

“DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE GENERACIÓN CENTRALIZADA CONECTADA A RED PARA LA VENTA DE ENERGÍA EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA”

Ricardo Prado Alarcón ⁽¹⁾, Jorge Montealegre García ⁽²⁾

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación ⁽¹⁾⁽²⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽¹⁾⁽²⁾

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

ricarpra@espol.edu.ec ⁽¹⁾ montealegre@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

El presente proyecto cita los tipos de fuente de energía disponibles en el Ecuador, haciendo énfasis en el uso de las energías renovables, en especial, la energía solar fotovoltaica debido al gran impulso de su utilización por parte del gobierno en estos últimos años. Por tal motivo se realizará el diseño y dimensionamiento de una planta fotovoltaica conectada a la red convencional, con capacidad de 1MW de potencia eléctrica ubicada en el sector de Villamil Playas en la provincia del Guayas, se realizará el análisis de radiación y condiciones climáticas de la zona donde va a estar ubicado el proyecto, luego de esto se elaborará el diseño y dimensionamiento de la planta con la ayuda de softwares climatológicos como: Meteonorm7, NASA y Atlas Solar del Ecuador, posteriormente se da un criterio de selección de equipos y marcas que se utilizaran en el proyecto para dar paso al cálculo del número de paneles fotovoltaicos y elementos adicionales a emplear en el montaje de la planta solar. Por último se presenta un análisis económico detallado que demuestra la rentabilidad y viabilidad técnica de la planta.

Palabras Claves: *planta fotovoltaica, dimensionamiento de la instalación, análisis económico*

Abstract

This project cites the types of energy source available in Ecuador, the use of renewable energies is emphasized, in particular photovoltaic solar energy due to boost from the government in recent years. Therefore the design and sizing of a photovoltaic plant connected to the conventional network will be performed, with capacity of one MW of electrical power located in the area of Villamil Playas in the province of Guayas. In Addition to analyzing radiation and climatic conditions of the area where the project will be located. Subsequently, the design and dimensioning of the plant elaborated with the help of climatological software as Meteonorm7, NASA and Solar Atlas of Ecuador. Then proceed to select equipment and brands to be used in the project and to proceed with the calculation of the number of photovoltaic panels and additional elements to use in the assembly of the photovoltaic plant. Finally an overview an economic detailed analysis that demonstrates the profitability and technical viability of the plant.

Keywords: *photovoltaic plant, dimensioning of the installation, economic analysis*

1. Introducción

En la actualidad el Ecuador está reformando su matriz energética, incorporando nuevas tecnologías e incentivando sectores claves para el desarrollo económico y social del país. Dentro de este contexto para la mejora del sector energético los recursos naturales juegan un papel importante.

Con el fin de optimizar los recursos naturales, el gobierno a través del plan del Buen Vivir 2009 – 2013 establece objetivos que permitan incrementar la producción nacional de energías renovables, por lo que se está considerando el uso de energías renovables no convencionales, siendo una de ellas la generación de energía fotovoltaica por ser una fuente de energía amigable con el medio ambiente. [1]

El uso de esta fuente renovable como alternativa de transformación directa de la energía solar en energía eléctrica ha constituido una solución para satisfacer la demanda en zonas donde los sistemas tradicionales no pueden llegar.

Es importante conocer que en el país ya existen alrededor de 22 plantas fotovoltaicas generando energía limpia y que satisfacen la necesidad de muchos ecuatorianos, razón por la cual el presente proyecto busca dar más apertura al uso de la tecnología fotovoltaica valiéndose de la iniciativa del Gobierno que incentiva y promueve a los inversionistas apostar por este recurso renovable y que puedan hacer de éste un sistema innovador y viable de inversión

2. Objetivos generales y específicos

2.1 Objetivo general

Realizar el diseño de una planta fotovoltaica de 1 MW conectada a red para la venta de energía y analizar la viabilidad técnica-económica de la misma en el sector Villamil Playas.

2.2 Objetivos específicos

1. Analizar los beneficios de los sistemas fotovoltaicos en relación a los sistemas convencionales.
2. Realizar el análisis de la radiación y la climatología del sector Villamil Playas para el posterior montaje de la planta.
3. Diseñar el sistema fotovoltaico acorde a los estudios realizados del sector.
4. Dimensionamiento de números de paneles solares, string box, secciones del cableado, protecciones, selección de equipos a utilizar.

5. Realizar el análisis económico sobre la viabilidad del proyecto estimando el presupuesto necesario para su montaje.

3. Tipos de energía producidas en el Ecuador

Según información estadística del CONELEC a Octubre del 2014 se producen los siguientes tipos de energía [2].

