcional

Fuente: elaboración propia, con base en: SERINPET LTDA.

En la tabla 10 se realiza una proyección de costos asociados al mantenimiento preventivo en la unidad hidráulica de 5hp, esta proyección será estimada a 3 años

con la inflación anteriormente mencionada, serán 3 años ya que el mantenimiento se está realizando entre ese tiempo para cada unidad.

Tabla 11. Proyección del mantenimiento a 3 años unidad 5Hp

Repuestos	Año 1	Año 3
FILTRO DE SUCCIÓN		\$ 115
FILTRO DE RECIRCULACIÓN	\$ 130	\$ 138
FILTRO DE AIRE	\$ 145	\$ 154
ACOPLE-ELASTÓMERO REX OMEGA		\$ 218
ACEITE HIDRÁULICO	\$ 450	\$ 479
KIT DE MANGUERAS		
CONJUNTO ROTATIVO DE LA BOMBA ^A		\$ 2.986
MANÓMETRO DE ALTA		\$ 131
MANÓMETRO DE BAJA		\$ 56
KIT DE EMPAQUETADURAS		
RODAMIENTOS MOTOR		
TERMÓMETRO		
PLC		
DISPLAY PLC		
VÁLVULA SOLENOIDE		
TOTAL USD	\$ 725	\$ 4.277

Fuente: elaboración propia con base en Serinpet Ltda.

5.1.3 Costos unidad de bombeo hidráulico 1 hp / paneles solares. De acuerdo con el proyecto se propone el uso de la bomba hidráulica de 1 hp, la cual será energizada con paneles solares.

5.1.3.1 Valor de la unidad de bombeo hidráulico 1Hp. El precio de la unidad de bombeo hidráulico según la compañía será de **\$21.450 USD**.

5.1.3.2. Costo mantenimiento preventivo de la bomba hidráulica 1Hp. De acuerdo con la información suministrada por la compañía el costo de los repuestos instalados para el mantenimiento preventivo, se verán reflejados en la siguiente tabla 11.

Tabla 12. Presupuesto repuestos unidad hidráulica 1Hp

Unidad de bombeo 1Hp						
Repuestos	Mtto tipo1	Mtto tipo2	Mtto tipo3	Cantidad	Unidad	Precio (USD)
FILTRO DE SUCCIÓN	R L	C	C	1	Uni	98
FILTRO DE RECIRCULACIÓN	C	C	C	1	Uni	111
FILTRO DE AIRE	C	C	C	1	Uni	140
ACOPLE-ELASTÓMERO REX OMEGA	R	C	C	1	Uni	192
ACEITE HIDRÁULICO	C	C	C	25	Gal	225
KIT DE MANGUERAS	R	R	C	1	Uni	1754
CONJUNTO ROTATIVO DE LA BOMBA ^A	R	C	C	1	Uni	2807
MANÓMETRO DE ALTA	R	C	C	1	Uni	123
MANÓMETRO DE BAJA	R	C	C	1	Uni	53
KITDE EMPAQUETADURAS	R	R	C	1	Uni	1158
RODAMIENTOS MOTOR			C	1	Uni	211
TERMÓMETRO			C	1	Uni	105
PLC			C ^B	1	Uni	244
DISPLAY PLC			C ^B	1	Uni	112
VÁLVULA SOLENOIDE			C ^B	1	Uni	421

Nota: R: revisar, L: limpiar, C: cambiar
A: Eje, retenedor, rodamiento, sellos y rin.
B: Actividad opcional

Fuente: elaboración propia, con base en: SERINPET LTDA.

En la tabla 12 se realiza una proyección de costos asociados al mantenimiento preventivo en la unidad hidráulica de 1Hp, esta proyección será estimada a 5 años con la inflación anteriormente mencionada.

Tabla 13. Proyección del mantenimiento a 3 años unidad 1Hp

Repuestos	Año 1	Año 3
FILTRO DE SUCCIÓN		\$ 104
FILTRO DE RECIRCULACIÓN	\$ 111	\$ 118
FILTRO DE AIRE	\$ 140	\$ 149
ACOPLE-ELASTÓMERO REX OMEGA		\$ 204
ACEITE HIDRÁULICO	\$ 225	\$ 239
KIT DE MANGUERAS		
CONJUNTO ROTATIVO DE LA BOMBA ^A		\$ 2.986
MANÓMETRO DE ALTA		\$ 131
MANÓMETRO DE BAJA		\$ 56
KIT DE EMPAQUETADURAS		
RODAMIENTOS MOTOR		
TERMÓMETRO		
PLC		
DISPLAY PLC		
VÁLVULA SOLENOIDE		
TOTAL USD	\$ 476	\$ 3.987

Fuente: elaboración propia

5.1.4 Costo instalación paneles solares. según el diseño establecido en el capítulo 3, se solicita una cotización a la compañía encargada DEL RIO S.A.S, donde se ven reflejado los valores de paneles solares, baterías, convertidores, reguladores, instalación, pruebas de ingeniería y traslado de equipos.

