

Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida conectada a red para autoconsumo en un edificio de la administración pública en la provincia del Guayas y análisis de viabilidad técnica y económica

Sofía Lissette Parrales Vásquez, Kevin Andrés Vallejo Lozano y Jorge Montealegre
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
sofiaparralesv@hotmail.com, kevinxs13@hotmail.com,
montealegre@espol.edu.ec.

Resumen

El presente trabajo consiste en el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica conectada a red en entidades de administración pública en Ecuador y estudio de viabilidad técnica y económica. El diseño se fundamenta en los beneficios tanto ambientales como técnicos que presenta la integración de esta tecnología a la matriz energética del país. Se describe los antecedentes de las energías renovables en Ecuador, la justificación y objetivos planteados, se detallan conceptos teóricos de la instalación fotovoltaica y sus componentes. Se realiza el cálculo de la instalación fotovoltaica tomando en cuenta características técnicas y meteorológicas que afectan al sistema. Finalmente se analiza la viabilidad técnica y rentabilidad económica desde dos puntos de vista: primero considerando que la instalación tiene como finalidad reducir la demanda de energía del cliente en el punto de conexión; y el segundo que la instalación entregue la energía a la red y venda dicha producción sujetándose a la Regulación de CONELEC 004/11.

Palabras Claves: Instalación fotovoltaica, matriz energética, administración pública.

Abstract

The following project consist in the design of grid connected photo voltaic systems of the public administration entities of Ecuador and the study of technical and economic viability. The design is based on both, the environmental and technical benefits that the integration of this technology represents for the Ecuadorian energy matrix. It describes the background of sustainable energy in Ecuador, the justification and objectives, it details theoretical concepts of the photovoltaic installation and its components. The dimensioning of the photovoltaic installation is performed taking notice of the technical and meteorological characteristics. Finally, it analyze the technical viability and economic profitability from two points of view: first considering that the installation has as a finality, reduce the demand by the costumer on the connection point; and second, that the photovoltaic installation is assigned to deliver energy to the network and sell this energy production according to the regulation of CONELEC 004/11.

Key words: photovoltaic system, energy matrix, public administration entities.

1. Introducción

Actualmente, la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos es un tema que ha tomado fuerza en Ecuador, esto como consecuencia del desarrollo e incentivos para nuevas fuentes de energía limpia que beneficien a la matriz energética del país.

Las instalaciones fotovoltaicas planteadas siguiendo el esquema de generación distribuida presentan numerosas ventajas en los sistemas eléctricos tales como: simple instalación, operación automática, costos bajos de operación y mantenimiento, reducción de pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución, disminución de la emanación de gases de efecto invernadero entre otros.

Por tal motivo, en Ecuador se han establecido normativas y regulaciones que impulsan la implementación y el desarrollo de este tipo de sistemas con el propósito de optimizar las condiciones del sistema eléctrico además también de mejorar las condiciones ambientales del país.

2. Antecedentes y Justificación

2.1. Antecedentes

Considerando que la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, mediante el artículo 63 manifiesta que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los energéticos no convencionales, que, es de fundamental importancia la diversificación de la matriz energética, prioritariamente con el uso de energía renovable no convencional, y que, como parte de la equidad social, se requiere impulsar el suministro de energía eléctrica hacia zonas rurales y sistemas aislados en donde no se dispone de este servicio, con el uso de la energía renovable no convencional, el CONELEC resolvió expedir la Regulación No. 004/11 denominada “Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales (ERNC)” la cual tiene como objetivo el establecimiento de los requisitos, precios, período de vigencia, y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados, por los generadores que utilizan fuentes renovables no convencionales las cuales comprenden: eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotérmica y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada [1].

En febrero del 2013 entró a operar Paragachi, la primera central fotovoltaica en el Ecuador, ubicada el cantón Pimampiro en la Provincia de Imbabura. Dispone de 4160 paneles solares que ocupan aproximadamente 3.5 hectáreas, los cuales provee de una capacidad de 998 KW. Se estima que esta central tendrá una vida útil de 25 años [2].

Actualmente la energía solar (fotovoltaica) tiene una capacidad efectiva instalada de 26.37 MW que

corresponde al 0.5% de la capacidad total efectiva del Ecuador.