Tabla 1. Información estadística a octubre de 2014

2. Producción Total de Energía e Importaciones		GWh	%
Energía Renovable	Hidráulica	11,294.28	45.36%
	Eólica	79.15	0.32%
	Fotovoltaica	12.42	0.05%
	Térmica Turbovapor (1)	334.81	1.34%
Total Energía Renovable		11,720.65	47.07%
No Renovable	Térmica MCI	6,312.00	25.35%
	Térmica Turbogás	3,307.05	13.28%
	Térmica Turbovapor	2,801.96	11.25%
Total Energía No Renovable		12,421.00	49.88%
Total Producción Nacional		24,141.65	96.95%
Interconexión	Colombia	759.59	3.05%
	Perú	-	0.00%
	Importación	759.59	3.05%
Total Producción Nacional + Importación		24,901.24	100.00%

Según dato del CONELEC a octubre del 2014, la generación de energía solar es de 12.42 GWh la cual corresponde al 0.05% del total de energía producida en el Ecuador.

4. Diseño de la Instalación

En la parte del diseño se va a seleccionar el lugar donde estará ubicado el proyecto, luego de esto se van a realizar los análisis de radiación solar empleando diversas fuentes y criterios para así hacer una buena estimación de radiación solar, y posterior a ello se procederá realizar la selección de materiales y los cálculos necesarios para dimensionar la instalación. Se seleccionó este sitio debido a que en el sector de Villamil Playas existe una gran demanda de energía y muchas veces el suministro de energía en el sector no es el suficiente y se producen apagones.

4.1 Ubicación del Proyecto

El sitio escogido para desarrollar el diseño de la instalación es en la provincia del Guayas en el cantón Villamil Playas en un terreno cuya dimensión es de 8.11 ha y se sitúa a 10m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas decimales: latitud: -2.627590, longitud: -80.406482; coordenadas: latitud: Sur 2° 40' y longitud: Oeste 80° 30'.

4.2 Radiación de la zona

Para determinar la radiación incidente en el sitio de la instalación, se tomarán en cuenta varias fuentes que contienen datos de radiación y también de softwares meteorológicos como son los siguientes:

- La NASA [3]
- El Atlas solar del CENACE [4]
- Software Meteonorm7

Una vez obtenido estos valores de radiación en kWh/m² se procederá a calcular una media ponderada de estos valores, y obtener el que más se acerque a la realidad de la ubicación del proyecto.

Tabla 2. Media ponderada de radiación.

MES	METEONORM	NASA	CONELC	MEDIA PONDERADA
ENE	5,16	5,94	4,5	4,863
FEB	5,67	5,73	4,65	5,64
MAR	6,29	6,07	4,95	6,169
ABR	5,56	6,17	4,8	5,823
MAY	5,25	5,74	4,7	5,406
JUN	4,8	4,93	4,3	4,762
JUL	4,22	4,36	4,35	4,317
AGO	4,16	4,51	4,5	4,439
SEP	5,33	5,08	4,9	5,056
OCT	5,16	5,09	4,65	5,027
NOV	4,9	5,68	4,85	4,953
DIC	5,38	5,94	4,95	5,255

4.3 Selección de Equipos

Para la selección de los equipos, se tomará en cuenta varios aspectos como: Costos, calidad, garantía, tiempo de entrega, servicio técnico, tecnología, entre otros dependiendo las exigencias del instalador.

4.4 Total de paneles para la instalación

Según los datos de temperatura de la zona del proyecto se establecieron las temperaturas mínimas y máximas que alcanzan los módulos fotovoltaicos, además con las características de los equipos seleccionados, se calculó el número total de paneles a usar en la instalación.

La fórmula para determinar el número mínimo y máximo de los paneles a utilizar en la instalación es la siguiente:

$$N^{\circ} \max \text{ serie} = \frac{V_{dc} \text{ pmp max.}}{V_{pmp \text{ mod.}} \cdot \min(44.5^{\circ}C)}$$

$$N^{\circ} \min \text{ serie} = \frac{V_{dc} \text{ pmp min.}}{V_{pmp \text{ mod.}} \cdot \max(70.5^{\circ}C)}$$

Con estas ecuaciones se llegó a la conclusión de que el número máximo de paneles en serie a utilizar es de 26, lo que equivale a un string de paneles.

