

# Diseño de un Sistema de Microgeneración Eléctrica y de Calentamiento de Agua basado en Paneles Termo Fotovoltaicos

Dennis Israel Erazo G.  
Departamento de Energía Eléctrica  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito- Ecuador  
dennis.erazo95@outlook.com

Patricia Elizabeth Otero Valladares  
Departamento de Energía Eléctrica  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito-Ecuador  
patricia.otero@epn.edu.ec

**Resumen**—En el presente estudio se plantea diseñar dos alternativas de utilización de paneles termo fotovoltaicos para calentamiento de agua. La primera es un sistema de calentamiento de agua y producción de electricidad a partir del uso únicamente de paneles PVT. La segunda alternativa propone la inclusión de una bomba de calor como asistencia para los paneles. Si bien el costo de implementación de estos sistemas usualmente es elevado, el aprovechamiento del recurso solar no tiene costo. A partir de recopilación de información necesaria, cálculos matemáticos, análisis de demanda-consumo y comparaciones técnicas se establece la implementación de este tipo de sistemas como alternativas al uso de calderas a gas. El análisis técnico-económico de los sistemas propuestos permite determinar la rentabilidad de los sistemas generando beneficios económicos a la Fundación Nueva Vida.

**Keywords**—Energías renovables, bomba de calor, paneles termo fotovoltaicos, confort térmico.

## I. INTRODUCCIÓN

El campamento Fundación Nueva Vida se ha propuesto la mejora de sus instalaciones, por esta razón se ha planteado evitar gastos en gas licuado de petróleo (GLP) para la operación de la caldera disponible para calentamiento de agua de la piscina exterior. Por otra parte, la ubicación del campamento se caracteriza por una alta radiación y baja nubosidad por lo que se plantea el diseño de un sistema de microgeneración eléctrica y de calentamiento de agua basado en paneles solares híbridos PVT solos, o bien asistidos por bomba de calor. Estas alternativas pueden también generar energía eléctrica que se podrá utilizar para autoconsumo o para el funcionamiento de la bomba de calor, además, en caso de existir excedentes de energía se puede producir un aporte a la red eléctrica generando beneficios económicos.

Se diseñarán dos alternativas de calentamiento de agua y microgeneración eléctrica con la finalidad restaurar la climatización de la piscina de la Fundación Nueva Vida manteniendo el confort y generar beneficios económicamente rentables a partir de la implementación del diseño que mejor evalúe los aspectos técnicos, energéticos y financieros en cada uno de los diseños como alternativa de solución al uso de GLP para climatizar la piscina mediante una caldera, el primer diseño se realiza con solo paneles PVT, el segundo PVT asistidos por bomba de calor.

## II. METODOLOGÍA

El Ecuador cuenta con incidencia solar cuasi perpendicular de los rayos del sol y tiene una buena radiación solar, con un promedio de 4.5 kWh/m<sup>2</sup> al día permitiendo un adecuado uso para instalaciones de proyectos energéticos

solares con potencial aprovechable aproximado de 660 MWp [1], [2].

El aprovechamiento del recurso solar se plantea como alternativa para el calentamiento y microgeneración eléctrica, para ello es necesario conocer la temperatura de confort y calcular la demanda térmica requerida por la piscina para posteriormente calcular la generación térmica y eléctrica del panel PVT y plantear el uso de cierto número de paneles que logren satisfacer los requerimientos y en caso de existir excedentes aportar al autoconsumo o bien a la red. Finalmente, mediante un análisis a partir de los indicadores financieros VAN, TIR y PR se determinará el mejor sistema implementar.

### A. Demanda térmica

La ubicación del sistema de climatización será de al menos entre 5 y 8 metros de distancia de la propia piscina para evitar la contaminación acústica causada por bombas y demás dispositivos. La temperatura del agua de la piscina para uso público será de 26 grados centígrados [10]. El desarrollar una climatización adecuada de una piscina es indispensable ya que permite mantener el confort, para ello es necesario determinar las compensaciones calóricas que implican las diferentes pérdidas en una piscina que se producen debido a evaporación ( $Q_e$ ), radiación ( $Q_r$ ), convección ( $Q_c$ ), renovación ( $Q_{re}$ ) y transmisión ( $Q_t$ ) en las cuales intervienen principalmente factores meteorológicos y características constructivas de la piscina [3], [4].

