

**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA AUMENTAR LAS
HORAS DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA EN LA
COMUNIDAD DE BOCAS DEL PAUTO**

**Bryam Camilo Boyacá Gómez
Jefferson Alexander León Abril**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2018**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA AUMENTAR LAS
HORAS DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA EN LA
COMUNIDAD DE BOCAS DEL PAUTO**

**Bryam Camilo Boyacá Gómez
Jefferson Alexander León Abril**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

**Director: Edwin Francisco Forero García
Ingeniero Eléctrico, Magíster en Ingeniería – Área Electrónica**

**Codirector: Mario Alejandro Rosero Guzmán
Ingeniero Mecatrónico, Magíster en Ciencias Económicas**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2018**

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a nuestras familias que representan una motivación muy importante para nosotros por su apoyo consejos además a nuestros compañeros con los que compartimos conocimientos y un momento muy importante de nuestras vidas.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, Ramiro León y Leonor Abril, por la paciencia y el apoyo que me brindaron para este y todos los proyectos que me he propuesto, a mi hermana por ser mi motor al CNM-IPSE por brindarme la oportunidad de realizar mi primer acercamiento al trabajo y darme una oportunidad de crecimiento profesional, pero en especial a mis dos tutores Mario Rosero y Edwin Forero por su paciencia comprensión y dedicación para que este proyecto llegara a buen término.

Jefferson león Abril

Antes que nada quiero agradecer a mi familia pues sin su apoyo habría sido incapaz de lograr esta meta. Siempre han sido una inspiración para seguir adelante sin importar las adversidades que se presenten a lo largo del camino, todos ellos desde mis padres, hermanos abuelos, tíos, incluso hasta ese pequeño felino que me acompañó tantas noches en vela. También quisiera agradecerle, y resaltar de manera muy especial el apoyo y la compañía dada por todos mis amigos con quienes trabajamos desde inicio hasta fin ya que sin ellos en más de una ocasión hubiera cedido, pero así como ellos lo saben es poco probable que haya un grupo tan unido nuevamente. También quiero resaltar el arduo trabajo de mis profesores pues todos y cada uno de ellos me formaron como persona Y como ingeniero. Y por último y no menos importante agradecerle a todos los demás aspectos que me ayudaron a lograr este objetivo como lo son la misma Universidad Santo Tomás claustro en el que nos formamos nos convertimos en Quiénes somos las personas externas que me apoyaron en todo momento.

Bryam Camilo Boyacá Gómez

Resumen

Bocas de Pauto es una comunidad que actualmente tiene aproximadamente 8 horas de servicio eléctrico al día. El proyecto busca satisfacer las necesidades energéticas de dicha comunidad mediante la utilización de energías alternativas ya que la comunidad de bocas del pauto actualmente se encuentra desconectada de la red nacional de energía. Después de analizar algunas de las alternativas energéticas que se podrían aplicar en la zona mediante una matriz de evaluación se observó que la alternativa más confiable era la fotovoltaica. Implementar un sistema fotovoltaico en la zona presenta una enorme factibilidad ya que dicho lugar cuenta con una elevada concentración de radiación y una buena cantidad de horas pico solares lo cual generan un ambiente idóneo para el funcionamiento de los paneles solares.

A lo largo del proyecto se podrá observar todo el proceso de diseño teniendo en cuenta el consumo energético presentado en la zona y haciendo una estimación a una generación del mismo. También se observará el análisis financiero del proyecto especificando los valores de la inversión necesaria para realizar el proyecto así como las respectivas ganancias que genera el mismo. Por último se tendrá en cuenta el análisis económico el cual buscará predecir el valor o comportamiento de nuestra variable endógena mediante el comportamiento anterior de algunos de los elementos que se consideraron importantes y que tienen relevancia en el proyecto. Así mismo se realizarán las respectivas conclusiones obtenidas a partir del desarrollo del proyecto en todos los ámbitos tratados, justificando la predilección por desarrollar este tipo de proyectos por la alternativa fotovoltaica.

Palabras clave: sistema fotovoltaico, energías alternativas, red nacional de energía, radiación, horas pico solar, consumo energético, inversión, ganancia, variable endógena.

Abstract

Bocas de Pauto is a community that currently has approximately 8 hours of electric service per day. The project seeks the energy needs of this community through the use of alternative energies and the community of people who are currently connected to the national energy network. After analyzing some of the energy alternatives that will be applied in the area through an evaluation matrix it will be seen that the most reliable alternative is photovoltaic. Implement a photovoltaic system in the area present an enormous feasibility since this place has a higher concentration of radiation and a good amount of solar peak hours which is an ideal environment for the operation of solar panels.

Throughout the project you can see the whole process. You can also observe the financial analysis of the project specifying the values of the investment necessary to carry out the project as well as the respective profits generated by it. Finally, the economic analysis will be taken into account, which can predict the value or behavior of our variable through the previous behavior of some elements that are considered important and that have relevance in the project. Likewise, respect is realized.

Key words: photovoltaic system, alternative energies, national energy network, radiation, solar peak hours, energy consumption, investment, profit, endogenous variable

Tabla de contenido:

<u>Tabla de Ilustraciones</u>	8
<u>1. Introducción</u>	1
<u>2. Justificación</u>	4
<u>3. Antecedentes</u>	6
<u>4. Objetivos</u>	9
<u>4.1 Objetivo General:</u>	9
<u>4.2 Objetivos Específicos:</u>	9
<u>5. Factibilidad</u>	10
<u>6. Marco Teórico:</u>	11
<u>6.1 Técnico</u>	11
<u>6.1.1 Efecto fotovoltaico</u>	11
<u>6.1.2 Horas pico solar y radiación solar de un área</u>	11
<u>6.1.3 Sistemas Fotovoltáicos</u>	13
<u>6.1.4 Banco de baterías</u>	17
<u>6.1.5 Puesta a tierra:</u>	19
<u>6.1.6 Sistemas de generación diésel</u>	22
<u>6.2 Definición de Tasa Interna de Retorno (TIR)</u>	24
<u>6.3 Económico</u>	24
<u>6.3.1 Función de producción Cobb-Douglas</u>	24
<u>6.3.2 Ecuación lineal de la función Cobb-Douglas</u>	25
<u>6.3.3 Modelo de regresión:</u>	26
<u>6.3.4 Test Dickey Fuller:</u>	27
<u>6.3.5 Media Móvil:</u>	28
<u>6.3.6 Test Durbin-Watson:</u>	29
<u>7. Diseño Metodológico</u>	31
<u>7.1 Caracterización de la Zona</u>	31
<u>7.1.1 Localización geográfica</u>	31
<u>7.1.2 Vocación del Suelo</u>	33
<u>7.1.3 Conflictos del suelo</u>	33
<u>7.1.4 Población</u>	34
<u>7.1.5 Consumo de energía.</u>	36
<u>7.2 Primera etapa cálculo del diseño fotovoltaico solar</u>	38
<u>7.2.1 Estimación del consumo.</u>	38
<u>7.2.2 Datos de Irradiación solar de la Zona donde se va a realizar el sistema fotovoltaico.</u>	39
<u>7.2.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).</u>	40
<u>7.2.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación (número de baterías)</u>	41

7.2.5	<u>Dimensionamiento del regulador</u>	41
7.2.6	<u>Dimensionamiento del inversor</u>	42
7.3	<u>Segunda etapa análisis económico</u>	42
7.4	<u>Tercera etapa Tasa Interna de Retorno (TIR)</u>	42
7.5	<u>Cuarta parte conclusiones</u>	43
8.	<u>Desarrollo</u>	44
8.1	<u>Calculo del diseño fotovoltaico</u>	44
8.2	<u>Tasa Interna de Retorno (TIR)</u>	50
8.3	<u>Soporte económico del proyecto (Modelo Técnico-Económico)</u>	57
9.	<u>Bibliografía</u>	84
10.	<u>Anexos</u>	89
11.1	<u>Anexo No.1 Algoritmo Software STATA</u>	89
11.2	<u>Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA</u>	93
11.3	<u>Anexo No. 3 Base de datos utilizada en el software Stata</u>	94
11.4	<u>Anexo No. 4 Matriz de evaluación de alternativas, elaboración propia.</u>	97
11.5	<u>Anexo No.5 Selección de Panel solar</u>	98
11.6	<u>Anexo No. 6 Selección de banco de baterías</u>	100
11.7	<u>Anexo No. 7 Selección de inversor</u>	104
11.8	<u>Anexo No. 8 Selección de regulador MPPT</u>	106

Tabla de Ilustraciones

Gráfico 1. Factor de potencia de la localidad de Bocas Del Pauto- Casanare, Agosto 2017 – Agosto 2018. Elaboración Propia, Fuente Informes de telemetría 2017 y 2018. (IPSE, 2018)	1
Gráfico 2. Promedio de radiación global en Valledupar y Casanare. Datos obtenidos de (IDEAM, 2018).	2
Gráfico 3. Precipitación Yopal/Casanare (IDEAM, 2018).	4
Gráfico 4. Representación de Pluviómetro, Elaboración Propia.	4
Gráfico 5. Mapa de radiación solar en Colombia (IDEAM, 2018).	11
Gráfico 6. Elementos de un panel solar (Universidad de Jaen , 2018) .	12
Gráfico 7. Estructura de un sistema fotovoltaico aislado	14
Gráfico 8. Gráfica de resistividad vs porcentaje de sal, humedad y temperatura (EPM, 2014)	18
Gráfico 9. Gráfica de porcentaje de humedad vs resistividad (EPM, 2014)	18
Gráfico 10. Implementación del estudio de resistividad del suelo tipo Wenner (EPM, 2014).	19
Gráfico 11. Implementación del estudio de resistividad del suelo tipo Schlumberger—Palmer (EPM, 2014)	19
Gráfico 12. Planta diésel (Plantas Electricas, 2009)	20
Gráfico 13. Léxico para nombrar variables, Fuente (Gujarati & Porter, 2010).	23
Gráfico 14. Gráfico de límites de auto correlación y correlación (Gujarati & Porter, 2010).	26
Gráfico 15. Localización Geográfica Bocas Del Pauto (Tellez, y otros, 2014).	27
Gráfico 16. Bocas del Pauto/ Trinidad (Tellez, y otros, 2014).	28
Gráfico 17. Vocación del suelo (Tellez, y otros, 2014)	29
Gráfico 18. Conflictos del suelo (Tellez, y otros, 2014).	30
Gráfico 19. Servicios con los que cuentan las viviendas en la localidad de bocas del pauto según el DANE (DANE, 2018).	31
Gráfico 20. Diagrama Unifilar de la localidad Fuente (IPSE, 2018).	32
Gráfico 21. Potencia activa y reactiva Bocas de pauto, elaboración propia, fuente (IPSE, 2018).	33
Gráfico 22. Distribución de brillo solar en el Departamento del Casanare. Elaboración Propia en ArcGIS.	34
Gráfico 23. Representación de medidas de paneles solares.	41
Gráfico 24. Tasa de oportunidad o tasa de interés, Elaboración Propia.	49
Gráfico 25. Gráfico de Dispersión Matricial, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	51
Gráfico 26. Gráfico de Barras de Variables sin ajustes, Fuente programa de estadística Stata.	55
Gráfico 27. Gráfico de escalera de Tukey precio del diésel, Elaboración Propia, Fuente software Stata.	57
Gráfico 28. Gráfico de escalera de Tukey índice de precios al productor, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	58
Gráfico 29. Gráfico de la Escalera de Tukey del Número de proyectos, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	59
Gráfico 30. Gráfico de la Escalera de Tukey del Precio del kilovatio hora, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	60
Gráfico 31. Gráfico de la Escalera de Tukey de la tasa representativa del mercado, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	61
Gráfico 32. Resultados de las variables después de realizar ajuste con una diferencia, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	62
Gráfico 33. Cuadros comparativos de variables iniciales vs variables ajustadas, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	63
Gráfico 34. Variables estacionarias IPC y MWS, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.	64

Gráfico 35. <i>Primera predicción del modelo y establecimiento de ciclos y periodos para media móvil, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</i>	66
Gráfico 36. <i>Segunda predicción del modelo con media móvil, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</i>	67
Gráfico 37. <i>Primer análisis de correlación con Durbin-Watson, Elaboración Propia, Fuente (Gujarati & Porter, 2010).</i>	68
Gráfico 38. <i>Primer análisis de correlación con Durbin-Watson, Elaboración Propia, Fuente (Gujarati & Porter, 2010).</i>	68
Gráfico 39. <i>Gráfica de errores del modelo, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</i>	69
Gráfico 40. <i>Gráfica de modelo vs variables endógena, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</i>	71

Índice de Tablas

<u>Tabla 1. Tabla de tensión de trabajo de los sistemas fotovoltaicos (Mendez Muñiz & Cuervo Garcia , 2011)</u>	18
<u>Tabla 2. Transformadas de Tukey (Universidad de Valencia , 2017)</u>	25
<u>Tabla 3. Crecimiento poblacional (DANE, 2018).</u>	34
<u>Tabla 4 . Crecimiento poblacional en porcentajes (DANE, 2018).</u>	35
<u>Tabla 5. Crecimiento poblacional a una generación (DANE, 2018)</u>	35
<u>Tabla 6. Consumo mensual Bocas del Pauto en Watts (W), Elaboración Propia, Fuente consolidado anual del Informe de telemetría del 2017 y 2018 (IPSE, 2018)</u>	44
<u>Tabla 7. Radiación solar Bocas del Pauto, Elaboración Propia, Fuente NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources, (NASA, 2018).</u>	44
<u>Tabla 8. Tabla de Parámetros para el diseño del sistema fotovoltaico, Elaboración Propia, Fuente consolidado anual del Informe de telemetría del 2017 y 2018 (IPSE, 2018).</u>	45
<u>Tabla 9. Tabla de Parámetros para el diseño del banco de baterías, Elaboración Propia.</u>	48
<u>Tabla 10. Cotización proveedor 1, Elaboración Propia, Fuente (Natural Solutions, 2018).</u>	51
<u>Tabla 11. Cotización proveedor 2, Elaboración Propia, Fuente (Habitissimo, 2018).</u>	52
<u>Tabla 12. Cotización proveedor 3, Elaboración Propia, Fuente (Coexito, 2018).</u>	52
<u>Tabla 13. Salario devengado para 10 Técnicos, Elaboración Propia.</u>	53
<u>Tabla 14. Gastos de generación, lectura y facturación, Elaboración Propia.</u>	53
<u>Tabla 15. Salario devengado para 3 Técnicos, Elaboración Propia.</u>	54
<u>Tabla 16. Parafiscales para un empleado, Elaboración Propia.</u>	54
<u>Tabla 17. Total, obligaciones salariales por empleado, Elaboración Propia.</u>	54
<u>Tabla 18. Total, obligaciones salariales por empleado, Elaboración Propia.</u>	54
<u>Tabla 19. Ingresos esperados, Elaboración Propia.</u>	55
<u>Tabla 20. Retorno de la inversión inicial, Elaboración Propia.</u>	55
<u>Tabla 21. Variables del modelo, Elaboración propia, Uso de Software Stata.</u>	58
<u>Tabla 22. Test de Dickey Fuller nro. sobre variables estacionarias, Elaboración Propia, Fuente programa de estadística Stata.</u>	64
<u>Tabla 23. Test de Dickey Fuller no.2 sobre variables estacionarias, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</u>	69
<u>Tabla 24. Test de Dickey Fuller no.3 sobre variables estacionarias, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</u>	71
<u>Tabla 25. Cuadro de variables sin y con promedio ajustado, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</u>	71
<u>Tabla 26. Test de Durbin Watson, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.</u>	80

1. Introducción

El presente proyecto se enfoca en brindar una solución fotovoltaica la cual tiene como fin aumentar las horas de prestación del servicio de energía en la localidad de Bocas de Pauto del departamento del Casanare, el cual cuenta con alrededor de 8 horas de prestación de servicio (IPSE, 2018). La localidad, perteneciente al municipio de Trinidad, Departamento de Casanare, cuenta actualmente con 200 habitantes a Junio de 2018 (IPSE, 2018)., Con base en información suministrada por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no interconectadas (IPSE), la localidad tiene como fuente de generación de energía eléctrica, una central del grupo electrógeno, con una capacidad de 300 kVA y dos transformadores de 75kVA, ambos en operación. Cabe resaltar que el factor de potencia en promedio es de 0.85, como se observa en el gráfico 1.

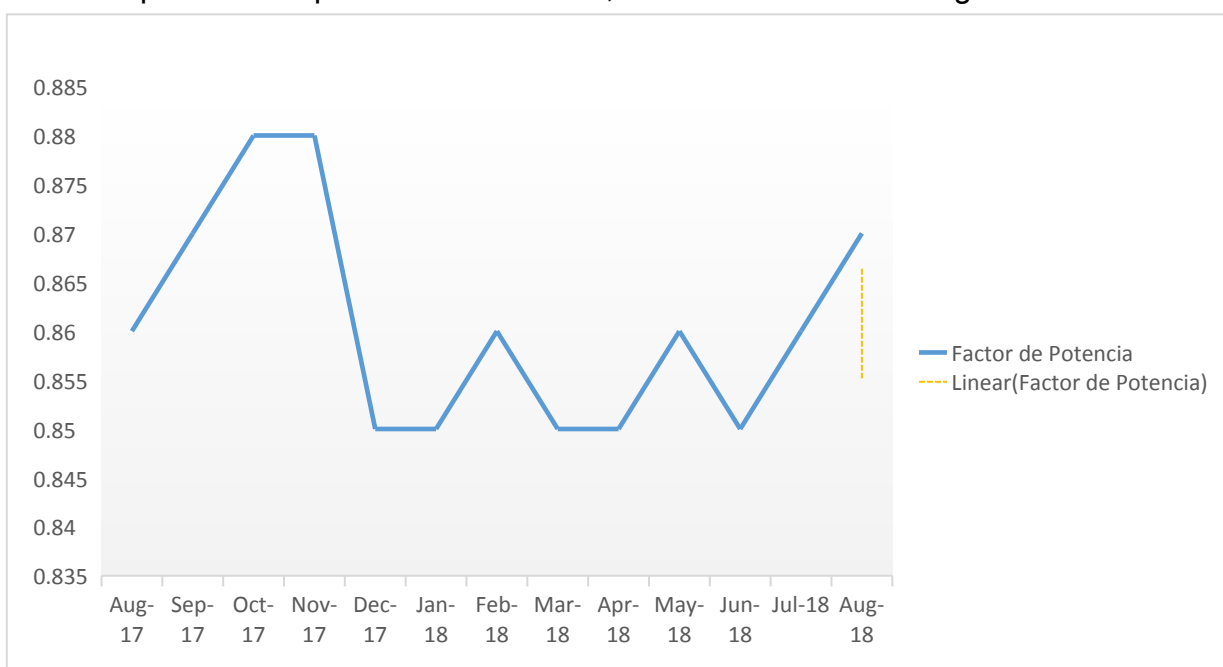


Gráfico 1. Factor de potencia de la localidad de Bocas Del Pauto- Casanare, Agosto 2017 – Agosto 2018. Elaboración Propia, Fuente Informes de telemetría 2017 y 2018. (IPSE, 2018)

Sin embargo, en algunos días del mes, no se presta el servicio, debido al déficit de oferta. La localidad actualmente se encuentra desconectada del sistema interconectado nacional, por lo cual la energía suministrada se provee a partir de los generadores diésel¹.

Este proyecto se da con el fin de realizar lo contemplado en el plan de desarrollo 2016 – 2019, de la alcaldía de trinidad cabecera municipal de la localidad de Bocas de Pauto (Alcaldia de Trinidad, 2015), en el capítulo 2.3 Dimensión Económica, Energía, alumbrado público y conexión a internet, el cual expresaba la necesidad de aumentar y mejorar la cobertura de la energía eléctrica en la zona

¹ Ver página 22 y 36

rural, teniendo en cuenta que la localidad de Bocas de Pauto posee un potencial solar importante (IDEAM, 2018), comparado con otras regiones donde ya se han implementado sistemas fotovoltaicos, como Valledupar, pues como se puede apreciar en los diagramas que se presentan a continuación, tomados del Atlas del IDEAM, Valledupar es una de las mejores zonas con radiación solar, con un promedio anual de , y Casanare cuenta con una radiación similar ver gráfico 2. Es por esto por los inconvenientes de traslado y difícil acceso para interconectar esta localidad que se presenta en este proyecto una posible solución con energías limpias tanto a nivel técnico como económico.

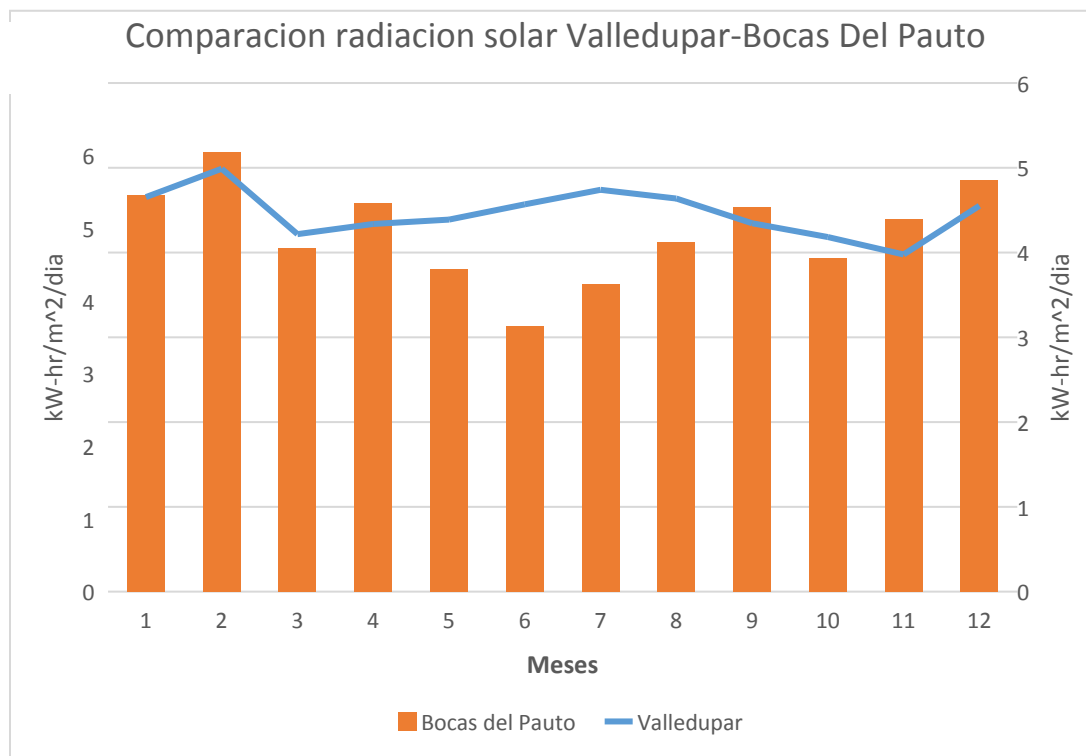


Gráfico 2. Promedio de radiación global en Valledupar y Casanare. Datos obtenidos de (IDEAM, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone realizar un estudio de viabilidad, técnico-económico que mejore la calidad del servicio eléctrico actual en Bocas de Pauto, acatando las normas técnicas vigentes, que se mencionan a lo largo del desarrollo del presente documento, como la NTC 5513² o la norma IEEE-80³, realizando un aporte como ingenieros de la Universidad Santo Tomas.

² Dispositivos fotovoltaicos parte 1: medida de la característica intensidad tensión de los módulos fotovoltaicos (29/8/2007).

³ Diseño de sistemas de puesta a tierra para subestaciones.

2. Justificación

Bocas de Pauto cuenta con unas condiciones idóneas para la implementación de sistemas con energías alternativas, ya que al estar en una zona rural tiene la disponibilidad de área para implementar sistemas de energías alternativas, las cuales serán propuestas por medio de una matriz de selección de alternativas, proponiendo el uso de paneles solares, así mismo, como se mencionó anteriormente, el promedio de radiación en la zona es considerable⁴.

Implementar un sistema de energías alternativas tendría más beneficios que implementar plantas diésel no solo en el aspecto ambiental, también en el ámbito económico ya que el sistema no está supeditado al combustible (Rodríguez M, 2010), teniendo en cuenta todo lo que esto conlleva, alzas en su precio, o el déficit de cupo para la localidad, sin olvidar que su mantenimiento es económico, además diversificaría la matriz energética ayudando a que si no se cuenta con combustible la localidad no quedaría sin energía⁵.

Mejoraría la calidad de vida de la comunidad, a pesar de que la localidad cuenta con energía en este momento no se puede olvidar que algunas actividades requieren del mayor tiempo posible para su buen funcionamiento, por ejemplo, la refrigeración tanto en la cocina como en los centros de salud requieren de una larga conectividad. El aspecto más importante para la realización de un sistema de energías alternativas es el posible potencial con el que este cuente en una u otra alternativa energética, teniendo en cuenta que la localidad Bocas de Pauto cuenta con una alta radiación solar, además la mayor parte de su territorio es plano y cuenta con pocas sombras a su alrededor, sin olvidar que esta localidad no cuenta con potencial para un sistema eólico porque su clima es seco y los vientos no cuentan con la velocidad necesaria (IDEAM, 2018).

Así mismo, se puede observar que aunque en Bocas de Pauto, existen épocas del año en las que se presenta una precipitación apta para la implementación de otras tecnologías, existen meses de sequía donde sería imposible el funcionamiento de las mismas, como se puede ver en la gráfico 3 los meses de diciembre a marzo, se presenta una baja de menos de 100 mm.

⁴ Véase Página 2 radiación global en Valledupar y Casanare

⁵ Véase Anexo No. 4 Matriz de selección de alternativas

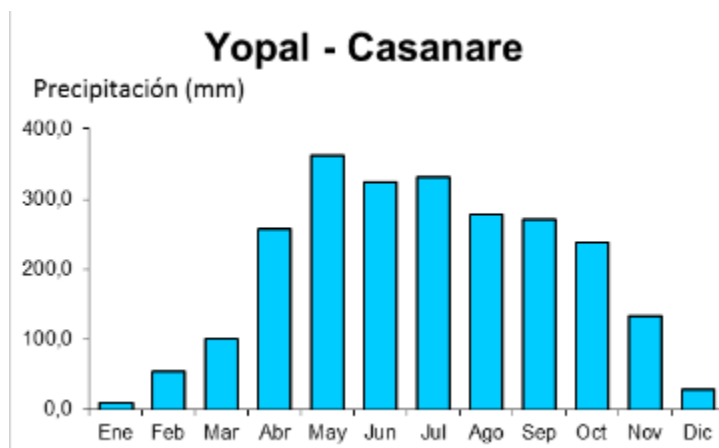


Gráfico 3. *Precipitación Yopal/Casanare (IDEAM, 2018).*

A la hora de estudiar la cantidad de lluvia que cae en el sector, podemos establecer que la manera de realizar esta medición es por medio de un pluviómetro, este instrumento consta de un artefacto con unas delimitaciones que rodean un área de un metro cuadrado como se puede observar en la gráfico 4. Ahora bien al observar la tabla sabemos que una precipitación equivalente a 100 mm sería un incremento de 10 cm en el pluviómetro y podemos establecer que un incremento de 300mm podría considerarse relevante, por esta razón se puede concluir que aunque cuente con precipitaciones considerables en los meses de Mayo, Junio y Julio0020en el resto de meses se presenta una sequía que no permitiría abastecer de energía a la comunidad.

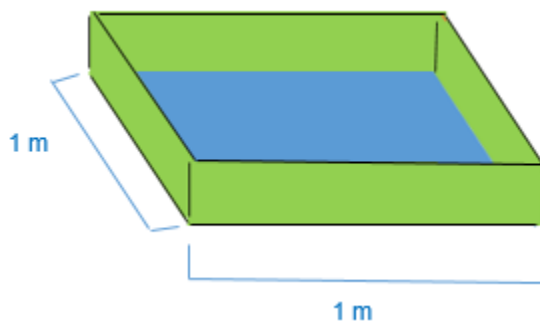


Gráfico 4. *Representación de Pluviómetro, Elaboración Propia.*

3. Antecedentes

Existen proyectos similares, que buscan dar alternativas para brindar energía eléctrica a las ZNI (Zonas No Interconectadas), mediante la realización de estudios técnicos y económicos que le permiten al IPSE, apoyar dichas iniciativas. Gracias al notable crecimiento de las energías limpias, cada vez son más los análisis que se hacen al comparar la generación mediante paneles fotovoltaicos, con la generación diésel como los que se presentan en los proyectos que se verán a continuación.

De esta manera, se partió de un proyecto propuesto⁶, Este proyecto, posee una gran cantidad de factores que son importantes a la hora de elaborar nuestro proyecto, como el hecho que la comunidad a tratar es una ZNI (Zonas No Interconectadas), que no cuenta con energía eléctrica suficiente para suplir las necesidades de los habitantes, el análisis de la carga por tipo de usuario, y el análisis económico que se genera tras el estudio técnico. Desde que se realizó este proyecto en el año 2009, se observó que la comunidad ahora cuenta con un sistema de energía eléctrico, aunque no se da con la solución planteada en el proyecto, por decisión de los dirigentes.

En el mismo se propone una solución energética estructurada a 9 comunidades indígenas ubicadas en el corredor de línea de Nazaret y Puerto Estrella en el departamento de la Guajira. Esto se puede hacer mediante la interconexión de las líneas entre Nazaret y Puerto Estrella o mediante la implementación de paneles solares. Así mismo, se muestra la ubicación geográfica, con coordenadas de la comunidad en cuestión, y se hace referencia a las características económicas, sociales y culturales de la misma. Tras la introducción se observa el marco teórico, donde se señalan aspectos técnicos muy importantes que se deben tener en cuenta en el proyecto, como sistemas fotovoltaicos individuales, aplicaciones conectadas a la red, aplicaciones aisladas a la red, partes de un sistema fotovoltaico, ventajas de un sistema fotovoltaico, desventajas de un sistema fotovoltaico esquema típico de instalación, clasificación de los sistemas de distribución de acuerdo a su construcción, y de acuerdo a voltajes nominales, y de acuerdo a distribución geográfica.

También se hace una referencia especial a la ubicación geográfica del proyecto, y se especifica la condición actual de las comunidades afectadas, en ese caso las comunidades indígenas, donde se analiza la cantidad de viviendas, las condiciones de las mismas, el consumo energético de las mismas y la ubicación para su facilidad de conexión. También se tiene en cuenta el tipo de vivienda, ya sea una residencial, colegio o iglesia.

Una vez se tienen todos estos datos, se procede a hacer los cálculos del diseño fotovoltaico solar. Para este paso, se observa que primero se debía hallar el estimado de la corriente requerida por el sistema. Para esto, se debe averiguar el

⁶ Estudio de viabilidad técnica para brindar una solución energética a las comunidades indígenas ubicadas entre la localidad de Nazaret y puerto estrella (Triana Estepa, 2009)

valor de irradiación solar en el área. Este fue tomado de una página online (NASA, 2018), que mediante un uso sencillo, en el cual se selecciona en el mapa la localización deseada, especifica las coordenadas del área. De esta misma manera se halla la altitud y latitud de la región, y se tienen en cuenta las Horas Pico Solar (HPS), y con toda esta información, sumándole el valor deseado del voltaje a generar, se saca la curva diaria de radiación solar. Así pues, mediante las formulas a mencionar, se obtiene la corriente máxima generada por el sistema. Tras hallar este valor, se debe buscar el número de paneles requeridos, por lo cual, se observa que influye significativamente el aspecto económico y técnico, a la hora de escoger el tipo de panel a utilizar. Existen varios criterios, desde el clima, pasando por el material, calidad, entre otros, pero debe cumplir las especificaciones de voltaje y corrientes planteadas previamente. Se observa, que, tras este cálculo, se busca el número de baterías, donde también se define qué tipo de las mismas ha de usarse. También se calcula que tipo de regulador se va a utilizar, así como el respectivo inversor, y al calcular la corriente de salida, se halla el tipo de conductor a usar para las redes de distribución. Para estos cálculos, se observa entre otros, que se utilizó la norma IEEE-80 (IEEE, 2002).