Luego se determinó el número de strings en paralelo a utilizar aplicando las siguientes fórmulas. Para realizar el cálculo se debe conocer las corrientes de entradas mínimas y máximas que soporta el inversor.

$$N^{\circ} \min = \frac{I \text{ in. minima}}{I_{pmp}}$$

$$N^{\circ} \max = \frac{I \text{ in. máxima}}{I_{pmp}}$$

Se llegó a la conclusión de que el número máximo de strings en paralelo es de 24.

Los inversores nos permiten 8 entradas u 8 grupos de arreglos de paneles.

Para los 4 primeros grupos se usaran 24 strings en paralelo.

Para los 2 siguientes grupos se usaran 20 strings en paralelo.

Para los últimos 2 grupos se usaran 18 strings en paralelo.

Con esto se puede calcular el número total de paneles, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Número total de paneles para la instalación

GRUPOS	Paneles en serie	Paneles en paralelo	Sub-total
4	26	24	2496
2	26	20	1040
2	26	18	936
		total paneles	4472

4.5 Potencia total del campo fotovoltaico

Ptotal campo

fotovol=N°totalpaneles*Potencia_salida panel

Ptotal campo fotovoltaico=4472paneles*250W

Ptotal campo fotovoltaico=1.118kW

4.6 Estructuras de Soporte para la instalación

Las estructuras de soporte serán de tipo fijas, sobre el terreno. Para determinar el tipo de material a usar se debe conocer acerca de la norma ISO 9223. Las estructuras deberán ser de acero galvanizado.

La tasa de corrosión en este tipo de estructura es de 2.66 um al año. Es decir que la vida útil de la

estructura será de 26.32 años para un galvanizado en caliente de 70um.

A las estructuras las llamaremos mesas, cada mesa tendrá 26 paneles, colocados en dos filas de 13 paneles. Estarán con una inclinación de 10°.



Figura 1. Estructuras de soporte

El anclaje de los módulos fotovoltaicos se realizará siempre por los lados de dimensión mayor del módulo, que son los que el propio fabricante, estima para su anclaje, de lo contrario se podría perder su garantía.

4.7 Performance Ratio de la instalación (PR)

El performance ratio es un factor que permite saber el rendimiento y calidad de una planta fotovoltaica. En este factor se consideran todas las pérdidas en la instalación como son las siguientes:

Pérdidas por temperatura Los valores de temperatura mensuales se estiman con el software Meteornorm,

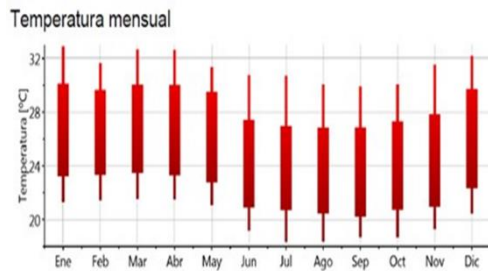


Figura 2. Temperatura de la zona

A continuación se presenta la tabla 4 para el cálculo de rendimiento por efecto de temperatura.

Tabla 4. Rendimiento por temperatura mensual

Mes	Rto. Temperat.
Enero	82.95%
Febrero	83.35%
Marzo	83.22%
Abril	83.13%
Mayo	83.35%
Junio	84.48%
Julio	84.57%

Agosto	84.48%
Septiembre	84.57%
Octubre	84.25%
Noviembre	84.07%
Diciembre	83.26%

Pérdidas por cableado

Se considera que la pérdida por cableado en la instalación es del 1%.

Tabla 5. Rendimiento del cableado

Mes	Rto. Cableado
Enero	99%
Febrero	99%
Marzo	99%
Abril	99%
Mayo	99%
Junio	99%
Julio	99%
Agosto	99%
Septiembre	99%
Octubre	99%
Noviembre	99%
Diciembre	99%

Pérdidas por polución

Estas pérdidas se dan en los módulos por la suciedad acumulada y polvo en la superficie de los paneles, esto hace que haya disminución de potencia en el generador. Para reducir las pérdidas por polución es recomendable tener un plan de limpieza semanal de los paneles fotovoltaicos. Es por esto que se considera una pérdida del 3% por polución.

Tabla 6. Rendimiento por polución

Mes	Rto. Cableado
Enero	97%
Febrero	97%
Marzo	97%
Abril	97%
Mayo	97%
Junio	97%
Julio	97%
Agosto	97%
Septiembre	97%
Octubre	97%
Noviembre	97%
Diciembre	97%

Pérdidas por efecto Mismatch

Para el caso de la instalación, se consideró ordenar los paneles fotovoltaicos con respecto a sus características eléctricas, para así garantizar que cada grupo tengan características similares y con esto aseguramos reducir las pérdidas por efecto mismatch.