Tabla 14. Costo sistema fotovoltaico

Descripción	Valor (USD)
INSTALACION PANALES SOLARES, BATERIAS, CONVERTIDORES, PRUEBAS DE INGENIERIA	\$ 22.000,00

Fuente: elaboración propia

5.2 EGRESOS.

Se define como toda salida de dinero en una empresa, para el presente proyecto se refiere a los costos asociados al proyecto (mantenimiento y costos de operación).

5.2.1 Egresos unidad 5Hp. Para la unidad hidráulica de 5Hp se especifica los costos que fueron anteriormente mencionado. A continuación en la tabla 14 quedan expresados los costos para el año 0.

Tabla 15. Egresos unidad 5Hp año 0

Egresos	
Descripción	Valor (USD)
UNIDAD DE BOMBEO HIDRAULICO SERINPET	\$ 25.000
INSTALACION UNIDAD DE BOMBEO SERINPET	\$ 3.000
MANTENIMIENTO UNIDAD DE BOMBEO SERINPET (VARIABLE)	
TRASPORTE UNIDAD DE BOMBEO (BOGOTA D.C.- CIMITARRA SANTANDER) SERINPET	\$ 1.500
TOTAL	\$ 29.500

Fuente.: elaboración propia

5.2.2 Egresos unidad 1Hp. Para la unidad hidráulica de 1hp se muestran los costos asociados para el año 0, especificados en la tabla 15.

Tabla 16. Egresos unidad 1Hp año 0

Egresos	
Descripción	Valor (USD)
UNIDAD DE BOMBEO HIDRAULICO SERINPET	\$ 21.450
INSTALACION UNIDAD DE BOMBEO SERINPET	\$ 3.000
MANTENIMIENTO UNIDAD DE BOMBEO SERINPET (VARIABLE)	
TRASPORTE UNIDAD DE BOMBEO (BOGOTA D.C.- CIMITARRA SANTANDER) SERINPET	\$ 1.500
COMPRA E INSTALACION DE PANELES (SOLARES DEL RIO)	\$ 22.000
MANTENIMIENTO DE PANELES SOLARES ANUAL	
TOTAL	\$ 47.950

Fuente: elaboración propia

5.3 INGRESOS.

Están compuestos de todas entradas liquidas que genera un negocio o proyecto.

Para los ingresos del proyecto se estima la cantidad de barriles de petróleo producidos (según el simulador para el sistema a 24 horas se produce 4 barriles) multiplicados por el precio del barril según LA REFERENCIA WTI.

Ecuación 8. Ingresos

$$\text{Ingresos} = \text{producción (BOPD)} * \text{PRECIO} \frac{\$USD}{BBL}$$

Fuente: Fuente:. MOIX MUNTO, Rigoberto. Evaluación Económica De Proyectos Petroleros [en línea].Bogota: Pacific Rubiales Energy,2015.[fecha de consulta:20 mayo 2019].Disponible en: https://issuu.com/cronpios/docs/af_completo_libro_de_proyectos_petr/40

El precio de venta del crudo que se toma como referencia es el WTI, el cual corresponde a la cesta de crudos de Texas y Oklahoma, usado principalmente para crudos livianos de alta calidad con gravedad °API de 39,6 y azufre en 0,24. En el presente proyecto se cuenta con un crudo de 40 °API, por la cual se puede vender el crudo al precio tomado de \$54,34 USD/BBL.

Tabla 17. Ingresos del proyecto

Ingresos	
Descripción	Valor (USD)
CANTIDAD DE BARRILES EXTRAIDOS POR AÑO*PRECIO PROMEDIO DE BARRIL	\$ 79.336,40

Fuente: elaboración propia

5.4 FLUJO DE CAJA

Este es el resultado de la diferencia entre los ingresos y los egresos de las arcas de un negocio, para cada periodo específico de tiempo.

Ecuación 9. Flujo de caja neto

$$\text{flujo de caja neto} = \text{ingresos} - \text{egresos}$$

Fuente: MOIX MUNTO, Rigoberto. Evaluación Económica De Proyectos Petroleros [en línea].Bogota: Pacific Rubiales Energy,2015.[fecha de consulta:20 mayo 2019].Disponible en: https://issuu.com/cronpios/docs/af_completo_libro_de_proyectos_petr/40