Otro punto importante del proyecto estudiado, es el del sistema fotovoltaico. Aquí se ponen tablas de costo y número de unidades de los elementos ya mencionados, especifican costos de instalación para usuario residencial y para el resto de estructuras del municipio como iglesias, escuelas etc. Se hace el total general sumando todos los usuarios.

También se hace un análisis del costo del sistema de energía, mediante el costo de generación, y mediante los análisis económicos, se halla la TIR, que es la Tasa Interna de Retorno, donde se calculan los costos por unidad, los ingresos esperados, los costos esperados y la inversión, y que nos permite ver que tan factible es un proyecto, las pérdidas o ganancias en un tiempo determinado, Este mismo análisis se hace con la red de distribución, utilizando los costos de distribución que genera el conductor, el cableado, instalación entre otros, También se señalan las ventajas de utilizar este tipo de generadores con respecto a otros métodos, o a seguir con las condiciones actuales de las comunidades, como el costo de las velas, la tala de árboles para generar leña, las emisiones que estas generan, etc. (Universidad de los Andes, 2016), y finalmente se selecciona la alternativa más viable, siendo el método de generación por medio de paneles solares, el más indicado⁷.

Otro proyecto que planteó propuestas de generación eléctrica es el de Jairo Alberto Valencia Llanos y María Camila Ferreira Pascuas⁸, el cual nos muestra el estudio técnico para mejorar el aspecto energético de este sector, mediante el uso de paneles solares en la isla.

Primero, empieza mencionando toda la documentación legal, con los respectivos artículos en los que se basa el proyecto, que suelen estar referidos al IPSE y sus

⁷ Ver Anexo No. 4 Matriz de evaluación de alternativas

⁸ Análisis de factibilidad complementación del sistema energético en isla fuerte y múcura- componente energético civil (Valencia Llanos & Ferreira Pascuas, 2013)

compromisos para garantizar energía a todos los corregimientos. Tras esta parte, está la sección de antecedentes, se puede observar cómo se señala la demografía de la región, así como los aspectos sociales y económicos a profundidad, lo cual es necesario para tener claro las posibilidades y necesidades de la región a tratar. También se tiene en cuenta como está la parte energética previo al proyecto, donde se muestran las líneas existentes y la topología del sistema actual. En esta parte del proyecto, también se explica cómo se da la generación actual, en este caso con dos grupos electrógenos diésel. También se resalta que cuentan con tableros de medición, de transferencia y servicios auxiliares. Se resalta que tienen transformadores elevadores que suben la tensión eléctrica de salida hasta 13.2 kV. Describen la ubicación de la central, y se hace énfasis en la necesidad de su adecuación para soportar paneles solares. En este apartado, también se habla de la cobertura y la capacidad del sistema.

Se procede a hablar de la caracterización del consumo de energía en el sector. Aquí se presentan tablas con los datos muestrales de los últimos meses, en la región, y se analizan dichos valores.

Tras esto, se procede a la parte más extensa del proyecto, que consta del estudio técnico, la caracterización de las obras civiles a realizar, todo esto antes de implementarlo. En esta parte se tienen en cuenta diversos factores como la ubicación, las necesidades de espacio, la opinión de los habitantes de donde se pueden instalar todos los elementos necesarios, las localidades, entre otros. También se hace el listado de los elementos necesarios como baterías, inversores, integradores, etc. Luego se procede a hacer el análisis de la oferta de recursos energéticos, donde se hacen procedimientos para medir la radiación solar del área, y la posibilidad del recurso eólico.

También se ve necesario hacer la estimación y proyección del consumo de energía. Esto se realiza con diferentes muestreos de la zona, y se resalta que, por cuestiones económicas, y al no contar con subsidios, muchas veces no se alcanza a abastecer la energía requerida. Tras estos datos, se calcula el objetivo de la solución energética. Por último, se da toda la documentación legal y las diferentes normas que se deben tener a la hora de implementar el proyecto.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General:

Realizar el estudio técnico-económico para generar un aumento de horas de prestación del servicio de energía eléctrica en bocas del pauto Casanare, utilizando sistemas fotovoltaicos.

4.2 Objetivos Específicos:

- Diseñar y calcular con base en proyecciones demográficas a una generación⁹, el sistema fotovoltaico para bocas del pauto (A límite de batería).
- Estimar un modelo técnico-económico que indique las ventajas de la alternativa fotovoltaica con beneficios al costo de kWh.
- Determinar un modelo de Tasa Interna de Retorno que evidencie las ventajas técnico-económicas y tributarias que incentivan la realización de proyectos solares fotovoltaicos.

⁹ Se estima el crecimiento poblacional, para hacer una predicción de consumo eléctrico a futuro ver página 35.

5. Factibilidad

Para la realización del proyecto se cuenta tanto con recursos técnicos como con recursos humanos que podrán hacer posible el objetivo general del trabajo. Entre los recursos técnicos, que serían indispensables para la realización del proyecto, se encuentran las diferentes plataformas del IPSE que permiten acceder a la información tanto técnica, como de población, del lugar a tratar, en este caso Bocas del Pauto.

Así mismo, para las posibles simulaciones, se utiliza el software especializado¹⁰ ya que permite una rigurosa forma de calcular la viabilidad del proyecto por medio de serie de tiempo, con la inclusión de parámetros de teoría económica.

Los recursos humanos que estarán presentes en la elaboración del proyecto, están conformados por el tutor, Ingeniero Edwin Francisco Forero, pues tiene una notable experiencia en asuntos coligados a sistemas eléctricos y de potencia, y supervisará las acciones realizadas para dar solución al problema. Así mismo, el Ingeniero Mario Alejandro Rosero Guzmán, quien ha dirigido proyectos solares fotovoltaicos, al igual que desarrolla modelos técnico-económicos de viabilidad. Por último, los elaboradores del proyecto, Bryam Camilo Boyacá Gómez y Jefferson Alexander León Abril.

¹⁰ Software Stata/SE 14.0

6. Marco Teórico:

6.1 Técnico

Para proponer una solución al problema planteado, y entender más a fondo de qué trata el presente documento, se debe tener claridad en algunos aspectos técnicos, entre los que se encuentra:

6.1.1 Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico, tiene sus inicios en el año 1878, con Alexander Edmund Bequerel. Básicamente, se define como el efecto que hace que la energía solar, al ser captado por materiales semiconductores, como el silicio, liberan los electrones, lo cual permite una conductividad eléctrica, pues circulan a través del material, gracias a la presencia de un campo eléctrico. En los paneles solares, el campo eléctrico, se genera al combinar en la célula fotovoltaica, dos capas del material semiconductor. Es importante resaltar que cada capa debe una carga eléctrica opuesta. De esta manera, gracias a un conductor externo, hace posible el flujo de electrones de una carga a otra, y de esta manera se produce una corriente eléctrica (Energiza, 2011).

6.1.2 Horas pico solar y radiación solar de un área

Físicamente, se puede definir la radiación solar como el conjunto de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el sol. Este, emite calor al tener en su interior una serie de reacciones que producen una pérdida de masa transformándose en energía. Esta energía sale en forma de la radiación solar. Así pues, el sol al emitir calor, se considera como un cuerpo negro según la ley de Planck. La luz solar va desde la luz infrarroja hasta la ultravioleta, aunque algunas de estas últimas ondas, se quedan atrapadas en la atmosfera por los diversos gases que esta presenta. Sin embargo, a la potencia por unidad de superficie que alcanza a la tierra, se le conoce como irradiación, y es crucial para el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos (Rodríguez Ordoñez, 2015).

Es importante, a la hora de planear un proyecto de sistemas fotovoltaicos, conocer las características de la región. En este caso, en Colombia existe un atlas de radiación solar, disponible para todos¹¹, que enseña un conjunto de mapas que representan el promedio mensual y anual de valores como irradiación solar gráfico 5, número de días con y sin brillo solar, radiación UV, entre otros (IDEAM, 2018). Debido a que Colombia se encuentra en la zona ecuatorial, recibe una gran cantidad de energía solar, que varía en gran medida a lo largo del año. Para trabajar con este tipo de tecnologías, es necesario conocer a profundidad su distribución espacial y temporal.

¹¹ Ver página 12 Mapa de radiación solar en Colombia

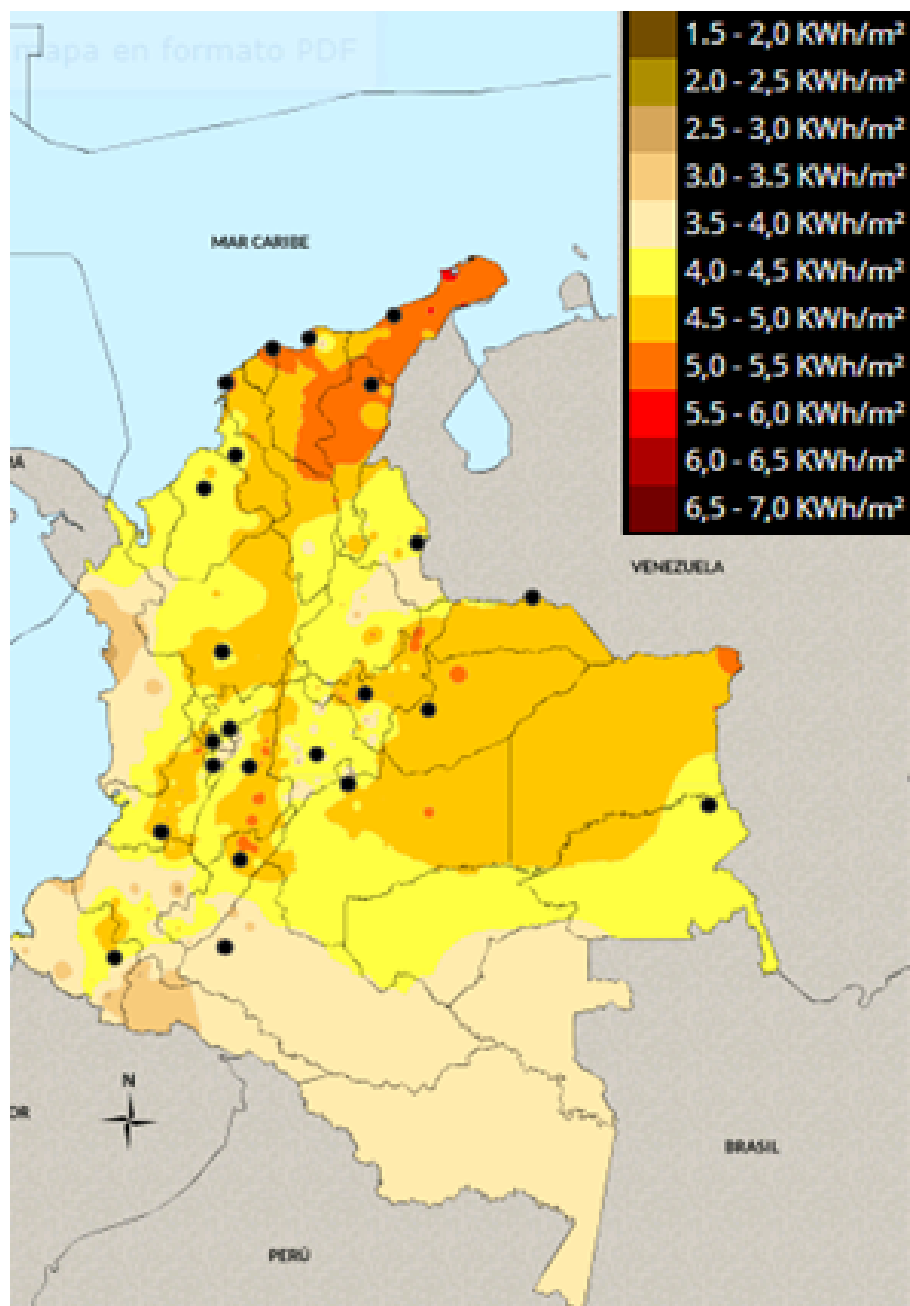


Gráfico 5. Mapa de radiación solar en Colombia (IDEAM, 2018).

Las horas pico solares (HPS), se define como la unidad que mide la irradiación solar (Grupo elektra, 2014). Es la energía por unidad de superficie que se recibe con una hipotética constante de irradiación solar de 1000 W/m². Una hora solar pico equivale a 3,6 MJ/m² o 1 kWh/m².

6.1.3 Sistemas Fotovoltaicos

La tecnología Fotovoltaica (FV), se puede definir como la conversión de la radiación que emite el Sol en electricidad, mediante la utilización de una célula solar (Celula Fotovoltaica, 2009). En una célula solar, se produce el llamado efecto fotovoltaico (Celula Fotovoltaica, 2009). Existen varios tipos de células

fotovoltaicas dependiendo del material, que serán mencionadas más adelante. Así pues, un sistema fotovoltaico, es aquel que junta varias de estas células solares, generando un panel solar, el cual está abierto a varias posibilidades, ya sea para satisfacer las necesidades energéticas de lugares donde no se encuentre conectada una red eléctrica, denominados sistemas fotovoltaicos autónomos, o para contribuir con energía para una red eléctrica, (sistemas conectados a la red).

Cabe resaltar que los sistemas fotovoltaicos solo producen energía cuando están expuestos a la radiación solar, siendo la cantidad de potencia que genera, directamente proporcional a la radiación solar que se le aplica a su superficie. Así pues, en los horarios o sectores donde no se cuente con la luz solar, es necesario contar con algún tipo de almacenador de energía, en este caso baterías, que también deben tener su respectivo proceso de diseño para suplir estos periodos de tiempo.

6.1.3.1 Elementos que componen los módulos fotovoltaicos.

Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son los siguientes:

Una cubierta exterior transparente realizado en vidrio templado de unos 3 o 4 mm de espesor, con su cara exterior texturizada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente ver gráfico 6.

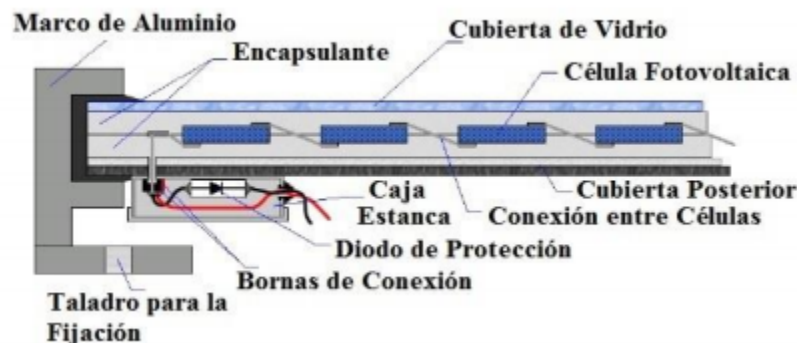


Gráfico 6. *Elementos de un panel solar* (Universidad de Jaen , 2018) .

Un material de relleno interior, que funciona de encapsulado, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, protegiéndolas de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células, dado que de producirse dejarían de funcionar. - Una cubierta posterior realizada normalmente a base de fluoruro de polivinilo (PVF), que además de sus propiedades como aislante dieléctrico, ofrece gran resistencia a la radiación ultravioleta, contribuyendo a servir de barrera a la entrada de humedad y ofreciendo una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulado interior (GreenHeiss, 2018).

- Las propias celdas fotoeléctricas, ya estudiadas en apartados anteriores.
- Elementos de conexión eléctrica entre celdas para establecer el circuito eléctrico.

Una caja estanca de conexiones, dotada de bornes de conexión normalizados y con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión con otros módulos que conforman el sistema completo de generación fotovoltaica. En dicha caja se incluyen los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por sombreados parciales de paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico por este efecto. Esto es así porque cuando se produce una sombra parcial sobre un panel, éste deja de generar corriente y se convierte en un elemento que absorbe energía, lo que produciría un recalentamiento excesivo del mismo que podría dañarlo (GreenHeiss, 2018).

- El marco estructural realizado generalmente en aluminio anodizado que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto. Se deberá comprobar en las especificaciones del fabricante del módulo su resistencia mecánica frente al viento y cargas de nieve, de manera que el conjunto se adecue a las condiciones ambientales del lugar donde se instalen (GreenHeiss, 2018).

6.1.3.2 Tipos de paneles solares

Al hablar de los paneles solares que se encuentran en el mercado, podemos observar que existe una variedad de estos, con diferencias marcadas para cada necesidad, ya sea por calidad, precio, etc. Cabe resaltar que la gran mayoría de los paneles solares, están conformados por una variación del silicio. Así pues, la principal diferencia que existe entre los paneles solares, es el nivel de pureza del silicio utilizado, ya que, a mayor pureza del silicio, mayor es el costo del panel, y mayor es la calidad y eficiencia del mismo. Entre los principales tipos de paneles solares se encuentran (Arenas Sanchez & Zapata Castaño, 2011):

6.1.3.2.1 Paneles solares Monocristalinos de celdas de silicio:

Se fabrican con bloques de silicio de alta pureza. Al recortarlos se les da el aspecto característico, con el que son fácilmente reconocibles a simple vista, ya que las esquinas son redondeadas.

Los celulares solares monocristalinos, están formados por solo un cristal de silicio. Esto quiere decir, que cuando se produjo el crecimiento del cristal de silicio, este se controló para quedar perfectamente alineado (AutoSolar, 2017).

6.1.3.2.1 Paneles solares Policristalinos

A diferencia de los paneles monocristalinos, en la fabricación de estos paneles se funde el silicio y se vierte en una placa, para posteriormente cortarlo en bloques perfectamente cuadrados. Una de sus características es que inició su producción en masa en los años ochenta, y gracias a su bajo costo de producción, son claramente económicos con respecto a los monocristalinos. Sin embargo, pese a ser más asequibles, cuentan con algunas desventajas con respecto a los paneles monocristalinos. Una de estas es que, debido a su baja resistencia al calor, son menos eficientes. No son recomendables para climas cálidos (AutoSolar, 2017).

6.1.3.3 Partes de los sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico se conforma principalmente de 5 fases (Escuela de Organización Industrial, 2015), que son necesarias para su correcto funcionamiento y que serán explicadas a continuación ver gráfico 7.

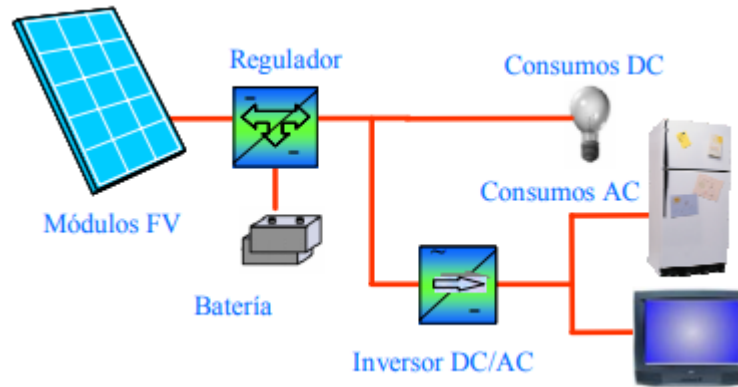


Gráfico 7. Estructura de un sistema fotovoltaico aislado
(Escuela de Organizacion Industrial , 2015)

- **Generador Fotovoltaico:** es el que se encarga de convertir la energía solar, en energía eléctrica. Se conforma por cierta cantidad de módulos fotovoltaicos, que se conectan ya sea en serie o paralelo para de esta manera maximizar la generación de energía. La potencia que pueda suministrar un módulo, depende del número de células fotovoltaicas que estén conectadas a este, y de la manera de conexión en la que estén, ya sea serie, paralelo o mixto. Un ejemplo de esto, es que una célula suele generar 3 W de potencia, mientras que si se conectan 36 de estas en serie, se puede llegar a un valor entre los 50 y 100 W. Así mismo, se pueden conectar varios de estos módulos, en serie o paralelo para conseguir la potencia que requiera cada sistema (Escuela de Organizacion Industrial , 2015).
- **Banco de Baterías:** Este sistema debe estar conectado a un almacenador de energía, como una batería, para poder aprovechar la energía en las horas que no se exponga a la radiación solar. Se van a desarrollar los respectivos cálculos, donde se determinará la batería a utilizar, y el tipo de conexión de la misma, que se observarán más adelante. La batería se va a cargar y descargar cíclicamente (Escuela de Organizacion Industrial , 2015).
- **Regulador de Carga:** es necesario para controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Es el encargado de proteger la batería contra posibles cargas o sobrecargas que excedan la capacidad de la misma. funciona conectando y desconectando la batería del generador fotovoltaico cuando se detecte algún tipo de sobrecarga (Escuela de Organizacion Industrial , 2015).
- **Inversor:** la generación dada por los paneles fotovoltaicos, generalmente se da en forma de corriente continua. Sin embargo, la mayoría de aplicaciones para las que se está destinado un generador fotovoltaico, funciona con

corriente alterna, por lo cual se requiere un inversor, que sea capaz de transformar la corriente continua en corriente alterna, garantizando el mejor rendimiento posible (Escuela de Organizacion Industrial , 2015).

- Consumo: los consumos, son básicamente las cargas que el sistema debe suplir, ya sean DC o AC. Son una parte muy importante del sistema, pues basándose en las especificaciones de la carga, es que se calcula el tamaño del sistema fotovoltaico. En el caso del proyecto, se debe calcular el consumo poblacional, definido por la magnitud y el tiempo de uso de la energía eléctrica para plantear el sistema fotovoltaico (Escuela de Organizacion Industrial , 2015).

6.1.3.3 Ventajas de un sistema fotovoltaico

Existe una variedad de ventajas que hacen ideal un sistema fotovoltaico, como fuente de energía.

Una de las principales ventajas es que no genera un impacto ambiental al no generar ningún tipo de desechos o residuos. El mantenimiento es mínimo, pues los paneles no cuentan con piezas móviles y se limpian con la lluvia. Es necesario cambiar los paneles solares cada 20 años mínimo. Es seguro manipular esta energía, pues como se mencionó anteriormente, los paneles fotovoltaicos generan corriente continua, por lo cual los sectores donde exista riesgo, debido a una corriente elevada, serán menores que con los sistemas diésel, por ejemplo, donde se presenta una mayor probabilidad de accidentes. Una de las principales ventajas es que solo es necesario realizar la inversión inicial para disponer de energía eléctrica. Después de este gasto, la inversión inicial se recupera gradualmente. Esto se calcula mediante el TIR. Tras esto, la energía restante en lo que sobra del periodo de funcionamiento de los paneles, es gratuita. Comparando con plantas de energía que requieren algún tipo de combustible inflamable, se ahorran costos de almacenamiento o riesgos a la hora de su manipulación Otra ventaja que cabe resaltar, es que un sistema fotovoltaico es modular, es decir se puede adaptar sin mayores complicaciones a el consumo requerido Esto se logra, añadiendo la cantidad de paneles necesarios para suplir las necesidades de la carga (Gomez Ramirez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2016).

6.1.3.4 Desventajas de un sistema fotovoltaico

Existen algunas desventajas de este sistema que se deben tener en cuenta.

Posiblemente, la principal desventaja es que la inversión inicial es elevada, en comparación con otras fuentes de energía. Una desventaja clara, es que la energía generada está limitada a la que se genera en las horas a las que se expone a la luz solar. Sin embargo, es posible maximizar su efectividad mediante los bancos de baterías, entre otros. El espacio es una pieza fundamental, ya que es necesario tener un área despejada determinada para colocar los paneles solares (Gomez Ramirez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2016).

6.1.4 Banco de baterías

El banco de baterías, es un elemento muy importante a la hora de utilizar sistemas alternativos de generación de energía, como lo son el uso de paneles fotovoltaicos. Las baterías, son un dispositivo que se encarga de convertir la energía química, que se encuentra contenida en sus materiales activos, en energía eléctrica (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2016). Esto se logra, mediante una reacción de óxido-reducción.

Su composición, se basa principalmente en una celda, que está formada por 3 componentes básicos. El primero de estos, es el ánodo, o electrodo negativo, y básicamente son los electrodos del circuito externo. Este, es oxidado en la reacción química. El segundo elemento importante, es el cátodo, o electrodo positivo, y se encarga de recibir los electrones del circuito externo. Es reducido durante la reacción química. El tercer y último elemento que conforma la celda, es el electrolito o conductor iónico, quien se encarga de proporcionar el medio para la transferencia de carga de los iones entre el ánodo y el cátodo. Los tipos de baterías más recomendadas para uso en instalaciones fotovoltaicas son las de tipo estacionarias de plomo ácido y de placa tubular, compuestas de un conjunto de vasos electroquímicos interconectados de 2 V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 o 48 V de tensión de suministro y la capacidad de corriente en continua que sea adecuado en cada caso.

En la tabla 1 se indica el nivel del voltaje del módulo fotovoltaico en función de las necesidades de consumo de potencia que se demande.

Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico	
Potencia demanda (W)	Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (V)
Menor de 1500	12
Entre 1500 y 5000	24 o 48
Mayor de 5000	120 o 300

Tabla 1. Tabla de tensión de trabajo de los sistemas fotovoltaicos (Mendez Muñiz & Cuervo Garcia , 2011)

- Régimen de carga (o descarga): es un parámetro que relaciona la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la cual se realiza la carga (o la descarga). Se expresa normalmente en horas, y se representa como un subíndice en el símbolo de la capacidad y de la corriente a la cual se realiza la carga (o la descarga). Por ejemplo, si una batería de 100 Ah se descarga en 20 horas a una corriente de 5 A, se dice que el régimen de descarga es 20 horas ($C_{20} = 100 \text{ Ah}$) y la corriente se expresa como $I_{20} = 5 \text{ A}$ (Mendez Muñiz & Cuervo Garcia , 2011).

- Profundidad de descarga (PD o DOD): se define como el cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal, expresándose normalmente en %.

- Profundidad de descarga máxima (PD_{máx}): en este caso se define como el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes que se produzca la desconexión del regulador, con objeto de proteger la durabilidad de la misma. Las

profundidades de descarga máximas que se suelen considerar para un ciclo diario (profundidad de descarga máxima diaria) están en torno al 15-25%. Para el caso de un ciclo estacional, que es el número máximo de días que podrá estar una batería descargándose sin recibir los módulos radiación solar suficiente, está en torno a los 4-10 días y una profundidad de descarga del 75% aproximadamente (Mendez Muñiz & Cuervo Garcia , 2011).

- Capacidad útil: es la capacidad disponible o utilizable de la batería y se define como el producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida.

- Estado de carga: se define como el cociente entre la capacidad residual de una batería, en general parcialmente descargada, y su capacidad nominal. 43 En la mayoría de las ocasiones, los sistemas de acumulación de energía estarán formado por asociaciones de baterías, que estarán conectadas en serie o en paralelo, para satisfacer las necesidades, bien de tensión, o bien de capacidad que sean demandadas (Mendez Muñiz & Cuervo Garcia , 2011).

6.1.5 Puesta a tierra:

Estudio de resistividad del suelo:

El suelo es de naturaleza heterogénea; varía por su composición y según las condiciones del medio (Tellez, y otros, 2014). Aunque se pueden clasificar de diversas formas los suelos, por ejemplo, en arcilloso, arenoso y rocoso, no se puede atribuir una resistividad específica a un tipo de suelo, y si se realizan mediciones se pueden encontrar diversos valores de resistividad.

Varios factores influyen la resistividad del suelo. Entre ellos podemos destacar:

- Tipo de suelo.
- Mezcla de diversos tipos de suelos.
- Suelos con capas estratificadas a profundidades y materiales diferentes.
- Contenido de humedad.
- Temperatura.
- Compactación y presión.
- Composición y concentración de sales disueltas.

La conductividad del suelo es esencialmente electrolítica. Por esta razón la resistividad de la mayoría de los suelos aumenta abruptamente cuando el contenido de humedad es menor al 15%, como se observa en el gráfico 8, curva 2. El contenido de humedad, adicionalmente, depende del tamaño del grano y compactación. Por otra parte, la resistividad varía con la frecuencia gráfico 9, aspecto que adquiere gran relevancia en presencia de fenómenos eléctricos muy rápidos, como los rayos.

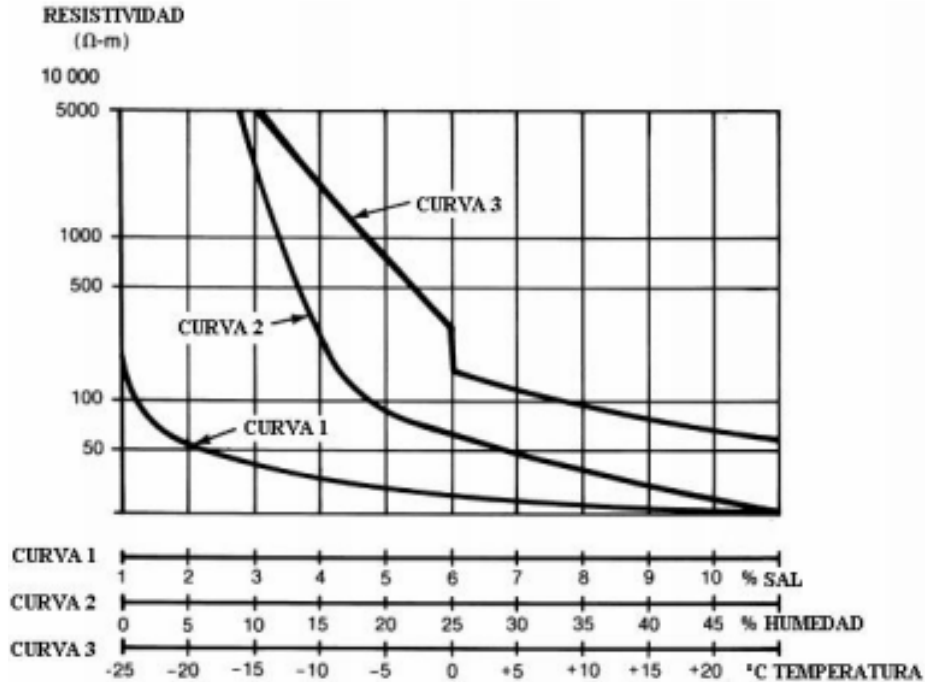


Gráfico 8. Gráfica de resistividad vs porcentaje de sal, humedad y temperatura (EPM, 2014)

El efecto de la temperatura en la resistividad del suelo es despreciable para temperaturas por encima del punto de enfriamiento. En 0 grados el agua en el suelo comienza a congelarse y la resistividad se incrementa rápidamente.