Haciendo este ordenamiento se pueden reducir las pérdidas en un rango del 0.3% al 1%. Sin embargo consideremos esta pérdida en el 1.5% en el caso de que no se ordenen los paneles solares.

Tabla 7. Rendimiento por efecto mismatch

Mes	Rto. Mismatch
Enero	98.5%
Febrero	98.5%
Marzo	98.5%
Abril	98.5%
Mayo	98.5%
Junio	98.5%
Julio	98.5%
Agosto	98.5%
Septiembre	98.5%
Octubre	98.5%
Noviembre	98.5%
Diciembre	98.5%

Pérdida por rendimiento del punto de máxima potencia

Dada la variabilidad que existe en la radiación, los inversores seleccionados para el proyecto tienen la característica de ajustar la curva de los módulos y buscar el parámetro óptimo para tratar de estar siempre en el punto de máxima potencia y que su rendimiento no se vea afectado. Dada esta ventaja se puede considerar que esta pérdida es del 1%.

Tabla 8. Rendimiento Punto Máxima Potencia

Mes	Rto. PMP
Enero	99%
Febrero	99%
Marzo	99%
Abril	99%
Mayo	99%
Junio	99%
Julio	99%
Agosto	99%
Septiembre	99%
Octubre	99%
Noviembre	99%
Diciembre	99%

Perdidas en el inversor

En este punto se considera el rendimiento del inversor, el cual es del 98.4% y el rendimiento en conexión del inversor el cual es del 99.7%, esto se da debido a que el inversor antes de entrar a funcionar, espera a que los niveles de potencia sean los adecuados.

Tabla 9. Rendimiento del Inversor

Mes	Rto. Inversor	Rto. Conexión
Enero	98.4%	99.7%
Febrero	98.4%	99.7%

Marzo	98.4%	99.7%
Abril	98.4%	99.7%
Mayo	98.4%	99.7%
Junio	98.4%	99.7%
Julio	98.4%	99.7%
Agosto	98.4%	99.7%
Septiembre	98.4%	99.7%
Octubre	98.4%	99.7%
Noviembre	98.4%	99.7%
Diciembre	98.4%	99.7%

Pérdidas en el transformador

Se considera una pérdida en el transformador del 3%, por lo que el rendimiento será:

Tabla 10. Rendimiento del transformador

Mes	Rto. Transf.
Enero	97%
Febrero	97%
Marzo	97%
Abril	97%
Mayo	97%
Junio	97%
Julio	97%
Agosto	97%
Septiembre	97%
Octubre	97%
Noviembre	97%
Diciembre	97%

Otras pérdidas

Para ser conservadores con el diseño, se calculan otras pérdidas en 3%, de esta forma considerando todos los rendimientos, el PR de la instalación sería:

Tabla 11. Calculo de performance ratio

Mes	Rto. PMP
Enero	73.91%
Febrero	74.28%
Marzo	74.15%
Abril	74.08%
Mayo	74.28%
Junio	75.28%
Julio	75.36%
Agosto	75.28%
Septiembre	75.37%
Octubre	75.08%
Noviembre	74.92%
Diciembre	74.20%
PR ANUAL	74.68%

Obtenido el valor del PR se podrá calcular la producción real de la planta.

5. Análisis Técnico Económico

Con el fin de tener proyecciones certeras, se tomaron en cuenta datos como la temperatura ambiental de la zona, temperatura máxima y mínima de los paneles, perdidas por rendimiento de inversor, inclinación y radiación, tomando en cuenta el área de instalación y el número de paneles a usar para determinar los niveles de producción que se darán en 15 años. Adicionalmente, se utilizaron indicadores financieros para la medición de la viabilidad.

5.1 Determinación de Costos.

Dentro de los costos iniciales se consideran los costos para la implementación del edificio técnico, estructura, cimentación, edificio administrativo, paneles, cableado, equipamiento, instalación y transporte, mientras que el coste de operación, estará conformado por pago de salarios de trabajadores.

A continuación se detalla las diferentes etapas en la instalación del sistema fotovoltaico y a su vez los requerimientos necesarios, costos y cantidades de cada una de ellas.