2.2. Justificación

La producción de energía eléctrica a través de fuentes renovables aportan de manera significativa a los objetivos del Estado tal como le describe el artículo 277 de la Constitución: “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua” [3].

Cada día el desarrollo tecnológico y el crecimiento industrial contribuyen a que se incremente la demanda del sector eléctrico hasta tal punto que las centrales eléctricas instaladas podrían no abastecer el crecimiento de la demanda; como alternativa se tendría la construcción de nuevas centrales, líneas de transmisión, subestaciones, entre otros para contar así con una red más grande, lo cual resultaría muy costoso y poco eficiente, por tal motivo se está investigando la forma de obtener un mayor provecho a la red existente, una solución a este problema es la implementación de generación distribuida, la cual consiste en instalar pequeñas centrales eléctricas cercanas a los puntos de conexión de la línea primaria a los consumidores.

Uno de los principales protagonistas de la generación distribuida son las instalaciones fotovoltaicas ya que estas no presentan muchos inconvenientes para instalarse, así mismo el sol es el único recurso que se necesita para alimentar los paneles fotovoltaicos; este tipo de instalaciones no generan contaminación, ni residuos peligrosos. Las instalaciones fotovoltaicas no requieren de un alto nivel de mantenimiento después de su instalación. Otra de las ventajas de las instalaciones fotovoltaicas en el campo aplicable a generación distribuida es que reduce considerablemente las pérdidas por transmisión y distribución que se generan por las largas distancias que hay desde los puntos de generación hasta la carga.

2.3. Objetivos

- Realizar el diseño de la instalación fotovoltaica en base a condiciones que determinan y limitan el dimensionamiento de este tipo de proyectos.
- Investigar y analizar la viabilidad técnica y económica de la implementación de pequeñas centrales fotovoltaicas de generación distribuida, implementadas en edificios de administración pública conectadas a la red y estudiar los beneficios que presenta la integración de esta tecnología en la matriz energética del país.

- Identificar las ventajas que presenta la instalación fotovoltaica con generación distribuida frente a la generación centralizada convencional.

3. Energía Solar Fotovoltaica

3.1. Radiación Solar

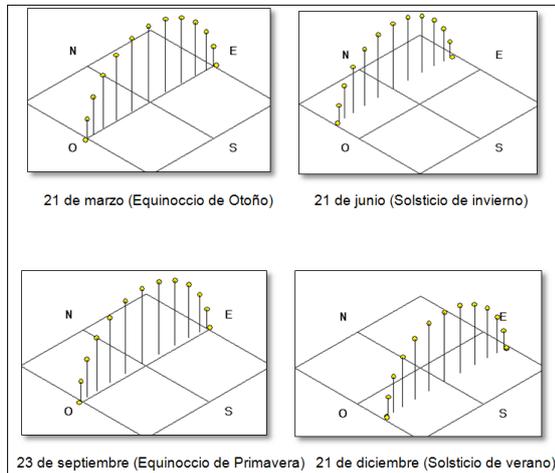


Figura 1. Trayectoria del Sol.
Fuente. Software Geosol – V 2.0

La trayectoria que recorre el sol, varía dependiendo de las estaciones del año, esto debido a que el eje de rotación de la tierra no es perpendicular al plano de nuestra órbita alrededor del sol. En la figura 1 se encuentran trazadas las trayectorias que dibuja el sol en una superficie plana con latitud -2.14° longitud -79.9° correspondiente a la situación geográfica de la ciudad de Guayaquil – Ecuador.

3.2. Descripción de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos están conformados por componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos con el objetivo de captar energía solar y transformarla en electricidad. Existen dos tipos, sistemas aislados y conectados a red.

Sistemas aislados. Proporcionan electricidad a usuarios con consumos de energía relativamente bajos y que a su vez se encuentran en zonas apartadas donde la red eléctrica no llega o es de difícil acceso.

Sistemas conectados a la red. Tiene como objeto generar energía eléctrica para abastecer total o parcialmente la demanda propia del usuario o en otros casos inyectar y vender esta energía producida a la red.