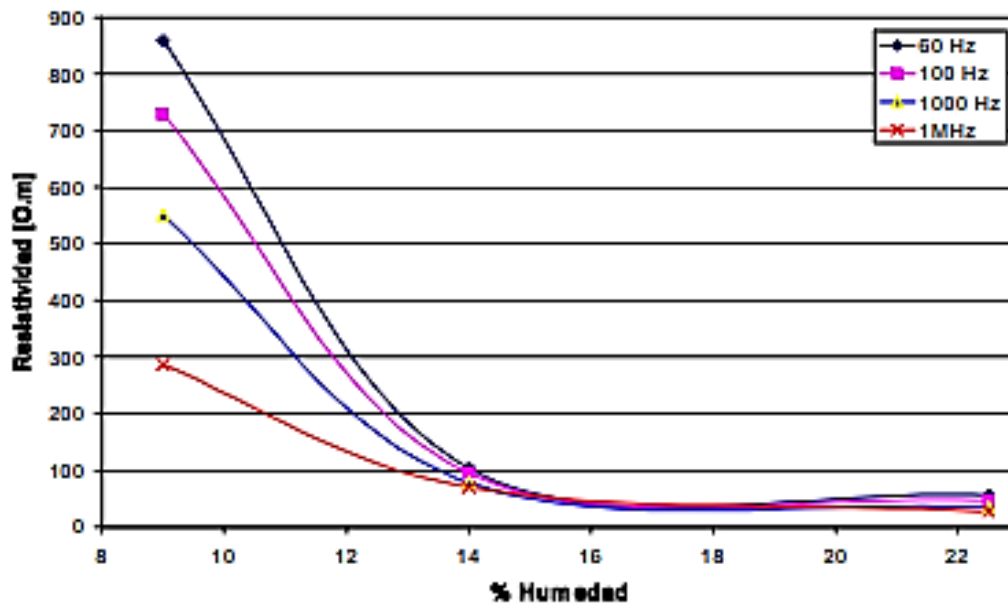


Gráfico 9. Gráfica de porcentaje de humedad vs resistividad (EPM, 2014)

MÉTODO WENNER:

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular ver gráfico 10. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; No es necesario un equipo pesado para realizar las medidas, los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

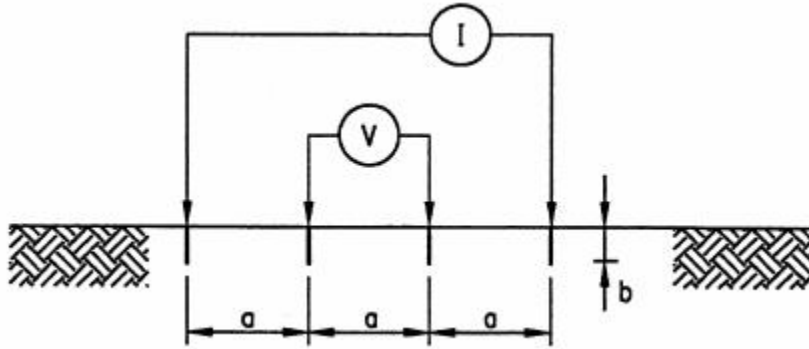


Gráfico 10. Implementación del estudio de resistividad del suelo tipo Wenner (EPM, 2014).

Método de Schlumberger-Palmer:

En este arreglo al igual que en el de Wenner, los electrodos de emisión (corriente) y medición (tensión) están situados en línea recta, la variante de este arreglo radica en que la separación entre electrodos es, aunque simétrica, desigual para la correspondiente entre los electrodos de tensión y entre estos y los de corriente (ver gráfico 11).

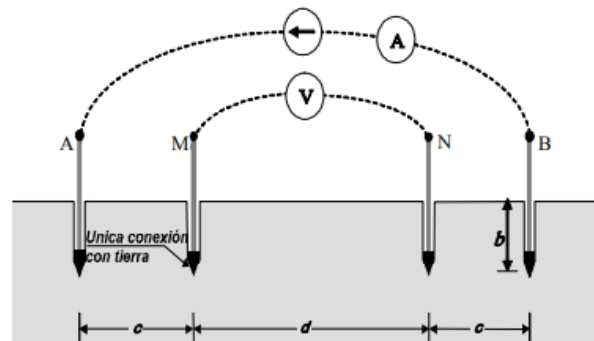


Gráfico 11. Implementación del estudio de resistividad del suelo tipo Schlumberger—Palmer (EPM, 2014)

6.1.6 Sistemas de generación diésel

Un generador de energía diésel, es básicamente un sistema que se encarga de convertir el combustible líquido, en energía eléctrica (Grupel, 2016) suele estar asociado con usos que requieren mucha potencia, y un funcionamiento continuo. Suelen requerir un mantenimiento constante para garantizar su funcionamiento, como se puede observar en el gráfico 12 se pueden observar todas las partes de una planta diésel.



Gráfico 12. Planta diésel (Plantas Electricas, 2009)

1. Motor
2. Alternador
3. Cuadro eléctrico de mando y control
4. Bancada de apoyo
5. Sistema de combustible
6. Sistema de gases de escape

Partes de Planta Diésel

Motor

Es el encargado de producir la potencia necesaria para mover el alternador que generará la energía eléctrica.

Alternador

Se encarga de transformar la energía mecánica del motor en energía eléctrica. Va unido al volante del motor a través de unos discos de fijación o a través de un acoplamiento flexible que transmite el movimiento del volante del motor al rotor del alternador (Plantas Electricas, 2009).

Cuadro eléctrico de control

Es el elemento que nos permite controlar el equipo y su funcionamiento, a través del mismo podemos poner la planta en marcha, apagarla y controlar los parámetros de su funcionamiento (Plantas Electricas, 2009).

Bancada de apoyo

Este elemento sirve de base de unión entre el motor y alternador, su forma y construcción es variable según sea la función o características específicas la planta eléctrica (Plantas Electricas, 2009).

Sistema de combustible

Lugar en el cual se ingresa el combustible para el funcionamiento del motor.

Sistema de gases de escape

Lugar por el cual se expulsan todos los gases que se producen a causa de la combustión del motor.

Funcionamiento

Primeramente, Se impulsa el aire hasta el interior del generador, con el fin de comprimirlo. Tras esta acción, se procede con la inyección del diésel. Cuando se juntan ambas acciones, la compresión del aire y la inyección del diésel, esto genera un calor bastante alto, suficiente para generar la inflamación del combustible, entrando en combustión y haciendo funcionar el generador. Finalmente, el generador convierte esta energía de combustión en energía eléctrica (Grupel, 2016).

6.2 Definición de Tasa Interna de Retorno (TIR)

A la hora de plantear un proyecto, es necesario plantear la rentabilidad del mismo. Ahora bien, cuando se busca dar la solución óptima a un problema, es inevitable aplicar los elementos financieros necesarios para determinar la opción viable. Para saber esto, se suele aplicar, entre otros, el TIR, que como dicen sus siglas, significa la Tasa Interna de Retorno. Se suele dar como un porcentaje que representa el beneficio o pérdida que llegara a tener una inversión.

Cabe resaltar, que para resolverlo se utiliza la siguiente formula.

Ecuación 1

Dónde:

- **Ft** son los flujos de dinero en cada periodo t
- **I0** es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)
- **n** es el número de periodos de tiempo

Así pues, teniendo la tasa de retorno podremos valorar si nuestro proyecto es viable o no.

6.3 Económico

6.3.1 Función de producción Cobb-Douglas

En economía, la función Cobb-Douglas es una forma de función de producción, ampliamente usada para representar las relaciones entre un producto y las variaciones de los insumos, tecnología, trabajo y capital (Universidad de Valencia , 2017).

Ecuación 2

Donde:

Ecuación 3

Ecuación 4

Producción

Progreso técnico exógeno

Stock de capital

Numero de empleado en una economía

La idea de la función de producción es muy intuitiva, pues representa combinaciones de los factores capital, trabajo y que satisface las propiedades

- Rendimiento constante a escala. Es decir, si el capital y el trabajo se incrementan en la misma proporción, la producción aumentara también en la misma proporción (Universidad de Valencia , 2017).
- Productividad marginal positiva y decreciente. Esta función es la que introduce el postulado más básico de la economía clásica, los rendimientos marginales decrecientes, tanto de capital como el trabajo (Universidad de Valencia , 2017).

6.3.2 Ecuación lineal de la función Cobb-Douglas

Escalera de Tukey (transformaciones con función de densidad) Dado que todas las series de tiempo para ser trabajadas en un modelo, deben comportarse como una distribución normal de media cero y varianza constante. Esta transformación se realiza para que los datos que se tienen sean HOMOSCEDASTICOS Permite una distribución más simétrica (Gujarati & Porter, 2010).

Linealidad de la relación entre variables (caso de tener más de una variable) ver tabla 2.

Transformación	Re-expresión
Cubo	
Cuadrado	
Ninguno	
Raíz cuadrada	
Log	
Raíz del recíproco	
Recíproco	

Tabla 2. Transformadas de Tukey (Universidad de Valencia , 2017)

Porque es necesario realizar este tipo de transformaciones a las variables

Las distribuciones que muestran una clara asimetría son difíciles de estudiar.

Los valores originales aparentemente atípicos se encontrarán más cercanos al grueso de los datos.

Los métodos estadísticos suelen emplear la media aritmética; pero la media de una distribución asimétrica no es un buen índice del grueso de los datos (Universidad de Valencia , 2017).

Propiedades

Preservan el orden de los valores; es decir, los valores mayores de la escala original seguirán siendo los valores mayores en la escala transformada.

Modifican la distancia entre los valores. Con potencias $p < 1$ (raíz x o $\log x$) se comprimen los datos en la parte superior de la distribución en relación a los valores menores; Con potencias $p > 1$ (como el cuadrado de x) se tiene el efecto contrario.

El efecto sobre la forma de la distribución cambia sistemáticamente con p. Si raíz x hace menos pronunciada la asimetría positiva de una distribución, el log x provocará que la distribución resultante sea aún menos asimétrica positiva (en relación a raíz x) (Universidad de Valencia , 2017).

6.3.3 Modelo de regresión:

El análisis de regresión trata del estudio de la dependencia de una variable (variable dependiente) respecto de una o más variables (variables explicativas) con el objetivo de estimar o predecir la media o valor promedio poblacional de la primera en términos de los valores conocidos o fijos (en muestras repetidas) de las segundas (Gujarati & Porter, 2010).

6.3.3.1 Relaciones estadísticas y relaciones determinísticas:

En las relaciones estadísticas entre variables se analizan, en esencia, variables aleatorias o estocásticas, es decir, variables con distribuciones de probabilidad. Por otra parte, en la dependencia funcional o determinista también se manejan variables, pero no son aleatorias o estocásticas, Son los hechos o sucesos que ocurren con seguridad. En ellos se conoce de antemano, con certeza (Gujarati & Porter, 2010).

6.3.3.1.1 Regresión o causalidad:

La relación de causalidad se da unidireccionalmente. Es decir, las variables exógenas pueden influir en la endógena, pero no a la inversa

6.3.3.1.2 Regresión y correlación:

El objetivo principal de la correlación es medir la fuerza o el grado de asociación lineal entre dos variables La regresión y la correlación presentan diferencias fundamentales que vale la pena mencionar ver gráfico 13.

En el análisis de regresión hay una asimetría en el tratamiento a las variables dependientes y explicativas.

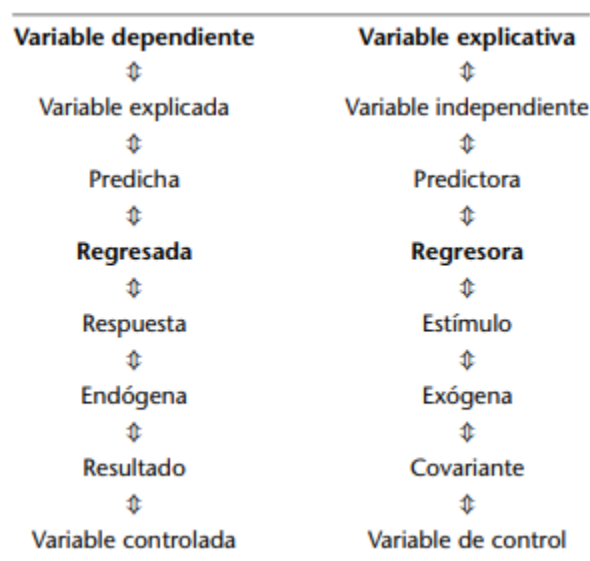


Gráfico 13. Léxico para nombrar variables, Fuente (Gujarati & Porter, 2010).

6.3.4 Test Dickey Fuller:

Para analizar el test de Dickey Fuller, primero es necesario saber, que la serie que se va a tratar, debe cumplir con el criterio de ser estacionario, comportándose como una distribución normal de media cercana a cero y varianza constante. Es posible definir que cuando una serie no es estacionaria en media, es porque no es integrada o generada como serie en diferencias (máximo dos diferencias) I (2), es decir, se dice que presenta al menos una raíz unitaria. En estos casos, se debe hacer una serie de diferencias para obtener una transformación de la serie original, para obtener una serie estacionaria.

Así bien, para obtener la cantidad de diferencias que se deben hacer para volver estacionaria la serie, o lo que es lo mismo, la cantidad de raíces unitarias que la serie original presenta, se hace uso del test de Dickey Fuller, por lo que las series en diferencia se definen como:

Ecuación 5

Ecuación 6

Ecuación 7

Por lo que en si queremos plantear una primera diferencia tenemos que:

Ecuación 8

Ecuación 9

Donde:

Ecuación 10

Ecuación 11

Ecuación 12

6.3.5 Media Móvil:

La media móvil, es básicamente una herramienta, que genera un indicador el cual busca eliminar las diferentes fluctuaciones a corto mediano o largo plazo. Como ya hablaremos más adelante, esto último depende básicamente, del número de periodos escogidos. La media móvil, suele expresarse por sus siglas en inglés (Moving Average)

Así pues, la media móvil, se basa en la información que se tiene sobre la variable a tratar, sobre su comportamiento y desestima las fluctuaciones esporádicas que dicha función pueda llegar a presentar, con el fin de buscar una tendencia a futuro. Así pues, existen varios tipos de media móvil, como lo son:

MA (simple)

MA (Central)

MA (Exponencial)

MA (Ponderada)

En este caso, debido a que las mayores variaciones se presentan en los últimos instantes de la función a tratar, es necesario el uso de una media simple, puesto que una media móvil con un menor número de periodos, ya que una media móvil con menor memoria se ve más afectada a cambios recientes que una con mayor memoria. Por esto, en esta ocasión se tomará un ciclo. Un ciclo, equivale a dos periodos, uno antes y otro después del respectivo ciclo, donde se observará el comportamiento de la función.

A continuación, veremos las diferencias de tomar uno o más periodos:

Suponiendo a

Ecuación 13

Si

Ecuación 14

Ayuda a predecir cambios en periodos recientes.

Ecuación 15

Ayuda a predecir cambios en periodos antiguos.

Una vez se determina qué tipo de media móvil utilizar, es necesario aclarar la función de la media móvil, la cual sería:

Ecuación 16

En este caso, reemplazamos los valores por los que se utilizaran, es decir:

Ecuación 17

Ecuación 18

Dando como resultado:

Ecuación 19

6.3.6 Test Durbin-Watson:

El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe auto correlación en una Regresión lineal, Con ello se pretende ver si los valores presentan algún tipo de dependencia en cuanto al orden de obtención ecuación 20.

Ecuación 20

A partir de esta ecuación 20, Durbin y Watson lograron encontrar un límite inferior y un límite superior tales que si el valor calculado de gráfico 14 cae por fuera de estos valores críticos, puede tomarse una decisión respecto de la presencia de correlación serial positiva o negativa

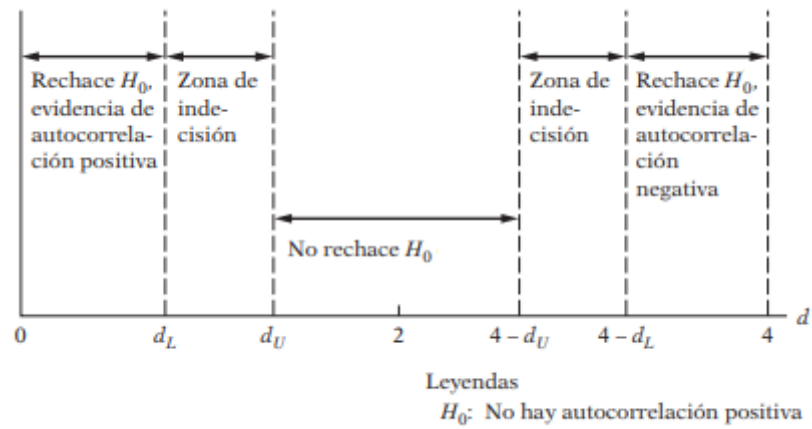


Gráfico 14. Gráfico de límites de auto correlación y correlación (Gujarati & Porter, 2010).

7. Diseño Metodológico

La realización del proyecto se llevará a cabo en 4 etapas, que van desde el estudio del entorno de desarrollo del proyecto, hasta la toma de la alternativa viable para suplir los requerimientos establecidos.

En primer lugar, se debe hacer una caracterización del lugar, en este caso la localidad a tratar, Bocas del Pauto del municipio de Trinidad, Casanare ver gráfico 15, hallando los valores de radiación solar, las capacidades, ventajas y desventajas del sitio para implementar una solución energética basada en paneles fotovoltaicos, así como un análisis social, y económico donde se tenga presente el número de viviendas, el consumo, número de habitantes, etc.

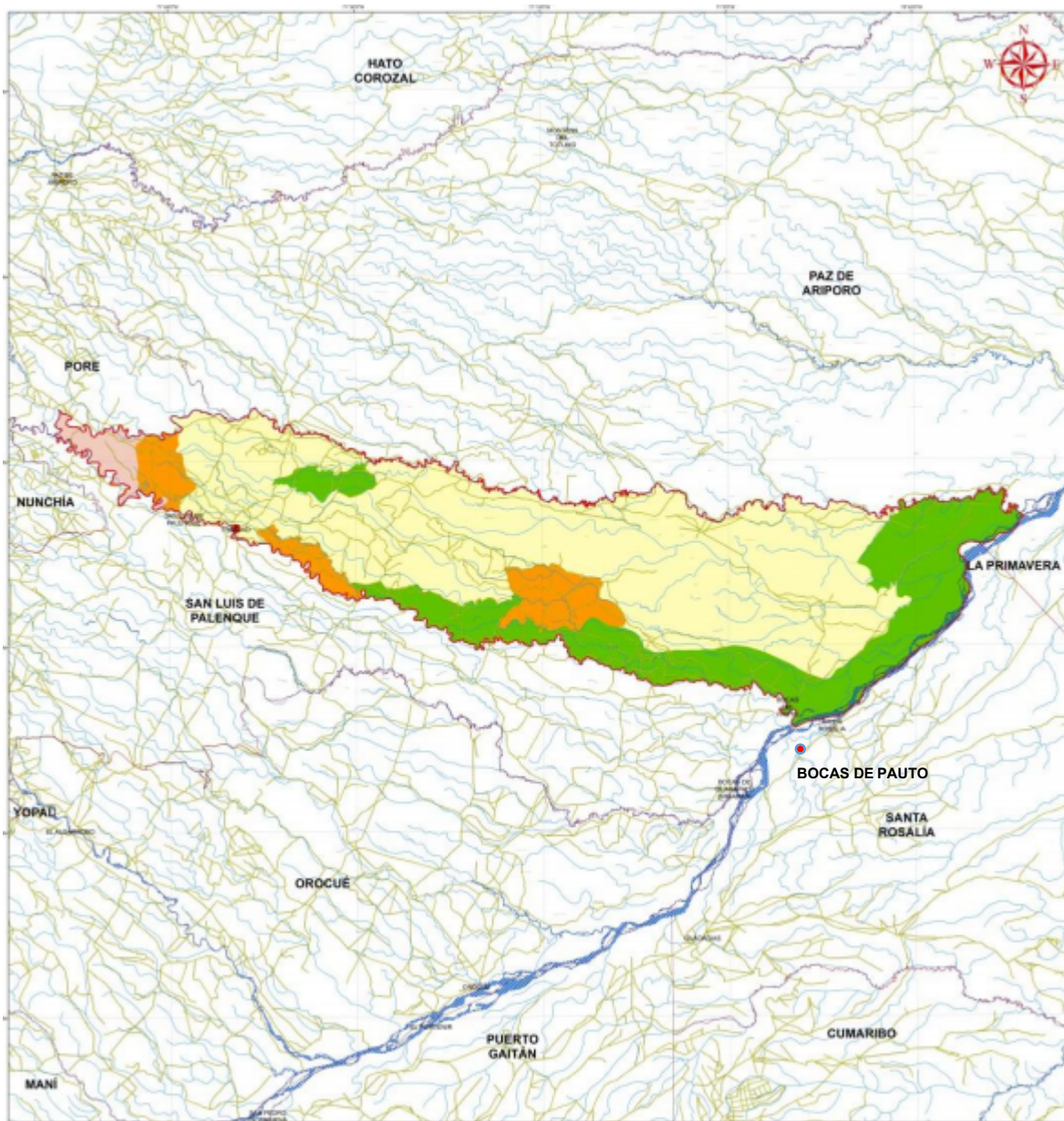
7.1 Caracterización de la Zona

7.1.1 Localización geográfica



Gráfico 15. Localización Geográfica Bocas Del Pauto (Tellez, y otros, 2014).

El corregimiento de Bocas del Pauto, se encuentra ubicado en el municipio de Trinidad (Casanare) el cual cuenta con una extensión de 2947 km², el municipio basa su economía en la ganadería, siendo el cuarto municipio ganadero del departamento. El segundo renglón en importancia es la agricultura predominando productos como el arroz, el maíz y el plátano (Tellez, y otros, 2014) ver gráfico 16.



COLOR	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (ha)	%
	111	Tejido urbano continuo	134,33	0,05
	21	Cultivos transitorios	24.132,07	8,18
	221	Cultivos permanentes herbáceos	7.293,01	2,47
	231	Pastos limpios	187.541,61	63,58
	313	Bosque fragmentado	75.869,87	25,72
TOTAL			294.970,88	100

Gráfico 16. *Bocas del Pauto/ Trinidad* (Tellez, y otros, 2014).

7.1.2 Vocación del Suelo

el municipio de Trinidad, es un municipio con una vocación de uso pecuario (69%), orientado al pastoreo extensivo (60%), seguida de áreas con vocación para la conservación de recursos hídricos e hidrobiológicos (13%), asociado a las llanuras aluviales y algunas sabanas inundables. Las áreas con vocación agrícola ocupan un 9% del municipio y se asocian especialmente al establecimiento de cultivos permanentes intensivos (Tellez, y otros, 2014) ver gráfico 17.

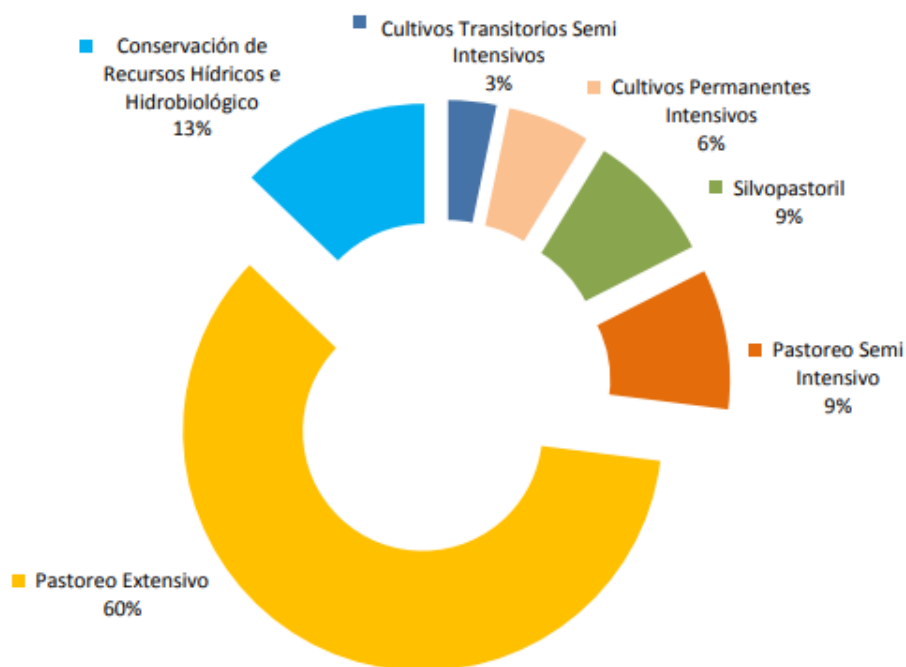


Gráfico 17. *Vocación del suelo* (Tellez, y otros, 2014)

7.1.3 Conflictos del suelo

Los Conflictos de uso resultan de la discrepancia entre el uso que hace el ser humano del medio natural y el uso que debería tener de acuerdo con sus potencialidades y restricciones ambientales (ecológicas, culturales, sociales y económicas); también se define por “el grado de armonía que existe entre la conservación de la oferta ambiental y el desarrollo sostenible del territorio”.

El municipio de Trinidad tiene el 55% de su superficie en usos adecuados o sin conflictos, asociados a la actividad ganadera en zonas con vocación de pastoreo extensivo. Un 25% presenta conflictos de usos por subutilización, dominando la ligera (16%) y un 14% tiene conflictos por la presencia de pastos en áreas pantanosas y por demanda no disponible para la producción (Tellez, y otros, 2014) ver gráfico 18.

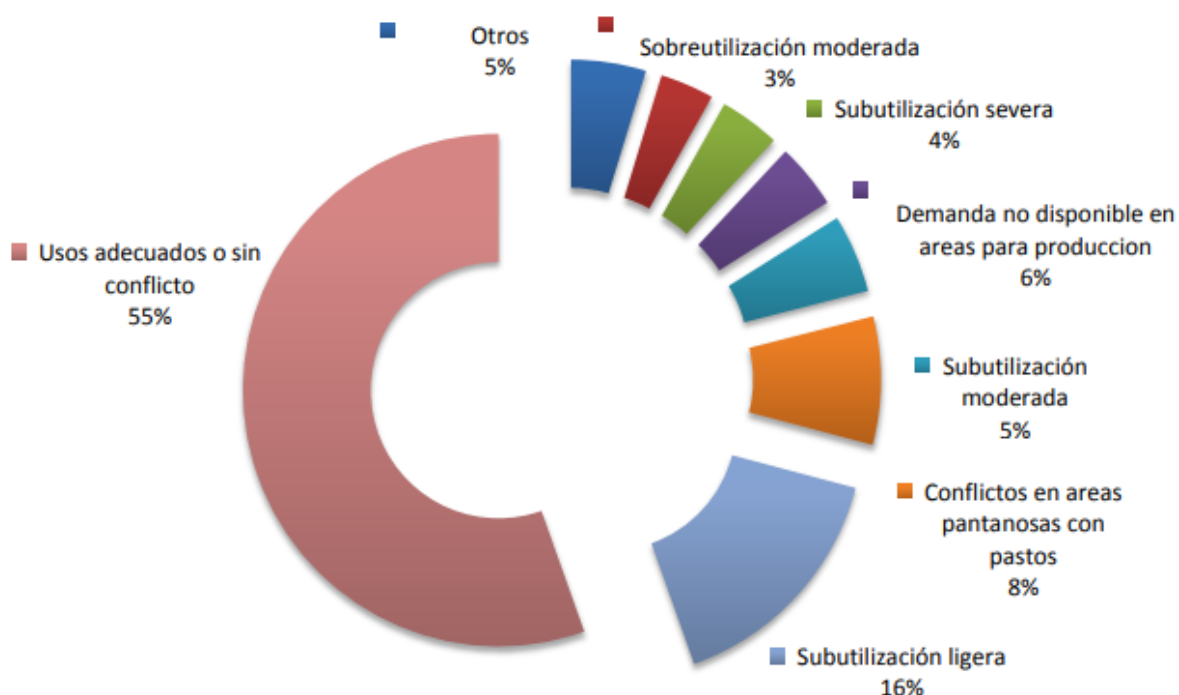


Gráfico 18. Conflictos del suelo (Tellez, y otros, 2014).

7.1.4 Población

Según el censo del DANE 2018, el comportamiento de la población se proyecta como se muestra en la tabla 3.

Vivienda, Hogares y Personas								Estimado 2020
Año	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	
Cabecera	6.35	6.81	7.26	7.71	8.16	8.63	9.11	9.59
Rural	5.41	5.59	5.78	5.99	6.22	6.46	6.73	6.99
Total	11.77	12.40	13.05	13.70	14.38	15.10	15.84	16.58

Tabla 3. Crecimiento poblacional (DANE, 2018).

Crecimiento Poblacional							
Años	2006 - 2008	2008 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2014	2014 - 2016	2016 - 2018	2018 - 2020
Porcentaje % Rural	3,19	3,47	3,58	3,81	3,95	4,08	4,00
Porcentaje % Cabecera	7,16	6,65	6,19	5,79	5,80	5,49	5,27

Tabla 4 . Crecimiento poblacional en porcentajes (DANE, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior se hace una aproximación del crecimiento poblacional a una generación¹² en la parte rural teniendo en cuenta la estabilización del crecimiento en los últimos 2 años alrededor del 4,08% como se puede ver en la tabla 4, estimando un crecimiento al años 2038, de 9422 personas en promedio para la zona rural (de la que corresponde Bocas del Pauto), lo que en estimaciones de 4 personas por familia, corresponde a 2356 familias en crecimientos demográfico, este valor será tenido en cuenta a la hora de realizar el diseño técnico del proyecto fotovoltaico.

¹² Una generación se considera un lapso de 20 años, con base en los ciclos económicos de Wassily Leontief (Cazabone, 2009)

Vivienda, Hogares y Personas		
Año	2020-2030	2030-2040
Rural	9.422	11.306
Crecimiento %	20%	20%
Crecimiento poblacional a una generación del 40% (20 Años)		

Tabla 5. *Crecimiento poblacional a una generación (DANE, 2018)*

Servicios con los que cuentan las viviendas:

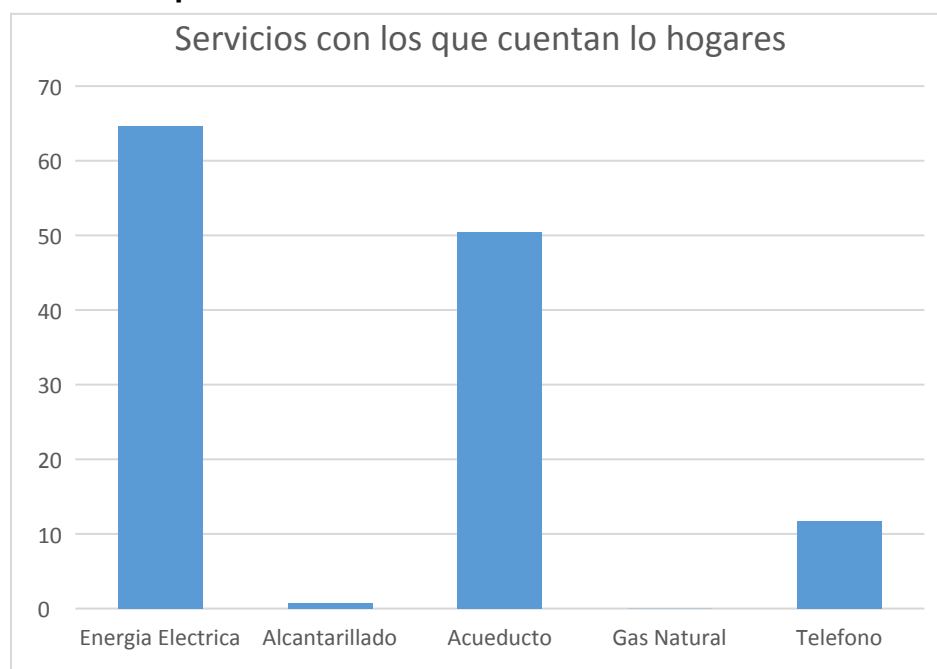


Gráfico 19. *Servicios con los que cuentan las viviendas en la localidad de bocas del pauto según el DANE (DANE, 2018).*

7.1.5 Consumo de energía.

Bocas del Pauto, actualmente es una comunidad que tiene acceso a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, y aproximadamente 8 horas de energía eléctrica. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas Latitud 5.5 Longitud -70.5. Según el informe mensual de telemetría, del mes de Junio del 2018, obtenido de la página web del IPSE¹³, Bocas del Pauto cuenta con un total de 200 usuarios. La infraestructura actual de la localidad está dada por un grupo electrógeno de 300kVA de capacidad, y dos transformadores de 75kVA de capacidad, como se muestra en el diagrama unifilar de la localidad (IPSE, 2018) ver gráfico 20.