Tabla 12. Costos del Edificio Técnico y Estructura

Razón	Cantidad	Precio Uni.	Total
Terreno	3Ha	\$ 65000	\$195000
Edificio técnico	1	\$ 177380	\$ 177380
String Box	8	\$ 1772	\$ 14173
Inversor	8	\$ 2138	\$ 17105
Transformador	1	\$ 1309	\$ 1309
Protección DC	1	\$ 8351	\$ 8351
Seguro flete, envío	1	\$ 10451	\$ 10451
Paneles 250W	1118000wp	\$ 0.64	\$ 709930
Estructura Soporte	1118000wp	\$ 0.18	\$ 201240

Tabla 13. Costos por Edificio Administrativo y Trabajos

Razón	Cantidad	Precio Uni.	Total
Edificio Administrativo	1	\$ 18000	\$ 18000
Instalación estructura y paneles	1	\$ 33540	\$ 33540
Movimientos de tierra	3Ha	\$ 10000	\$ 30000
Cimentación E.T.	1	\$ 6380	\$ 6380
Cimentación Estructuras	1720	\$ 22	\$ 37840
Excavación Zanjas	2000m	\$ 10	\$ 20000
Malla tierra y pararrayos	1	\$ 90000	\$ 90000
Cajas de Registro	10	\$ 300	\$ 3000
Patio de Reconectores	1	\$ 5500	\$ 5500
Arquetas Registro	10	\$ 250	\$ 2500

Tabla 14. Costos por Cableado

Cables	Cantidad	Total
1KV 6mm ²	10000m	\$ 16000
1KV 10mm ²	200m	\$ 650
1KV 50mm ²	600m	\$ 4638
1KV 70mm ²	1800m	\$ 16759
Línea acometida	160m	\$ 27200
Instalación	1	\$ 80000

Tabla 15. Costos de Equipos varios

Razón	Cantidad	Total
Medidores	2	\$ 5000
Iluminación Perimetral	1	\$ 5500

Tabla 16. Costos de Dirección de Obra y Otros.

Razón	Cantidad	Total
Estudio Medioambiental	2	\$ 15000
Fiscalización	1	\$ 10000
Dirección de Obra	1	\$ 15000
Licencias	1	\$ 8000
Transportes	1	\$ 10000

Tabla 17. Costos de Servicios Básicos

Razón	Mensual	Anual
Agua	\$ 40	\$ 480
Electricidad	\$ 40	\$ 480
Teléfono	\$ 40	\$ 480
Total Servicios	\$ 120	\$ 1440

Tabla 18. Costos Generales

Concepto	Mensual	Anual
Servicio Asistencia Técnica	\$ 1000	\$ 12000
Seguridad	\$ 900	\$ 10800
Seguro Medico	\$ 17	\$ 205
Suministros limpieza	\$ 20	\$ 240
Suministros Oficina	\$ 64	\$ 791
Imprevistos 5%	\$ 106	\$ 1273
Total Gastos Generales	\$ 2107	\$ 25309

Se estimó un 5% en fondo emergente para gastos que puedan ocurrir de imprevisto y cuyo valor estimado mensual es de \$106 y un acumulado anual de \$ 1.273.

Tabla 19. Costos de Equipos de y Muebles de oficina

Balance de equipos			
Equipos de Computación	Cantidad	Costo Unitario.	Costo Total
Computadoras	2	\$ 600	\$ 1200
Copiadora impresora	1	\$ 320	\$ 320
TOTAL		\$ 920	\$ 1520

Muebles de oficina	Cantidad	Costo Unitario.	Costo Total
Escritorios	2	\$ 150	\$ 300
Sillas con manubrio	6	\$ 40	\$ 240
Silla Gerencial	1	\$ 80	\$ 80
Mesa	1	\$ 180	\$ 180
TOTAL		\$ 450	\$ 800

TOTAL (\$)	\$ 1370	\$ 2320
-------------------	----------------	----------------

Tabla 20. Gastos de Sueldos y Salario

Cargo	Personal						
	Sueldo	Sueldo Neto	Décimo Tercer Sueldo	Décimo Cuarto Sueldo	Vacaciones	Fondo de Reserva	IECE 0,5% SETEC 0,5%
Gerente	\$ 1.358,25	\$ 1.500,00	\$ 1.499,99	\$ 349,86	\$ 750,06	\$ 1.499,99	90,0 90,0
Trabajadore	\$ 543,30	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 349,86	\$ 300,02	\$ 600,00	36,0 36,0
Total	\$ 1.901,55	\$ 2.100,00	\$ 2.099,99	\$ 699,72	\$ 1.050,08	\$ 2.099,99	126 126

Aporte al I.E.S.S 9,45%	Aporte al I.E.S.S 11,15%	Número de empleados	Salario Neto Anual	Salario Liquidado Anual	Salario Neto Mensual
141,8	167,3	1	\$ 24.286,91	\$ 18.000,00	\$ 2.023,91
56,7	66,9	2	\$ 19.849,36	\$ 14.400,00	\$ 1.654,11
198,45	234,15	3	\$ 44.136,27	\$ 32.400,00	\$ 3.678,02

Tabla 21. Costos fijos

Detalle	Mensual	Total Anual
Gastos de Sueldos y Salarios	\$ 3.678,02	\$ 44.136,27
Gastos Basicos	\$ 120,00	\$ 1.440,00
Gastos Generales	\$ 2.107,35	\$ 25.308,97
Depreciación		\$ 738,67
Total	\$ 5.905,37	\$ 71.623,90

5.2 Inversión del proyecto

La inversión requerida consiste no solo en todas las adquisiciones de equipos, sino también los permisos para la puesta en marcha de la planta.

