



ESTUDIO ECONÓMICO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADO A PTAR DEL MUNICIPIO PUERTO LÓPEZ- META - COLOMBIA

Natalia Torres León*

Estudiante pregrado de decimo semestre del programa de ingeniería civil. Trabajo de grado: OPTIMIZACIÓN DE PTAR MUNICIPIO PUERTO LÓPEZ META, para optar el título de Ingeniero Civil.

Fundación Universitaria Agraria de Colombia

Claudia Buitrago Naranjo

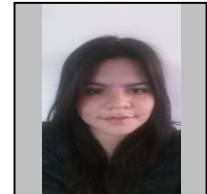
Fundación Universitaria Agraria de Colombia

IC, M.S.c. Henry Armando González Rodríguez

Fundación Universitaria Agraria de Colombia

TEMA: 6, Eficiencia energética

POLÍTICA O PLAN NACIONAL: Plan Nacional de Eficiencia Energética.



Dirección del autor principal (*): Transversal 86 # 25 – 99 Casa 72. Conjunto Bariloche II – Ciudad: Bogotá – Departamento: Cundinamarca – Código Postal 111121 – País: Colombia - Tel.:3023793566 – e-mail: torres.natalia@uniagraria.edu.co

RESUMEN

Los altos costos de operatividad en KWh para la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio Puerto López Meta en Colombia, se debe a la carga instalada en su mayoría por acción de motores de 20 HP, que son utilizados para el funcionamiento de equipos como: bombas sumergibles de acople rápido, turbinas aireación, agitadores de paletas, arrancadores directos, entre otros. En el artículo se pretende proyectar un estudio económico de eficiencia energética basada en un sistema fotovoltaico dada las características de excelente radiación en la zona. El estudio comprende el costo de operación entre el sistema convencional y un sistema fotovoltaico.

Para la realización del estudio del sistema fotovoltaico se tienen en cuenta las siguientes variables:

- Radiación solar
- Tiempo de operación
- Demanda en KW
- Costo de KWh
- Dimensionamiento físico del sistema fotovoltaico
- Selección de inversores
- Selección de baterías

Al finalizar se muestran los beneficios de aplicación del sistema fotovoltaico como favorecimiento al medio ambiente y financieramente. Ya que la implementación de este sistema suprimiría los costos de la factura de energía mensual a cargo del municipio.

Palabras Clave: Eficiencia energética, Estudio económico, Planta de tratamiento de aguas residuales, Radiación solar, Sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

The high operational costs in KWh for the start-up of the wastewater treatment plant in the municipality of Puerto López Meta in Colombia, is due to the load installed mostly by the action of 20 HP engines, which are used for the operation of equipment such as: submersible quick coupling pumps, aeration turbines, paddle agitators, direct starters, among others. The article aims to project an economic study of energy



efficiency based on a photovoltaic system given the characteristics of excellent radiation in the area. The study includes the cost of operation between the conventional system and a photovoltaic system.

To carry out the study of the photovoltaic system, the following variables are considered:

- Solar radiation
- Operation time
- Demand in KW
- Cost of KWh
- Physical dimensioning of the photovoltaic system
- Investor selection
- Battery selection

At the end, the benefits of application of the photovoltaic system are shown, such as favoring the environment and financially. Since the implementation of this system would suppress the costs of the monthly energy bill charged to the municipality.

Keywords: Energy efficiency, economic study, wastewater treatment plant, solar radiation, photovoltaic system.

INTRODUCCIÓN

Realizar el estudio económico de eficiencia energética aplicado a la PTAR del municipio de Puerto López Meta – Colombia lleva consigo la evaluación de variables que son fundamentales para elegir un adecuado sistema fotovoltaico. Una de las más importantes en este tipo de sistemas es la radiación solar; destacándose porque es la fuente de generación eléctrica. Debido a esto se hace fundamental el uso de la base de datos de la NASA (NASA, 2019), atlas solar colombiano (IDEAM, 2014), y si se requiere una mayor precisión con la estación radiométrica (NESTOR MORENO, JUAN PABLO ROMERO, CESAR CHACON, 2016). En particular en este artículo, incluso desde cuando se realiza la selección de los paneles solares se incrementa el grado de detalle de cada uno de los componentes del sistema; es así como la evaluación de radiación solar en sitio, el cálculo de potencia requerido para operabilidad de la planta y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, requiere ser tratado con el mayor detalle posible; además del uso de herramientas computacionales que en principio son importantes para simular el sistema pleno.

Para realizar el estudio económico de eficiencia energética aplicado a la PTAR del municipio de Puerto López Meta – Colombia se empleó el Software PV*SOL PREMIUM versión de prueba (pvsol-premium, 2019), el cual cuenta con una interfaz gráfica en 3D que permite visualizar, almacenar y procesar datos; también tiene una base comercial de proveedores de paneles solares, baterías, inversores entre otros.