¹³ <http://www.ipse.gov.co> (IPSE, 2018)

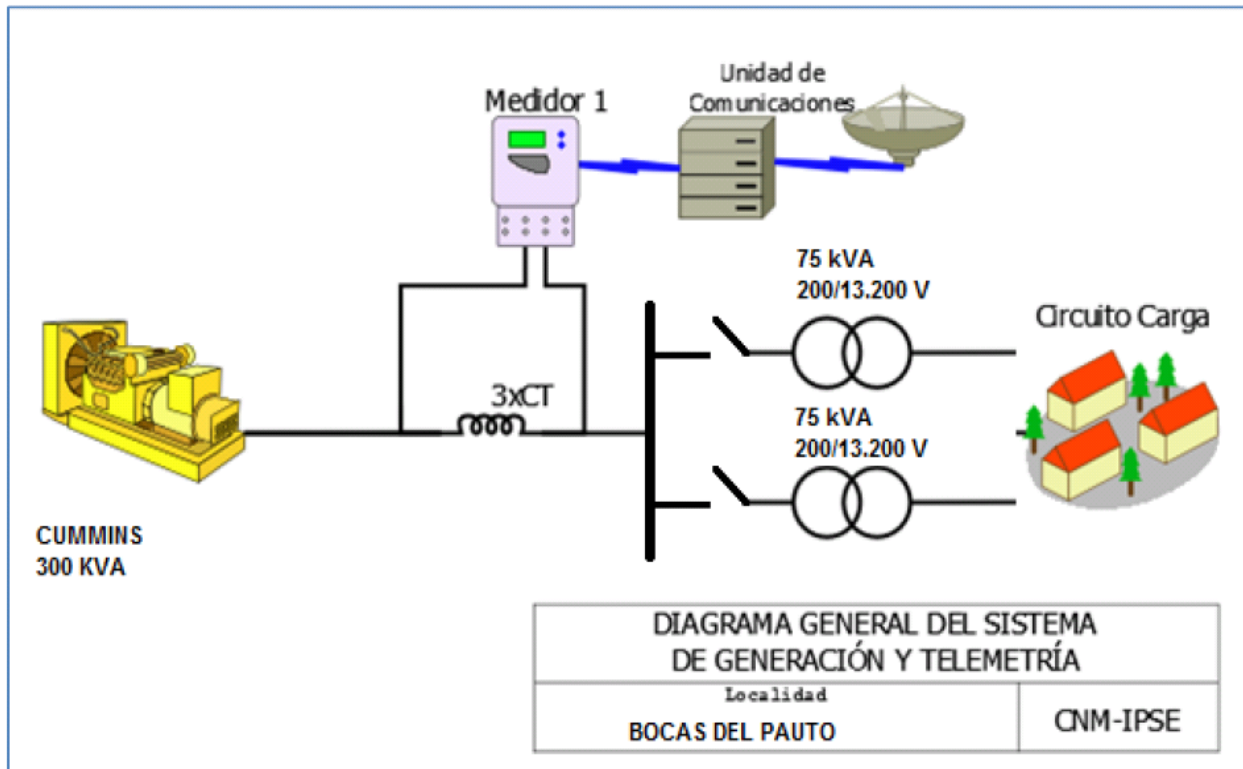


Gráfico 20. *Diagrama Unifilar de la localidad Fuente (IPSE, 2018).*

También se especifica el consumo de la energía eléctrica en esta localidad para mediados del 2017 a mediados del 2018, como se muestra en la gráfico 21 a partir de esta podemos concluir que tanto la potencia activa como reactiva se comportan de una manera similar siendo la potencia reactiva un poco mayor.

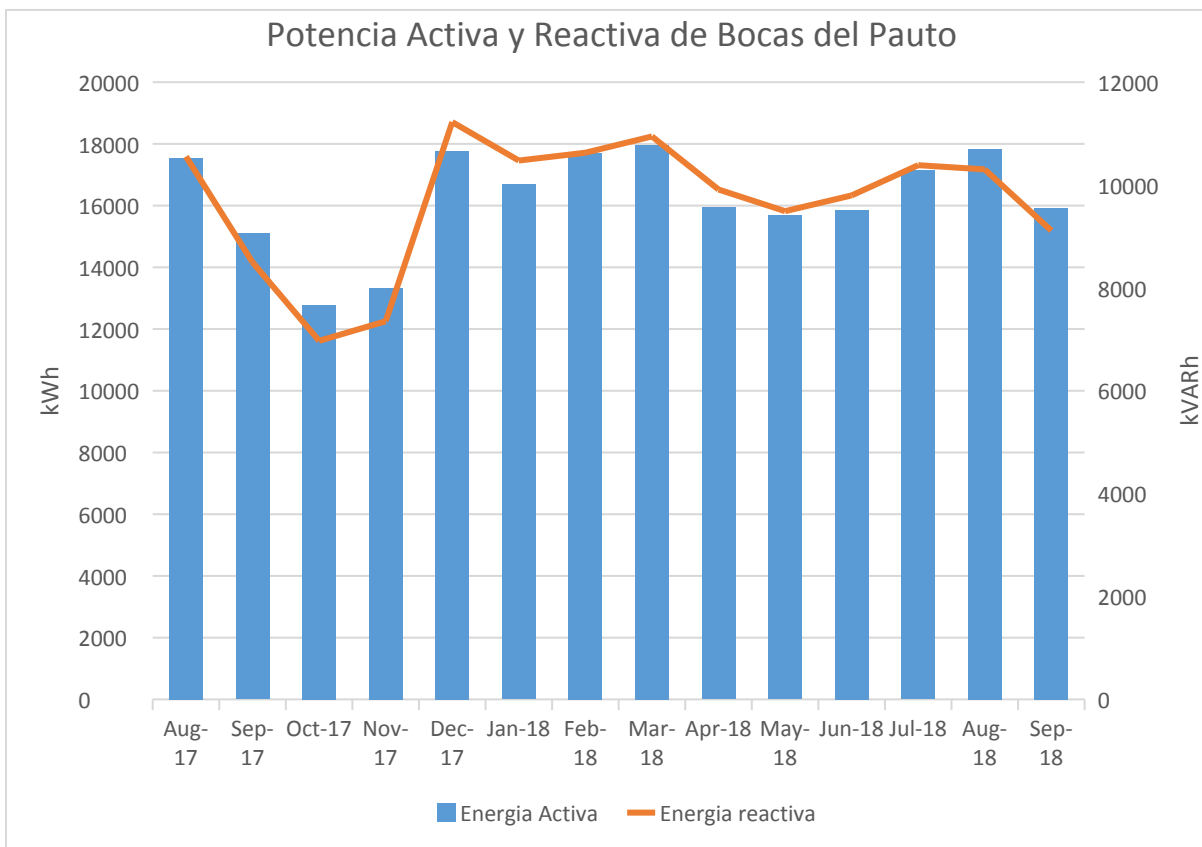


Gráfico 21. *Potencia activa y reactiva Bocas de pauto, elaboración propia, fuente (IPSE, 2018).*

El factor de potencia promedio es de 0.85, el promedio diario de prestación del servicio de energía eléctrica a junio del 2018, es de 7 Horas 45 Minutos (IPSE, 2018).

7.2 Primera etapa cálculo del diseño fotovoltaico solar

7.2.1 Estimación del consumo.

Primeramente observamos la tabla de consumos anuales de bocas del pauto (IPSE, 2018), seguido de esto pasaremos a determinar la potencia total que requiere el sistema para ello determinaremos la potencia aparente a partir de la potencia activa y reactiva del sistema, Así pues para el cálculo de los consumos medios diarios.

ECUACIÓN 21

Donde:

Potencia Aparente

Potencia Activa

Potencia Reactiva

7.2.2 Datos de Irradiación solar de la Zona donde se va a realizar el sistema fotovoltaico.

Se debe conocer la radiación solar en la zona en la cual se requiere realizar el sistema fotovoltaico, para ello contamos con muchas herramientas a nuestro alcance que nos pueden facilitar esta información entre ellas el Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), el atlas de radiación solar del IDEAM, para este proyecto se utilizara la herramienta de la NASA “Prediction Of Worldwide Energy Resources” (POWER) ver gráfico 22.

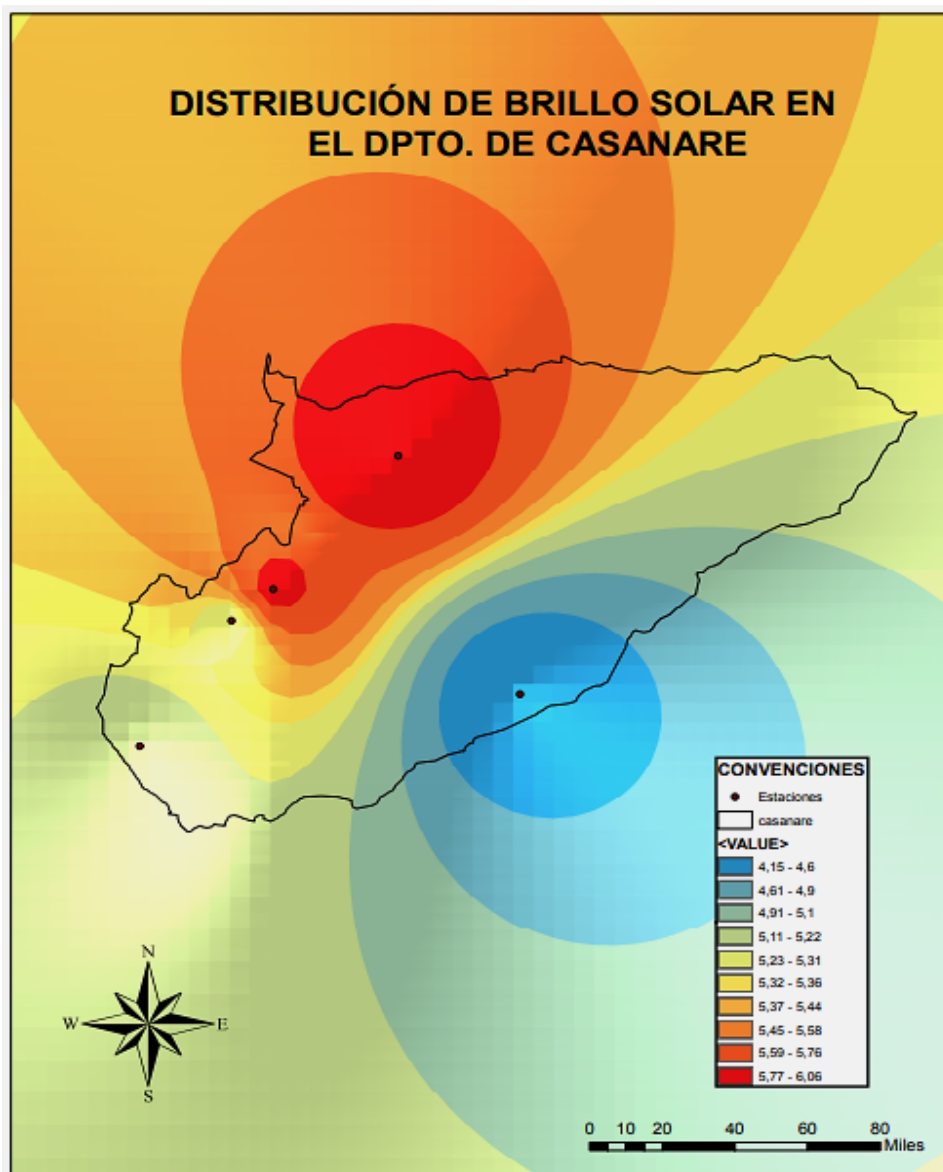


Gráfico 22. Distribución de brillo solar en el Departamento del Casanare.

Elaboración Propia en ArcGIS¹⁴.

7.2.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).

¹⁴ ArcGIS es un sistema de información geográfica (SIG) integrado (ArcGIS, 2002)

Luego de esto se determina la carga equivalente día, que va a ser igual a la potencia aparente sobre el número de días del mes con la menor radiación.

Ecuación 22

Carga equivalente día
Días del peor día de radiación solar

Después de esto se halla la carga equivalente proyectada, esto equivale al consumo proyectado a 20 años que es alrededor del 20% más del actual.

Ecuación 23

Índice de consumo proyectado
Consumo proyectado

A continuación, se procede a determinar la carga equivalente por día para el proyecto, para ello se divide el consumo proyectado sobre el número de horas de trabajo de nuestro sistema fotovoltaico.

Ecuación 24

Carga equivalente promedio hora
Horas de Trabajo del sistema

Después se pasa a determinar la energía necesaria para el funcionamiento de nuestro sistema fotovoltaico.

Ecuación 25

Energía necesaria para la instalación
Rendimiento de la instalación

Seguido de esto se determinan el número de paneles necesarios para la implementación para ello se debe tener en cuenta la potencia del panel solar, la radiación solar del peor mes para realizar un buen dimensionamiento y por último la eficiencia del panel solar.

Ecuación 26

Potencia panel solar
Radiación del peor mes
Eficiencia del panel solar

7.2.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación (número de baterías)

Pasamos ahora al cálculo de las baterías recordando que los dos parámetros importantes para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.

Para el dimensionamiento del sistema de acumulación es muy importante tener en cuenta los días de autonomía que se van a otorgar a la instalación, para proyectos domésticos se suelen tomar entre 3 y 5 días de autonomía (Ospina & Isaza, 2016).

Ecuación 27

Rendimiento baterías de descarga profunda
Voltaje del sistema fotovoltaico
Días de autonomía
Capacidad del banco de baterías

Ecuación 28

Batería Seleccionada

7.2.5 Dimensionamiento del regulador

Procedemos ahora al cálculo del regulador, para ello debemos calcular cual es la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada pero también a su salida (Ospina & Isaza, 2016).

Ecuación 29

Corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico
Número de módulos

Ecuación 30

Potencia de la carga en DC
Potencia de la carga en AC

El regulador a escoger debe de soportar las dos corrientes encontradas tanto a la entrada como a la salida.

7.2.6 Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento del inversor es necesaria tener en cuenta la suma de las potencias de las cargas de corriente alterna.

Ecuación 31

Debemos tener en cuenta algo importante a la hora de seleccionar nuestro inversor. Muchos de los electrodomésticos y aparatos con motor utilizados tienen “picos de arranque”, como los frigoríficos, lavadoras etc., lo que supone que para su arranque van a demandar mayor potencia que la nominal, en ocasiones hasta 4 o 5 veces más de la potencia nominal prevista (Ospina & Isaza, 2016).

Ecuación 32

7.3 Segunda etapa análisis económico

Para la segunda etapa, se debe calcular una función técnico-económica. Dicha función, se basará en la variable del kWh generado en la localidad de Bocas del Pauto, variable que dependerá de otros factores como lo son el Índice de precios al productor, Índice de precios al consumidor, Tasa Representativa del Mercado, y

Potencia de los proyectos fotovoltaicos a lo largo de los años, ya que estas son las variables que pueden llegar a afectar el comportamiento del kWh.

Para obtener estos datos, se requiere información de DANE, departamento encargado de censar y obtener algunos de estos datos. Sin embargo, a la hora de obtener el valor del kWh en Bocas del Pauto, y la potencia de los proyectos fotovoltaicos en los últimos años a nivel Colombia, fue necesario acudir a la Unidad de Planeación de Minas y Energía, UPME, donde se tiene el respectivo conocimiento de estos datos. Así pues, mediante el uso del software Stata, se puede obtener mediante una serie de procedimientos matemáticos, como la escalera de Tukey, y el método de Cobb-Douglas, una estimación de que tan relevantes son cada una de las variables ya mencionadas a la hora de verificar el cambio del kWh en la localidad a tratar, y así validar la afirmación de que el proyecto que se desea implementar en la localidad de Bocas del Pauto, es viable y necesario.

7.4 Tercera etapa Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para la tercera parte del proyecto, se va a utilizar la Tasa Interna de Retorno, con el fin de mirar en cuanto tiempo se retornará la inversión realizada y bajo qué condiciones, con el fin de mejorar la viabilidad del proyecto. Mediante este análisis, se va a tener claridad de los factores que afectan la retribución del dinero invertido, el periodo en el cual se dará la misma, y acomodar dichos valores para mejorar el impacto financiero del proyecto.

7.5 Cuarta parte conclusiones

Por último, basándose en todo el análisis técnico-económico planteado a lo largo del proyecto, se darán las respectivas conclusiones sobre si es factible, y apropiado, implementar este tipo de proyectos en la localidad de Bocas del Pauto, con cifras claras y concretas con el respectivo fundamento.

8. Desarrollo

8.1 Calculo y diseño del fotovoltaico

1. Consumo mensual de Bocas del Pauto ver tabla 6

Mes	Potencia Activa kW	Potencia Reactiva kVAR	Potencia Aparente kVA	Factor de Potencia
Agosto 2017	17438	10102	20008,71	0,86
Septiembre 2017	15005	8397	16822,18	0,88
Octubre 2017	12679	6671	14056,70	0,88
Noviembre 2017	13224	7051	14817,30	0,88
Diciembre 2017	17662	11024	20711,11	0,85
Enero 2018	16581	10476	19097,77	0,85
Febrero 2018	17593	10428	20039,69	0,86
Marzo 2018	17863	10745	20734,79	0,85
Abril 2018	15839	9713	18270,17	0,85
Mayo 2018	15578	9292	18027,51	0,86
Junio 2018	15748	95098	18132,22	0,85
Julio 2018	17040	10086	19541,17	0,86
Promedio	15920	9256,25	18389,32	0,86

Tabla 6. Consumo mensual Bocas del Pauto en Watts (W), Elaboración Propia, Fuente consolidado anual del Informe de telemetría del 2017 y 2018 (IPSE, 2018)

2. Radiación Solar de Bocas del Pauto ver tabla 7.

Radiación Solar Bocas Del Pauto		
Mes	Año	
	2016 (kW/día)	2017(kW/día)
Enero	6,17	4,68
Febrero	5,72	5,18
Marzo	5,28	4,4
Abril	4,46	4,58
Mayo	4,31	4,35
Junio	4,26	4,3
Julio	4,36	4,4
Agosto	4,5	4,38
Septiembre	4,87	4,54
Octubre	4,54	4,51
Noviembre	4,45	4,4
Diciembre	4,74	4,85

Tabla 7. Radiación solar Bocas del Pauto, elaboración propia. Fuente, NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources, (NASA, 2018).

3. Parámetros a tener en cuenta a la hora de desarrollar el sistema fotovoltaico ver tabla 8.

DESCRIPCIÓN	DATOS
-------------	-------

Consumo Activa Mes	17863 kW
Consumo Reactiva Mes	11024 kVAR
Proyección crecimiento	20%
Horas de trabajo	8 h
Rendimiento instalación	85%
Mes con peor irradiación solar	4,3
Rendimiento de panel	85%
Potencia panel seleccionado	325 W
Voltaje de panel seleccionado	24
Corredores de panel seleccionado	80

Tabla 8. *Tabla de parámetros para el diseño del sistema fotovoltaico, elaboración propia.* Fuente, consolidado anual del Informe de telemetría del 2017 y 2018 (IPSE, 2018).

- Se determina el valor de la potencia total o aparente a través de la potencia activa y reactiva ver tabla 6.

Ecuación 33

Ecuación 34

kVA

Ecuación 35

Potencia Aparente
Potencia Activa
Potencia Reactiva

- Luego de esto se determina la carga equivalente día, que va a ser igual a la potencia aparente sobre el número de días del mes con la menor radiación solar en nuestro caso será julio.

Ecuación 36

Ecuación 37

Ecuación 38

Carga equivalente día
Días del peor día de radiación solar

- Después de esto se halla la carga equivalente proyectada, esto equivale al consumo proyectado a 20 años que es alrededor del 55% más del actual¹⁵.

Ecuación 39

¹⁵ Ver página 35 Tabla 5. *Crecimiento poblacional a una generación, donde se incluye 40% de crecimiento demográfico y un huelgo de 15% adicional* (DANE, 2018).

Ecuación 40

Ecuación 41

Índice de consumo proyectado
Consumo proyectado

7. A continuación, se procede a determinar la carga equivalente por día para el proyecto, para ello se divide el consumo proyectado sobre el número de horas de trabajo de nuestro sistema fotovoltaico.

Ecuación 42

Ecuación 43

Ecuación 44

Carga equivalente promedio hora
Horas de Trabajo del sistema

8. Después se pasa a determinar la energía necesaria para el funcionamiento de nuestro sistema fotovoltaico.

Ecuación 45

Ecuación 46

kWh

Ecuación 47

Energía necesaria para la instalación
Rendimiento de la instalación

9. Seguido de esto se determinan el número de paneles necesarios para la implementación para ello se debe tener en cuenta la potencia del panel solar, la radiación solar del peor mes para realizar un buen dimensionamiento y por último la eficiencia del panel solar.

Ecuación 48

Ecuación 49

Ecuación 50

Potencia panel solar
Radiación del peor mes
Eficiencia del panel solar

Terreno necesario para implementar proyecto:

Dimensiones del panel solar

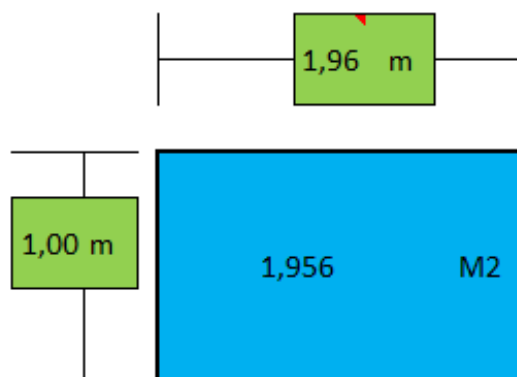


Gráfico 23. Representación de medidas de paneles solares.

10. Para determinar el área necesaria para el sistema fotovoltaico es indispensable saber las dimensiones del panel (ver gráfico 23) y el número de paneles a instalar.

Ecuación 51

Ecuación 52

Ecuación 53

Área requerida
Largo del panel solar

11. Por último, hemos determinado que colocaremos 10 corredores para saber cuántos paneles debe haber por corredor dividiremos el número de paneles sobre el número de corredores¹⁶.

Ecuación 54

Ecuación 55

Ecuación 56

Cantidad de paneles solares por corredor

Calculo de Baterías

Descripción	Datos
Días de Autonomía	3
Rendimiento seleccionado para baterías de descarga profunda	0,7
Voltaje	24 V

¹⁶ Ver Anexo No. 5 Selección de Panel solar

Batería seleccionada	1080 Ah
Bloques de banco de baterías seleccionado	6
Niveles de banco	5

Tabla 9. *Tabla de Parámetros para el diseño del banco de baterías, Elaboración Propia.*

12. Para determinar el número de baterías es necesario primeramente determinar cuál va a ser la capacidad necesaria del mismo para ello necesitaremos contar con el voltaje del sistema la profundidad de descarga de la batería y los días de autonomía.

Ecuación 57

Ecuación 58

Ecuación 59

Rendimiento baterías de descarga profunda
 Voltaje del sistema fotovoltaico
 Días de autonomía
 Capacidad del banco de baterías

13. Seguido de esto se determina el número de baterías necesarias a partir de la batería escogida con su respectivo¹⁷ (Ah).

Ecuación 60

Ecuación 61

Ecuación 62

Ecuación 63

Batería Seleccionada.

Calculo del regulador

Para realizar un debido dimensionamiento del regulador es necesario tener en cuenta la corriente de entrada al regulador y la corriente de salida¹⁸.

Ecuación 64

Ecuación 65

Ecuación 66

¹⁷ Ver Anexo No. 6 Selección de banco de baterías

¹⁸ Ver Anexo No. 8 Selección de regulador MPPT

Corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico
Número de módulos por rama

Ecuación 67

Ecuación 68

Ecuación 69

Potencia total del sistema

Calculo del Inversor

Para determinar el cálculo del inversor es necesario multiplicar la potencia aparente por 1,2.

Ecuación 70

Ecuación 71

Ecuación 72

Debemos tener en cuenta algo importante a la hora de seleccionar nuestro inversor. Muchos de los electrodomésticos y aparatos con motor utilizados tienen “picos de arranque”, como los frigoríficos, lavadoras etc., lo que supone que para su arranque van a demandar mayor potencia que la nominal¹⁹.

Ecuación 73

Ecuación 74

8.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para calcular la tasa interna de retorno²⁰ es necesario conocer 4 valores primordiales los cuales son la inversión, los costos esperados, tasa de interés y los ingresos esperados.

Inversión:

Para obtener el valor total de los elementos que se va a utilizar para la implementación del proyecto es necesario tener en cuenta diferentes proveedores nacionales. En este caso se tomaron 3 proveedores y mediante una matriz de selección, se determinó cual era la mejor opción como se podrá observar en la tabla 10, tabla 11 y tabla 12.

¹⁹ Ver Anexo No. 7 Selección de inversor

²⁰ Véase página 23 TIR (Tasa Interna de Retorno)

Proveedor 1:

Paneles solares				
Panel Solar Jinko 325W	1	\$	480.000,00	1040 \$ 499.200.000,00
Baterías				
Hopecke 10 opzs 1200 24vBatería OPzS 24V 1080Ah	1	\$	11.250.000,00	204 \$ 2.295.000.000,00
Inversor Y Regulador				
Regulador	1	\$	2.900.000,00	104 \$ 301.600.000,00
Inversor Red 60000w INGECON Sun Smart	1	\$	60.000.000,00	1 \$ 60.000.000,00
Cable				
Cable calibre 10	1	\$	1.400,00	208 \$ 291.200,00
Cable calibre no 8	1	\$	2.200,00	208 \$ 457.600,00
Estudio de Resistividad y puesta a tierra				
Estudio de suelos	1	\$	2.000.000,00	1 \$ 2.000.000,00
Puesta a tierra	1	\$	3.500.000,00	1 \$ 3.500.000,00
Subtotal Materiales				\$ 3.162.048.800,00
Administracion, Imprevistos y Utilidad 17%				\$ 537.548.296,00
IVA sobre utilidad (19%)				\$ 600.789.272,00
Total a pagar por la obra				\$ 4.303.886.368,00

Tabla 10. Cotización proveedor 1, Elaboración Propia, Fuente (Natural Solutions, 2018).

Proveedor 2:

Paneles solares				
Panel Solar Jinko 325W	1	\$	570.000	1040 \$ 592.800.000
Baterías				
Hopecke 10 opzs 1200 24vBatería OPzS 24V 1080Ah	1	\$	11.550.000	204 \$ 2.356.200.000
Inversor y Regulador				
Regulador de Carga Solar 100 Amperios JNGE	1	\$	3.500.000	104 \$ 364.000.000
Inversor Red 90000w INGECON Sun Smart	1	\$	55.000.000	1 \$ 55.000.000
Cable				
Cable calibre 10	1	\$	1.600	208 \$ 332.800
Cable calibre no 8	1	\$	2.000	208 \$ 416.000,
Estudio de Resistividad y puesta a tierra				
Estudio de suelos	1	\$	2.500.000	1 \$ 2.500.000
Puesta a tierra	1	\$	3.500.000	1 \$ 3.500.000
Subtotal Materiales				\$ 3.374.748.800
Administración, Imprevistos y Utilidad 17%				\$ 573.707.296
IVA sobre utilidad (19%)				\$ 641.202.272

Total a pagar por la obra	\$ 4.593.158.368
----------------------------------	-------------------------

Tabla 11. Cotización proveedor 2, Elaboración Propia, Fuente (Habitissimo, 2018).

Proveedor 3:

Paneles solares				
Panel Solar Jinko 325W	1	\$ 540.000	1040	\$ 561.600.000
Baterías				
Hopecke 10 opzs 1200 24vBatería OPzS 24V 1080Ah	1	\$ 11.100.000	204	\$ 2.264.400.000
Inversor Y Regulador				
Regulador	1	\$ 3.000.000	104	\$ 312.000.000
Inversor Red 90000w INGECON Sun Smart	1	\$ 57.000.000	1	\$ 57.000.000
Cable				
Cable calibre 10	1	\$ 1.600	208	\$ 332.800
Cable calibre no 8	1	\$ 2.000	208	\$ 416.000
Estudio de Resistividad y puesta a tierra				
Estudio de suelos	1	\$ 3.000.000	1	\$ 3.000.000
Puesta a tierra	1	\$ 4.000.000	1	\$ 4.000.000
Subtotal Materiales				\$ 3.202.748.800
Administración, Imprevistos y Utilidad 17%				\$ 544.467.296
IVA sobre utilidad (19%)				\$ 608.522.272
Total a pagar por la obra				\$ 4.359.738.368

Tabla 12. Cotización proveedor 3, Elaboración Propia, Fuente (Coexito, 2018).

Mano de obra Instalación:

Teniendo en cuenta la dimensión del proyecto se determinó el tipo y cantidad de personal necesario para la implementación del mismo y su respectivo costo.

- Salario de 10 empleados con contrato de obra labor para la instalación del proyecto fotovoltaico ver tabla 13.

Cargo	Cantidad	Salario básico (COP)	Auxilio de Transporte (COP)	Salario devengado (COP)	Total (COP)
Técnico de Producción	10	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453	\$ 8.694.530

Tabla 13. Salario devengado para 10 Técnicos, Elaboración Propia.

Gastos de Operación:

Se esperan unos gastos de generación, facturación y entrega de recibos del 2% de la inversión inicial \$86.251.618 (OCHENTA Y SEIS MILLONES DOCIENTOS CINCUENTA Y UN MIL SEISCIENTOS DEICIOCHO PESOS) (COP), distribuidos en un aforo de facturación y entrega de recibos con un 0,5% \$21.562.904 (VEINTIUN MILLONES QUINIENTOS SESENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS CUATRO PESOS)(COP) y un 1,5% \$64.688.713 (SESENTA Y CUATRO MILLONES SEICIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS TRECE PESOS)(COP) de generación estos mismos repartidos a 10 años como se puede observar en la tabla 14.