3.3. Conversión de energía solar en electricidad

El efecto fotoeléctrico o fotovoltaico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se

consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones [4]. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica utilizada como electricidad. En la figura 3.5 se muestra como un material semiconductor (silicio), es expuesto a los rayos solares (fotones), para finalmente producir electricidad.

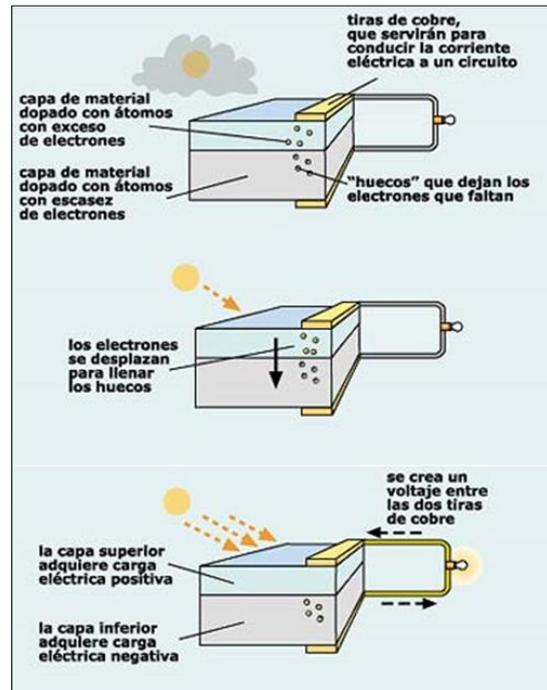


Figura 2. Funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.

Fuente. Asociación Española de la Industria Eléctrica

3.4. Componentes de los sistemas fotovoltaicos

Generador fotovoltaico. Es el conjunto de módulos o paneles necesarios para producir la energía eléctrica solicitada, y la conexión ya sea en serie o paralelo de estos elementos depende de las características de funcionamiento requeridas. Al conectar un grupo de paneles solares en serie se forma lo que se denomina “ramal”, así con más ramales en paralelo, se puede obtener la potencia eléctrica deseada.

Inversor. Sirve para transformar la corriente recibida desde los paneles, en corriente alterna, para alimentar nuestro sistema o introducirlo a la red. Es el componente más importante de los sistemas conectados a red, ya que establece el punto de operación máximo de corriente permitido del conjunto de módulos y optimiza el paso de energía entre el panel y la carga.

Elementos de protección del circuito. Los SFV deben proveer todos los elementos de protección comunes de las instalaciones eléctricas contra sobre voltajes, sobre intensidades, corto circuitos, desconexión automática en caso de variaciones de los parámetros de la red, inducción de corrientes de

tierra, etc. Los sistemas de protección se sujetaran a la Norma Ecuatoriana de Construcción [5].

El cableado. El calibre de los diferentes conductores se debe ceñir a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje y seguridad en cada parte del sistema. Los cables internos de los paneles fotovoltaicos que salen desde la caja de conexión, deberán cumplir con al menos una de las normas: Código Eléctrico Ecuatoriano, NEC 2008 / UL Type PV, UL4703, USE-2, UNE 21123, UNE 20.460-5-52, UTE C 32-502.

Contador de energía. Son dispositivos que integran el producto de la corriente y voltaje a través del tiempo. En instalaciones conectadas a la red es importante su uso ya que permite registrar la energía que se está generando en un periodo de tiempo.

3.5. Pérdidas en sistemas fotovoltaicos

Las pérdidas se las puede citar de la siguiente manera:

Pérdidas por temperatura. Se encuentran alrededor de un 4 a 5% por cada 10°C de aumento en la temperatura.

Pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal. Esto es debido a que no todos los paneles poseen las mismas características al estar compuestas de células distintas de otras. Están entre el 3 – 5% de la potencia nominal.

Pérdidas por conexionado. Se presentan este tipo de pérdidas a causa de realizar conexiones con paneles de diferentes características. Suelen estar en el rango del 1% al 4%.

Pérdidas por sombra. Debido a sombras existentes en los alrededores de la instalación fotovoltaica, estas pérdidas varían según la ubicación del sol durante el día. Este valor está en un 3% aproximadamente.