A continuación, se presentará el flujo de caja para cada unidad donde van

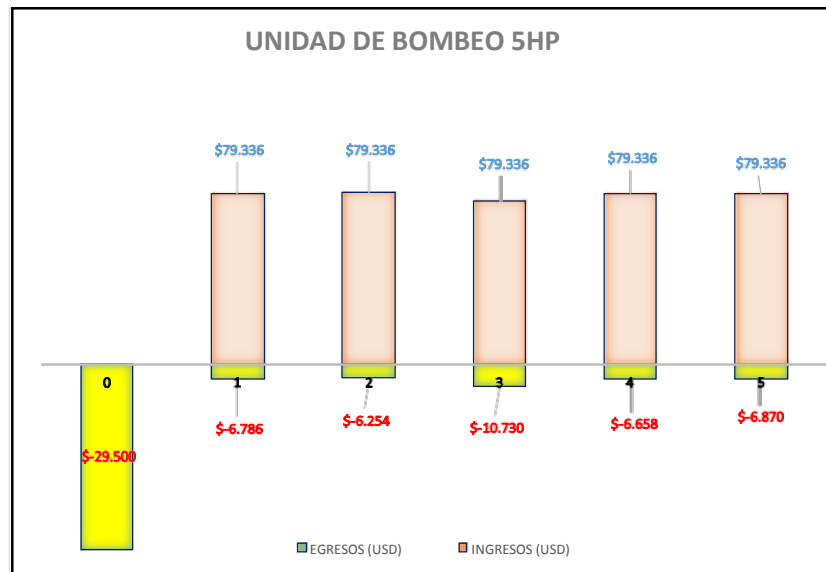
especificados los egresos que según su especificación fueron mencionados anteriormente y para el ingreso se tomara el mismo para las 2 unidades.

Tabla 18. Flujo de caja unidad hidráulica 5 Hp

Año	Egresos (USD)	Ingresos (USD)	Flujo de caja (USD)
0	\$ -29.500		\$ -29.500
1	\$ -6.786	\$ 79.336	\$ 72.550
2	\$ -6.254	\$ 79.336	\$ 73.082
3	\$ -10.730	\$ 79.336	\$ 68.607
4	\$ -6.658	\$ 79.336	\$ 72.678
5	\$ -6.870	\$ 79.336	\$ 72.466
TOTAL	\$ -66.799	\$ 396.682	\$ 329.883

Fuente: elaboración propia

Figura 38. Flujo de caja unidad 5Hp



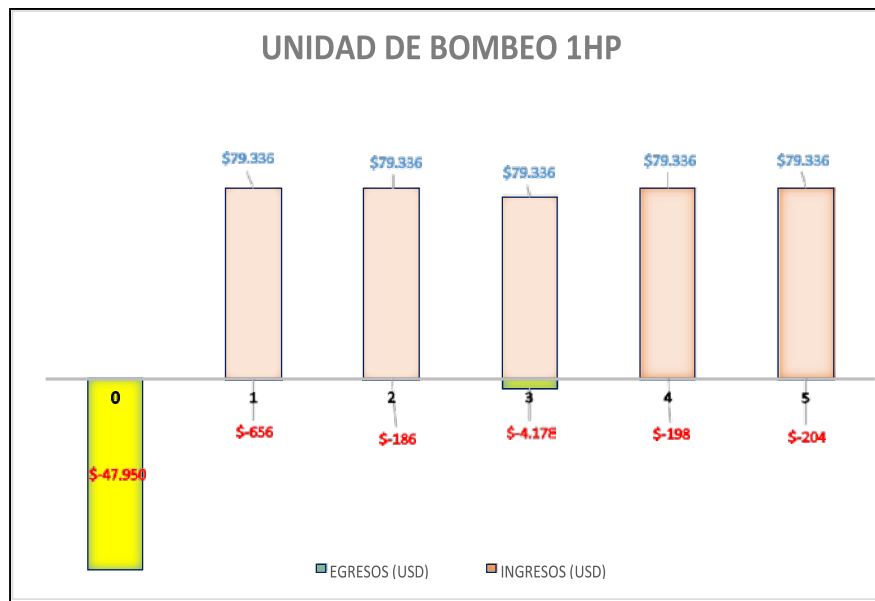
Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Flujo de caja unidad hidráulica 1 Hp

Año	Egresos (USD)	Ingresos (USD)	Flujo de caja (USD)
0	\$ -47.950		\$ -47.950
1	\$ -656	\$ 79.336	\$ 78.680
2	\$ -186	\$ 79.336	\$ 79.151
3	\$ -4.178	\$ 79.336	\$ 75.158
4	\$ -198	\$ 79.336	\$ 79.139
5	\$ -204	\$ 79.336	\$ 79.132
TOTAL	\$ -53.372	\$ 396.682	\$ 343.310

Fuente: elaboración propia

Figura 39. Flujo de caja unidad 1Hp



Fuente: elaboración propia

5.5 EVALUACIÓN FINANCIERA.

La evaluación financiera del proyecto se evaluará mediante el indicador valor presente neto VPN.