A continuación se detalla los gastos de constitución necesarios:

Tabla 22. Gastos de Constitución

Gasto de Constitución	
Patente	1150
Permiso / Funcionamiento	215
Organización / Puesta en Marcha	150
Predios	100
Impuesto 1.5 x mil sobre los activos	675,45
Cuerpo de bomberos	280
Gastos Legalización	300
Total	\$ 2.870,45

5.3 Ingresos del proyecto

Para definir el ingreso del proyecto se debe conocer la producción de la planta y para ello a continuación se detalla una tabla con los siguientes datos:

Tabla 23. Ingresos del Proyecto

	Días	Radiación Azimut (kWh/m ² /día)	PR	kWh/m ² mes
Enero	31	4,52	73,91%	103,57
Febrero	28	5,41	74,28%	112,51
Marzo	31	6,11	74,16%	140,46
Abril	30	6,00	74,08%	133,34
Mayo	31	5,68	74,28%	130,78
Junio	30	5,00	75,28%	112,92
Julio	31	4,49	75,36%	104,89
Agosto	31	4,53	75,28%	105,71
Septiembre	30	5,01	75,37%	113,28
Octubre	31	4,83	75,08%	112,41
Noviembre	30	4,66	74,92%	104,73
Diciembre	31	4,89	74,20%	112,47

Tabla 24. Frecuencia de Producción

	G*PR	P	G _{cem} (kW/m ²)	Ep (kWh/mes)
Enero	103,57	1.118,00	1,00	115.790,38
Febrero	112,51	1.118,00	1,00	125.789,11
Marzo	140,46	1.118,00	1,00	157.031,46
Abril	133,34	1.118,00	1,00	149.068,65
Mayo	130,78	1.118,00	1,00	146.216,97
Junio	112,92	1.118,00	1,00	126.241,34
Julio	104,89	1.118,00	1,00	117.268,36
Agosto	105,71	1.118,00	1,00	118.187,15
Septiembre	113,28	1.118,00	1,00	126.642,07
Octubre	112,41	1.118,00	1,00	125.678,47
Noviembre	104,73	1.118,00	1,00	117.092,85
Diciembre	112,47	1.118,00	1,00	125.744,53

Producción anual (kWh)	1.550.751,34
-------------------------------	---------------------

Una vez obtenido el valor de producción anual se tomara en cuenta el precio impuesto por CONELEC para este tipo de plantas y así poder obtener el ingreso mensual y anual proyectado [5]

Tabla 25. Ingreso de la Planta

PRECIO	\$
Ingreso Anual	\$ 620.765,8
Ingreso Mensual Promedio	\$ 51.730,5

Para poder estimar la producción a 15 años se tomara en cuenta la información del fabricante sobre los paneles solares en cuanto a la perdida de potencia nominal la cual consideran de 1% anual. Por consiguiente la producción proyectada de la planta se muestra en la siguiente tabla

Tabla 26. Ingresos proyectados

Producción Proyectada	Ingresos
Año 1	\$ 620.765,76
Año 2	\$ 614.558,10
Año 3	\$ 608.412,52
Año 4	\$ 602.328,40
Año 5	\$ 596.305,11
Año 6	\$ 590.342,06
Año 7	\$ 584.438,64
Año 8	\$ 578.594,25
Año 9	\$ 572.808,31
Año 10	\$ 567.080,23
Año 11	\$ 561.409,43
Año 12	\$ 555.795,33
Año 13	\$ 550.237,38
Año 14	\$ 544.735,00
Año 15	\$ 539.287,65

Obteniendo de esta forma el costo total de la instalación del sistema fotovoltaico