En la Figura 1 se muestra cada una de las componentes del sistema fotovoltaico utilizado.

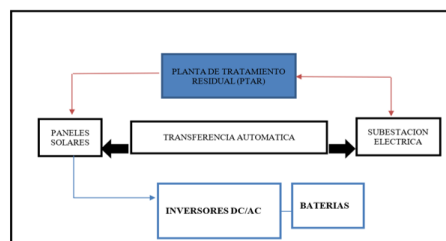


Figura 1. Montaje sistema fotovoltaico respaldado con Subestación Eléctrica.

RADIACIÓN SOLAR EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LOPEZ META

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. La radiación solar emitida está en el orden de 150 nm a 4000 nm. Pero solamente una parte alcanza la superficie de la tierra, debido a que son absorbidas por los gases de la atmosfera, fundamentalmente por el ozono en el rango de 290 nm a 2400 nm. La radiación ultravioleta está en el orden de 150 nm a 400 nm, la luz visible de 400 nm a 740 nm y el infrarrojo de 740 nm a 4000 nm. Este rango de longitudes de onda se denomina espectro electromagnético y se presenta en figura 1. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, su unidad es $[W/m^2]$ (vatio metro cuadrado) (NESTOR MORENO, JUAN PABLO ROMERO, CESAR CHACON, 2016).

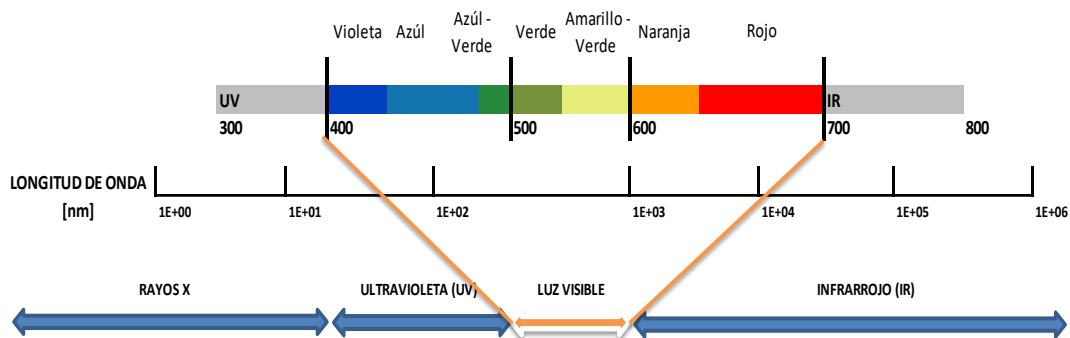


Figura 2. Espectro electromagnético.

En la tabla 1 y 2 se muestran los valores por mes de radiación solar diaria horizontal basados en el Atlas solar de Colombia y base de datos de la NASA respectivamente; donde se determina un promedio para el municipio de Puerto López Meta de radiación de 4.5 Kwh/m²/d.

Tabla 1. Radiación solar diaria horizontal Kwh/m²/d. Atlas Solar de Colombia

MES	RADIACIÓN SOLAR DIARIA - HORIZONTAL Kwh/m ² /d	
Enero	4,5	5,0
Febrero	5,0	5,5
Marzo	4,0	4,5
Abril	4,0	4,5
Mayo	4,0	4,5
Junio	4,0	4,5
Julio	4,0	4,5
Agosto	4,0	4,5
Septiembre	4,5	5,0
Octubre	4,5	5,0
Noviembre	4,0	4,5
Diciembre	4,5	5,0
Anual	4,25	4,75

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 2. Radiación solar diaria horizontal Kwh/m²/d. NASA

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal Kwh/m ² /d	Temperatura del suelo °C
Enero	26,0	70,8%	38,13	5,08	26,2
Febrero	27,0	65,9%	67,48	4,89	27,4
Marzo	27,0	70,3%	137,33	4,55	27,4
Abril	26,1	79,2%	297,60	4,25	26,3
Mayo	25,2	83,8%	358,98	4,16	25,3
Junio	24,4	84,8%	268,20	3,87	24,5
Julio	24,2	84,0%	248,31	4,03	24,2
Agosto	24,7	81,7%	222,27	4,25	24,7
Septiembre	25,3	80,1%	207,00	4,72	25,3
Octubre	25,3	82,3%	265,36	4,72	25,3
Noviembre	25,1	85,3%	223,20	4,67	25
Diciembre	25,1	81,7%	113,77	4,66	25,1
Anual	25,5	79,2%	2447,63	4,49	25,6

Fuente: Elaboración propia.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE PUERTO LOPEZ META

En la tabla 3 se describe cada uno de los motores utilizados actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Puerto López meta; donde se muestra el consumo en Watios relacionado con las horas de funcionamiento, datos que se requieren para diseñar el sistema fotovoltaico.