5.5.1 Tasa interna de oportunidad (TIO). esta es la tasa de interés más baja con el objeto de saber si la compañía acepta o no el proyecto. Para el presente proyecto

la TIO será del 3,18%. Dicho porcentaje será tomado ya que no se tiene la tasa interna de oportunidad de la empresa y en cambio se tomará como base el % de inflación en Colombia.

5.5.2 Valor presente neto (VPN). el VPN ofrece información de monto del dinero valor presente que rince un negocio después de recuperar la inversión. Para este indicador debe estar relacionado a una tasa de descuento determinada.

Si un proyecto arroja un VPN= 0, significa que el proyecto mide una tasade interés a la tasa de retorno igual a la de descuento y recupera la inversión.

Ecuación 10. Valor presente neto

$$VPN = \sum \frac{FCt}{(1 + i)}$$

Fuente: MOIX MUNTO, Rigoberto. Evaluación Económica De Proyectos Petroleros [en línea].Bogota: Pacific Rubiales Energy,2015.[fecha de consulta:20 mayo 2019].Disponble en: https://issuu.com/cronprios/docs/af_completo_libro_de_proyectos_petr/40

Donde

VPN = valor presente neto.

FCt = flujo de baja corriente

i = tasa de descuento

t = año corriente

Para el proyecto con el fin de comparar los dos escenarios propuestos se calcula el VPN con una TIO del 3,18%, el VPN resultante para la unidad de 5 Hp es de **USD\$298.009** y para la unidad de 1Hp el resultante es de **USD\$308.565**.

5.5.3. TIR (tasa interna de retorno). La tasa interna de retorno ofrece información sobre el rendimiento económico del proyecto en forma porcentual, es el rendimiento económico que produce el VPN, con la siguiente formula

Ecuación 11. Tasa interna de retorno

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t}$$

Fuente: MOIX MUNTO, Rigoberto. Evaluación Económica De Proyectos Petroleros [en línea]. Bogota: Pacific Rubiales Energy, 2015. [fecha de consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: https://issuu.com/cronpios/docs/af_completo_libro_de_proyectos_petr/40

Para este proyecto se comparan los dos escenarios propuestos se calcula la TIR con una tasa del 3,18%, la TIR resultante para la unidad de 5 Hp es de **245%** debido a que la inversión para esta unidad es mucho menor se recupera más rápido y para la unidad de 1Hp el resultante es de **162%**.

5.6 ANÁLISIS

Se puede concluir que el proyecto es viable financieramente ya que el VPN calculado es positivo, estableciendo que la unidad de bombeo hidráulico energizada con el sistema fotovoltaico presenta una ganancia a hoy de USD \$308.565 con diferencia de USD\$10.556 respecto a la Unidad de bombeo de 5Hp.

5.7 ANÁLISIS TRIBUTARIO LEY 1715 2014

En esta sección del capítulo financiero se indicarán los beneficios tributarios que otorga el gobierno a las empresas que adopten sistemas de energía renovable descritos en la ley 1715 de 2014 en los artículos 11 al 13. Inicialmente a las empresas que realicen inversiones en este tipo de energías tendrán derecho a la reducción anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que se haya realizado la inversión, representada en el 50 % del total de la inversión realizada.

- Otro de los incentivos es el de la exclusión del IVA para la compra de equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a proyectos de energía no convencionales.
- Otro beneficio es el de la exención de pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e **insumos destinados**

exclusivamente a labores de inversión o pre inversión en proyectos de energía no convencionales.

6. CONCLUSIONES

- Se encuentra que todas las regiones del país cuentan con buenos niveles de radiación solar, siendo la región caribe el área con mayor nivel de radiación solar.
- Se hallaron los criterios de selección dados por la empresa SERINPET Ltda., en el pozo Lilia 5 los cuales son: profundidad de 1150 pies, caudal de 19 BPD y crudo liviano.
- Para poner en producción el pozo Lilia 5 con energía fotovoltaica se requiere un diseño de ingeniería básica representado en 19 paneles de 310 W, los cuales ocupan un área de 17 m², 5 baterías de AGM que no generan emisiones, un convertidor de 600 W, una unidad hidráulica de bombeo mecánico A1-2-60 y una bomba de subsuelo de 2 7/8.
- Con base en los resultados del Valor Presente Neto a partir de un precio de venta de \$54,34USD /BBL, se concluye que el proyecto es atractivo desde el punto de vista financiero ya que el VPN correspondió a **USD\$308.565**. y representó una diferencia de **USD\$10.556** con respecto al VPN para un sistema de una unidad de 5hp, tomando como tasa de interés de oportunidad del 3.18%, valor tomado de la inflación en Colombia.
- Se evidenció que para el pozo Lilia 5 una unidad hidráulica de bombeo mecánico de 1 Hp conectada a un sistema fotovoltaico, puede producir la misma cantidad diaria de petróleo que produce una unidad hidráulica de bombeo mecánico de 5 hp conectado a la red eléctrica nacional, de una manera mucho más eficiente, con menor requerimiento de energía y con una rentabilidad mayor en términos financieros.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis más profundo del estudio financiero a partir de la aplicación de los diferentes incentivos tributarios ofrecidos por el gobierno, lo que reduciría en un buen porcentaje la inversión inicial y haría aún más atractivo el proyecto en términos financieros.
- Ampliar la muestra de pozos con diferentes criterios de selección, variando los datos de producción, API, profundidad y ubicación; usando sistemas energizados con celdas fotovoltaicas para cada escenario y planteando para cada uno un análisis financiero para determinar su viabilidad económica.
- Implementar el sistema fotovoltaico en el pozo Lilia 5, basados en los resultados de producción, radiación solar de la locación y del estudio financiero que se obtuvo con el presente proyecto.