Tabla 27. Ingresos proyectados

COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN	
Rubro	Costo Total
Costo en instalación eléctrica.	\$ 1.726.946,37
Costo en Ingeniería y dirección de obra	\$ 48.000,00
Costo Transportes asociados	\$ 10.000,00
Costo de Instalaciones y obra	\$ 1.784.946,37
FDI (0.5%)	\$ 8.924,73
IVA (12%)	\$ 214.193,56
Subtotal de Costo de Instalaciones e impuestos	\$ 2.008.064,66
Gastos de Constitución	\$ 2.870,45
Activos Fijos	\$ 2.820,00
Activos Circulantes	\$ 3.000,00
Total (\$)	\$ 2.016.755,11
\$AWp	\$ 1.804

5.4 Depreciación

La depreciación fue calculada por el método de línea recta; para este cálculo se consideraron todos los equipos de computación, equipo y muebles de oficina necesarios

Tabla 28. Método de Línea Recta

Activo	Valor Contable	Vida Contable	Depreciación Anual
Muebles de Oficina	\$ 800,00	10	\$ 80,00
Equipo de Computación	\$ 1.520,00	3	\$ 506,67
Equipo de Oficina	\$ 1.520,00	10	\$ 152,00
Depreciación y Amortización Anual			\$ 738,67

5.5 Estructura de Financiamiento

Se tomara en cuenta la estructura de financiamiento del proyecto detallada en la siguiente tabla:

Tabla 29. Estructura de Financiamiento

Estructura de Financiamiento	
Porcentaje de Apalancamiento	
40%	60%
Préstamo	Capital Propio
\$ 806.702,09	\$ 1.210.053,13

5.6 Amortización de la deuda

EL 40% definido como préstamo en la estructura de financiamiento se lo realizará en 15 años por el tiempo proyectado en la planta y estará sujeta a una tasa determinada por la CFN para este tipo de proyecto. A continuación se detalla la amortización anual de la deuda.

Tabla 30. Cálculo de Amortización de la Deuda

	PAGO	K	I	SALDO
0				\$ 806.702,09
1	109.104,85	24.401,13	84.703,72	\$ 782.300,96
2	109.104,85	26.963,24	82.141,60	\$ 755.337,72
3	109.104,85	29.794,38	79.310,46	\$ 725.543,33
4	109.104,85	32.922,80	76.182,05	\$ 692.620,54
5	109.104,85	36.379,69	72.725,16	\$ 656.240,85
6	109.104,85	40.199,56	68.905,29	\$ 616.041,29
7	109.104,85	44.420,51	64.684,34	\$ 571.620,78
8	109.104,85	49.084,66	60.020,18	\$ 522.536,12
9	109.104,85	54.238,55	54.866,29	\$ 468.297,57
10	109.104,85	59.933,60	49.171,24	\$ 408.363,97
11	109.104,85	66.226,63	42.878,22	\$ 342.137,34
12	109.104,85	73.180,42	35.924,42	\$ 268.956,91
13	109.104,85	80.864,37	28.240,48	\$ 188.092,54
14	109.104,85	89.355,13	19.749,72	\$ 98.737,42
15	109.104,85	98.737,42	10.367,43	\$ -

Préstamo a Largo Plazo	\$ 806.702,09
tiempo	15
kd CFN	10,50%

5.7 Flujo de Caja

Tabla 31. Flujo de caja neto anual

Año	Flujo Total
0	\$ (1.207.053,13)
1	\$ 335.780,47
2	\$ 333.456,43
3	\$ 331.343,48
4	\$ 329.459,21
5	\$ 327.823,14
6	\$ 326.456,86
7	\$ 325.384,28
8	\$ 324.631,88
9	\$ 324.228,95
10	\$ 324.207,89
11	\$ 324.336,79
12	\$ 325.190,85
13	\$ 326.546,17
14	\$ 328.451,27
15	\$ 330.959,79

Como se puede observar se proyectó los flujos de ingresos y egresos de la planta a 15 años obteniendo un flujo neto positivo a una tasa exigida mínima de 15% por lo que constituye un indicador de liquidez favorable

5.8 Calculo de Valor Actual Neto

Se procede a realizar el cálculo del VAN ya que permite calcular el valor presente de los ingresos y egresos proyectados en el flujo de caja.

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+i)^n}$$

Donde:

Qn = Representa la diferencia entre ingresos y egresos

A = Es el valor de la inversión inicial

I = Tasa Mínima de Retorno

n = Es el periodo a considerar

Tabla 32. Cálculo del VAN y TIR

TMAR	15,00%
TIR	26,58%
VAN	\$ 718.654,69

Obteniendo un valor actual neto mayor a cero lo que nos indica que el proyecto producirá ganancias superiores a la rentabilidad mínima exigida y una tasa Interna de Retorno de 26,58%.

Con este tipo de valoración de proyecto permite identificar cuanto tiempo han de transcurrir para que la acumulación de los flujos de cajas proyectados sean igual a la inversión inicial.