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LA PISCINA

Superficie	310	m <sup>2</sup>
Superficie lateral del pozo	99,46	m <sup>2</sup>
Profundidad del pozo	1,20	m
Volumen del pozo	372	m <sup>3</sup>
Material del pozo	Hormigón	azulejos
Superficie lateral del agua	87,035	m <sup>2</sup>
Profundidad del agua	1,05	m
Volumen del agua	325	m <sup>3</sup>

TABLA 2: DEMANDA TÉRMICA DE LA PISCINA

	$Q_e$	$Q_r$	$Q_c$	$Q_{re}$	$Q_t$	TOTAL
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
Enero	1516,69	444,30	1071,13	905,31	1553,20	5490,62
Febrero	1322,14	433,33	1075,27	817,70	1520,44	5168,88
Marzo	1516,71	441,28	1062,31	905,31	1542,48	5468,09
Abril	1523,16	432,00	1042,36	876,10	1510,32	5383,95
Mayo	1589,07	460,60	1122,48	905,31	1612,16	5689,61
Junio	1651,95	457,51	1127,71	876,10	1603,82	5717,10
Julio	1823,13	480,80	1194,04	905,31	1687,20	6090,47
Agosto	1758,47	460,17	1122,50	905,31	1610,97	5857,41
Septiembre	1639,21	443,64	1082,19	876,10	1553,20	5594,34
Octubre	1498,70	427,31	1015,70	905,31	1491,26	5338,28
Noviembre	1445,68	419,23	1001,15	876,10	1463,87	5206,03
Diciembre	1396,36	442,09	1062,72	905,31	1544,86	5351,33
TOTAL	18681,26	5342,25	12979,57	10659,26	18693,77	66356,11

A continuación, se presentan las características técnicas de panel y bomba propuestos para el estudio:

**B. Panel solar PVT**

El panel termo fotovoltaico AH72SK cuenta con un alto rendimiento con una potencia nominal de 350W, caudal nominal de 60L/h y área de apertura de 1,88 m<sup>2</sup>.

**C. Bomba de calor**

La bomba de calor como asistencia es de la marca Gulfstream modelo HE150RA y su aporte calórico se determina restando la producción calórica de los paneles de la demanda térmica, sus características son:

TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE CALOR

Entrada de kW	6,0
Salida de BTU Condiciones estándar	142000
COP Condiciones estándar	6,2
BTU en operación	136000
BTU condiciones extremas	120000-129000
Frecuencia	60 Hz
Tipo de fase	monofásico
Voltaje	208/230 V
Amperaje de funcionamiento promedio	28 A

III. SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

**A. Sistema PVT**

Se calcula la producción térmica y eléctrica por panel y se aumenta el número de paneles hasta satisfacer la demanda térmica en cada mes, 28 paneles se necesitan para satisfacer la demanda, en cuanto a la microgeneración eléctrica del conjunto de paneles se presenta en la Tabla 5 para 1, 15, 19 y 28 paneles.

TABLA 4: PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

	Energía eléctrica [kWh]				
	Consumo eléctrico	Producción eléctrica por número de paneles			
		1	15	19	28
Enero	4720	72,01	1080,19	1368,24	2016,35
Febrero	3281	57,33	859,88	1089,18	1605,10
Marzo	3093	64,05	960,82	1217,04	1793,53
Abril	3602	66,18	992,75	1257,48	1853,13
Mayo	3337	66,48	997,26	1263,20	1861,56
Junio	3197	73,39	1100,85	1394,41	2054,92
Julio	2769	82,73	1241,02	1571,95	2316,56
Agosto	3154	83,57	1253,58	1587,87	2340,02

Septiembre	5016	74,90	1123,56	1423,18	2097,32
Octubre	1835	70,08	1051,20	1331,53	1962,25
Noviembre	5313	69,78	1046,67	1325,78	1953,78
Diciembre	4531	73,08	1096,19	1388,50	2046,21
TOTAL	43848	853,60	12803,96	16218,35	23900,73

La demanda térmica de la piscina se logra compensar con 28 paneles en el mes de mayor requerimiento (febrero), para el resto de los meses del año la demanda se abastece sin inconveniente, en cuanto a la microgeneración eléctrica del conjunto de paneles, se tiene que los 28 paneles necesarios para cumplir el requerimiento calórico logran abastecer de energía eléctrica en un 54,5% del total registrado por el contador de energía en cuanto al consumo eléctrico.

**B. Sistema PVT+HP**

Sistema PVT19+HP: El sistema con 19 paneles asistidos por bomba de calor permite generar energía eléctrica suficiente para abastecer la bomba de calor el cual implica un ahorro por consumo en la facturación mensual.