BIBLIOGRAFIA

AMERISOLAR. [Sitio Web]. [Consulta 23 febrero 2019]. Disponible en: <https://es.weamerisolar.eu/best-solar-panels/polycrystalline-solar-panels>

CRABTREE, Reece. Offshore Applications for Solar Energy Cells [En línea]. Houston, Texas., Estados Unidos, 1976 [Consultado el 23 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-2579-MS>

ELSOHUENI, M, KHALIL, A, Photovoltaic/Gen-Set Hybrid System at Egyptian Western Desert,[En línea], Ravenna, Italia, 2017 [Consulta el 22de marzo de 2019] Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OMC-2017-671>

GIRALDO, María, et al. LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS ¿UNA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA? [En línea]. Vol. 9.[En línea], Bogotá, Colombia, 2018 [Citado el 24 de marzo de 2019] Disponible en:<http://ezproxy.uamerica.edu.co:2109/eds/detail/detail?vid=4&sid=e786b5ef-0f49-4019-bb3c-92c477114edc%40sessionmgr103&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZS0ZyY29wZT1zaXRI#AN=131896274&db=bthlISSN:0123-580X>

INEA, Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia. [sitio web], Bogotá[23 de marzo de 2019]. Archivo pdf, Disponible en: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/CENSO%20Y%20EVALUACION%20DE%20SISTEMAS%20SOLARES%20FOTOVOLTAICOS%20INSTALADOS%20EN%20COLOMBIA%20INEA%201996.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166 Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 97895885673 153 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Bogotá: IDEAN, Atlas de radiación solar ultravioleta y ozono de Colombia [Consulta 23, febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>

IRENA.[Sitio web].publications,[consulta: 20 de marzo de 2019] disponible en: <https://www.irena.org/>

KESSLER, Richard, POWERS, Rodney, LASA, Ivan, Intermittent Cathodic Protection Using Solar Power, [En línea] San Diego, California, Estados Unidos, 1998 [Consultado el 23 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/NACE-98651>

Ley 1715 del año 2014. {Sitio web}. {Consultado 23, febrero, 2019}. Disponible en: [://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

MOIX MUNTO, Rigoberto. Evaluación Económica De Proyectos Petroleros [en línea]. Bogotá: Pacific Rubiales Energy, 2015. [fecha de consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: https://issuu.com/cronpios/docs/af_completo_libro_de_proyectos_petr/40

NASA.gov [Sitio web]. Power data acces viewer. [Consulta 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/>

OVIEDO-Salazar et al. Historia y uso de energías Renovables [En línea]. Vol. 10. San Nicolás de los Garza, N.L., México, 2015. [Citado el 10 de marzo de 2019]. Disponible en: [:http://ezproxy.uamerica.edu.co:2118/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=f1a64d3e-750e-4e15-ad38-17a8def1ff81%40sdc-v-sessmgr01](http://ezproxy.uamerica.edu.co:2118/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=f1a64d3e-750e-4e15-ad38-17a8def1ff81%40sdc-v-sessmgr01) ISSN1870-557

PORRAS TIRADO, Javier. EVALUACIÓN TÉCNICO FINANCIERA DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO COMBINADO BOMBEO MECÁNICO E HIDRÁULICO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL YACIMIENTO POR MEDIO DE REGISTROS DE PRODUCCIÓN EN UN POZO EN CAMPO PROVINCIA [en línea]. tesis de pregrado. Universidad de América. Bogotá, 2016 [consultado 23 de febrero de 2019]. disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/101/1/5101395-2016-2-IP.pdf>

Pumping Unit Parts and Services [en línea]. Estados Unidos, 2014-. [consulta: 23 febrero 2019]. disponible en: <https://www.weatherford.com/en/documents/brochure/products-and-services/production-optimization/pumping-unit-parts-and-services/>

Romero, Luis Carlos, Energías renovables: descripción, tecnología y usos finales. [sitio web], Bogotá, [consulta: 23 de marzo de 2019]. Archivo pdf. Disponibles en: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ENERGIAS%20RENOVABLES%20DESCRIPCION%20TECNOLOGIA%20USOS%20FINALES%20UPME.pdf>