Tabla 3. Listado de equipos empleados actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Ítem	Ubicación del equipo	Equipo	Potencia (Hp)	Potencia (w)	Hr. de operación	Wh/Día
1.	Tratamiento primario.	Bomba de elevación 1 al T.H	20	14914	16	238624
		Bomba de elevación 2 al T.H	20	14914	8	119312
		Bomba Arenero percolado	3	2237	1	2237
2.	TQ. de homogenización.	Turbina de Aireación 1	15	11186	10	111855
		Turbina de Aireación 2	15	11186	10	111855
		Bomba de elevación al R.B	20	14914	20	298280
		Turbina de aireación 1 en R.B	20	14914	4	59656



X Congreso Nacional de AIDIS

Desafíos Ambientales: Estrategias Integrales y Acciones Coordinadas

28 y 29 de agosto 2019

Cámara Mercantil de productos del país



3.	Reactor Biológico.	Turbina de aireación en R.B 2	20	14914	4	59656
		Turbina de aireación en R.B 3	15	11186	4	44742
		Turbina de aireación en R.B 4	15	11186	4	44742
		Turbina de aireación en R.B 5	15	11186	4	44742
		Bomba transferencia al MXC 33 KWI	20	14914	20	298280
4.	Clarificador avanzado.	Motor puente MXC-33	2	1491	20	29828
		Motor cucharón MXC-33	2	1491	20	29828
		Bomba de recirculación BAP a MXC 33	50	37285	20	745700
		Compresor tipo pistón	15	11186	14	156597
5.	Tratamiento de lodos.	Bomba para agua de servicio	10	7457	6	44742
		Agitador LDS. En ETBZ 1	1	746	20	14914
		Agitador LDS. En ETBZ 2	1	746	10	7457
		Bomba de lodos a camas 1	3	2237	10	22371
		Bomba de lodos a camas 2	3	2237	10	22371
6.	Estación de dosificación.	Agitador de Prep. Flocculador	2	1491	12	17897
		Agitador de Prep. Coagulante	2	1491	12	17897
		Agitador de Prep. Cal	3	2237	4	8948
		Dosificador flocculante	1.5	1119	20	22371
		Dosificador coagulante	0.5	373	20	7457



		Dosificador cal	1	746	3	2237
		Dosificador CL-1-CL	0.5	373	20	7457
TOTAL			296	220354		2592053

Fuente: Elaboración propia.

DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como primera medida se calcula la Potencia del generador Fotovoltaico, donde L es la suma de todas las potencias Wh/Día ver Tabla 3 y HPS radiación mas baja presentada en el mes de junio ver tabla 2.

CÁLCULO POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (KW)

$$P_{mg}(W) = \frac{L}{HPS} = 669781,19 \text{ W}$$

POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO **669,78 KW**

Figura 3. Potencia del generador fotovoltaico.

Para calcular la corriente de consumo es necesario L es la suma de todas las potencias Wh/Día ver Tabla 3, entre la multiplicación de las 24 horas del día y el voltaje de las baterías que en este caso se asume con 24V debido a que es un sistema con gran demanda.

CALCULO DE LA CORRIENTE DE CONSUMO (A)

$$I_L = \frac{L}{DÍA * V_{bat}} = 382,56 \text{ A}$$

Figura 4. Corriente de consumo.

La escogencia de los panes solares se realizó teniendo en cuenta la parte comercial dentro del mercado y las especificaciones encontradas en el software PV*SOL PREMIUM versión de prueba; en la figura 3 se muestra las características técnicas del panel monocristalino Ginkgo Solar JKM320M.

Monocrystalline module JKM320M		
Especification	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	320 Wp	238 Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.8V	35.9V
Maximum Power Current (Imp)	8.47A	6.62A
Open-Circuit Voltage (Voc)	46.4V	44.1V
Short-circuit Current (Isc)	8.98A	7.15A
Module efficiency STC (%)	16.49%	

Figura 5. Especificaciones técnicas Modulo monocristalino Jinko Solar JKM320M.



Para realizar el cálculo de paneles en paralelos se requiere la corriente de consumo descrita anteriormente, la máxima corriente del módulo JKM320M con 8.47 A y HPS radiación más baja presentada en el mes de junio ver tabla 2. El número de paneles es de 280.

CALCULO DE PANELES EN PARALELO

Np >= (DÍA * IL) / (Impp * HPS) = 280

Figura 6. Paneles en paralelo.