TABLA 5: PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA PVT19+HP

	Demanda		Paneles		Bomba	
	Térmica	Eléctrica	$Q_{PVT}$	$E_{PVT}$	$Q_{HP}$	Consumo
	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]
Enero	5490,62	4720	4419,41	1368,24	1071,22	1069,79
Febrero	5168,88	3281	3518,04	1089,18	1650,83	1638,12
Marzo	5468,09	3093	3931,04	1217,04	1537,05	1537,83
Abril	5383,95	3602	4061,65	1257,48	1322,30	1337,24
Mayo	5689,61	3337	4080,14	1263,20	1609,47	1604,69
Junio	5717,10	3197	4503,93	1394,41	1213,16	1203,52
Julio	6090,47	2769	5077,41	1571,95	1013,07	1002,93
Agosto	5857,41	3154	5128,81	1587,87	728,60	735,48
Septiembre	5594,34	5016	4596,86	1423,18	997,48	1002,93
Octubre	5338,28	1835	4300,83	1331,53	1037,46	1036,36
Noviembre	5206,03	5313	4282,26	1325,78	923,77	936,07
Diciembre	5351,33	4531	4484,86	1388,50	866,47	869,21
TOTAL	66356,11	43848	52385,23	16218,35	13970,88	13974,19

Sistema PVT15+HP: El sistema con 15 paneles permite abastecer aproximadamente la mitad del consumo de la bomba de calor y el restante será aportado por la red.

TABLA 6: PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA PVT15+HP

	Demanda		Paneles		Bomba	
	Térmica	Eléctrica	$Q_{PVT}$	$E_{PVT}$	$Q_{HP}$	Consumo
	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]
Enero	5490,62	4720	3489,00	1080,19	2001,62	2005,87
Febrero	5168,88	3281	2777,40	859,88	2391,47	2407,04
Marzo	5468,09	3093	3103,45	960,82	2364,63	2373,61
Abril	5383,95	3602	3206,57	992,75	2177,38	2173,02
Mayo	5689,61	3337	3221,16	997,26	2468,45	2473,90
Junio	5717,10	3197	3555,74	1100,85	2161,36	2173,02
Julio	6090,47	2769	4008,48	1241,02	2081,99	2072,73
Agosto	5857,41	3154	4049,06	1253,58	1808,35	1805,28
Septiembre	5594,34	5016	3629,10	1123,56	1965,24	1972,43
Octubre	5338,28	1835	3395,39	1051,20	1942,89	1939,00
Noviembre	5206,03	5313	3380,73	1046,67	1825,30	1838,71
Diciembre	5351,33	4531	3540,68	1096,19	1810,65	1805,28
TOTAL	66356,11	43848	41356,76	12803,96	24999,35	25039,88

IV. ANÁLISIS FINANCIERO

La resolución Nro. ARCERNR-013/2021 estipula que un proyecto de microgeneración para autoconsumo no debe superar los 25 años de vida útil, en este caso la vida útil del

sistema es de 20 años a una tasa de 8% [5].

La fundación cuenta con un calentador a gas de gran antigüedad, con el cual son necesarios al menos 5 cilindros comunes de GLP de 15 kg para calentar toda la piscina una sola vez, esto genera gastos anuales fijos por lo cual el sistema seleccionado presenta beneficio al evitar el uso de GLP y n comparación con cada sistema planteado se obtiene que el sistema PVT es el que mayor beneficio aporta.

TABLA 7: INDICADORES FINANCIEROS POR PROYECTO

	PVT	PVT19+HP	PVT15+HP
Inversión	\$36.100,19	\$31.681,47	\$25.427,37
VAN	\$21.364,00	\$10.491,98	\$7.931,69
TIR	15 %	12 %	12 %
PR	9 años	12 años	12 años

Los indicadores financieros muestran cada sistema requiere de una inversión inicial distinta, esto se debe a los distintos componentes requeridos para la puesta en marcha de cada sistema, si bien los componentes principales son los paneles y la bomba de calor, se tiene componentes asociados al número de paneles como inversores, protecciones DC, soportes, conexiones hidráulicas, reguladores, etc. que se reflejan en el monto de inversión inicial. De igual forma el VAN y el periodo de recuperación de la inversión es distinto para cada proyecto.