SALVADOR, Miguel Ángel, DISEÑO, OPTIMIZACION Y MEJORA DE LA EXTRACCION DE PETROLEO UTILIZANDO UN SISTEMA DE BOMBEO MECANICO HIDRAULICO APLICANDOLO EN CAMPOS MADUROS [En línea]. Tesis pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. 2013.[24 de febrero de 2019]. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1614/1/salvador_vm.pdf

SEAS SUAREZ, Eldy. Unidades de bombeo mecánico no convencionales. [En línea]. 2017 abril 22. [Consultado 23 febrero 2019]. disponible en: <https://www.slideshare.net/saavedra2304/bombeo-mecanico-no-convencional-rotaflex-dynapumps>

SANCHEZ NAVARRO, Yoel. Evaluación del comportamiento de producción en pozos con unidad de bombeo Hidráulico Corlift [En línea],2010, abril 2. [consultado 23 febrero 2019]. Disponible en:<http://oilproduction.net/produccion/artificial-lift-systems/bombeo-mecanico/item/1763-evaluacion-del-comportamiento-de-produccion-en-pozos-con-unidad-de-bombeo-hidraulico-corlift>

SOLARGIS.[Sitio web], Mapas potencial solar fotovoltaico. [Consulta 23 febrero 2019]. Disponible en:<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>

SUNFIELDS EUROPE [Sitio web]. Equipos Fotovoltaicos. [Consulta 15 de mayo 2019]. Disponible en:<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/>

Tobajas, Vázquez, Carlos. *Energía solar fotovoltaica*, Cano Pina, 2018. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=5349504>.

VILLA, Guillermo., [Sitio web], wixsite. [Consulta 2 de marzo de 2019]. Disponible en:<https://guillermovilla2013.wixsite.com/produccion/produccion-ii>

ANEXOS

ANEXO A. SIMULACIÓN RODSTAR POZO LILIA 5

Company: PETROCOLOMBIA
Well: LILIA 5
Disk file: LILIA 5 (1 hp).rsvx
Comment: UHBM I
A1-2-60-2

RODSTAR-V 3.5.2
(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 1 of 4
User: Katherine & Jeison
Date: 17/05/2019

System Design Score : 87% Grade: B+

MAXIMUM ROD LOADING SCORE: 100

No recommendations for improvements are necessary

STRUCTURE LOADING SCORE: 100

No recommendations for improvements are necessary

SYSTEM EFFICIENCY SCORE: 20

System efficiency at 15,3% is very poor: To increase efficiency:

- Use a bigger pump and slower pumping speed
- Use longer stroke length.
- Use more efficient pumping unit.
- Use a more efficient motor (or different motor type).
- Try changing the pumping unit direction of rotation.

BOTTOM MINIMUM STRESS SCORE: 100

No recommendations for improvements are necessary

MINIMUM POLISHED ROD LOADING SCORE: 100

No recommendations for improvements are necessary

RODSTAR-V 3.5.2

Company: PETROCOLOMBIA
 Well: LILIA 5
 Disk file: LILIA 5 (1 hp 10h).rsvx
 Comment: UHBM I
 A1-2-60-2

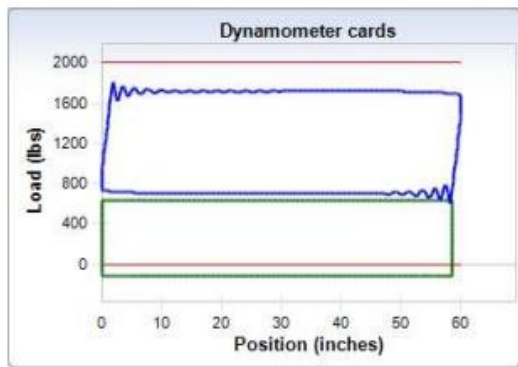
(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 2 of 4
 User: Katherine & Jeison
 Date: 17/05/2019

INPUT DATA		CALCULATED RESULTS (TOTAL SCORE: 87% Grade: B+)	
Strokes per minute:	2	Fluid level	
Run time (hrs/day):	10.0	(ft from surface):	1100
Tubing pres. (psi):	62	(ft over pump):	50
Casing pres. (psi):	10	Stuf.box fr. (lbs):	100
		Pol. Rod Diam: 1.25"	
Fluid properties		Motor & power meter	
Water cut:	80%	Power Meter	Detent
Water sp. gravity:	1	Electr. cost:	\$.1/KWH
Oil API gravity:	40.0	Type:	NEMA D
Fluid sp. gravity:	0.965		
Pumping Unit: SERINPET			
Unit size: H-20-60 (unit ID: CUSTOM)			
Crank hole number		N/A	
Calculated stroke length (in):	60		
Crank Rotation:		N/A	
Max. CB weight		N/A	
Adjusted stroke length (in):	60		
Tubing and pump information			
Tubing O.D. (ins):	2,875	Upstr. rod-tbg fr. coeff:	2,000
Tubing I.D. (ins):	2,441	Dnstr. rod-tbg fr. coeff:	2,000
Pump depth (ft):	1150	Tubing is not anchored	
Pump condition:	Full	Pump load adj. (lbs):	0.0
Pump type:	Insert	Pump vol. efficiency :	95%
Plunger size (ins):	1.25	Pump friction (lbs):	200.0
Rod string design			
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)
0.5	C (API)	1050	90000
@ 1.25	Norris C (sb)	100	90000