Pérdidas por polvo y suciedad. Cuando se instalan los paneles fotovoltaicos, se presentan este tipo de pérdidas debido a las condiciones del entorno, las cuales son inevitables. Los valores típicos son inferiores al 4%.

Pérdidas angulares. Dado que los paneles generan la mayor producción de energía solar cuando se encuentran perpendiculares a los rayos solares, existen pérdidas a causa de la inclinación de dichos paneles las cuales pueden variar entre el 1% y 7% de la instalación.

Pérdidas por rendimiento de inversor. El inversor presenta valores de rendimiento de entre 93 hasta 98%.

Pérdidas por rendimiento del transformador de conexión a la red. Dependiendo del transformador, estas pérdidas pueden encontrarse entre el 2% y 5%.

Pérdidas por cableado. Pérdidas óhmicas debido a la resistencia del conductor, presentando caídas de voltaje que representan pérdidas de alrededor del 3%.

4. Dimensionamiento de instalación fotovoltaica conectada a la red

4.1. Dimensionamiento y configuración del generador fotovoltaico

Para definir el número total de paneles en la instalación, se debe realizar la configuración serie - paralelo de los módulos, la misma que está relacionada con las características del inversor el cual fija la potencia máxima de nuestra instalación. Los límites de potencia son los siguientes:

➤ Número de Inversores	4	[-]
➤ Pot. Max. Ent. por inversor	20440	[W]
➤ Pot. Max Sal. por inversor	20000	[W]
➤ Potencia de Salida Total	80000	[W]

Luego se procede a calcular el número máximo de módulos por ramal, y la cantidad de ramales en paralelo para finalmente conocer el total de paneles presentes en la instalación.

- Número máximo de módulos por ramal

$$N_s = \frac{V_{max\ Inv}}{V_{c.a. Panel}} = \frac{1000 V}{34.8 V} = 28.7 = 28 \text{ Paneles en serie}$$

- Número máximo de ramales en paralelo

$$N_s = \frac{I_{max\ Inv}}{I_{cc\ Ramal}} = \frac{132 A}{9.09 A} = 14.52 = 14 \text{ ramales en paralelo}$$

Por cuestión de limitación de área disponible, el número de ramales en paralelo es establecido en 12. Finalmente el número total de paneles y la potencia total instalada están dado por:

$$N_T = N_s N_p = 28 * 12 = 336 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

$$\text{Potencia Pico} = 336 \text{ módulos} * 260 \frac{W}{\text{módulo}} = 87360 \text{ Wp}$$

4.2. Cálculo de radiación solar y producción de energía fotovoltaica

Para obtener la energía fotovoltaica efectiva producida por el conjunto de paneles fotovoltaicos, primero se obtiene la radiación solar media incidente sobre un plano horizontal en la ciudad de Guayaquil, estos datos que se muestran en la Tabla 1., son proporcionados por software de gestión de energías limpias para analizar la viabilidad de este tipo de proyectos.

Tabla 1. Radiación Solar media en la ciudad de Guayaquil

Radiación Solar Media – Guayaquil				
	Temp.	Radiación	Vel.	Temp.
	°C	kWh/m ² /día	m/s	°C
Enero	26.7	3.42	2.3	25.7

Febre	26.7	4.42	2.1	24.1
Marzo	27.1	3.39	2.2	24.1
Abril	27.1	4.36	2.2	24.9
Mayo	26.4	4.33	2.5	24.7
Junio	25.2	3.58	3.2	24.3
Julio	24.4	4.36	3.4	24.9
Agost	24.3	3.64	3.6	26.7
Septie	24.8	5.69	3.6	28.3
Octub	24.9	4.17	3.6	29.2
Novie	25.4	3.72	3.4	28.2
Dicie	26.4	4.61	3	26.9
Anual	25.8	4.14	2.9	26.0

Fuente. Software Retscreen 4.

Tabla 2. Valor K según inclinación y mes del año.