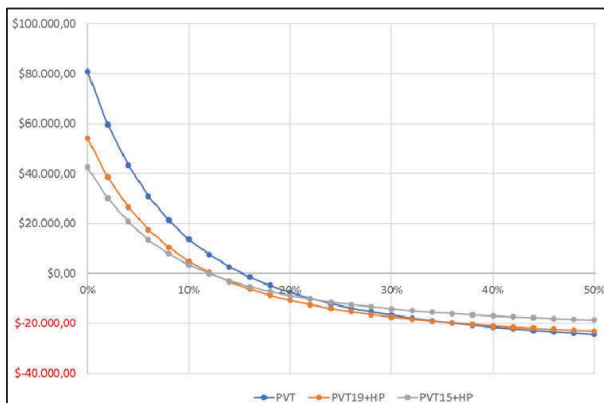


Figura 1. Perfil de proyectos

Al realizar el perfil de proyectos es posible visualizar gráficamente la rentabilidad financiera de cada proyecto a distintas tasas porcentuales por lo que nos encontramos en capacidad de comparar los diferentes sistemas de climatización. Ya que se ha trabajado con una tasa del 8% se puede afirmar que el sistema más rentable es el sistema PVT ya que es el más rentable, seguido del sistema PVT19+HP y por último el sistema PVT15+HP.

## V. CONCLUSIONES

1) La puesta en marcha de la piscina, es decir, el calentamiento inicial de toda la piscina para el sistema PVT requiere de 86,693kW para un tiempo de 48 horas y 57,795kW para 72 horas y se lo debe realizar por medio del calentador a gas del que dispone la fundación (es necesario recalcar que no es estrictamente obligatorio cumplir con los

tiempos de puesta en marcha presentados) ya que la naturaleza de la fundación permite contar con tiempos en los cuales no se cuenta con visitantes por lo que se puede calentar la piscina en tiempos aún mayores a los típicos.

2) La temperatura interna del panel es un parámetro que permite calcular la producción calórica y se requiere establecer los puntos de mínima y máxima eficiencia, los cuales se proporcionan en la ficha técnica. A partir de cálculos básicos y arreglos de ecuaciones es posible encontrar una expresión para determinar la temperatura interna en función de las características del ambiente y del fluido refrigerante, en este caso agua.

3) El uso del calentador a gas representa un gasto continuo que no se recupera, por el contrario, con cualquiera de los sistemas propuestos PVT, PVT19+HP o PVT15+HP en el largo plazo se recupera la inversión ya que se está ahorrando el gasto fijo por consumo de GLP.

4) El sistema PVT+HP, siempre que el número de paneles sea inferior al utilizado en el sistema PVT en 6 unidades (que es el número de paneles cuyo costo cubre la adquisición de la bomba de calor) presenta mayor rentabilidad como se verificó en el perfil de proyectos. Un hecho a destacar es que a menor cantidad de paneles la factibilidad mejora ya que es posible implementar el proyecto con una menor inversión destacándose el sistema PVT15+HP, sin embargo, el proyecto más rentable y el seleccionado a implementarse es sistema PVT ya que a futuro, aunque requiera de mayor inversión se obtiene mayores ganancias.

## REFERENCIAS

- [1] MERNNR, "Plan Maestro de Electricidad 2018-2027", 2018. [En línea]. Available: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>. [Último acceso: 14 Enero 2022].
- [2] MERNNR, "Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables", [En línea]. Available: <https://proyectos.energiayminas.gob.ec/bloqueEmc.php>. [Último acceso: 14 Enero 2022].
- [3] H. J. Gonzáles Murallas, Manual técnico de diseño y construcción de piscinas, Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.
- [4] O. Villar Iglesias, Instalación de climatización para piscina cubierta, La Coruña: Universidade da Coruña, 2016.
- [5] J. G. Castillo y D. Zhangallimbay, "La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador", Agosto 2021. [En línea]. Available: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47285/1/RVE134\\_Castillo.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47285/1/RVE134_Castillo.pdf). [Último acceso: 24 Junio 2022].
- [6] F. C. Cabrero, Características térmicas y eléctricas de un panel fotovoltaico-térmico, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2011, pp. 22-74.
- [7] M. Battioni, G. Risso, M. Cutrera y J. Schmidt, "Evaluacion de distintos métodos para estimar la temperatura de operacion de modulos fotovoltaicos y estimacion de las pérdidas de energia por efecto de la temperatura", *ASADES*, vol. 20, n° 2314-1433, pp. 3-4, 2016.
- [8] D. C. Lomas Martínez y R. A. Montalvo Gordillo, Análisis y simulación de los sistemas de calentamiento de agua para piscinas, por medio de bombas de calor, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [9] E. O. Orma Hernández, Estudio técnico económico para la sustitución de combustible no renovable por energía solar, en el parque acuático Los Elenes, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.
- [10] I. Arnabat, "Eficiencia energética de la bomba de calor aire-agua", CaloryFrio-portal sectorial de insatallaciones, 15 mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/eficiencia-energetica-de-la-bomba-de-calor-aire-agua.html>. [Último acceso: 20 junio 2021].