Production rate (bfpd):	8	Peak pol. rod load (lbs):	1814	
Oil production (BOPD):	2	Min. pol. rod load (lbs):	605	
Strokes per minute:	2	MPRI /PPRI	0.334	
System eff. (Motor->Pump):	15%	Unit struct. loading:	91%	
Permissible load HP:	.6	PRHP / PLHP	0.50	
Fluid load on pump (lbs):	632	Buoyant rod weight (lbs):	1032	
PRHP:	.3	N/No: .01 , Fo/SKr: .022		
Required prime mover size		BALANCED		
(speed var. not included)				
NEMA D motor:	3 HP			
Single/double cyl. engine:	3 HP			
Multicylinder engine:	3 HP			
Torque analysis and electricity consumption		BALANCED		
Peak g'box torq.	N/A			
Gearbox loading:	N/A			
Cyclic load factor:	N/A			
Counterbalance weight	N/A			
Daily electr.use (KWH/day):	8			
Monthly electric bill:	\$24			
Electr.cost per bbl. fluid:	\$0,092			
Electr.cost per bbl. oil:	\$0,459			
Tubing, pump and plunger calculations				
Tubing stretch (ins):	.2			
Prod. loss due to tubing stretch (bfpd):	0.0			
Gross pump stroke (ins):	58.5			
Pump spacing (in. from bottom):	3.5			
Minimum pump length (ft):	8.0			
Recommended plunger length (ft):	2.0			
Rod string stress analysis (service factor: 0.9)				
Stress Load %	Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)	Stress Calc. Method
28%	8791	3655	519	API MG
7%	1648	170	-163	API MG

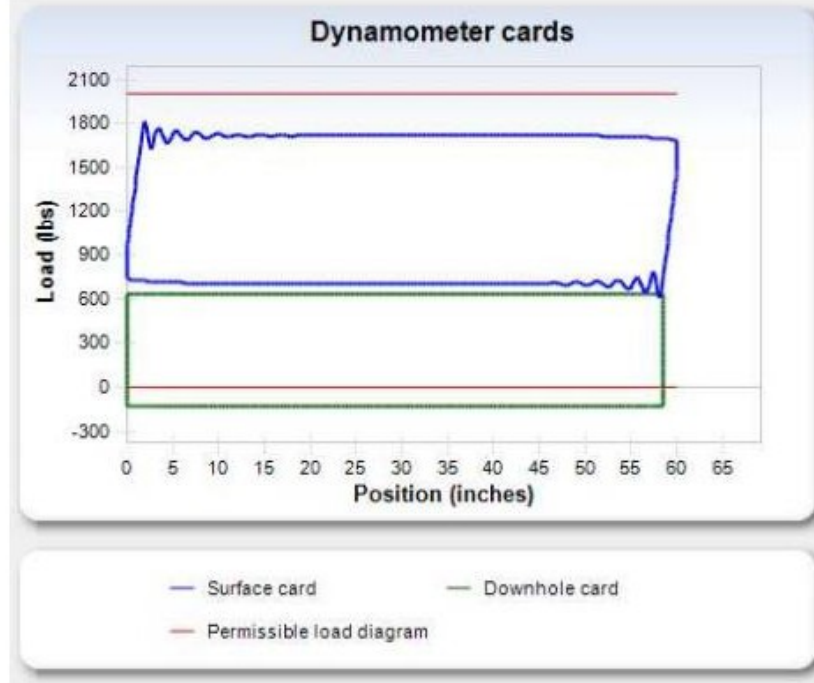
@ Stress calculations based on elevator neck of 7/8" (for 1.25" sinker bars) or 1" (for other sinker bars).
 NOTE Stress calculations do not include buoyancy effects.