El inversor que mejor se adapta es el inversor de la empresa Schneider Electric de referencia Conext TL 10000 E, además se requieren de 8 de estos inversores. La configuración para el diseño de las baterías con el fin de garantizar estabilidad en los días de autonomía son de referencia Sunny Island 6.0H y las baterías son de referencia HY-ES-5.0.

En la tabla 4 se presenta la estimación de costos del sistema fotovoltaico; donde se evidencia una inversión inicial de \$300.799.310 COP:

Tabla 4. Estimación de costos.

Table with 4 columns: Descripción de componente, Unidad, Precio por unidad, Total. Rows include Módulos, Inversores, Inversores de baterías, Baterías, Costos de cableado, Mano de obra, and a total row for 'Costo de sistema fotovoltaico'.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el valor unitario kWh en el municipio de Puerto López Meta es de \$541.67 COP, el consumo mensual actual de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales es de \$42.121.124 COP. A continuación, se presenta como resultado final de esta investigación un cuadro del costo de operación entre el sistema convencional y un sistema fotovoltaico:

Tabla 5. Costo de energía convencional consumida en el periodo de un año

Table with 2 columns: Energy consumption unit, Value. Rows include Energía consumida carga wh, Energía Kwh, Precio Kwh, Precio día de consumo, Precio mes, Precio año, and Incremento anual.

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 6. Costo proyección a 20 años según incremento anual del 5.8% del consumo de energía

Año	Precio Año
1	\$ 505.453.484,46
2	\$ 534.769.786,56
3	\$ 565.786.434,18
4	\$ 598.602.047,36
5	\$ 633.320.966,11
6	\$ 670.053.582,14
7	\$ 708.916.689,91
8	\$ 750.033.857,92
9	\$ 793.535.821,68
10	\$ 839.560.899,34
11	\$ 888.255.431,50
12	\$ 939.774.246,53
13	\$ 994.281.152,83
14	\$ 1.051.949.459,69
15	\$ 1.112.962.528,36
16	\$ 1.177.514.355,00
17	\$ 1.245.810.187,59
18	\$ 1.318.067.178,47
19	\$ 1.394.515.074,82
20	\$ 1.475.396.949,16
Total costo de consumo de E.C.	\$ 18.198.560.133,71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Comparativo entre costo total del sistema fotovoltaico y sistema de energía convencional.

Costo de sistema fotovoltaico	\$ 300.799.310,00
Batería 3 veces + IVA	\$ 66.471.696,00
Costo real SFV durante 20 años	\$ 367.271.006,00
Ahorro S.E.C. – S. FV	\$ 17.831.289.127,71

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El municipio de Puerto López Meta Colombia presenta gran ventaja para instalación de sistemas fotovoltaicos por su alta radiación promedio de 4.49 KWh/m²/d y por su baja radiación difusa (baja nubosidad). En el estudio nos basamos considerando el mes crítico con 3.87 KWh/m²/d
2. Aplicar el sistema fotovoltaico en la PTAR del municipio de Puerto López Meta permite una reducción significativa de \$ 138.182.478,46 COP en el costo del primer año. Recuperando de esta forma la inversión del sistema fotovoltaico.
3. La proyección de los costos de consumo de energía convencional a 20 años presenta un comportamiento exponencial desfavorable para la operatividad de la planta frente a los costos de operación de un sistema de energía renovable (Sistema Fotovoltaico). Ya que el costo real de este sistema fotovoltaico aumenta solo \$ 66.471.696,00 COP durante los 20 años producto del cambio de baterías.



X Congreso Nacional de AIDIS

Desafíos Ambientales: Estrategias Integrales y Acciones Coordinadas

28 y 29 de agosto 2019

Cámara Mercantil de productos del país



Agradecimientos. – Queremos agradecer a la empresa ESPUERTO S.A. a través del apoyo técnico del Ingeniero Ambiental Jhon Mora Ríos en el suministro de valiosa información de la PTAR del municipio y a la empresa MGM INGENIERIA Y PROYECTOS S.A.S. a través del acompañamiento técnico por parte del Ingeniero Electricista Néstor Iván Moreno Roballo en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- IDEAM. (01 de 12 de 2014). *atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html*. Obtenido de atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- NASA. (07 de 08 de 2019). *eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse*. Obtenido de eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse>
- NESTOR MORENO, JUAN PABLO ROMERO, CESAR CHACON. (26 de 11 de 2016). *repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4669/1/RomeroGómezJuanPablo2016.pdf*. Obtenido de repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4669/1/RomeroGómezJuanPablo2016.pdf: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4669/1/RomeroGómezJuanPablo2016.pdf>
- pvsol-premium. (07 de 08 de 2019). *www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium*. Obtenido de www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium: <https://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>