In.	EN	MA	MA	JU	AG	SE	OC	DIC
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	0.97	1.00	1.03	1.03	1.01	1.00	0.98	0.97
10°	0.93	0.99	1.05	1.05	1.02	0.99	0.96	0.93
15°	0.89	0.98	1.06	1.06	1.02	0.98	0.93	0.88
20°	0.84	0.96	1.06	1.07	1.02	0.96	0.9	0.83
25°	0.79	0.93	1.06	1.07	1.00	0.94	0.86	0.77
30°	0.73	0.90	1.05	1.07	0.98	0.90	0.81	0.70
35°	0.66	0.86	1.04	1.05	0.96	0.87	0.76	0.63
40°	0.59	0.82	1.02	1.04	0.93	0.82	0.70	0.56

Fuente. NEC 11. Norma Ecuatoriana de la Construcción. Capítulo 14 Energías Renovables

Posteriormente, se define el ángulo de inclinación óptimo de los paneles para luego calcular la radiación sobre una superficie inclinada haciendo uso de factor de corrección K (Tabla 2.) según inclinación y mes del año.

Es importante apreciar que aunque las pérdidas son nulas a menor inclinación del módulo (Tabla 3.), por otra parte se incrementa considerablemente las pérdidas por polvo y suciedad presentes en la instalación.

De esta manera se define como inclinación óptima del conjunto fotovoltaico un valor de 15 grados con una radiación solar inclinada promedio de 4.04 kWh/m²día.

Tabla 3. Radiación Solar inclinada (kWh/m²día)

In.	EN	MA	MA	JU	AG	SE	DI	Prom	Perd.
0°	3.42	3.39	4.33	3.58	3.64	5.69	4.61	4.14	0.0%
5°	3.32	3.39	4.46	3.69	3.68	5.69	4.47	4.14	0.1%
10°	3.18	3.36	4.55	3.76	3.71	5.63	4.29	4.11	0.7%
15°	3.04	3.32	4.59	3.79	3.71	5.58	4.06	4.05	2.2%
20°	2.87	3.25	4.59	3.83	3.71	5.46	3.83	3.97	4.2%
25°	2.70	3.15	4.59	3.83	3.64	5.35	3.55	3.86	6.7%

Finalmente, se calcula la energía fotovoltaica efectiva producida por la instalación, la misma que resulta del producto del área total de los paneles, su eficiencia promedio (Tabla 4.) y la radiación solar mensual expresada en kWh/m².

En la tabla 5. Se muestra la energía fotovoltaica efectiva producida por mes, obteniendo un total de 128.98 MWh al año.

Tabla 4. Eficiencia y área neta de instalación.

Eficiencia Panel	16.0%	-
Área Panel	1.624	m ²
Total Paneles	336	u
Área Total	545.7	m ²

Tabla 5. Energía Fotovoltaica Efectiva (MWh)

	Radiación Solar Inclinada kWh/m ² día	Radiación Solar Mensual kWh/m ²	Energía Mensual Disp. MWh/mes	Energía Fotovolt. Efectiva (MWh)
Ene	3.044	94.36	51.49	8.24
Feb	4.111	115.10	62.80	10.05
Mar	3.322	102.99	56.20	8.99
Abr	4.491	134.72	73.51	11.76
May	4.590	142.28	77.64	12.42
Jun	3.795	113.84	62.12	9.94
Jul	4.578	141.92	77.44	12.39
Ago	3.713	115.10	62.80	10.05
Sept	5.576	167.29	91.28	14.60
Oct	3.878	120.22	65.60	10.50
Nov	3.460	103.79	56.63	9.06
Dic	4.0568	125.76	68.62	10.98
TOTAL		1477.37	806.15	128.98

4.3. Pérdidas y performance ratio del sistema fotovoltaico

Las pérdidas presentes en la instalación fotovoltaica se presentan en dos segmentos diferentes, el primero corresponde a las pérdidas que se encuentran dentro del arreglo fotovoltaico (Tabla 6 y 7) y el segundo a las pérdidas presentes desde la salida del arreglo fotovoltaico hasta el punto de conexión a la red (Tabla 8 y 9).