Años	Generación	Lectura y entrega de recibos
1	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50

2	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
3	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
4	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
5	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
6	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
7	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
8	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
9	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
10	\$ 4.248.913,50	\$ 1.416.304,50
Total	\$ 42.489.135,00	\$ 14.163.045,00

Tabla 14. Gastos de generación, lectura y facturación, *Elaboración Propia.*

Mano de Obra Operación:

- Salario de 3 empleados con contrato indefinido para la operación del sistema ver tabla 15.

Cargo	Cantidad	Salario básico (COP)	Auxilio de Transporte (COP)	Salario devengado (COP)	Total (COP)
Operario de planta	3	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453	\$ 2.608.359

Tabla 15. Salario devengado para 3 Técnicos, *Elaboración Propia.*

Obligaciones de prestaciones sociales de empleado y empleador ver tabla 16 y tabla 17.

Salario Básico (COP)	Cesantías (COP)	Prima (COP)	Vacaciones (COP)	Interés de cesantías (COP)	Dotación (COP)	Total (COP)
\$ 781.242	\$ 65.077	\$ 65.077	\$ 32.552	\$ 8.691	\$ 100.000	\$ 286.094

Tabla 16. Parafiscales para un empleado, *Elaboración Propia.*

Salario devengado (COP)	Aportes seguridad social (COP)	Aportes parafiscales (COP)	Prestaciones sociales (COP)	Total (COP)
\$ 869.453,00	\$ 168.311,00	\$ 70.312,00	\$ 286.093,00	\$ 1.394.169,00

Tabla 17. Total, obligaciones salariales por empleado, *Elaboración Propia.*

Discriminación anual del salario del empleado ver tabla 18

Años	Salario mínimo Mensual (COP)	Auxilio de Transporte Mensual (COP)	Salario mínimo devengado (COP)	Salario mínimo devengado Anual (COP)
1	\$ 781.242,00	\$ 88.211,00	\$ 869.453,00	\$ 10.433.436,00
2	\$ 812.491,68	\$ 91.739,44	\$ 904.231,12	\$ 10.850.773,44
3	\$ 844.991,35	\$ 95.409,02	\$ 940.400,36	\$ 11.284.804,38
4	\$ 878.791,00	\$ 99.225,38	\$ 978.016,38	\$ 11.736.196,55
5	\$ 913.942,64	\$ 103.194,39	\$ 1.017.137,03	\$ 12.205.644,41
6	\$ 950.500,35	\$ 107.322,17	\$ 1.057.822,52	\$ 12.693.870,19
7	\$ 988.520,36	\$ 111.615,06	\$ 1.100.135,42	\$ 13.201.625,00
8	\$ 1.028.061,18	\$ 116.079,66	\$ 1.144.140,83	\$ 13.729.690,00
9	\$ 1.069.183,62	\$ 120.722,84	\$ 1.189.906,47	\$ 14.278.877,60
10	\$ 1.111.950,97	\$ 125.551,76	\$ 1.237.502,73	\$ 14.850.032,70
Total	\$ 9.379.675,14	\$ 1.059.070,72	\$ 10.438.745,86	\$ 110.414.917,57

Tabla 18. Total, obligaciones salariales por empleado, *Elaboración Propia.*

Ingresos Esperados:

Los ingresos esperados fueron determinados mediante la inversión inicial del proyecto más un 10% de ganancia es decir \$ 4.312.508.989 (CUATRO MIL TRECIENTOS DOCE MILLONES QUINIENTOS OCHO MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y NUEVE PESOS) (COP) distribuidos en 10 años como se puede observar en la tabla 19.

Años	Facturación
1	\$ 325.750.109,75
2	\$ 325.750.109,75
3	\$ 325.750.109,75
4	\$ 325.750.109,75
5	\$ 325.750.109,75
6	\$ 325.750.109,75
7	\$ 325.750.109,75
8	\$ 325.750.109,75
9	\$ 325.750.109,75
10	\$ 325.750.109,75
Total	\$ 3.257.501.097,50

Tabla 19. Ingresos esperados, *Elaboración Propia.*

Tasa de interés:

Para tener una tasa de interés óptima es necesario analizar las diferentes alternativas de crédito que nos ofrece el mercado para este tipo de proyectos, se estipulo un valor general del 4% para las estimaciones de la TIR.

Una vez se tiene claridad de los valores necesarios para tener un aproximado de la tasa interno de retorno se puede plantear cual es la rentabilidad anual y traerla a valor presente²¹ para determinar cuándo se recuperara la inversión ver tabla 20.

Años	Ingresos	Gastos			Total	Inversion - Utilidad
	Facturacion	Generacion	Lectura y Facturacion	Personal		
0					\$ (2.832.609.650,00)	\$ (2.832.609.650,00)
1	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 10.433.436,00	\$ 412.199.492,02	\$ (2.420.410.157,98)
2	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 10.850.773,44	\$ 411.782.154,58	\$ (2.008.628.003,40)
3	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 11.284.804,38	\$ 411.348.123,64	\$ (1.597.279.879,76)
4	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 11.736.196,55	\$ 410.896.731,47	\$ (1.186.383.148,29)
5	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 12.205.644,41	\$ 410.427.283,61	\$ (775.955.864,68)
6	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 12.693.870,19	\$ 409.939.057,83	\$ (366.016.806,85)
7	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 13.201.625,00	\$ 409.431.303,02	\$ 43.414.496,17
8	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 13.729.690,00	\$ 408.903.238,02	\$ 452.317.734,19
9	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 14.278.877,60	\$ 408.354.050,42	\$ 860.671.784,61
10	\$ 431.258.089,80	\$ 6.468.871,34	\$ 2.156.290,44	\$ 14.850.032,70	\$ 407.782.895,32	\$ 1.268.454.679,93
					TIR	22,25%

Tabla 20. Retorno de la inversión inicial, *Elaboración Propia.*

²¹ Véase página 23 TIR (Tasa Interna de Retorno)

Al observar la tabla 20 se puede concluir que se retornara la inversión en un periodo de 7 años después de este periodo se empezaran a generar las respectivas ganancias del proyecto que ratifican la rentabilidad del proyecto.



Gráfico 24. Tasa de oportunidad o tasa de interés, *Elaboración Propia.*

Incentivos Tributarios:

Por último, se debe tener en cuenta una serie de incentivos que provee la ley 1715 de 2014 la cual estipula que:

- Se da un descuento por patrimonio no declarables por 5 años a los proyectos con energías alternativas, es decir esta serie de proyectos no declaran su patrimonio por 5 años.
- Se da un descuento por IVA en la inversión de energías No convencionales.
- Se establece una depreciación acelerada del 20% que en este proyecto equivale a \$ 862.516.180 (OCHOCIENTOS SESENTA Y DOS MILLONES QUINIENTOS DIECISEIS MIL CIENTO OCHENTA PESOS) (COP) anual a todo el proyecto a 5 años.
- Teniendo un ahorro de \$40.000.000 mensuales como se puede observar en el gráfico 24 (Línea naranja).

8.3 Soporte económico del proyecto (Modelo Técnico-Económico)

Para realizar el análisis económico que sustente la factibilidad del proyecto se busca encontrar un modelo que relacione las variables independientes (Exógenas) con la variable dependiente (Endógenas)²², para iniciar el modelo tendremos en cuenta que nuestra variable endógena en este caso será la potencia nominal de los proyectos fotovoltaicos (MWS) (2013-2018) y propondremos una serie de variables que puedan llegar a predecir el comportamiento de la misma, las variables propuestas fueron , el precio del kWh, el índice de precios al productor (IPP) , el índice de precios al consumidor (IPC), la tasa representativa del mercado (TRM), el número de proyectos implementados y el precio del diésel²³ ver tabla 21.

Potencia nominal de los Proyectos Fotovoltaicos (MWS):

El encontrar un buen modelo de esta variable nos ayudara a poder dar la factibilidad necesaria a nuestro proyecto ya que podremos hacer una predicción cercana de cuál va a ser su comportamiento y poder tomar decisiones respecto a este.

Precio del kilovatio hora:

Queremos observar si el precio del kilovatio afecta directamente el incentivo de generación de proyectos fotovoltaicos o si por el contrario no tiene incidencia en el modelo de nuestra variable endógena.

Tasa Representativa del Mercado (TRM):

Se toma el valor de la Tasa Representativa del Mercado de los últimos cinco años (2013-2018) con el fin de determinar su incidencia en el comportamiento de la potencia nominal de los proyectos fotovoltaicos.

Índice de Precios al Productor (IPP):

El índice de precios al productor (IPP) es un índice que influye mucho a la hora de estipular el precio del kWh según la Resolución 091 de la CREG por ello queremos determinar si tiene incidencia.

Índice de Precios al Consumidor (IPC):

El Índice de Precios al Consumidor (IPC) al igual que el IPP es un índice que influye mucho a la hora de estipular el precio del kWh según la CREG por ello queremos determinar si tiene incidencia en el comportamiento de la potencia nominal de los proyectos fotovoltaicos.

Precio del Diésel:

No cabe duda que una de las formas de generaciones más importantes en las ZNI es por medio de las plantas diésel (IPSE, 2018) y que el gobierno nacional es quien más incentiva la generación de energía fotovoltaica es por esto que elegimos esta variable ver tabla 21.

Variables	Stata	Tipo
-----------	-------	------

²² Ver Anexo No.1 Algoritmo Software STATA

²³ Ver Anexo No. 3 Base de datos utilizada en el software STATA

Potencia Nominal de Proyectos Fotovoltaicos	MWS	Endógena
Índice de Precio al Consumidor (IPC)	IPC	Exógena
Tasa Representativa del Mercado (TRM)	TRM	Exógena
Precio del Kilovatio hora	PKWH	Exógena
Precio del Diésel	PD	Exógena
Número de Proyectos Fotovoltaicos	NumProy	Exógena
Índice de Precios al Productor	IPP	Exógena

Tabla 21. Variables del modelo, Elaboración propia, Uso de Software Stata²⁴.

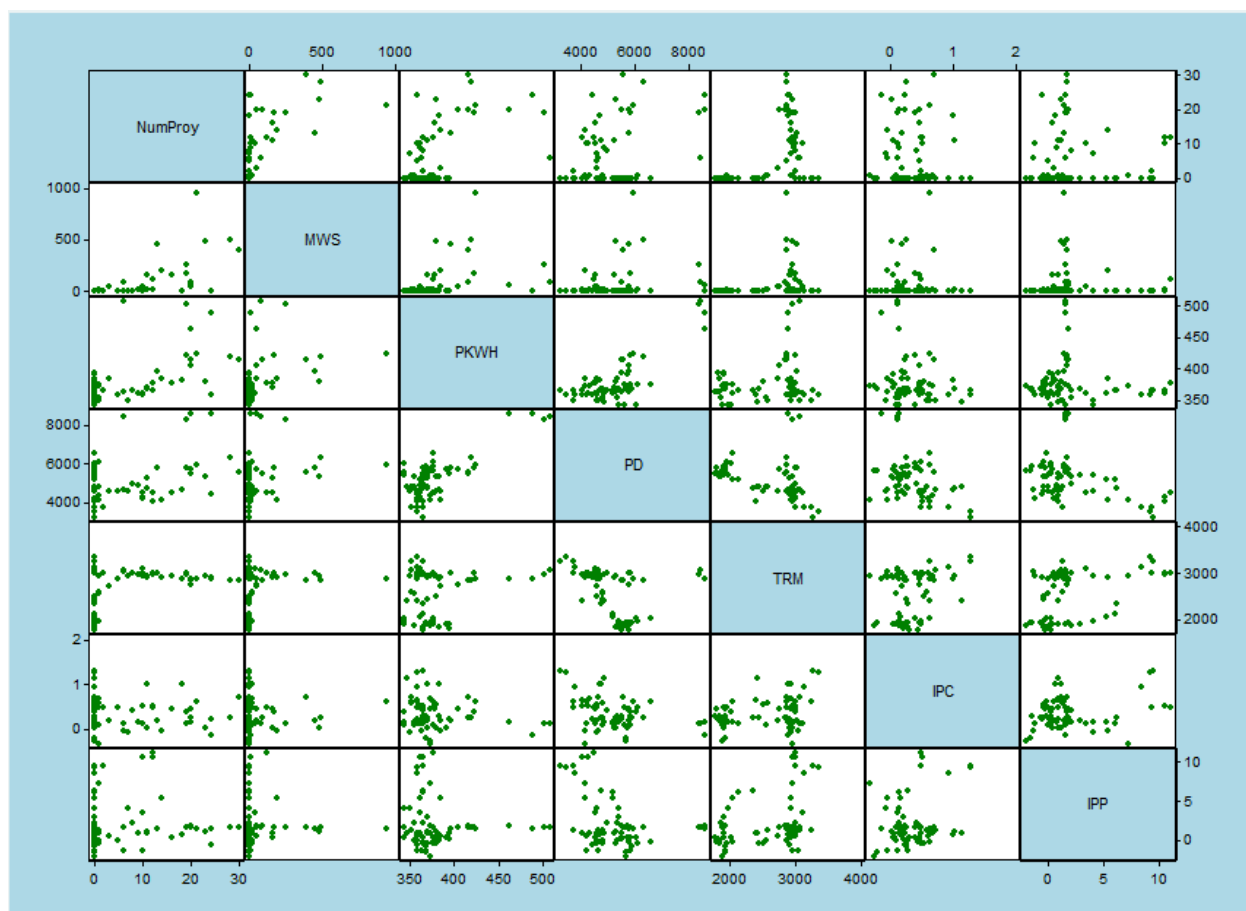


Gráfico 25. Gráfico de Dispersión Matricial, Elaboración Propia, Fuente Software Stata²⁵.

A continuación se explicara lo mostrado en el gráfico 25.

NumProy vs Mws:

Se puede observar un comportamiento determinístico²⁶ marginalmente positivo

²⁴ Ver Anexo No.1 Algoritmo Software STATA

²⁵ Ver Anexo No.1 Algoritmo Software STATA

decreciente del número de proyectos fotovoltaicos con respecto a la capacidad nominal de los proyectos fotovoltaicos, lo que representa que a medida que aumentan el número de proyectos fotovoltaicos la potencia nominal se estancaría en un valor determinado.

NumProy vs PKWH:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo decreciente del número de proyectos fotovoltaicos respecto al precio del kWh, lo que en pocas palabras quiere decir que después de cierto número de proyectos fotovoltaicos el precio del kilovatio hora no aumentara, tendiendo a estabilizarse en un valor.

NumProy vs PD:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo decreciente del número de proyectos fotovoltaicos respecto al precio del Diésel, lo que quiere decir que un número de proyectos fotovoltaicos ayudarían a estabilizar el precio del diésel permitiendo que este no aumente.

NumProy vs TRM:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo creciente del número de proyectos fotovoltaicos respecto al TRM, lo que a su vez significa que el aumento de los proyectos fotovoltaicos ayuda a estabilizar la tasa representativa del mercado.

NumProy vs IPC:

Se puede observar un comportamiento estocástico²⁷ en la interpretación entre NumProy vs IPC.

NumProy vs IPP:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre NumProy vs IPP.

MWS vs PKWH:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo creciente de la Potencia nominal de proyectos fotovoltaicos respecto al precio del kWh, lo que significa que a medida que aumente la potencia nominal en los proyectos fotovoltaicos se estabiliza el precio del kilovatio hora.

MWS vs PD:

²⁶ Determinístico significa que cada estado futuro del sistema está determinado por el previo, en tanto se desprende de cómo queda afectado dadas las variables de entorno y el previsto comportamiento ante los cambios en ese ambiente (Giron Gonzales, 2012).

²⁷ Estocástico es un concepto matemático que sirve para usar magnitudes aleatorias, significa que cada estado futuro no afecta el sistema (UPTC, 2012)

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo creciente de la Potencia nominal de proyectos fotovoltaicos respecto al precio del kWh, lo que se puede interpretar que la potencia nominal de los proyectos fotovoltaicos ayuda a un establecimiento de una estabilización en el precio del diésel.

MWS vs TRM:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo creciente de la Potencia nominal de proyectos fotovoltaicos respecto al TRM, se puede interpretar como que a medida que aumenta la potencia nominal se estabilizara la tasa representativa del mercado.

MWS vs IPC:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre MWS vs IPC

MWS vs IPP:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo creciente de la Potencia nominal de proyectos fotovoltaicos respecto al IPP, lo que significa que si la potencia nominal de los proyectos fotovoltaicos el índice de precios al productor disminuirá considerablemente.

PKWH vs PD:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente negativo creciente del precio del kilovatio hora respecto al precio del diésel, se puede interpretar como que a medida que aumente el precio del kilovatio hora aumentara considerablemente el precio del diésel.

PKWH vs TRM:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo creciente del precio del kilovatio hora respecto a la tasa representativa del mercado, podremos decir que cuando haya un aumento considerable en el precio del kilovatio tendera a estabilizar la tasa representativa del mercado.

PKWH vs IPC:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre PKWH vs IPC.

PKWH vs IPP:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente positivo decreciente del precio del kilovatio hora respecto al índice de precios al productor, podremos decir que a medida que aumente el precio del kilovatio habrá una disminución considerable en el índice de precios al productor.

PD vs TRM:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre PD vs TRM.

PD vs IPC:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente negativo decreciente del precio del diésel respecto al índice de precios al consumidor, se puede interpretar que a medida que aumente el precio del diésel disminuirá considerablemente el índice de precios al consumidor.

PD vs IPP:

Se puede observar un comportamiento determinístico marginalmente negativo decreciente del precio del diésel respecto al índice de precios al productor, se puede interpretar que a medida que aumente el precio del diésel disminuirá considerablemente el índice de precios al productor.

TRM vs IPC:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre TRM vs IPC.

TRM vs IPP:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre TRM vs IPP.

IPC vs IPP:

Se puede observar un comportamiento estocástico en la interpretación entre IPC vs IPP.

A la hora de realizar un análisis económico se debe tener en cuenta que el modelo debe explicar el desarrollo de la variable exógena potencia nominal de los proyectos fotovoltaicos, por medio de una función de oferta ecuación 75, así pues mediante el análisis de series de tiempo, es posible hacer un pronóstico de cómo va ser el comportamiento de esta variable a través del tiempo, basándose en una función cuyos coeficientes son obtenidos por medio del análisis de los datos tomados de las variables exógenas.

Ecuación 75

- Valor inicial
- . Coeficientes de cada variable
- Variable dependiente
- . Variables independientes
- Error de estimación

Las variables en una serie de tiempo tienen que cumplir con ciertas características ya que son una secuencia de observaciones, medidos en determinados momentos del tiempo, ordenados cronológicamente y, espaciados entre sí de manera uniforme, así los datos usualmente son dependientes entre sí (Villavicencio, 2018).

Inicialmente se debe tener en cuenta que para garantizar que el modelo sea acertado sus variables deben ser estacionarias para ello estas deben contar con tres condiciones las cuales son:

- una distribución normal
- una varianza constante
- una media

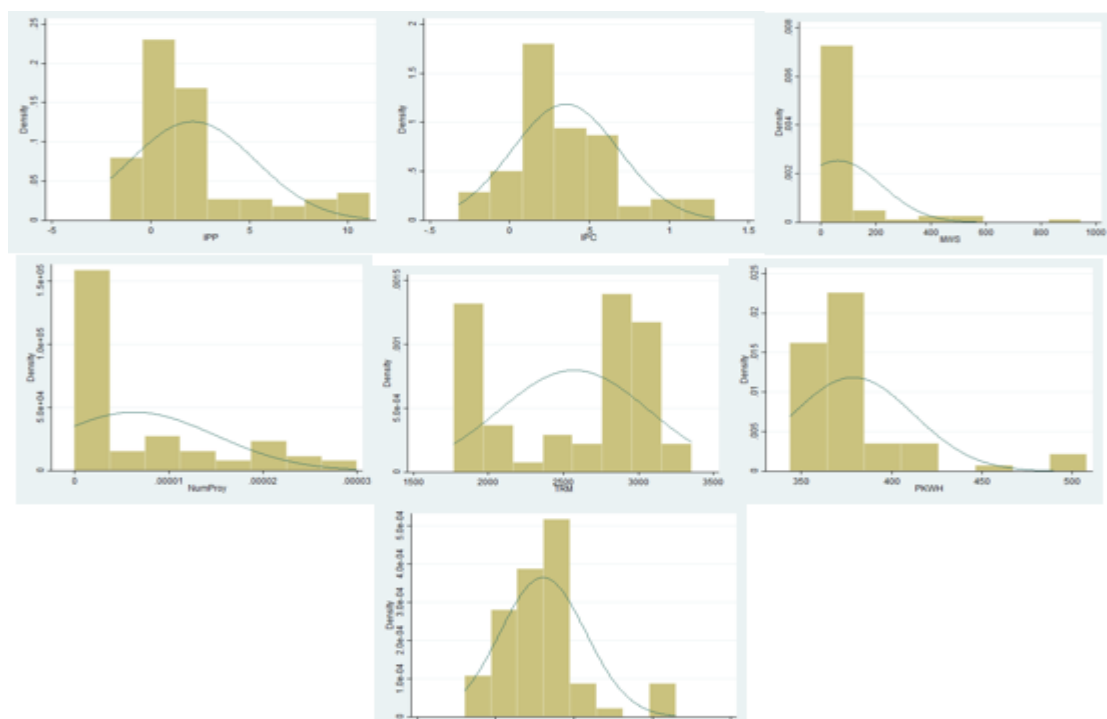


Gráfico 26. Gráfico de Barras de Variables sin ajustes, Fuente programa de estadística Stata.

Para determinar si estas variables son estacionarias se debe realizar el test de Dickey Fuller²⁸, el cual nos brindará un valor este nos dará información acerca de la variable.

Ecuación 76

Ecuación 77

Test de Dickey Fuller		
MWs	0	Estacionaria
Número de Proyectos	6,38%	No Estacionaria
Precio del kWh	95,57%	No Estacionaria
Precio del Diésel	95,59%	No Estacionaria
TRM	63,99%	No Estacionaria
IPC	0,60%	Estacionaria
IPP	31,35%	No Estacionaria

²⁸ Véase página 27 Test Dickey Fuller

Tabla 22. *Test de Dickey Fuller no.1 sobre variables estacionarias, Elaboración Propia, Fuente programa de estadística Stata.*

A partir de la tabla 22, se pueden determinar que variables son estacionarias y cuales varían en el tiempo. Ya que el modelo requiere que estas sean estacionarias, para las variables Número de Proyectos, Precio del kWh, Precio del Diésel, TRM, IPP, es necesario realizar un ajuste tanto en su media como en su varianza.

Ajuste de Variables Exógenas

Ecuación 78

Corresponde a la varianza

Para ajustar estas variables estacionarias es necesario cumplir dos condiciones.

Ecuación 79

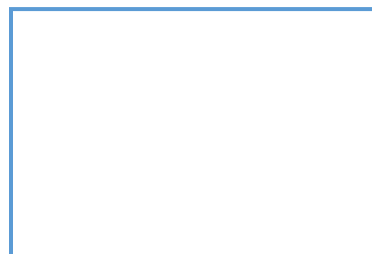
Ecuación 80

Ajuste de varianza

En primera instancia se debe lograr que la varianza sea 1 para ello es necesario utilizar la escalera Tukey²⁹.

Como bien sabemos la escalera de Tukey nos permite tener una mejor distribución normal en la variable, mediante la aplicación de funciones. La escalera nos muestra varias opciones más sin embargo la mejor opción es la logarítmica ya que nos permite una representación porcentual la cual es una manera sencilla de entender.

A continuación, se mostrará la escalera de Tukey aplicada en la variable, precio del diésel (PD) y como se puede apreciar la función logarítmica mejora su distribución normal notablemente ver gráfico 27.



²⁹ Véase página 25 Escalera de Tukey (transformaciones con función de densidad)

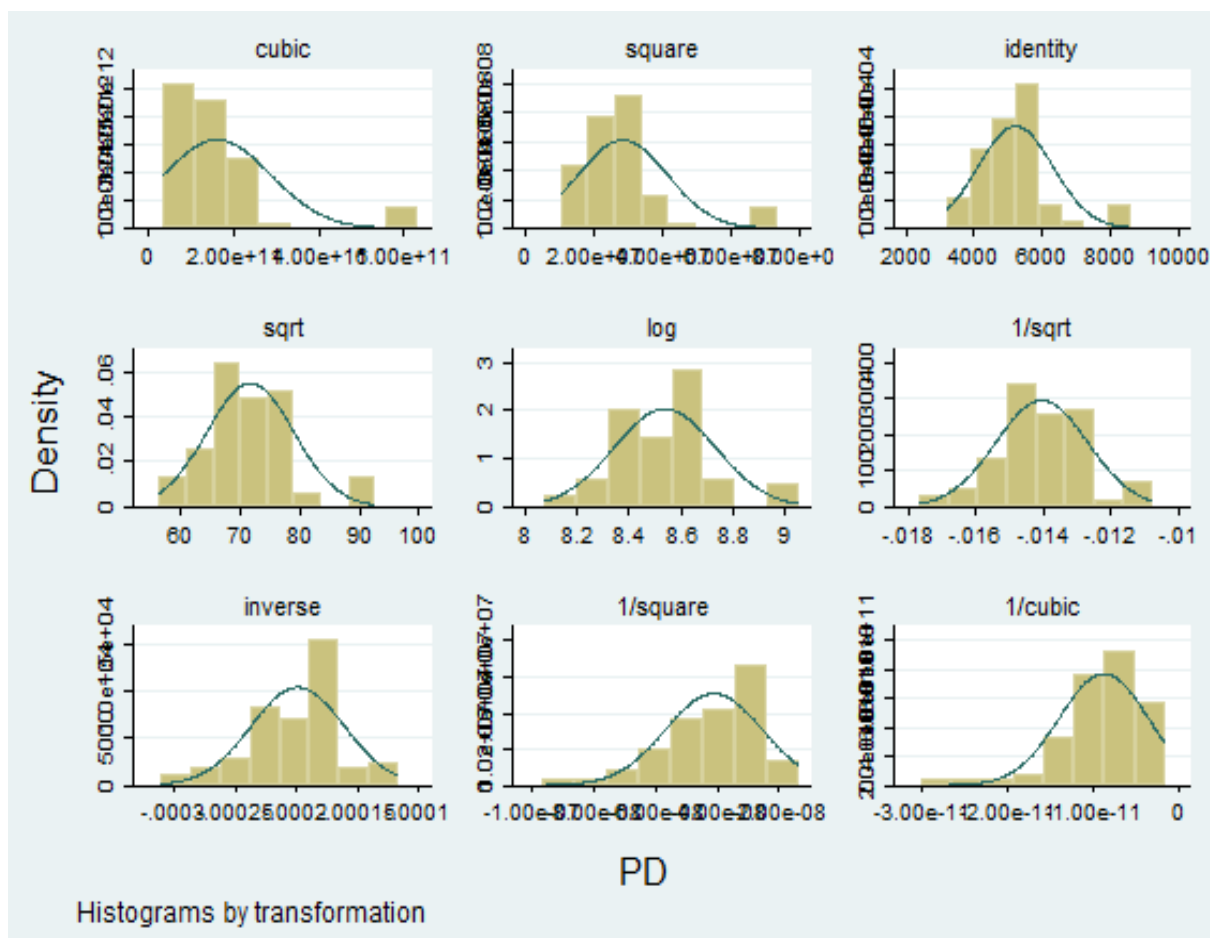


Gráfico 27. Gráfico de escalera de Tukey precio del diésel, elaboración propia.
Fuente, software Stata.

La variable IPP cuenta con valores negativos lo que refleja el por que no se puede realizar la función logaritmica (ver gráfico 28) ya que esta no soporta números negativos ,es por esto que se deduce que el problema de esta variable se encuentra en su media y veremos la solución mas adelante.

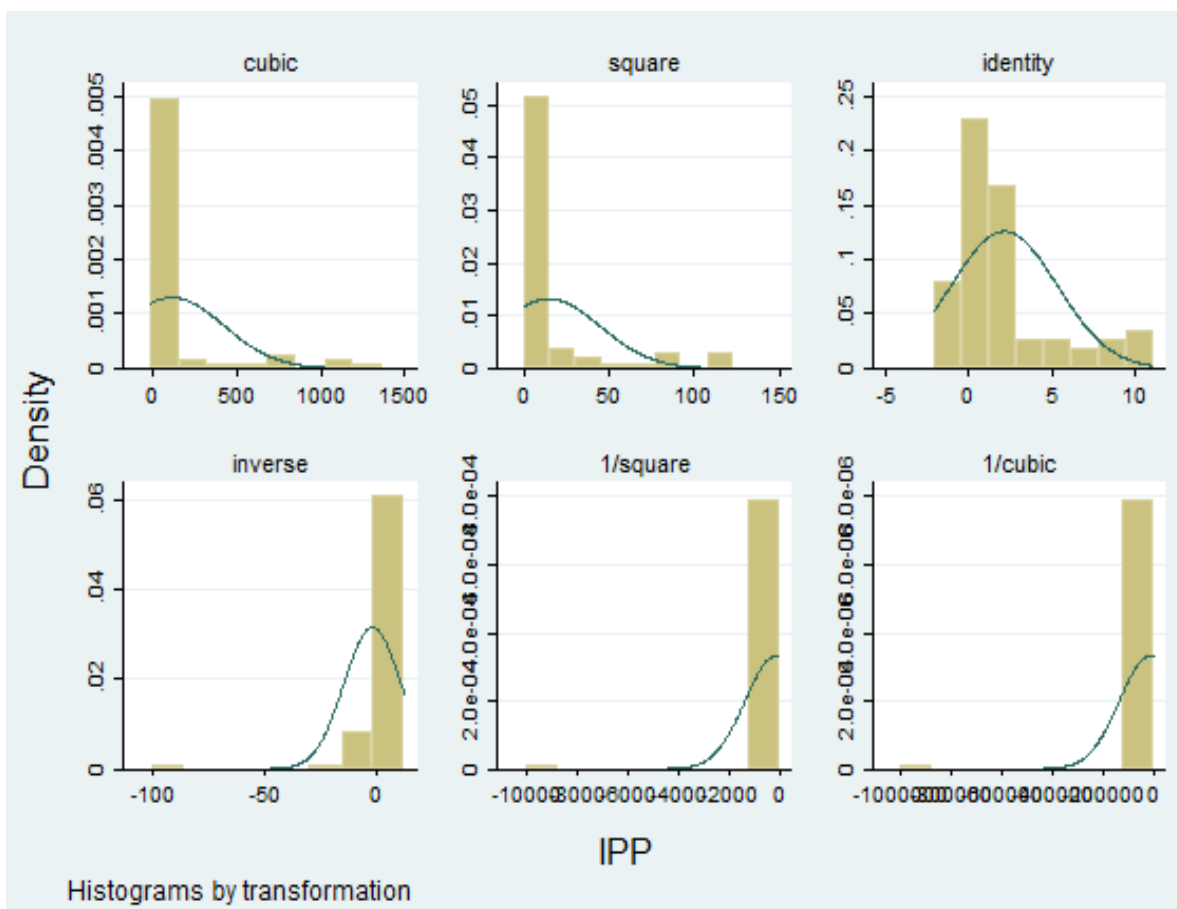


Gráfico 28. Gráfico de escalera de Tukey índice de precios al productor,
Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

La variable correspondiente al número de proyectos cuenta con valores iguales a cero esto quiere decir que no se puede representar como función logarítmica (ver gráfico 29) ya que el logaritmo de 0 no existe, es por esto que se deduce que el problema de esta variable se encuentra en su media.