Para poder calcularlo se realizará la suma acumulada de los flujos de caja hasta que el resultado sea positivo.

Tabla 33. Cálculo del Payback

Pay Back (Periodo de Recuperación)	0	1	2	3	4
Flujo de Caja	- 1.207.053,1	335.711,1	333.387,1	331.274,1	329.389,8
Flujo Acumulado	- 1.207.053,1	- 871.342,0	- 537.954,9	- 206.680,8	122.709,0

Como se puede observar el periodo de recuperación para este proyecto será en el cuarto año con 136 días de producción.

Tabla 34. Periodo de Recuperación de la Inversión

Periodo de Payback	4 años
días	136

5.9 Análisis de Sensibilidad

Se procederá hacer el cálculo del análisis de sensibilidad con el objetivo de saber las posibles variaciones en el precio, producción, y tasa a fin de que la inversión sea rentable

Tabla 35. Resultados del Análisis de Sensibilidad

precio mínimo con VAN = 0 & TMAR 15%	0,27
Tmar max para VAN =0	26,41%
Produccion min para VAN=0 & tmar 15%	1054703,26

- Para que el proyecto no presente pérdidas ni ganancias la producción mínima deberá ser de \$ 1054703,26 por lo que se obtendría una disminución del 32% de producción.

- La tasa máxima que se exija al proyecto para que este sea aceptable será del 26,41%.

- El precio mínimo que el proyecto podría tener será de \$ 0,27 centavos el cual es equivalente a los

precios que ofrece CONELEC para las hidroeléctricas.

12. Conclusiones

1. Las energías renovables presentan una alternativa de generación de energía de manera que contribuya a la no contaminación ambiental que sufre el planeta por efecto del uso de combustibles fósiles.

2. El diseño y selección de equipos de la planta se realizaron considerando los principales parámetros ambientales y eléctricos que garantizan el buen diseño y funcionamiento de una planta fotovoltaica estudiada en el sector de Villamil Playas.

3. Para el cableado se consideró el calibre que favorezca el transporte de la energía, minimizando las pérdidas por efecto Joule.

4. A partir del análisis de factibilidad del proyecto se determinaron los costos e ingresos proyectados a 15 años, obteniendo en el flujo de caja del inversionistas valores positivos con una TMAR exigida de 15%.

5. Para el estudio financiero del proyecto se usaron indicadores como el VAN, TIR y PAYBACK con el fin de conocer con mayor precisión el tiempo de recuperación de la inversión, dando como resultado que en el cuarto año se recuperaría la misma.

6. En el estudio de rentabilidad se determinó el precio mínimo de rentabilidad que debe subvencionar el Gobierno, cuyo valor es \$ 0.27 y así obtener un VAN=0.

13. Recomendaciones

1. Se debe dar una inclinación adecuada a los paneles y siempre respetando las especificaciones del fabricante ya que muchos de ellos recomiendan inclinar los paneles a un ángulo mínimo de 10 grados. Es importante siempre seguir lo que indica el fabricante para no perder la garantía de los diferentes equipos.

2. Se recomienda ordenar los paneles fotovoltaicos antes de su instalación para minimizar las pérdidas por efecto mismatch.

3. El mantenimiento de la planta debe de ser cada 6 meses, este consiste en limpieza de los módulos inversores, revisión de fusibles en los string boxes y los magnetotérmicos en general, por lo que se deberá tener un manual de mantenimiento y operación de la planta.

4. Se debe considerar en la planta un sistema de bombeo de agua para la limpieza de los paneles fotovoltaicos, por lo que, se recomienda limpiarlos 2 veces por semana dependiendo de la polución del sector y de las precipitaciones que hubieren.

14. Agradecimientos

La culminación exitosa de este trabajo se la dedico a Dios, a mis padres, amigos, profesores por brindarme su ayuda y experiencias para la realización de este proyecto que me han servido para formarme y alcanzar mi meta de ser Ingeniero.

16. Referencias

- [1] SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACION, Plan Nacional Del Buen Vivir 2013 - 2017, 2013.

- [2] CONELEC, INFORMACIÓN ESTADÍSTICA OCTUBRE 2014,
<http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261>
Fecha de consulta noviembre 2014

- [3] NASA, Datos de Radiación, 2015.
<https://eosweb.larc.nasa.gov/> Fecha de consulta marzo 2015

- [4] CONELEC, ATLAS SOLAR DEL ECUADOR,
http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf,
p. 5.

- [5] CONELEC, REGULACION CONELEC 004-11,