Tabla 6. Pérdidas presentes en el arreglo fotovoltaico

Potencia Pico (KW)	Energía Fotovoltaica Anual (MWh)	Perd. Temperatura (MWh)	Perd. inclinación (MWh)
87.36	128.98	18.148	2.794

Tabla 7. Pérdidas presentes en el arreglo fotovoltaico

Pérdidas polvo y suciedad (MWh)	Pérdidas por conexión (MWh)	Pérdidas por sombra (MWh)	Pérdidas por NCPN (MWh)
2.580	1.290	0.232	3.869

Tabla 8. Pérdidas por cableado en CC

FV – Línea CC		Línea CC – Inv	
Perd. Pot	Perd. Cableado	Perd. Pot	Perd. Cableado
0.43152	0.637	0.277	0.409

Tabla 9. Pérdidas por cableado en AC

Inversor	Inv – Trans.		Trans.	Trans - Línea CA	
Perd. (MWh)	Perd. (KW)	Perd. (MWh)	Perd. (MWh)	Perd. (KW)	Perd. (MWh)
1.485	0.061	0.09	1.949	0.0013	0.002

Finalmente, al restar todas las pérdidas presentes en la instalación se obtienen 95.5 MWh de energía disponibles para entregar a la red y por consecuente un performance ratio (PR) igual a 0.7404.

5. Viabilidad técnica y económica

5.1. Viabilidad técnica

Para la obtención de los equipos que conforman la instalación, se plantea la opción de importar los mismos directamente desde fábrica.

En lo que respecta a estudios de factibilidad, diseño de ingeniería, fiscalización, instalación y operación de sistemas fotovoltaicos, existen empresas con los recursos suficientes para llevar a cabo de manera óptima este tipo de proyectos.

Según el documento 10167 emitido por CONELEC, existen alrededor de 65 empresas en el Ecuador a cargo de 76 proyectos de sistemas fotovoltaicos menores a 1 MW y 15 proyectos mayores a 1 MW.

Por consiguiente, se puede afirmar la viabilidad técnica de la instalación fotovoltaica con generación distribuida.

5.2. Viabilidad Económica

Para obtener la viabilidad económica se realiza el análisis de flujo de caja durante un periodo de 15 años de vida útil del proyecto según la duración de la tarifa que establece el CONELEC.

De este flujo de caja se evaluará dos herramientas financieras como son el VAN (Valor Actual Neto) y la

TIR (Tasa Interna De Retorno), indicadores usuales para el correcto análisis de este tipo de inversiones.

Inversión Inicial

En la Tabla 10 se presenta el presupuesto de la instalación, la misma que está dividida en 4 partes: Materiales, Instalación, Ingeniería y costos indirectos.

Tabla 10. Presupuesto de la Instalación Fotovoltaica

Cant.	Descripción Ítem	Valor (USD)		
		Unidad	Total	
1	Glb	Materiales	231966	\$231,966
1	Glb	Instalación, transporte y puesta en marcha	22000	\$ 22,000
1	Glb	Estudio de Pre factibilidad e Ingeniería	13000	\$ 13,000
1	Glb	Costos Indirectos (3%)	5339	\$ 5,339
		SUBT.		\$272,305
		IVA 12%		\$ 32,677
		TOTAL		\$304,982

Ingresos y egresos anuales

Las tablas 11 y 12 presentan los ingresos económicos de la instalación fotovoltaica desde dos puntos de vista: el primero con coste de energía a 6.65ctv/kWh, este valor incrementa en cada año haciendo un análisis con datos históricos, es por eso que a pesar de que el rendimiento disminuya, los ingresos incrementan y el segundo a 40.03 ctv/kWh, ya sea por autoconsumo o por venta de energía respectivamente, este valor se mantiene en todos los años según las normas del CONELEC.

La tabla 13 presenta los egresos anuales por operación y mantenimiento del sistema, los mismos que no dependen de la aplicación de la instalación fotovoltaica.

Tabla 11. Ingresos de la instalación con coste de 6.65 ctv/kWh

Año	Ingresos		
	Rendimiento	MWh	Total
0	0.00%	0.00	\$ -
1	100.0%	95.50	\$ 6,605
2	99.3%	94.83	\$ 6,821
3	98.6%	94.16	\$ 7,044
4	97.9%	93.49	\$ 7,273
5	97.2%	92.82	\$ 7,510
6	96.50%	92.16	\$ 7,754
7	95.8%	91.49	\$ 8,006
8	95.1%	90.82	\$ 8,265
9	94.4%	90.15	\$ 8,533
10	93.7%	89.48	\$ 8,808
11	93.0%	88.81	\$ 9,092
12	92.3%	88.15	\$ 9,385
13	91.6%	87.48	\$ 9,686
14	90.9%	86.81	\$ 9,997
15	90.2%	86.14	\$ 10,316

Luego de realizar los cálculos matemáticos correspondientes a beneficio bruto, beneficio antes de impuestos y tributos y de la base imponible, se obtiene los flujos de caja para ambas condiciones descritas anteriormente. Las tablas 14 y 15 muestran los flujos de efectivos anuales con una vida útil del proyecto de 15 años.