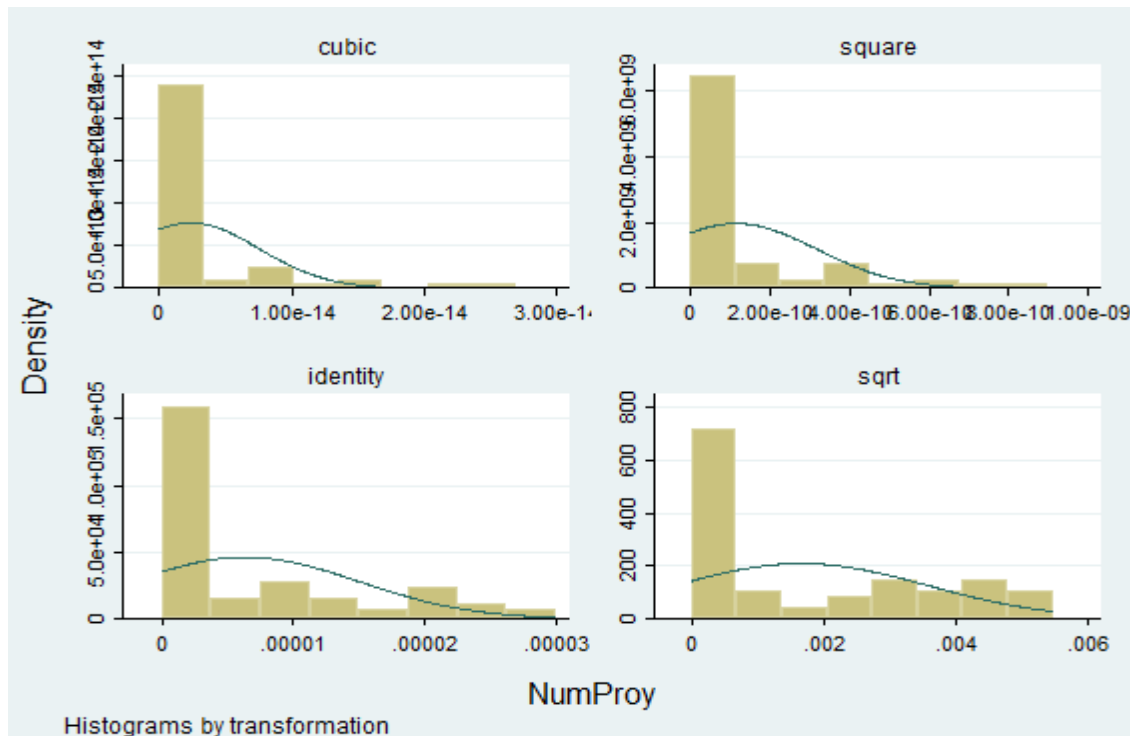


Gráfico 29. Gráfico de la Escalera de Tukey del Número de proyectos,
Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

La variable precio del kWh no cuenta con una variación considerable entre su idéntica (Funcion sin cambios) y la función logaritmica (ver gráfico 30) es por esto que se dejará la variable inicial es decir la idéntica y se deduce que el error se encuentra en la media



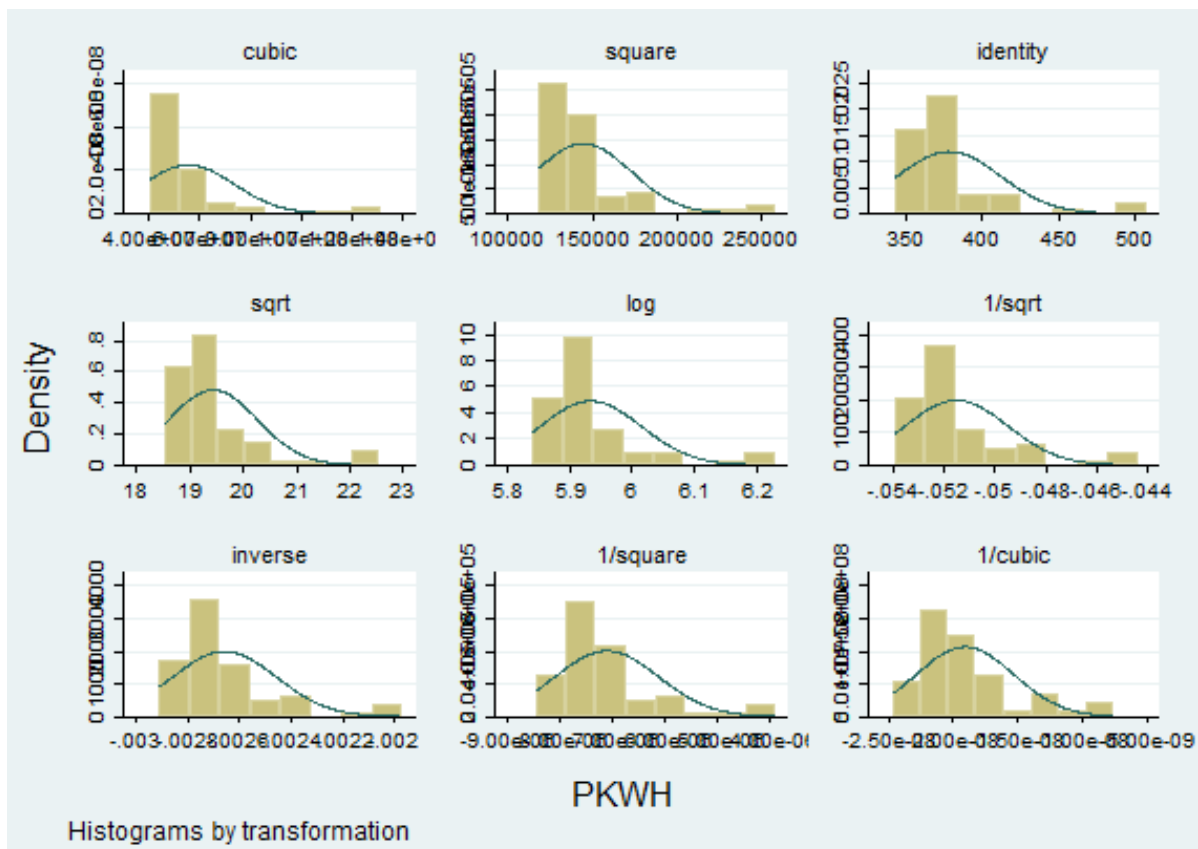


Gráfico 30. Gráfico de la Escalera de Tukey del Precio del kilovatio hora,
Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

La variable TRM no cuenta con una variación considerable entre su idéntica (Funcion sin cambios) y la función logaritmica (ver gráfico 31) es por esto que se dejará la variable inicial es decir la idéntica y se deduce que el error se encuentra en la media

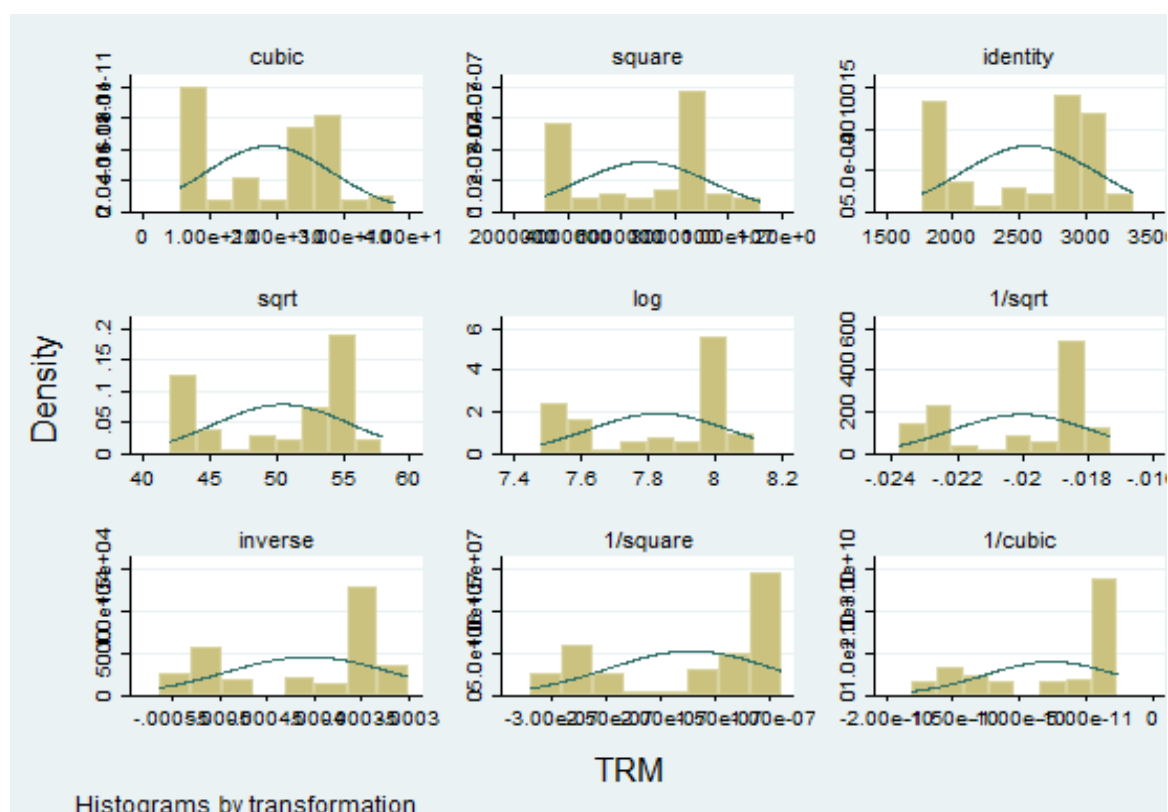


Gráfico 31. Gráfico de la Escalera de Tukey de la tasa representativa del mercado, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

Luego de esto se procederá a realizar el test de Dickey Fuller nuevamente para determinar el nuevo valor de γ y de esta manera saber si esta variación se ajusta al criterio de ser invariantes en el tiempo ver tabla 23.

Test de Dickey Fuller		
MWs	0	Estacionaria
Número de Proyectos	6,38%	No Estacionaria
Precio del kWh	95,57%	No Estacionaria
Precio del Diésel	90%	No Estacionaria
TRM	63,99%	No Estacionaria
IPC	0,60%	Estacionaria
IPP	31,35%	No Estacionaria

Tabla 23. Test de Dickey Fuller no.2 sobre variables estacionarias, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

Ajuste de media

Como podemos observar en la tabla 23, este procedimiento no fue suficiente para ajustar las variables a que tengan un comportamiento invariante en el tiempo es

por esto que pasaremos a ajustar su media volviéndola igual a cero para esto utilizaremos una diferencia es decir una derivada parcial ver gráfico 32.

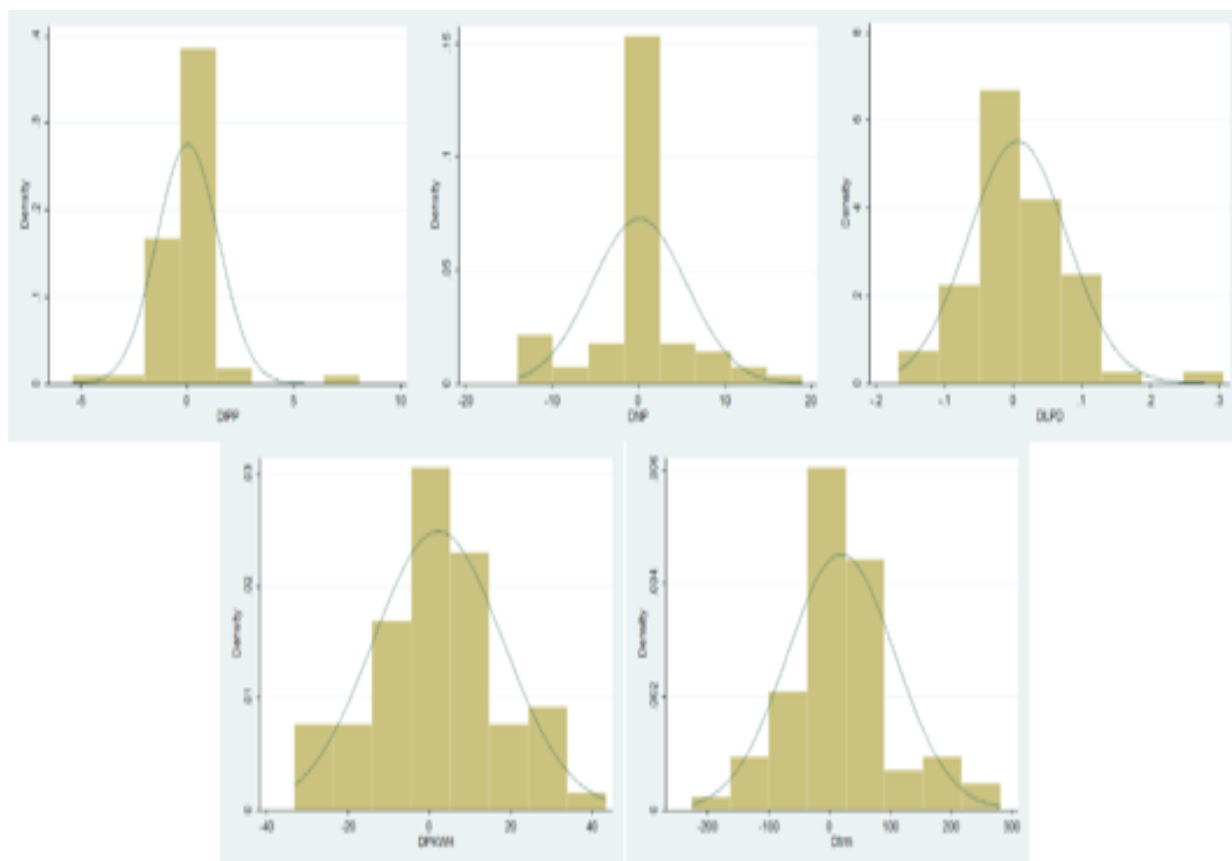


Gráfico 32. Resultados de las variables después de realizar ajuste con una diferencia, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

Luego de esto se procederá a realizar el test de Dickey Fuller nuevamente para determinar el nuevo valor de γ y de esta manera saber si esta variación se ajusta al criterio de ser invariantes en el tiempo ver tabla 24.

Test de Dickey Fuller		
MWs	0%	Estacionaria
Número de Proyectos	0%	Estacionaria
Precio del kWh	0%	Estacionaria
Precio del Diésel	0%	Estacionaria
TRM	0%	Estacionaria
IPC	0,60%	Estacionaria
IPP	0%	Estacionaria

Tabla 24. Test de Dickey Fuller no.3 sobre variables estacionarias, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

Tras realizar el ajuste podemos realizar una comparación entre los valores de las variables antes y después del proceso para convertirlas en estacionarias ver tabla 25.

	Variable Sin Promedio Ajustado	Variable con Promedio Ajustado
Número de Proyectos	NumProy	DNP
Precio del kWh	PKWH	DPKWH
Precio del Diésel	LPD	DLPD
IPP	IPP	DIPP

Tabla 25. Cuadro de variables sin y con promedio ajustado, *Elaboración Propia, Fuente Software Stata.*

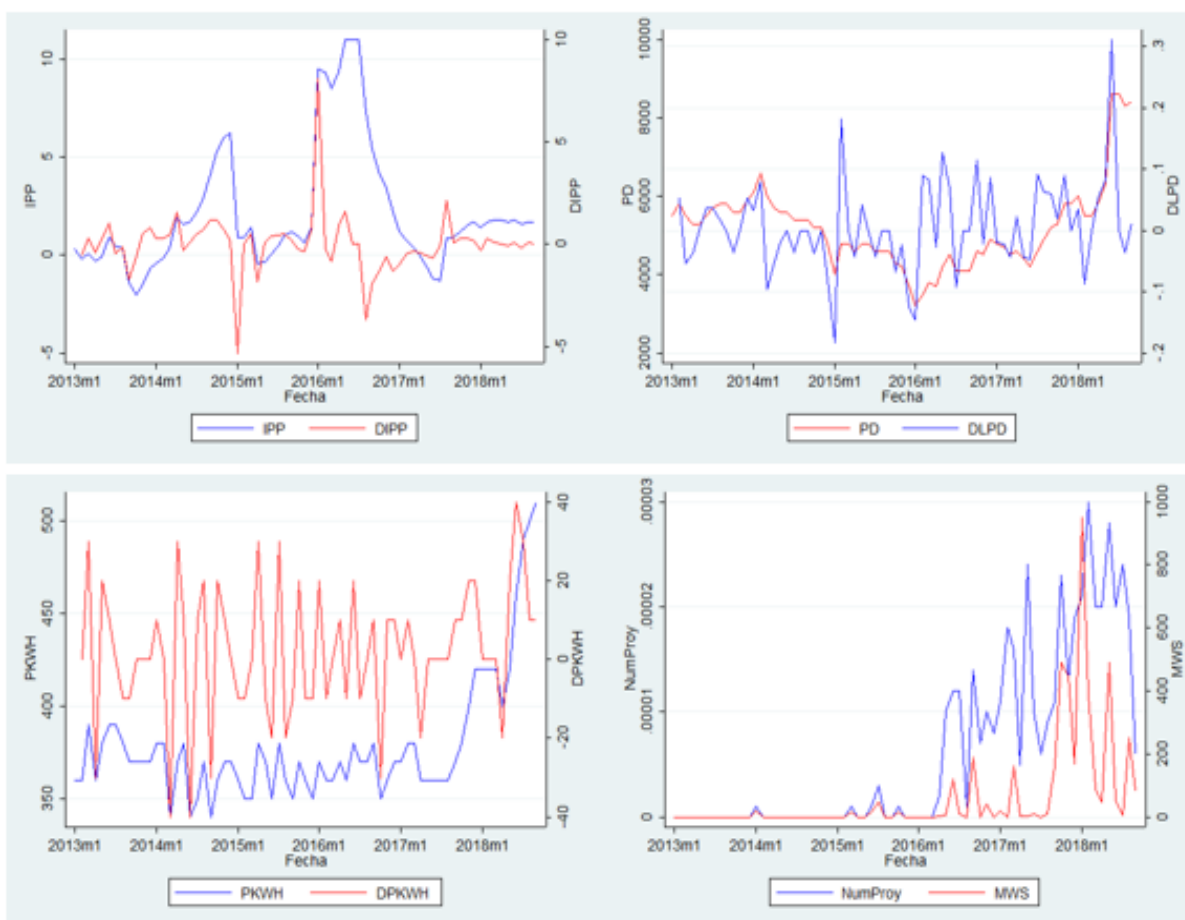


Gráfico 33. Cuadros comparativos de variables iniciales vs variables ajustadas, *Elaboración Propia, Fuente Software Stata.*

Como podemos observar en el gráfico 33 las funciones que se encuentran en color rojo son estacionarias puesto que intentan tener variaciones constantes y su promedio es 0, mientras que las funciones en azul tienden a tener mayores perturbaciones y su promedio se encuentra en un valor diferente de cero.

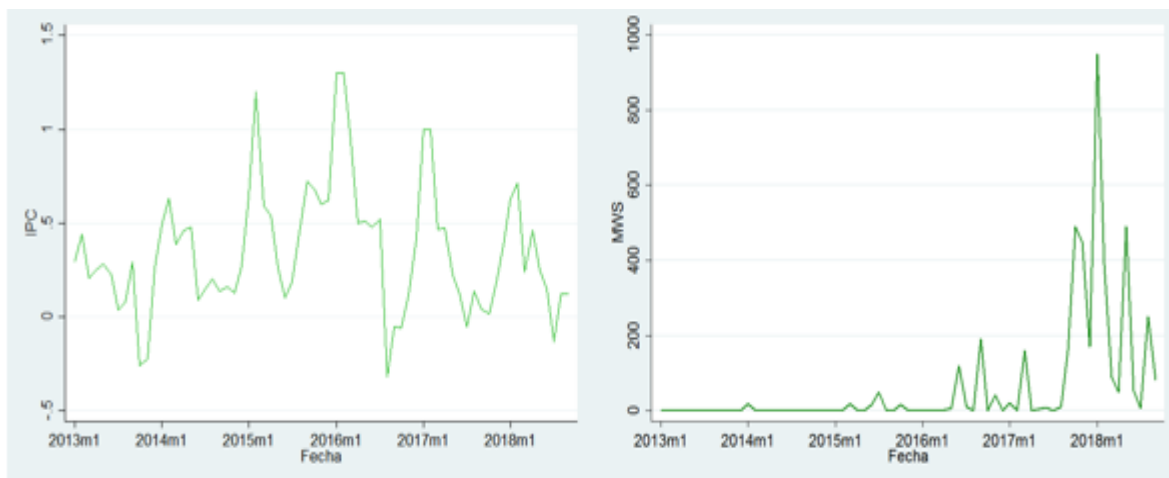


Gráfico 34. Variables estacionarias IPC y MWS, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.

Así mismo en el gráfico 34, se puede observar el comportamiento de las funciones que según el test de Dickey Fuller cuentan con un comportamiento estacionario.

Regresión

Con el fin de realizar una rigurosa una función técnico-económica donde se infiera la disminución de los precios del kilovatio hora PKWH como variable resultado ecuación 81, se encuentra que la inferencia no tiene aplicabilidad dado que el comportamiento de este factor funciona como covariante³⁰, por lo cual la primera regresión solamente nos lleva a una bondad del modelo del 1,49%³¹

Ecuación 81

Así pues, en aras de la promoción de proyectos solares fotovoltaicos, se ha de tomar para el modelo técnico-económico como variable endógena a **MW** (Potencia Nominal) y parte de las variables exógenas a **DPKWH**. Sin embargo para que el modelo sea óptimo el valor del R-Ajustado debe ser mayor al 40%³².

Ecuación 82

Ecuación 83

Ecuación 84

Al analizar los datos obtenidos de la regresión, se evidencia que el ajustado es de un valor mucho menor al 40%, por lo cual no cumple la condición para que el modelo sea óptimo. Para realizar este ajuste se tienen que hacer una serie de procedimientos para que se garantice que el modelo sea viable.

Ajuste de intercepto

La constante o valor inicial debe ser igual a cero ya que esto nos garantiza que la función tiene su inicio en el origen, lo cual ajusta el modelo, como se evidencia con el R^2 Ajustado³³, como se puede observar en la ecuación 85.

³⁰ (Universidad de Antioquia, 2012)

³¹ Ver Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA

³² Ver Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA

³³ Ibídem

Ecuación 85

Donde:

Ecuación 86

Ecuación 87

Valor inicial

. Coeficientes de cada variable

Variable respuesta

. Variable estímulo

Ecuación 88

Ecuación 89

Ecuación 90

Que aunque refleja una mejora, aún no es suficiente, por lo cual ha de procederse a suavizar los comportamientos, a saber:

MEDIA MÓVIL

Como pudimos observar eliminando el valor inicial no fue suficiente para que la regresión llegase a contar con más del 40% para hacer al modelo óptimo, por ello se establece una herramienta que nos ayudara a cumplir este cometido, esta es la media móvil, que permite arreglar errores que se generaron en el pasado dependiendo de los ciclos que se le den a la misma³⁴ para nuestro caso utilizaremos una media móvil simple ya que no requerimos que la media siga una tendencia si no que establezca unos errores en el pasado.

³⁴ Véase página 28 Media Móvil

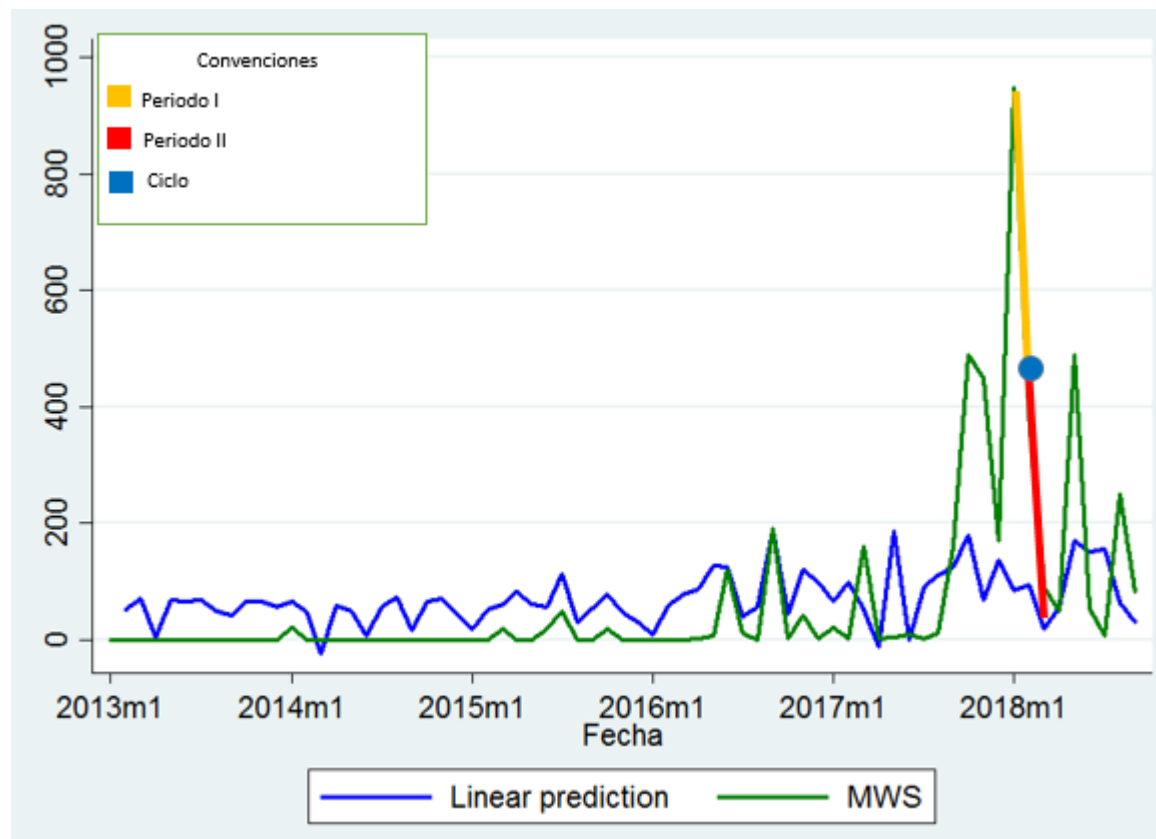


Gráfico 35. *Primera predicción del modelo y establecimiento de ciclos y periodos para media móvil, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.*

Como se observa en el gráfico 35 se puede ver que el modelo con el que contamos en el momento no predice de una manera adecuada el comportamiento de la variable endógena además de esto observamos los dos periodos que se tomaran para realizar la media móvil y el lugar donde determinamos nuestro ciclo.

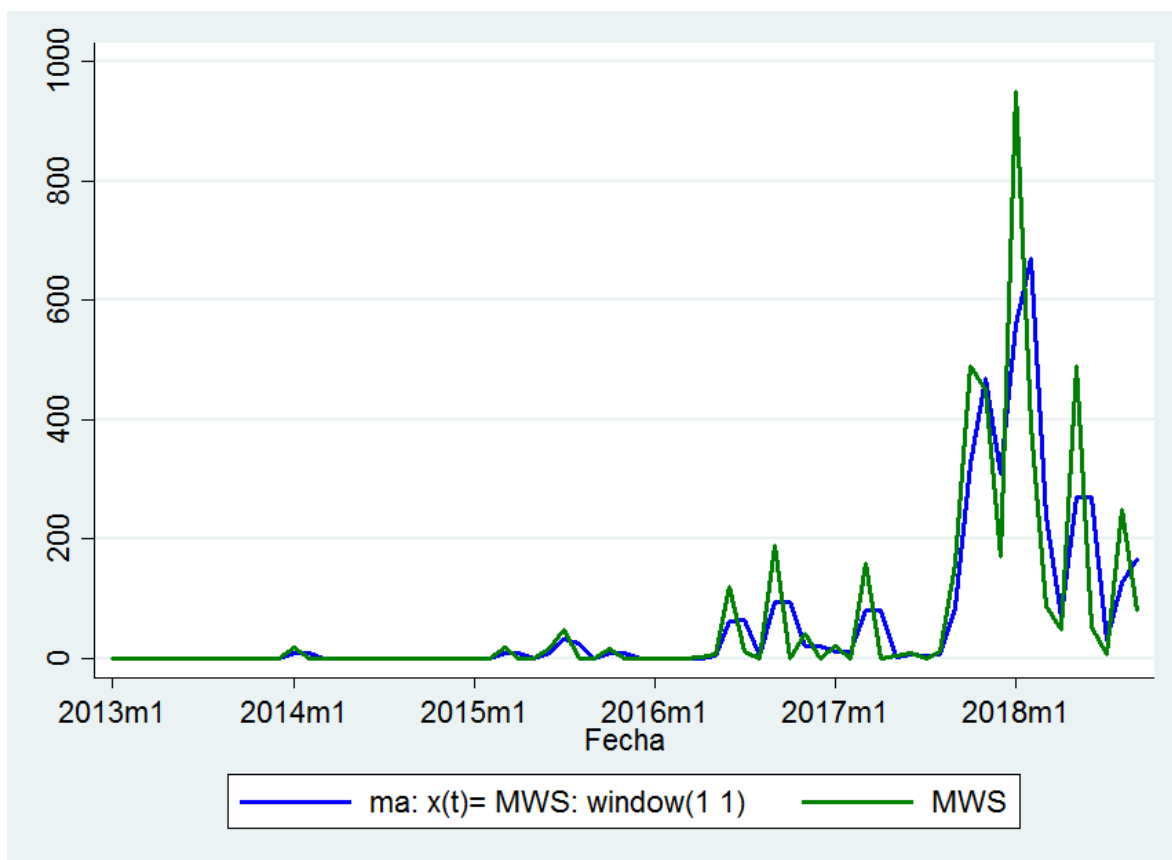


Gráfico 36. Segunda predicción del modelo con media móvil, *Elaboración Propia, Fuente Software Stata.*

Luego de realizar la media móvil podemos darnos cuenta de una mejora considerable con el modelo como lo podemos ver en el gráfico 36 además observando la ecuación 93 nos damos cuenta que cumplimos con el parámetro establecido de superar el 40% en la regresión³⁵, llegando hasta un 75,61% de explicación.

Ecuación 91

Ecuación 92

Ecuación 93

DURBIN-WATSON

Luego de esto tenemos que tener en cuenta que nuestra función no debe tener correlación entre su variable endógena con sus variables exógenas para ello debes tener en cuenta el test Durbin-Watson este test se lleva acabo de la siguiente manera³⁶.

1. Luego de realizar la regresión se debe aplicar el comando el cual nos dará como resultado tres números.

Ecuación 94

³⁵ Ver Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA

³⁶ Véase página 27 Test Durbin-Watson

Donde:

Es el número de la muestra

Número de términos (incluida la intersección)

Coeficiente Durbin-Watson

Para la regresión de la ecuación 95 el resultado sería:

Ecuación 95

- Después de esto se debe proceder a buscar en la tabla de Savin-White los valores de d_l y d_u para nuestro caso (Minitab, 2017):

Ecuación 96

Ecuación 97

- Seguido a esto se pasa a ubicar los datos obtenidos en la línea que se mostrará en el gráfico 37.



Gráfico 37. Primer análisis de correlación con Durbin-Watson, *Elaboración Propia, Fuente* (Gujarati & Porter, 2010).

Donde:

= No hay auto correlación entre las variables.