Company: PETROCOLOMBIA
Well: LILIA 5
Disk file: LILIA 5 (1 hp 10h).rsvx
Comment: UHBM I
A1-2-60-2

RODSTAR-V 3.5.2
(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 3 of 4
User: Katherine & Jeison
Date: 17/05/2019



RODSTAR-V 3.5.2

Company: PETROCOLOMBIA
Well: LILIA 5
Disk file: LILIA 5 (1 hp).rsvx
Comment: UHBM I
A1-2-60-2

(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 4 of 4
User: Katherine & Jeison
Date: 17/05/2019

ROD STRING COST ANALYSIS

Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Cost (\$/ft)	Total Cost (\$)
0,5	C (API)	1050	N/A	N/A
1,25	Norris C (sb)	100	N/A	N/A



Total (\$): N/A

PUMPING UNIT COST ANALYSIS

SERINPET
H-20-60
UHBM I

Total (\$): N/A

ANEXO B. ELECTRIFICADORA SANTANDER TARIFAS KWH

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.								
INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE DEPARTAMENTO DE SANTANDER Y SUR DEL CESAR De acuerdo con las resoluciones 11907, 00708, 12100, 17200, 18014, 19114 y 01516 expedidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, que permiten establecer los costos de la prestación del servicio a usuarios regulados, las tarifas para el mes de MAYO 2019								
TARIFAS RESIDENCIALES								
ESTRATO		1		2		3		4
PROPIEDAD	NIVEL	% SUBSIDIO	TARIFA	% SUBSIDIO	TARIFA	% SUBSIDIO	TARIFA	TARIFA
ACTIVOS	MEDIDA		\$/kWh		\$/kWh		\$/kWh	\$/kWh
ESSA	I	-57.30%	220.3686	-46.63%	275.4608	-15.00%	438.7220	516.1435
CLIENTE	I	-57.57%	199.7199	-46.96%	249.6499	-15.00%	400.0756	470.6772
Nota: El subsidio es aplicado hasta el consumo de subsistencia.								
TARIFAS RESIDENCIALES				TARIFAS NO RESIDENCIALES				
ESTRATO		5 y 6		COMERCIAL / INDUSTRIAL		ACUEDUCTOS. ESP		OFICIAL
PROPIEDAD	NIVEL	% CONTRIB.	TARIFA	CONTRIB.	TARIFA	CONTRIB.	TARIFA	TARIFA
ACTIVOS	MEDIDA		\$/kWh	20%	\$/kWh	10%	\$/kWh	\$/kWh
ESSA	I	20.00%	619.3722	103.2287	619.3722	51.6143	567.7578	516.1435
CLIENTE	I	20.00%	564.8126	94.1354	564.8126	47.0677	517.7449	470.6772
	II			85.6287	513.7721	42.8143	470.9577	428.1434
	III			71.9352	431.6110	35.9676	395.6434	359.6758
	IV			64.1002	384.6014	32.0501	352.5513	320.5012
COMPONENTES DEL COSTO UNITARIO VARIABLE Y FIJO DE PRESTACION DEL SERVICIO (CU) según Rec. CREG 118/2007								
Conforme con las resoluciones CREG 180/14 y 016/18 el valor (Ctn.) que aplica para el mes de Mayo de 2019 es 7088.63 \$/factura								
NIVEL MEDIDA	G	T	D	Cv	PR	R	CUv Calculado	CUf Aplicado
	Compra Energía	Costo STN	Costo Distribución	Costo de Comercialización	Costo de Compra, transporte y reducción de pérdidas	Costo de Restricciones	Costo Unitario Variable de Prestación del Servicio	Costo Unitario Fijo de Prestación del Servicio
	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh
ESSA	194.5696	32.6984	185.2631	53.3833	36.8245	13.4046	516.1435	0.0000
CLIENTE	194.5696	32.6984	139.7968	53.3833	36.8245	13.4046	470.6772	0.0000
II	194.5696	32.6984	117.5225	53.3833	16.5650	13.4046	428.1434	0.0000
III	194.5696	32.6984	52.4091	53.3833	13.2108	13.4046	359.6758	0.0000
IV	194.5696	32.6984	21.5621	53.3833	4.8832	13.4046	320.5012	0.0000
100% ESSA (Pilas)	194.5696	32.6984	162.5299	53.3833	36.8245	13.4046	493.4103	0.0000
 Grupo epry siempre adelante  Vigilado Superservicios	CONSUMO DE SUBSISTENCIA				Según Resoluciones CREG 051-2010 y 024-2012 ESSA informa que el nuevo porcentaje de ADM a reconocer (PAOMR) del año 2019 = 3.96%			
	Resolución UPME 0965 de 8 de Julio de 2004.				Carga Máximo		\$/kWh	
	Alturas inferior a 1000 Mts		Alturas superior o = a 1000 Mts		CD _{1,3} (Peaje Dic 2007)		19.25	
	173 kWh		130 kWh		CD _{1,2} (Peaje Dic 2007)		85.13	
	173 kWh		130 kWh		CD _{1,1} (Peaje Dic 2007)		31.73	
173 kWh		130 kWh		CDM _{1,1} (Peaje Dic 2007)		18.5		