Finalmente se obtiene los valores de VAN y TIR que definirán la rentabilidad del proyecto en mención.

Tabla 12. Ingresos de la instalación con coste de 40.0 ctv/kWh

Año	Ingresos		
	Rendimiento	MWh	Total
0	0	0.00	\$ -
1	100.0%	95.50	\$ 38,228
2	99.3%	94.83	\$ 37,961
3	98.6%	94.16	\$ 37,693
4	97.9%	93.49	\$ 37,425
5	97.2%	92.82	\$ 37,158
6	96.5%	92.16	\$ 36,890
7	95.8%	91.49	\$ 36,623
8	95.1%	90.82	\$ 36,355
9	94.4%	90.15	\$ 36,087
10	93.7%	89.48	\$ 35,820
11	93.0%	88.81	\$ 35,552
12	92.3%	88.15	\$ 35,285
13	91.6%	87.48	\$ 35,017
14	90.9%	86.81	\$ 34,749
15	90.2%	86.14	\$ 34,482

Tabla 13. Egresos de la instalación fotovoltaica

Año	Egresos			
	Inversión	Operación	Mtto.	Total
0	\$ 272,305	\$ -	\$ -	\$ 272,305
1	\$ -	\$ 3,000	\$ 1,950	\$ 4,950
2	\$ -	\$ 3,113	\$ 2,023	\$ 5,136
3	\$ -	\$ 3,230	\$ 2,099	\$ 5,329
4	\$ -	\$ 3,351	\$ 2,178	\$ 5,529
5	\$ -	\$ 3,477	\$ 2,260	\$ 5,737
6	\$ -	\$ 3,608	\$ 2,345	\$ 5,953
7	\$ -	\$ 3,744	\$ 2,433	\$ 6,177
8	\$ -	\$ 3,884	\$ 2,525	\$ 6,409
9	\$ -	\$ 4,031	\$ 2,620	\$ 6,650
10	\$ -	\$ 4,182	\$ 2,718	\$ 6,900
11	\$ -	\$ 4,339	\$ 2,820	\$ 7,160
12	\$ -	\$ 4,502	\$ 2,926	\$ 7,429
13	\$ -	\$ 4,672	\$ 3,036	\$ 7,708
14	\$ -	\$ 4,847	\$ 3,150	\$ 7,998
15	\$ -	\$ 5,030	\$ 3,269	\$ 8,299

Tabla 14. Flujo de caja a 6.65 ctv/kWh

Año	Cash Flow
0	\$ (272,305.12)
1	\$ 1,654.93
2	\$ 1,684.92
3	\$ 1,714.64
4	\$ 1,744.01
5	\$ 1,772.96
6	\$ 1,801.40
7	\$ 1,829.24
8	\$ 1,856.39
9	\$ 1,882.76
10	\$ 1,908.22
11	\$ 1,932.68
12	\$ 1,955.99
13	\$ 1,978.04
14	\$ 1,998.68
15	\$ 2,017.76

Tabla 15. Flujo de caja a 40.03 ctv/kWh

Año	Cash Flow
0	\$ (272,305.12)
1	\$ 31,765.90
2	\$ 31,357.56
3	\$ 30,942.93
4	\$ 30,521.76
5	\$ 30,093.81
6	\$ 29,658.82
7	\$ 29,216.54
8	\$ 28,766.67
9	\$ 28,308.96
10	\$ 27,843.08
11	\$ 27,368.75
12	\$ 26,885.63
13	\$ 26,393.41
14	\$ 25,891.73
15	\$ 25,380.24

- Valor Actual Neto (VAN) – Instalación conectada a la red para autoconsumo (6.65 ctv/kWh).