- Por último se ubica C en la línea y este debe encontrarse en la franja de d_l y d_u ver gráfico 38.

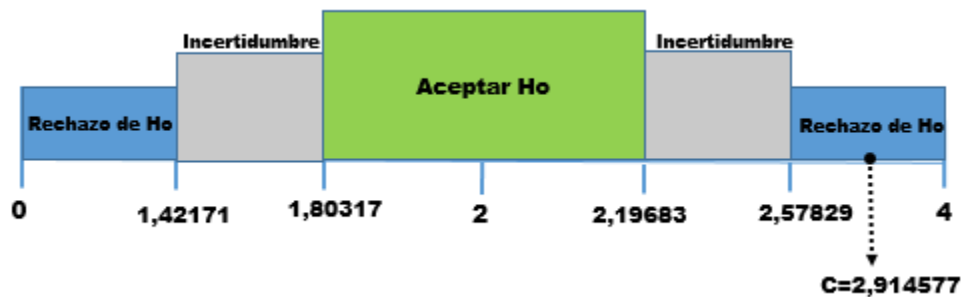


Gráfico 38. Primer análisis de correlación con Durbin-Watson, *Elaboración Propia, Fuente* (Gujarati & Porter, 2010).

A partir de lo anterior podemos concluir que la ecuación cuenta con correlación es por esto que se debe implementar el uso del error y de los rezagos.

Rezagos:

Los rezagos son eventos que previamente afectaron la variable y ahora ese evento es traído al presente porque representa impactos notables al comportamiento de la variable controlada (**MWS**). En nuestro caso utilizaremos Rezagos en las variables para poder tener una mejor interpretación de las variables, los cuales son tomados con los comportamientos de los correlogramas parciales³⁷ de las variables estímulo³⁸.

Ecuación 98

Primer rezago en la variable

Errores:

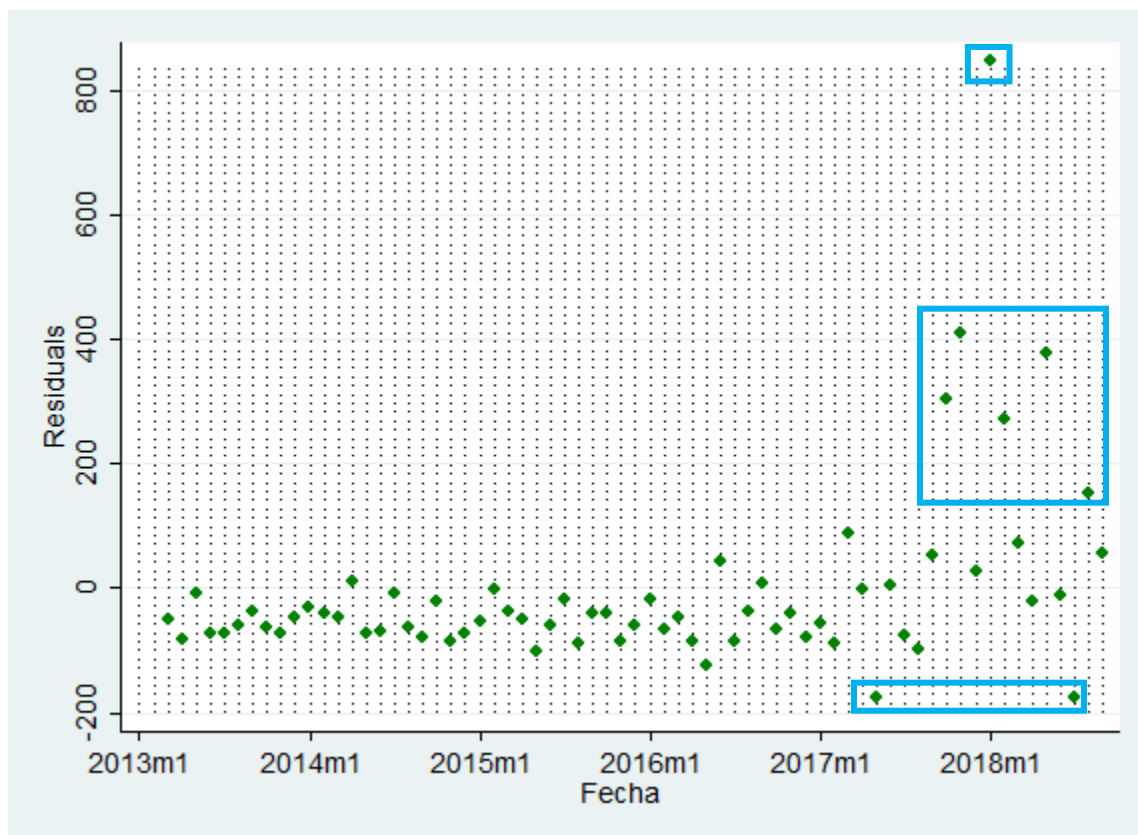


Gráfico 39. Gráfica de errores del modelo, *Elaboración Propia, Fuente Software Stata.*

Los errores atípicos que no están cerca a cero son los que más afectan el comportamiento de la función ver gráfico 39, es por esto que se tienen que tener en cuenta en la misma, se debe saber que este error debe tener un rezago porque es necesario traer los errores al presente³⁹, dado que se comportan como elementos aleatorios explicativos.

Ecuación 99

Donde:

³⁷ Apoyan el uso de rezagos y parte de la inferencia de auto correlación (UAM, 2004)

³⁸ Ver Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA

³⁹ Ver Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA

Error de las variables

Realizando Durbin Watson tenemos que:

Ecuación 100

Ecuación 101

Ecuación 102

Ecuación 103

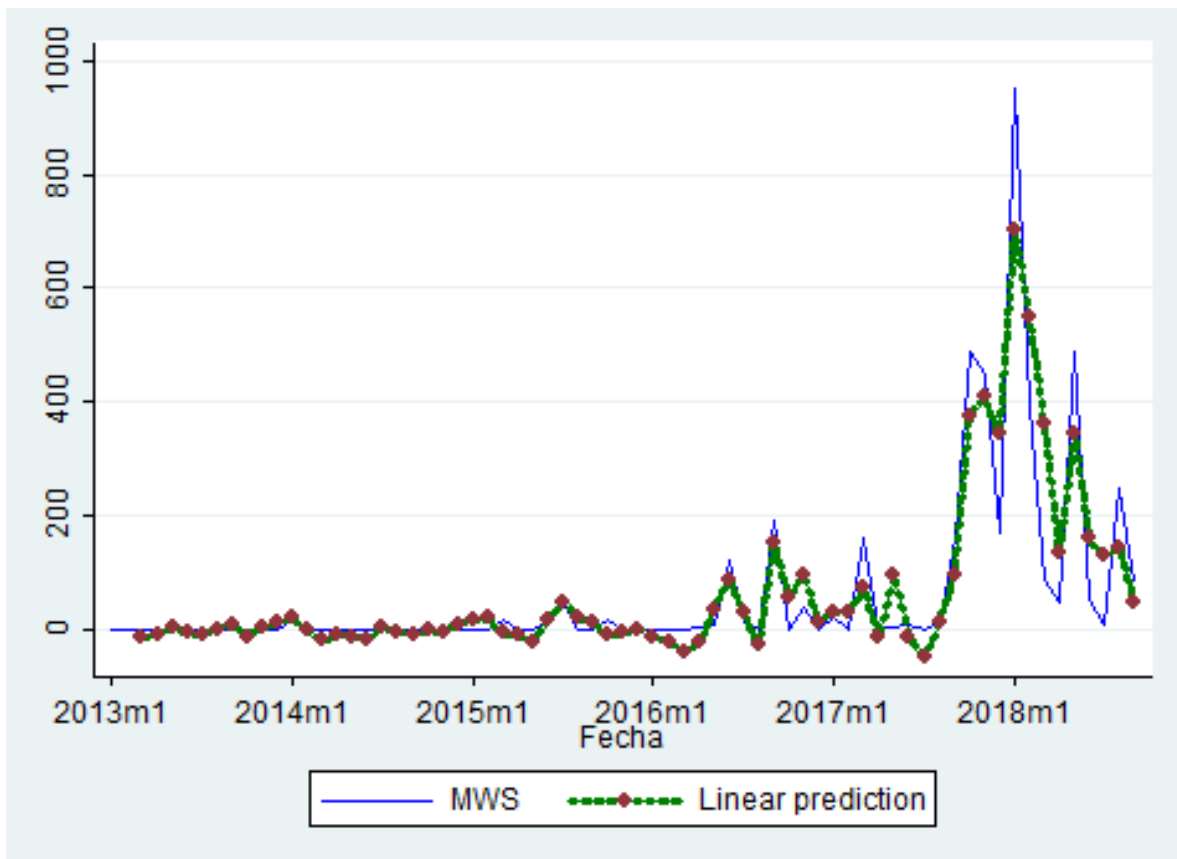
Durbin's alternative test for autocorrelation

lags(p)	chi2	df	Prob > chi2
1	3.403	1	0.0651

H0: no serial correlation

Tabla 26. Test de Durbin Watson, Elaboración Propia, Fuente Software Stata⁴⁰.

Como podemos observar en la tabla 26 nuestro modelo se encuentra sin auto correlación lo que significa que es óptimo. Por último, demostraremos lo anterior realizando la gráfica de nuestro modelo la cual debería de predecir el comportamiento de nuestra variable endógena.



⁴⁰ Ibídem, los resultados Prob>chi2 al ser superiores a 0,005 evidencia la NO autocorrelación del modelo

Gráfico 40. *Gráfica de modelo vs variables endógena, Elaboración Propia, Fuente Software Stata.*

Como se puede notar en el gráfico 40 el modelo que hemos construido logra predecir casi con exactitud nuestra variable endógena, lo que nos lleva a concluir que el proyecto es viable debido a que los proyectos fotovoltaicos si presentan una mejora económica en cuanto a los proyectos energéticos en Colombia.

9. Conclusiones:

Podemos concluir que el proyecto tiene viabilidad técnico-económica, gracias a una serie de factores que validan esta afirmación como lo son:

- Al decidir qué tipo de alternativa energética utilizar, se observó que la alternativa fotovoltaica es la que tiene una mayor viabilidad, tanto técnica como financiera, ya que estos proyectos a gran escala tienen un menor costo, que otro tipo de alternativas, sin contar con retornos más eficientes⁴¹.
- Se evidenció que a la hora del diseño, se presentó la necesidad de buscar que la alternativa fuera efectiva a lo largo del tiempo, específicamente viéndolo a una generación (20 años)⁴². Para esto fue necesario tener en cuenta la estimación del crecimiento poblacional en la zona. Así mismo se decidió optar por una mini-grid (malla de paneles solares como un conjunto), en lugar de proyectos fotovoltaicos aislados, para dar autonomía a la población de construir nuevas edificaciones, y que estas puedan contar con energía eléctrica tan solo con implementar el respectivo cableado.
- La TIR desarrollada en el presente documento, demuestra la alta viabilidad social y financiera de la realización del proyecto solar fotovoltaico en Bocas del Pauto, debido a la ventaja competitiva del mercado y a la recuperación de capital que se da en menos de 10 años.
- Se puede concluir, que según los datos que respaldan la significancia de la radiación solar de la zona, la implementación de un proyecto fotovoltaico Bocas del Pauto tiene incentivos sociales, económicos y financieros notables. Así mismo, al ver las HPS (Horas Pico Solares), en la zona se puede calcular que el proyecto va a ser confiable, ya que esto genera una mayor cantidad de días de autonomía y eficiencia de las baterías.
- El modelamiento técnico-económico permite inferir con certeza superior al 83% que: Por cada proyecto solar fotovoltaico nuevo, se incentiva la necesidad de realizar una mayor generación eléctrica con estas tecnologías ambientalmente sostenibles, en promedio de 4,46 MW, si todo lo demás permanece invariante, por lo que se manifiesta viable el promover proyectos de sistemas fotovoltaicos como el proyecto actual.
- Por cada incremento de un \$1 (COP) en las tarifas locales (Bocas del Pauto) del sistema eléctrico convencional incrementan la necesidad de generar por medio de sistemas fotovoltaicos en promedio y ceteris paribus 27,23 kVA, lo que puede ser alternativa para minimización de costos tarifarios en poblaciones como Bocas del Pauto.

⁴¹ Ver Anexo No. 4 Matriz de evaluación de alternativas, elaboración propia.

⁴² Ver página 35 Tabla 5. *Crecimiento poblacional a una generación* (DANE, 2018).

- Se infiere que sucesos sociopolíticos nacionales presentaron impactaron en las tasas de cambio a tal nivel, que por cada \$1 (COP) de aumento del precio del dólar, se desincentiva la generación de sistemas fotovoltaicos un promedio de 67,76 kVA, lo que promueve la producción local para evitar importaciones mientras las demás covariantes se mantienen constantes.
- La fluctuación en los precios internacionales de los combustibles, presentados de manera significativa en agosto de 2018 (fundamentalmente para el diésel) hizo en ese periodo de tiempo que se desincentivaran en un promedio de 0,23 MW la generación de sistemas fotovoltaicos mientras las variables exógenas estén inalteradas.
- Por cada aumento de un punto porcentual en los índices de precios al consumidor se incentiva la necesidad de realizar una mayor generación fotovoltaica, en un promedio de 209,6 kVA si no se alteran los valores de control.
- Por cada aumento de un 1% en el índice de precios al productor se desincentiva la necesidad de realizar una mayor generación fotovoltaica, en un promedio de 2,79 MW si todo lo demás permanece invariante, lo que hace necesario tomar iniciativas que reduzcan los costos de producción en el sector energético de manera óptima.

9. Bibliografía

- Alcaldía de Trinidad. (2015). *TRINIDAD Mil Veces Mejor*. Obtenido de https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Trinidad_Plan_de Desarrallo_2016_-_2019pdf.pdf
- ArcGIS. (2002). *what is GIS?* Obtenido de http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/what-is-arcgis-spanish.pdf
- Arenas Sanchez, D. A., & Zapata Castaño, H. S. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2369/62131244a6?sequence=1>
- AutoSolar. (9 de Julio de 2017). *Diferencias entre Silicio Monocristalino y Multicristalino o Policristalino*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>
- Cazabone, C. (13 de Febrero de 2009). *Tiempo de duración de una generación*. Obtenido de <https://www.lajornadanet.com/diario/archivo/2009/febrero/13/9.html>
- Celula Fotovoltaica*. (2009). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5493/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Cobo Ortega Angel, R. B. (2009). Descubrimiento de conocimiento. *Rect*, 10, 20.
- Coexito. (2018). *Coexito*. Obtenido de https://www.coexito.com.co/lineas-de-productos/sistema-de-respaldo/?gclid=EAlaIQobChMI09S9tYLP3gIVwySGCh3CdwMJEAAYASAAEgLb7PD_BwE
- DANE. (2018). *Censo General*. Casanare: Dane.
- Economipedia. (2015). *Economipedia*. Obtenido de <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Energiza. (2011). *Historia de la energía solar fotovoltaica*. Obtenido de <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/624-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica>
- EPM. (Junio de 2014). *Medida de resistividad eléctrica del suelo*. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/RA6-014MEDIDADERESISTIVIDAD_V3.pdf
- Escuela de Organización Industrial . (2015). *Mater en Energías Renovables y Mercado Energético*. Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

- Giron Gonzales, F. (2012). Determinismo, caos, azar e incertidumbre. *Torre Real Academia de Ciencias*, 12.
- Gomez Ramirez, J., Murcia Murcia, J. D., & Cabeza Rojas, I. (2016). *La energia solar fotovoltaica colombia: potenciales antecedentes y perspectivas*. Bogotá, D.C.: Universidad Santo Tomás.
- GreenHeiss. (2018). *Los 4 elementos principales de un panel solar*. Obtenido de <https://www.greenheiss.com/elementos-panel-solar/>
- Grupel. (2016). *Grupel eu*. Obtenido de <https://grupel.eu/es/grupel-es/como-funciona-generator-diesel/>
- Grupo elektra. (5 de Febrero de 2014). *Hora Solar Pico (HSP)*. Obtenido de <http://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometria* (Quinta ed.). Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Habitissimo. (2018). *Habissimo*. Obtenido de <https://www.habitissimo.com.co/cotizacion/antioquia/retiro/instalar-paneles-solares-en-un-construccion-nueva-casa-de-campo>
- Homer energy. (2014). *Homer energy*. Obtenido de <https://www.homerenergy.com/index.html>
- ICONTEC. (25 de Noviembre de 1998). *Norma tecnica colombiana 2050*. Obtenido de <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>
- IDEAM. (2018). *ATLAS DE RADIACION SOLAR*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (2018). *ATLAS DE VIENTOS*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- IEEE. (10 de Enero de 2002). *IEEE ASSOCIATION*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2018, de <https://standards.ieee.org/standard/1262-1995.html>
- Instituto de Energia Solar ETSI Telecomunicacion. (2001). *Universal Technical Standard*, 2. Obtenido de http://138.4.46.62:8080/ies/ficheros/102Standard_IngV2.pdf
- Instituto Nacional de Electricidad y Energias Limpias. (julio de 2016). *Boletin IIE*. Obtenido de <https://www.ineel.mx//boletin032016/BIIE-03-2016.pdf>
- IPSE. (2018). *INFORME MENSUAL DE TELEMETRIA*. Bogota.
- Madero zuluaga, s. m. (2017). *estudio de factibilidad para la implementación de un generador fotovoltaico de 10kw con conexion a la red*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/3168/Maderosandrade2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendez Muñiz, J. M., & Cuervo Garcia, R. (2011). *Energia Solar Fotovoltaica*. FC Editorial.

- Minitab. (2017). *Soporte minitab*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/model-assumptions/test-for-autocorrelation-by-using-the-durbin-watson-statistic/>
- Minminas. (2000). *Manual guía para la formulación presentación y registro de proyectos*. Obtenido de https://www.minminas.gov.co/documents/10180/468021/Manual_FAZNI.pdf/56727b23-ed3c-47b2-b406-c2e06a45311b
- Minminas. (2008). *Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas – FAZNI*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/fazni>
- NASA. (8 de Septiembre de 2018). *Power Larc Nasa* . Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Natural Solutions. (2018). *Linked In*. Obtenido de <https://co.linkedin.com/company/natural-solutions-sas>
- Ortiz, A. (2016). *dmi.uib.es*. Obtenido de http://dmi.uib.es/aortiz/mobots_navegacion.pdf
- Ospina, V., & Isaza, L. (Noviembre de 2016). *Manuel de Implementacion de Energia Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14053/1/Manual%20de%20implementaci%C3%B3n%20fotovoltaica.pdf>
- Plantas Electricas. (2009). *Planta electrica*. Obtenido de <https://plantaselectricas.wordpress.com/planta-electrica/>
- PV Magazine . (25 de Agosto de 2016). *Colombia regula el acceso a incentivos para inversiones en renovables*. Obtenido de <https://www.pv-magazine-latam.com/2016/08/25/colombia-regula-el-acceso-a-incentivos-para-inversiones-en-renovables/>
- Rodriguez Ordoñez, F. R. (17 de Marzo de 2015). *INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA SALUD DE LAS PERSONAS* . Obtenido de http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1031/TM187_Rodriguez_Ordonez_FR%20.pdf?sequence=1
- Rodriguez m, h. (2010). *MANUAL DE ENTRENAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICOS PARA ELECTRIFICACION RURAL* .
- Tellez, C. A., Urueña, M., Diaz, A., Cifuentes Lopez, D. L., Samudo Pulido, D. F., & Rodriguez, E. (2014). *Proyecto oferta agropecuaria sistema de información geográfica municipal 2013*. Obtenido de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/8014/1/SIG-MUNICIPALES%20TRINIDAD_CASANARE.pdf
- Triana Estepa, C. A. (2009). *Estudio de viabilidad técnica para brindar una solución energética a las comunidades indígenas ubicadas entre la localidad de Nazaret y Puerto Estrella*. BOGOTA.
- UAM. (2004). *La identificación del modelo a partir de la fac y facp*. Recuperado el Noviembre de 2018, de https://www.uam.es/docencia/predysim/prediccion_unidad3/3_5_doc1.pdf

- Universidad de Antioquia. (Julio/Diciembre de 2012). Modelo para el pronóstico del precio de la energía eléctrica en Colombia. *SciELO*(77). Recuperado el Noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-25962012000200003
- Universidad de Jaen . (2018). *EL panel fotovoltaico*. Obtenido de https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/1_ref.htm
- Universidad de Valencia . (2017). *Transformaciones lineales y no lineales* . Obtenido de www.uv.es/~mperea/T7_APD.ppt
- UPTC. (2012). *Procesos Estocásticos*. Obtenido de http://www.dmae.upct.es/~mcruiz/Telem06/Teoria/apuntes_procesos.pdf
- Valencia Llanos, J. A., & Ferreira Pascuas, M. C. (2013). *Análisis de factibilidad complementación de sistemas energético en Isla Fuerte y Múcura*. BOGOTA.
- Villavicencio, J. (Octubre de 2018). *Introducción a Series de Tiempo*. Obtenido de http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D

10. Anexos

11.1 Anexo No.1 Algoritmo Software STATA

```
log using "C E:\Leon\Documents\Tesis\Log_Pauto.log", replace // Uso de archivo LOG
clear all
cd " E:\Leon\Documents\Tesis " //Cambio de directorio para tomar datos y guardarlos
use "Base de Datos Pauto", clear //Se usa del directorio definido en la línea anterior, además no
requiere el .dta dado que por defecto stata solo usa archivos de esas características
set more off, permanently // Elimina permanentemente la necesidad de andar oprimiendo more para
que siga corriendo la programación
ren var8 Año
ren var9 Mes
gen Fecha=ym(Año,Mes) //Aqui para generar una fecha con año y mes para más adelante ver bien la
descripción en series de tiempo
gen NumProy=var1
gen MWS=var2/1000000
gen PKWH=var3/1000000
gen PD=var4/1000000
gen TRM=var5/1000000
gen IPC=var6/1000000
gen IPP=var7/1000000
drop var1
drop var2
drop var3
drop var4
drop var5
drop var6
drop var7
tsset Fecha, monthly //Aquí defino bien la serie de tiempo en año y mes
list if _n<=69 //Aquí genero una tabla de las variables, ese _n<=69 es por que hay 69 filas
sum
graph matrix NumProy MWS PKWH PD TRM IPC IPP
graph export Matriz_Inicial.png, replace
twoway (tsline NumProy, lcolor(blue)) (tsline MWS, yaxis(2) lcolor(red)) //Aqui Gráfico en color rojo el
numero de proyectos en gráfica comparada con la energía en MW
graph export NumProy_vs_MWS.png, replace
```

```

twoway (tsline PKWH, lcolor(blue)) (tsline PD, yaxis(2) lcolor(red)) (tsline TRM, yaxis(2)
lcolor(dkorange)) //Comparar precios del diesel, TRM y el del KWH
graph export PKWH_vs_PD_TRM.png, replace
//Luego de realizar el dfuller a todas las variables, por lo que tengo que a los
//factores a los que debo realizar flexibilizacion por NO ser estacionarias, son:
//PD, PKWH, IPP, y NumProy
gladder PD //hay que usar log
graph export Densidad_PD.png, replace
gen LPD=ln(PD)
//Ahora usamos rezagos o series en diferencia así
gen DLPD=D.LPD
twoway (tsline PD, yaxis(2) lcolor(red)) (tsline DLPD, lcolor(blue)) //Comparamos el antes y el despues
de PD y DLPD
graph export PD_vs_DLPD.png, replace
gladder PKWH //No es necesario usar log
graph export Densidad_PKWH.png, replace
gen DPKWH=D.PKWH //Probamos primeras diferencias
dfuller DPKWH // y demostramos que con primeras diferencias es suficiente
twoway (tsline PKWH, lcolor(blue)) (tsline DPKWH, yaxis(2) lcolor(red)) //comparo antes y despues del
PKWH y su diferencia sin log
graph export PKWH_vs_DPKWH.png, replace
gladder IPP //No hay log por tener numeros negativos
graph export Densidad_IPP.png, replace
gen DIPP=D.IPP // primeras diferencias, luego dfuller y con eso es suficiente
gen DNP=D.NumProy
twoway (tsline IPP, lcolor(blue)) (tsline DIPP, yaxis(2) lcolor(red)) // comparacion IPP y su primera
diferencia
graph export IPP_vs_DIPP.png, replace
reg DPKWH DIPP IPC DLPD TRM MWS NumProy, nocons
estat dwatson
estat durbinalt, force
estat ic
outreg2 using Proyecto_Pauto.xls, dec(3) bracket addstat(Adj R-Squared, `e(r2_a)') replace
reg MWS DNP DPKWH DIPP DLPD TRM IPC
estat dwatson
estat durbinalt, force
estat ic
outreg2 using Proyecto_Pauto.xls, dec(3) bracket addstat(Adj R-Squared, `e(r2_a)')
reg MWS DNP DPKWH DIPP DLPD TRM IPC, nocons

```

```

estat dwatson
estat durbinalt, force
estat ic
outreg2 using Proyecto_Pauto.xls, dec(3) bracket addstat(Adj R-Squared, `e(r2_a)')
tssmooth ma MA_MWS = MWS, window(1 1) //Aqui hay media movil de 1 periodos atras mas el
periodo actual
twoway (tsline MA_MWS, lcolor(blue)) (tsline MWS, lcolor(red))
graph export MedMov_MWS_vs_MWS.png, replace
reg MWS DNP DPKWH DIPP DLPD TRM IPC MA_MWS, nocons
estat dwatson
estat durbinalt, force
estat ic
outreg2 using Proyecto_Pauto.xls, dec(3) bracket addstat(Adj R-Squared, `e(r2_a)')
predict E, residuals
corrgram DPKWH, lags(18) //Correlograma y correlograma parcial en 18 rezagos para DPKWH
corrgram IPC, lags(18) //Correlograma y correlograma parcial en 18 rezagos para IPC
corrgram TRM, lags(18) //Correlograma y correlograma parcial en 18 rezagos para TRM
reg MWS DNP DIPP DPKWH L.DPKWH DLPD IPC L.IPC TRM L.TRM MA_MWS L.E, nocons robust
estat dwatson
estat durbinalt, force
estat ic
outreg2 using Proyecto_Pauto.xls, dec(3) bracket addstat(Adj R-Squared, `e(r2_a)')
predict Yh, xb
graph matrix MWS DNP DIPP DPKWH L.DPKWH DLPD IPC L.IPC TRM L.TRM MA_MWS L.E
graph export Matriz_Final.png, replace
twoway (tsline MWS, lcolor(blue)) (tsline Yh, recast.connected lcolor(green) lwidth(thick)
lpattern(shortdash))
graph export Yh_vs_MWS.png, replace
log close

```

11.2 Anexo No.2 Resultados de las regresiones desarrolladas en STATA

VARIABLES	(1) DPKWH	(2) MWS	(3) MWS	(4) MWS	(5) MWS
DNP		6.025* [3.489]	5.924* [3.540]	4.215** [1.919]	4.466* [2.369]
DIPP	2.057 [1.447]	-3.903 [13.265]	-4.000 [13.458]	-2.191 [7.280]	-2.792 [3.187]
DPKWH		1.091 [1.128]	1.198 [1.142]	0.047 [0.625]	0.027 [0.556]
L.DPKWH					-0.230 [0.586]
DLPD	8.180 [28.296]	181.680 [257.118]	215.664 [260.048]	-24.508 [141.996]	38.849 [136.124]
IPC	-3.277 [6.613]	-51.542 [59.620]	-42.238 [60.225]	-15.190 [32.646]	20.964 [35.718]
L.IPC					-25.223 [37.075]
TRM	0.000 [0.001]	0.094** [0.039]	0.031*** [0.011]	0.003 [0.006]	0.066 [0.081]
L.TRM					-0.068 [0.080]
MA_MWS				0.986*** [0.080]	1.100*** [0.213]
L.E					-0.549 [0.360]
MWS	0.004 [0.017]				
NumProy	0.421 [0.329]				
Constant		- 165.117* [98.385]			
Observations	68	68	68	68	67
R-squared	0.102	0.154	0.240	0.781	0.838
Adj R-Squared	0.0149	0.0712	0.166	0.756	0.806

Standard errors in brackets

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

11.3 Anexo No. 3 Base de datos utilizada en el software Stata

AÑO		# Proyectos	MW	\$KWH	\$Diesel	TRM	IPC	IPP
2018	SEPTIEMBRE	6	82,31	508,26	8443,06	3070,12	0,12	1,67
	AGOSTO	19	252,57	502,45	8341,06	2958,67	0,12	1,67
	JULIO	24	6,53	488,19	8598	2885,32	-0,13	1,55
	JUNIO	20	53,46	462,70	8598	2889,69	0,15	1,83
	MAYO	28	493,92	419,26	6320,32	2861,83	0,25	1,74
	ABRIL	20	48,60	404,59	5750,43	2766,29	0,46	1,75
	MARZO	20	87,96	415,36	5503,71	2847,93	0,24	1,81
	FEBRERO	30	393,09	415,40	5540,51	2860,25	0,71	1,71
	ENERO	21	945,40	424,00	5952,8	2868,57	0,63	1,42
2017	DICIEMBRE	19	166,93	421,69	5813,12	2991,76	0,385	1,69
	NOVIEMBRE	13	453,79	395,41	5778,56	3013,47	0,181	1,46
	OCTUBRE	23	485,28	379,14	5310,17	2953,76	0,017	1,17
	SEPTIEMBRE	11	160,59	369,98	5225,44	2917,09	0,040	0,92
	AGOSTO	9	10,59	361,63	4853,67	2973,20	0,140	0,84
	JULIO	6	0,68	363,18	4624,8	3036,58	-0,051	-1,26
	JUNIO	10	8,48	358,50	4186,04	2957,10	0,115	-1,21
	MAYO	24	3,71	358,69	4428,57	2923,61	0,225	-0,56
	ABRIL	5	1,04	358,89	4557,36	2877,82	0,474	0,01
	MARZO	16	156,95	377,38	4505,54	2942,29	0,466	0,41
	FEBRERO	18	0,79	382,63	4679,51	2879,57	1,006	0,74
	ENERO	11	21,37	369,26	4762,57	2941,40	1,024	1,17
2016	DICIEMBRE	8	0,29	361,87	4941,63	3009,86	0,42	2,2
	NOVIEMBRE	10	40,86	350,79	4531,61	3110,26	0,11	3,48
	OCTUBRE	7	0,72	380,33	4569,2	2929,39	-0,06	4,13
	SEPTIEMBRE	14	194,67	354,48	4145,45	2924,27	-0,05	5,36
	AGOSTO	1	0,006	354,48	4148,38	2952,77	-0,32	7,25
	JULIO	12	5	358,18	4058,41	2961,00	0,52	10,62
	JUNIO	12	140,60	372,95	4466,23	2992,86	0,48	11,11
	MAYO	10	1	354,48	4239,25	2993,51	0,51	10,5
	ABRIL	2	1,10	354,48	3739,4	2997,73	0,5	9,4
	MARZO	0	0	358,18	3755,85	3128,79	0,94	8,48
	FEBRERO	0	0	365,56	3475,66	3354,96	1,28	9,25

	ENERO	0	0	380,33	3213,75	3270,20	1,29	9,47
2015	DICIEMBRE	0	0	361,32	3699,7	3244,20	0,62	1,39
	NOVIEMBRE	0	0	384,14	4206,87	3001,38	0,6	0,61
	OCTUBRE	1	12	372,73	4326,65	2929,47	0,68	0,98
	SEPTIEMBRE	0	0	384,14	4644,12	3066,41	0,72	1,23
	AGOSTO	0	0	399,35	4581,69	3012,59	0,48	1,01
	JULIO	3	24	384,14	4589,7	2732,04	0,19	0,49
	JUNIO	1	17	387,94	4825,57	2562,48	0,1	0,04
	MAYO	0	0	368,92	4786,13	2437,54	0,26	-0,35
	ABRIL	0	0	399,35	4598,96	2505,25	0,54	-0,42
	MARZO	1	11	399,35	4800,69	2585,36	0,59	1,39
	FEBRERO	0	0	372,73	4828,75	2420,67	1,15	0,9
	ENERO	0	0	399,35	4025,09	2397,26	0,64	0,89
2014	DICIEMBRE	0	0	415,32	4760,36	2342,25	0,27	6,23
	NOVIEMBRE	0	0	403,34	5159,82	2128,68	0,13	6,03
	OCTUBRE	0	0	387,37	5184,96	2048,57	0,16	5,29
	SEPTIEMBRE	0	0	407,34	5408,14	1973,72	0,14	4,14
	AGOSTO	0	0	419,32	5410,33	1898,13	0,2	2,89
	JULIO	0	0	379,38	5351,47	1857,64	0,15	2,16
	JUNIO	0	0	403,34	5593,69	1887,04	0,09	1,65
	MAYO	0	0	395,36	5631,04	1915,36	0,48	1,59
	ABRIL	0	0	399,35	5736,06	1938,36	0,46	1,86
	MARZO	0	0	399,35	6049,36	2019,71	0,39	0,34
	FEBRERO	0	0	419,32	6585,05	2038,49	0,63	-0,12
	ENERO	1	14	395,36	6115,89	1957,29	0,49	-0,4
2013	DICIEMBRE	0	0	403,26	5894,38	1932,96	0,26	-0,69
	NOVIEMBRE	0	0	415,12	5641,85	1921,75	-0,22	-1,51
	OCTUBRE	0	0	407,22	5648,31	1885,13	-0,26	-2,01
	SEPTIEMBRE	0	0	375,59	5848,51	1919,51	0,29	-1,37
	AGOSTO	0	0	383,5	5840,91	1902,10	0,08	0,33
	JULIO	0	0	387,45	5742,35	1901,54	0,04	0,46
	JUNIO	0	0	387,45	5511,79	1909,85	0,23	0,93
	MAYO	0	0	387,45	5334,81	1847,92	0,28	-0,08
	ABRIL	0	0	383,5	5308,65	1830,23	0,25	-0,31
	MARZO	0	0	395,36	5504,11	1813,75	0,21	0,1
	FEBRERO	0	0	407,22	5796,56	1790,55	0,44	-0,2
	ENERO	0	0	379,54	5493,01	1769,67	0,3	0,29

11.4 Anexo No. 4 Matriz de evaluación de alternativas, elaboración propia.

Parámetros para la evaluación de alternativas												
	%	Atributo	%	Alternativa 1 Generación Hidráulica			Alternativa 2 Generación Fotovoltaica			Alternativa 3 Generacion Diessel		
					Cal	Result %		Cal	Result		Cal	Result
Impacto Ambiental	25%	cantidad de agentes contaminantes emitidos	50	No genera agentes contaminantes	4	10	El sol constituye una ingente fuente de energía limpia y sostenible, sin emisiones tóxicas contaminantes o emisiones de gases invernadero.	5	12,5	Una planta Diésel, genera una gran cantidad de agentes contaminantes, como se puede ver en la tabla ().	2	5
		impacto del combustible o fuente de generación	50	· Alteración de los ecosistemas terrestres y de la biodiversidad. · Alteración de los ecosistemas acuáticos y biodiversidad, e impactos en la pesca. · Cambios en el régimen del río, alteración de ciclos naturales de crecidas. · Alteración de paisaje · Impactos socioeconómicos y arqueológicos - Impactos en comunidades indígenas	4	10	el uso del suelo y pérdida de hábitats, el uso de agua así como el uso de materias primas peligrosas en la fabricación de paneles y otros componentes de las instalaciones solares, varían mucho en función de la tecnología empleada para aprovechar la energía del sol.	4	10	Los impactos de la construcción son causados, principalmente, por las siguientes actividades de la preparación del sitio: desbroce, excavación, movimiento de tierras, drenaje, dragado y/o embalse de los ríos y otras extensiones de agua, establecimiento de las áreas de colocación, de préstamo y de relleno.	2	5
Sub-Total			100		8	20			22,5			10
Costo	25%	Costo Inicial	50	El costo inicial de la Generación Hidráulica es elevado, debido a las dificultades de instalación y la complejidad de los equipos	1	2,5	Los costos iniciales de la generación fotovoltaica, aunque no son tan elevados como en la generación hidráulica, si son una inversión considerable.	3	7,5	El costo inicial de la Generación Diésel, es relativamente menor al de las demás alternativas.	4	10
		Costo Periódico	50	los costos periódicos, varían desde la operación hasta el mantenimiento de la central	3	7,5	el costo periódico, se basa en el mantenimiento	3	7,5	El costo periódico es elevado, pues aparte del mantenimiento, se debe tener en cuenta el costo de operación de la planta, así como el del combustible.	2	10
Sub-Total						10			15			20
Factibilidad	25%	facilidad de adquisición de los elementos	50	Los elementos son variados y aunque la adquisición puede ser relativamente fácil, el transporte y precio de estos lo hace más complejo, así como su instalación.	2	5	los elementos son sencillos de adquirir y transportar a la zona	4	10	fácil adquisición de elementos	4	10
		conocimientos del tema	50	Se tiene la base de la teoría para este tipo de pantas, sin embargo no se han realizado proyectos de este tipo hasta la fecha.	1	2,5	Se han realizado proyectos de laboratorio donde se evidencia el funcionamiento de este tipo de tecnologías.	4	10	Se tienen conocimientos del tema, sin embargo, no se tienen proyectos pasados que se puedan tomar de base.	3	15
Sub-Total			100			7,5			20			25
Operación	25%	Seguridad de operación	50	Al manejarse una gran cantidad de energía, el riesgo es elevado, sin contar que desde el momento de la construcción de la planta se deben tomar una gran cantidad de precauciones para evitar desastres	1	2,5	Este tipo de proyectos cuentan con una mayor seguridad ya que cada panel trabaja con una relativa poca potencia por lo cual no se pone en riesgo la salud de los operarios en un gran tramo del proyecto.	5	12,5	Se debe tener mucho cuidado en la operación de este tipo de máquinas, por lo cual el riesgo es bastante alto.	1	2,5
		acceso y facilidades de mantenimiento	50	Al encontrarse en un lugar alejado, es difícil acercarse para realizar los respectivos mantenimientos.	2	5	Las facilidades de mantenimiento son muy altas ya que el proyecto se ubica en el mismo lugar donde se va a generar la energía.	4	10	de fácil acceso al ubicarse en la misma zona	4	20
Sub-Total			100			7,5			22,5			22,5
Total						45			80			77,5

11.5 Anexo No.5 Selección de Panel solar

www.jinkosolar.com

JinKO^{Solar}
Building Your Trust in Solar

JKM320PP-72
305-320 Vatios
MÓDULO POLICRISTALINO

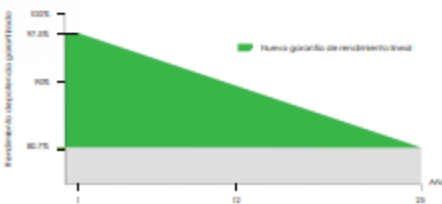
Tolerancia positiva 0/+3%

Fábrica con certificación ISO9001 2008,
ISO14001 2004, OHSAS18001
Productos con certificación IEC61215, IEC61730

Principales características

- Potencia Elevada:**
Los módulos de 72 células policristalinas alcanzan potencias de hasta 320Wp.
- Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID):**
Se garantiza una degradación limitada de la potencia del módulo Eagle causada por la Degradación Potencial Inducida (PID por sus siglas en inglés) bajo condiciones de 60°C/85% de humedad relativa para la producción en masa.
- Rendimiento con baja irradiación lumínica:**
El avanzado cristal y el texturado de la superficie de la célula fotovoltaica permiten un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.
- Resistencia en condiciones climatológicas adversas:**
Certificado para soportar rachas de viento (2.400 Pascal) y cargas de nieve (5.400 Pascal).
- Resistencia en condiciones ambientales extremas:**
Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD.
- Coefficiente de Temperatura:**
El coeficiente de temperatura mejorado reduce la pérdida de potencia en altas temperaturas.

GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL
10 Años de garantía de producto + 25 Años de garantía de potencia lineal

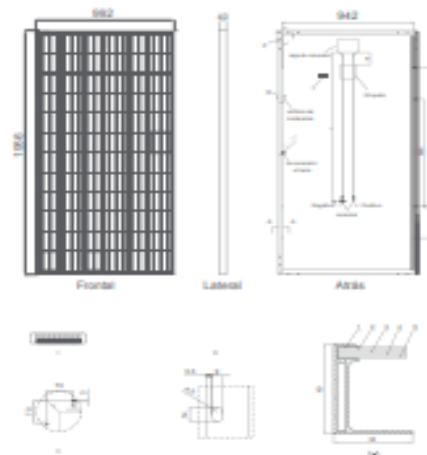



100%
97.2%
90%
80.7%

1 10 25 Años

■ Nueva garantía de rendimiento lineal

Dibujos técnicos

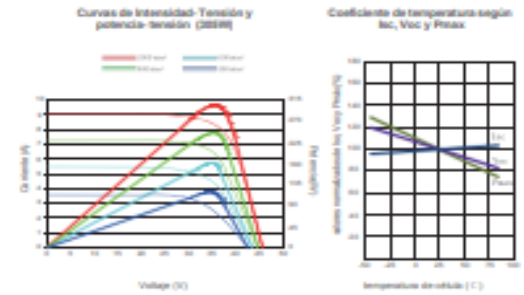


Embalaje

(Dos cajas = un pallet)

25 pzs./caja, 50 pzs./caja, 600 pzs./40 HQ contenedores

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6x12)
Dimensiones	1956x992x40mm (77,01x39,05x1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	40mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TUV 1x4,0 mm ² , Longitud: 900mm

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM305PP		JKM10PP		JKM15PP		JKM305PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (P _{nm})	305Wp	226Wp	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp
Tensión en el punto P _{nm} -VMPP (V)	36.8V	33.8V	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V
Corriente en el punto P _{nm} -IMPP (A)	8.30A	6.72A	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.58A	6.86A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.6V	42.2V	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.91A	7.23A	8.96A	7.26A	9.01A	7.28A	9.05A	7.30A
Eficiencia del módulo (%)	15.72%		15.98%		16.23%		16.49%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C							
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)							
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A							
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%							
Coefficiente de temperatura de P _{MAX}	-0.46%/°C							
Coefficiente de temperatura de VOC	-0.38%/°C							
Coefficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C							
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C							

STC: ☀ Radiación 1000 W/m² 📏 Célula módulo 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Radiación 800 W/m² 📏 Ambiente módulo 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Velocidad del viento 1m/s

+ TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-MKT-320PP_rev2015

11.6 Anexo No. 6 Selección de banco de baterías

Industrial Batteries / Network Power

Classic Solar



*„Powerful energy storage for
 renewable energy systems“*



Classic®

Industrial Batteries

The powerful range of Network Power

Energy storage solutions for critical systems that require uninterrupted power supply. GNB® Industrial Power offers powerful batteries for your individual needs. The below table is only indicative and depends on customers' specific applications. For more information please ask a GNB sales representative.

Applications	Battery ranges																
	Sonnenschein						Marathon										
	A46A/AG3	A46 FT	A55	A706	SOLAR	RAIL	Power Cycle	M-FT	M/L/IL	S	P13P	3P-FT	GPICK	S335	GRdE	OC5M	EPc5
Telecom	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•		•	•
UPS		•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Emergency lighting	•		•					•		•	•	•	•	•		•	•
Security	•		•	•				•		•	•	•	•	•		•	•
Utility	•	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Reference	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Photovoltaic					•		•	•		•	•	•	•	•			•
Universal	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

The GNB Network Power brand overview



- > VRLA batteries (Valve Regulated Lead Acid) in which the electrolyte is fixed in an absorbent glass mat (AGM)
- > Excellent high current capability
- > Very economical
- > Maintenance-free (no topping up)



- > VRLA batteries (Valve Regulated Lead Acid) in which the electrolyte is fixed in a gel (dryfit technology)
- > Inventor of Gel technology
- > Highest reliability, even in non-optimal conditions
- > Particularly suitable for cyclic applications
- > Maintenance-free (no topping up)



- > Conventional lead-acid batteries with liquid electrolyte
- > Extreme reliability, proven over decades
- > Low maintenance

> Further information about service is available on page 10

Classic OPzS Solar

Technical data

Technical characteristics and data

Type	Part number	Nom. voltage V	Nominal capacity C _N 1.85 Vpc 25 °C, 4h	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Installed length (L) mm	Weight incl. acid kg	Weight acid** kg	Internal resistance mΩ	Short circuit current A	Terminal	Pole pairs
OPzS Solar 180	NVSL020180WC0FA	2	180	105	205	285	115	13.7	5.25	1.45	1950	F-M8	1
OPzS Solar 245	NVSL020245WC0FA	2	245	105	205	285	115	15.2	5.05	1.05	1950	F-M8	1
OPzS Solar 305	NVSL020305WC0FA	2	305	105	205	285	115	16.5	4.65	0.83	2450	F-M8	1
OPzS Solar 380	NVSL020380WC0FA	2	380	126	205	385	136	20.0	3.85	0.72	2650	F-M8	1
OPzS Solar 450	NVSL020450WC0FA	2	450	147	205	385	157	23.3	3.60	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 550	NVSL020550WC0FA	2	550	136	205	511	136	26.7	3.10	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 660	NVSL020660WC0FA	2	660	147	205	511	157	31.0	3.30	0.56	3650	F-M8	1
OPzS Solar 765	NVSL020765WC0FA	2	765	168	205	511	176	35.4	3.00	0.50	4100	F-M8	1
OPzS Solar 985	NVSL020985WC0FA	2	985	147	205	686	157	43.9	13.0	0.47	4350	F-M8	1
OPzS Solar 1080	NVSL021080WC0FA	2	1080	147	205	686	157	47.2	12.8	0.43	4800	F-M8	1
OPzS Solar 1320	NVSL021320WC0FA	2	1320	212	193	686	222	59.9	17.1	0.30	6800	F-M8	2
OPzS Solar 1410	NVSL021410WC0FA	2	1410	212	193	686	222	63.4	16.8	0.27	7500	F-M8	2
OPzS Solar 1650	NVSL021650WC0FA	2	1650	212	235	686	222	73.2	21.7	0.26	7900	F-M8	2
OPzS Solar 1990	NVSL021990WC0FA	2	1990	212	277	686	222	86.4	26.1	0.23	8900	F-M8	2
OPzS Solar 2350	NVSL022350WC0FA	2	2350	212	277	836	222	108	33.7	0.24	8500	F-M8	2
OPzS Solar 2500	NVSL022500WC0FA	2	2500	212	277	836	222	114	32.7	0.22	9300	F-M8	2
OPzS Solar 3100	NVSL023100WC0FA	2	3100	215	400	812	225	151	50.0	0.16	12800	F-M8	3
OPzS Solar 3350	NVSL023350WC0FA	2	3350	215	400	812	225	158	48.0	0.14	14600	F-M8	3
OPzS Solar 3850	NVSL023850WC0FA	2	3850	215	490	812	225	184	60.0	0.12	17000	F-M8	4
OPzS Solar 4100	NVSL024100WC0FA	2	4100	215	490	812	225	191	58.0	0.11	17800	F-M8	4
OPzS Solar 4600	NVSL024600WC0FA	2	4600	215	580	812	225	217	71.0	0.11	18800	F-M8	4
6V 4 OPzS 200 LA	NVLS060200WC0FA	6	204	272	205	347	282	41.0	13.0	2.65	2203	F-M8	1
6V 5 OPzS 250 LA	NVLS060250WC0FA	6	264	380	205	347	382	56.0	20.0	2.39	2800	F-M8	1
6V 6 OPzS 300 LA	NVLS060300WC0FA	6	417	380	205	347	382	83.0	20.0	1.96	3106	F-M8	1
12V 1 OPzS 50 LA	NVLS120050WC0FA	12	82.7	272	205	347	282	35.0	15.0	18.1	688	F-M8	1
12V 2 OPzS 100 LA	NVLS120100WC0FA	12	138	272	205	347	282	45.0	14.0	9.26	1314	F-M8	1
12V 3 OPzS 150 LA	NVLS120150WC0FA	12	210	380	205	347	382	64.0	19.0	6.46	1894	F-M8	1

Type	C ₁ 1.75 Vpc	C ₂ 1.80 Vpc	C ₃ 1.85 Vpc	C ₄ 1.80 Vpc	C ₅ 1.85 Vpc	C ₆ 1.80 Vpc	C ₇ 1.85 Vpc	C ₈ 1.80 Vpc	C ₉ 1.85 Vpc	C ₁₀ 1.80 Vpc	C ₁₁ 1.85 Vpc	C ₁₂ 1.80 Vpc	C ₁₃ 1.85 Vpc
OPzS Solar 180	122	132	134	145	165	175	185	196	200				
OPzS Solar 245	158	173	176	190	215	230	240	245	260				
OPzS Solar 305	203	220	224	240	270	285	300	305	320				
OPzS Solar 380	250	275	277	300	330	350	370	380	400				
OPzS Solar 450	296	325	330	355	395	420	440	450	470				
OPzS Solar 550	353	381	388	430	480	515	540	550	580				
OPzS Solar 660	422	469	477	515	575	615	645	660	685				
OPzS Solar 765	492	545	555	600	670	710	750	765	805				
OPzS Solar 985	606	700	710	770	880	920	970	985	1035				
OPzS Solar 1080	669	773	784	845	940	1000	1055	1080	1100				
OPzS Solar 1320	820	937	950	1030	1150	1230	1295	1320	1385				
OPzS Solar 1410	888	1009	1024	1105	1225	1305	1380	1410	1440				
OPzS Solar 1650	1024	1174	1190	1290	1440	1540	1620	1650	1730				
OPzS Solar 1990	1218	1401	1430	1550	1750	1850	1950	1990	2090				
OPzS Solar 2350	1573	1751	1770	1910	2160	2300	2400	2350	2470				
OPzS Solar 2500	1667	1854	1875	2015	2275	2420	2540	2500	2600				
OPzS Solar 3100	2080	2318	2343	2520	2775	2910	3040	3100	3220				
OPzS Solar 3350	2368	2634	2650	2740	3065	3175	3280	3350	3520				
OPzS Solar 3850	2792	2984	2915	3135	3430	3615	3765	3850	4040				
OPzS Solar 4100	2770	3090	3125	3250	3620	3840	4000	4100	4300				
OPzS Solar 4600	3089	3451	3460	3785	4100	4300	4500	4600	4850				
6V 4 OPzS 200 LA	203	236	229	250	296	304	287	294	338				
6V 5 OPzS 250 LA	240	257	284	311	374	383	355	364	434				
6V 6 OPzS 300 LA	284	309	322	354	420	432	408	417	482				
12V 1 OPzS 50 LA	55.0	51.5	63.7	68.4	78.4	79.8	81.0	82.7	92.9				
12V 2 OPzS 100 LA	95.4	103	108	118	141	145	136	139	162				
12V 3 OPzS 150 LA	131	154	162	177	205	217	203	210	234				

Capacities in Ah (C_N - C₁₀) at 25 °C

* Includes installed connector, the above mentioned height can differ depending on the used version.
 ** Acid density ρ₂₀ = 1.30 kg/l

Terminal and torque



12 Nm for blocks;
 20 Nm for cells

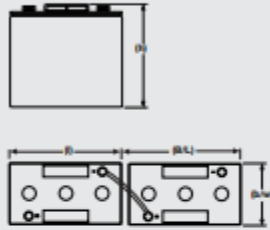
Data is also valid for dry charged version.
 Change »W« (Wet) to »D« (Dry) in the part number.
 E.g.:
 > filled and charged: NVSL023100 W C0FA
 > dry charged: NVSL023100 D C0FA

Classic OPzS Solar

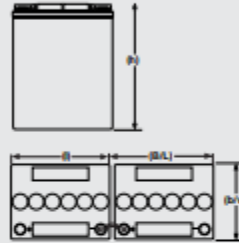
Drawings

Drawings with terminal position

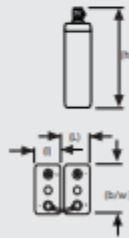
6V 4 OPzS 200 LA –
6V 6 OPzS 300 LA



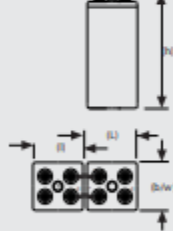
12V 1 OPzS 50 LA –
12V 3 OPzS 150 LA



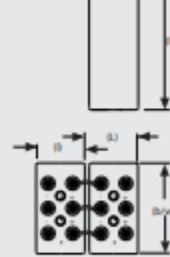
OPzS Solar 190 –
OPzS Solar 1080



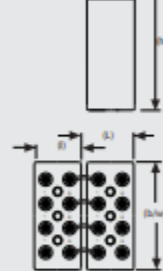
OPzS Solar 1320 –
OPzS Solar 2500



OPzS Solar 3100 –
OPzS Solar 3350



OPzS Solar 3850 –
OPzS Solar 4600



Not to scale

Classic[®]

11.7 Anexo No. 7 Selección de inversor

INGECON**SUN**Power
Con transformador**ÓPTIMAS
PRESTACIONES
EN GRANDES
INSTALACIONES
MULTI-MEGAVATIO**

50 / 60 / 70 / 80 / 90 / 100

Inversor trifásico para instalaciones en cubierta de medianas y grandes potencias, y para instalaciones multi-megavatio en suelo.

Máxima eficiencia a temperaturas elevadas
Avanzado sistema de seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT). Es capaz de soportar huecos de tensión y dispone de un control de potencia activa y reactiva. Apto para instalaciones de media tensión.

Fácil instalación

No necesita elementos adicionales. Se puede desconectar manualmente de la red. Completo equipamiento de protecciones eléctricas incluido de serie.

Fácil mantenimiento

Datalogger interno para almacenamiento de datos de hasta 3 meses. Se puede controlar desde un PC remoto o in situ desde el teclado frontal del inversor. LEDs indicadores de estado y alarmas. Pantalla LCD. Vida útil de más de 20 años.

Software incluido

Incluyen sin coste las aplicaciones INGECON® SUN Manager, INGECON® SUN Monitor y su versión para smartphone (Sun Monitor para la monitorización y registro de datos del inversor a través de internet).

Garantía estándar de 5 años, ampliable hasta 25 años

PROTECCIONES

- Aislamiento galvánico entre la parte DC y AC.
- Polarizaciones inversas.
- Cortocircuitos y sobrecargas en la salida.
- Fallos de aislamiento.

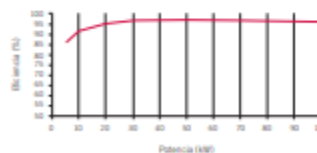
- Anti-ísla con desconexión automática.
- Seccionador DC.
- Fusibles DC.
- Seccionador magneto-térmico AC.
- Descargadores de sobretensiones DC y AC, tipo 2.

ACCESORIOS OPCIONALES

- Comunicación entre inversores mediante Ethernet, Bluetooth o RS-485.
- Comunicación remota GSM / GPRS.
- Monitorización de las corrientes de string del campo PV. INGECON® SUN String Control.
- Kit de puesta a tierra para los módulos PV que lo requieran.

**RECOMENDADO**

INGECON® SUN 100
Vdc = 450 V



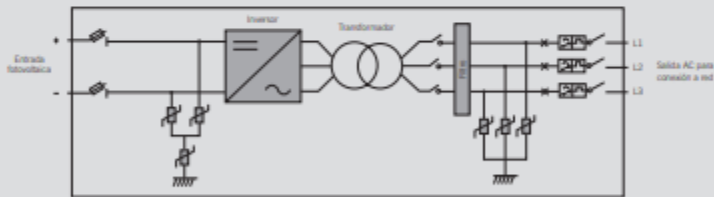
www.ingeteam.com
solar.energy@ingeteam.com

Ingeteam

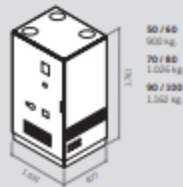
	50	60	70	80	90	100
Valores de Entrada (DC)						
Rango pot. campo PV recomendado**	52 - 65 kWp	62 - 78 kWp	73 - 91 kWp	83 - 104 kWp	93 - 117 kWp	104 - 130 kWp
Rango de tensión MPPT	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V
Tensión máxima**	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V	900 V
Corriente máxima	130 A	156 A	180 A	208 A	234 A	260 A
Nº entradas	4	4	4	4	4	4
MPPT	1	1	1	1	1	1
Valores de Salida (AC)						
Potencia nominal**	55 kW	66 kW	77 kW	88 kW	99 kW	110 kW
Corriente máxima	93 A	118 A	133 A	156 A	161 A	162 A
Tensión nominal	400 V	400 V	400 V	400 V	400 V	400 V
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Coseno Φ _{ref}	1	1	1	1	1	1
Coseno Φ _{ti} ajustable	Si. Sinδ=55 kVA	Si. Sinδ=66 kVA	Si. Sinδ=77 kVA	Si. Sinδ=88 kVA	Si. Sinδ=99 kVA	Si. Sinδ=110 kVA
THD ⁺	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Rendimiento						
Eficiencia máxima	96,3%	96,4%	97,2%	97,5%	96,9%	96,9%
Euroeficiencia	94,3%	94,7%	96,1%	96,3%	96,8%	96,7%
Datos Generales						
Refrigeración por aire	2.620 m³/h	2.620 m³/h	2.620 m³/h	2.620 m³/h	2.620 m³/h	2.620 m³/h
Consumo en stand-by**	30 W	30 W	30 W	30 W	30 W	30 W
Consumo nocturno	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W
Temperatura de funcionamiento	-30°C a +60°C	-30°C a +60°C	-30°C a +60°C	-30°C a +60°C	-30°C a +60°C	-30°C a +60°C
Humedad relativa (sin condensación)	0 - 95%	0 - 96%	0 - 96%	0 - 96%	0 - 95%	0 - 96%
Grado de protección	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20

Notas: ** Dependiendo del tipo de instalación y de la ubicación geográfica. *** No superior en ningún caso. Considerar el aumento de tensión de los parámetros "V_{dc}" a bajas temperaturas.
**** Potencia AC hasta 40°C de temperatura ambiente. Por cada °C de incremento, la potencia de salida se reducirá un 1,8%. ***** Para Pu=20% de la potencia nominal. Para Pu>20% de la potencia nominal, ver gráficas de potencia vs. temperatura.
Referencias normativas: CEI EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 50178, EN 61009-1, FCC Part 15, IEC 62366, ISO 6999:2011
EN VDE V 0126-1-1, CEI 0-16, CEM 1, ENEC EN 455-0011-08, BSEW-Mittelspannungsschneidwerkzeuge-2011, ATO Terra, PD 200-3, South Africa Grid code, IEEE 809, IEEE 737.

Power



Dimensiones y peso (grm)



Ingeteam

11.8 Anexo No. 8 Selección de regulador MPPT



Controladores de carga SmartSolar con conexión de rosca o FV MC4

MPPT 150/85 & MPPT 150/100

www.victronenergy.com

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)
Especialmente con cielos nubosos, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial
En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPPT) en la curva de tensión de carga. Los MPPT convencionales suelen seleccionar un MPPT local, que no necesariamente es el MPPT óptimo. El innovador algoritmo de SmartSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPPT óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión
Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible
Un algoritmo de carga totalmente programable (consulte la página de software de nuestra página web) y ocho algoritmos de carga preprogramados, que se pueden elegir con un selector giratorio (consulte más información en el manual).

Amplia protección electrónica
Protección de sobretensión y reducción de potencia en caso de alta temperatura.
Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.
Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna
Compensa la tensión de carga de absorción y flotación en función de la temperatura.

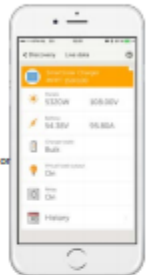
Bluetooth Smart Integrado: no necesita módulo
La solución inalámbrica para configurar, supervisar y actualizar el controlador con un teléfono inteligente, una tableta u otro dispositivo Apple o Android.

VE.Direct
Para una conexión de datos con cable a un Color Control, un Venus GX, un PC u otros dispositivos.

On/Off remoto
Para conectarse a un VE.BUS BMS, por ejemplo.

Relé programable
Se puede programar (entre otros, con un teléfono inteligente) para activar una alarma u otros eventos.

Opcional: pantalla LCD conectable
Simplemente retire el protector de goma del enchufe de la parte frontal del controlador y conecte la pantalla.



**Controlador de carga SmartSolar
MPPT 150/100-Tr
Con dispositivo conectable**



**Controlador de carga SmartSolar
MPPT 150/100-MC4
Sin pantalla**

Controlador de carga SmartSolar	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48V (Se precisa una herramienta de software para ajustar el sistema en 36V)	
Corriente de carga nominal	85A	100A
Potencia FV máxima, 12 V 1.a.b)	1200W	1450W
Potencia FV máxima, 24 V 1.a.b)	2400W	2900W
Potencia FV máxima, 48 V 1.a.b)	4800W	5800W
Máxima corriente de corto circuito (V2)	75A	75A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150V máximo absoluto en las condiciones más frías 140V en arranque y funcionando al máximo	
Eficiencia máxima	98%	
Autoconsumo	Menos de 35mA a 12V / 20mA a 48V	
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)	
Algoritmo de carga	adaptativo multifase	
Compensación de temperatura	-36 mV / -32 mV / -48 mV / °C	
Protección	Polaridad inversa de la batería (fluitje, no accionable por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión	
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)	
Humedad	95%, sin condensación	
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth	
Interruptor on/off remoto	SI (conector bifilar)	
Relé programable	DPST - Corriente nominal CA 280 V AC / 16 A - Corriente nominal CC 4 A hasta 30 V CC / 1 A hasta 60 V CC	
Funcionamiento en paralelo	SI (no sincronizado)	
CARGA		
Color	Azul (RAL 5012)	
Terminales FV 3)	25mm ² / AWG2 (Modelos Tr) - Tres pares de conexiones MC4 (modelos MC4)	
Bornes de batería	35mm ² / AWG2	
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)	
Peso	4,5kg	
Dimensiones p l x an x pl en mm	Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	
NORMATIVAS		
Seguridad	EN/IEC 62109	
1a) Si se conecta más potencia FV al controlador (teniendo la potencia de entrada al máximo regulable). 1b) La tensión FV debe exceder en 5 V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1 V. 2) Unos paneles FV con una corriente de cortocircuito más alta podrán dañar el controlador en caso de polaridad inversa de dichos paneles FV. 3) Modelos MC4 se pueden conectar varios separados para conectar en paralelo los cadenas de paneles solares. Corriente máxima por conector MC4: 80A (los conectores MC4 están conectados en paralelo a un controlador MPPT).		

Victron Energy B.V. | De Paal 25 | 1315 JG Almere | Países Bajos
Centralita: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com