$$VAN = -\$ 251,204.849$$

- Valor Actual Neto (VAN) – Instalación conectada a la red para venta de producción (40.03 ctv/kWh).

$$VAN = \$ 61,510.14$$

- Tasa Interna de Retorno (TIR) – Instalación conectada a la red para venta de producción (40.03 ctv/kWh).

$$TIR = 6.64\%$$

6. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. La instalación depende en gran cantidad de las pérdidas por temperatura las cuales corresponden al 15% de la energía Fotovoltaica
2. El proyecto se define como viable técnicamente, debido a que existe la posibilidad de adquirir todo equipo que conforme esta instalación.
3. Si la instalación fotovoltaica es utilizada para autoconsumo, el proyecto se concluye que no es económicamente viable.
4. Si la instalación se conecta a red para vender toda su energía eléctrica producida, el proyecto adquiere rentabilidad económica.
5. Si la implementación de este tipo de tecnología fotovoltaica, se incrementa a gran escala, existiría una reducción de precios, disminuyendo así la inversión inicial, dando como resultado un aumento de la rentabilidad económica de este tipo de proyectos.

Recomendaciones

1. Es importante la utilización de softwares de diseño disponibles que puedan servir como complemento para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica, así se obtiene un mejor resultado en los cálculos finales que aproximan el proyecto aún más a la realidad.
2. Se puede disminuir el costo inicial, cotizando y adquiriendo todo equipo que conforma la instalación, en el exterior.
3. Los 15 años de vida útil del proyecto fueron establecidos de acuerdo a CONELEC, por lo que existe la posibilidad de percibir un ingreso adicional por venta o continuidad de producción de energía.

6. Agradecimiento

A Dios por darnos la bendición y el privilegio de vivir cada día sanos y con ganas de salir adelante.

A nuestros padres que han sido el principal motor en nuestras vidas porque gracias a ellos y a su esfuerzo gozamos del privilegio de estudio y de esta manera hemos alcanzado así nuestros objetivos planeados.

A nuestro director, Ing. Jorge Montealegre por

sus conocimientos impartidos y por la ayuda y guía en la elaboración de este proyecto final de grado. Al Ing. Douglas Aguirre, por su gran aporte en la elaboración de este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera fueron un aporte para que los objetivos planteados en el presente proyecto se cumplieran de la mejor manera posible.

7. Bibliografía

- [1] CONELEC, «Regulación CONELEC 004/11,» Quito, 2011.
- [2] EL COMERCIO, «EL COMERCIO,» EL COMERCIO, 5 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/tendencias/tecnologia/pimampiro-se-transforma-energia-solar.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2014].
- [3] Asamblea Constituyente, *Constitución del Ecuador*, Montecristi, 2015.
- [4] V. Madrid y Antonio, *Curso de Energía Solar (FOTOVOLTAICA, TÉRMICA Y TERMOELÉCTRICA)*, Madrid: A. Madrid Vicente, 2009.
- [5] C. E. d. I. N. E. d. I. Construcción, «Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cap 14 Energías Renovables,» Quito, 2011.
- [6] SRI, «Servicio de Rentas Internas,» 05 enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/de/167>. [Último acceso: 20 abril 2015].
- [7] CONELEC, «Balance Nacional de Energía Eléctrica,» CONELEC, 25 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261&l=1>. [Último acceso: 20 Diciembre 2014].
- [8] CONELEC, *Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022*, vol. 1, p. 116, 2013.
- [9] M. J. M. Mendez, *Energía Solar Fotovoltaica*, Madrid: FC, 2014.
- [10] CONELEC, «Parque Eólico Villonaco,» CONELEC, 20 Abril 2015. [En línea]. Available: https://www.celec.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=189:eolico. [Último acceso: 20 Diciembre 2014].
- [11] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Ministerio de Electricidad y Energía Renovable,» Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 20 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/proyectos-emblematicos-2/>. [Último acceso: 21 Diciembre 2014].

- [12] S. Fernandez y J. María, COMPENDIO DE ENERGÍA SOLAR: FOTOVOLTAICA, TÉRMICA Y TERMOELÉCTRICA, Madrid: ANTONIO MADRID VICENTE, 2010.