



**ANÁLISIS DEL POTENCIAL AMBIENTAL Y ECONÓMICO,
PARA EL USO DE FUENTES DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN HOGARES DE LA
VEREDA SAN JORGE DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ**

**CESAR AUGUSTO NAVARRETE QUECANO
JUAN CAMILO TINJACÁ GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
DESARROLLO SOCIAL Y HUMANO**

Manizales, junio de 2018

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL AMBIENTAL Y ECONÓMICO, PARA EL USO DE FUENTES DE ENERGÍA
SOLAR Y EÓLICA EN HOGARES DE LA VEREDA SAN JORGE DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ**

**CESAR AUGUSTO NAVARRETE QUECANO
JUAN CAMILO TINJACÁ GUTIÉRREZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Asesor: Oscar Fernando Gómez M.
Ingeniero Agrónomo
Msc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Universidad de Manizales
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Desarrollo Social y Humano**

Manizales, junio de 2018

Tabla de contenido

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	11
1 OBJETIVOS.....	14
1.1 Objetivo General.....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2 MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Desarrollo Sostenible.....	16
2.2 La energía No convencional y el Desarrollo Sostenible.....	17
2.3 Información Climatológica.....	20
2.4 Huella de Carbono e Impacto Ambiental.....	22
2.5 Energías convencionales.....	23
2.6 Energías No Convencionales.....	25
2.6.1 Energía Solar.....	25
2.6.2 Energía Eólica.....	38
2.7 Matriz de Alternativas.....	44
2.8 Grado de confiabilidad.....	47
2.9 Metodología.....	51
3 ANTECEDENTES: CONTEXTO INTERNACIONAL Y LOCAL.....	52
3.1 Contexto internacional.....	52
3.2 Contexto local.....	54
3.3 Descripción de la zona de estudio.....	62
4 METODOLOGÍA.....	63
4.1 Objetivo específico número uno.....	63
4.2 Objetivo específico número dos.....	65
4.3 Objetivo específico número tres.....	66

5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
5.1	Parámetros climatológicos.....	68
5.2	Resultados de los cuestionarios.....	72
5.3	Arreglo del sistema de energía no convencional.....	80
5.3.1	Sistema de energía solar.....	80
5.3.2	Arreglo del sistema eólico.....	83
5.4	Matriz de alternativas, selección del sistema.....	85
5.5	Características sistema de energía convencional y no convencional seleccionado.....	93
5.5.1	Huella de carbono.....	93
5.5.2	Evaluación de confiabilidad del sistema.....	96
5.6	Comparación SC Vs. SNC.....	99
5.7	Aporte al desarrollo sostenible, medio ambiente, social y humano.....	116
6	CONCLUSIONES.....	121
7	ANEXOS (ADJUNTOS).....	124
8	BIBLIOGRAFÍA.....	125

Listado de figuras

Figura 1.	Orbita de la tierra alrededor del sol.....	26
Figura 2.	Incidencia de radiación solar en la tierra.....	26
Figura 3.	Incidencia de la radiación solar en un plano.....	27
Figura 4.	Espectro visible por el ojo humano.....	28
Figura 5.	Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.....	29
Figura 6.	Principio de una conexión <i>grid-connection</i>	30
Figura 7.	Estructura de una celda solar.....	32
Figura 8.	Conexión en serie y paralelo.....	34
Figura 9.	Sistema solar <i>stand-alone</i>	36
Figura 10.	Esquema de procedimiento para calcular el sistema.....	37
Figura 11.	Vientos locales.....	39
Figura 12.	Perfil del viento en altura.....	40
Figura 13.	Velocidades y fuerzas en una sección de un alabe de turbina giratoria.....	41

Figura 14. Generador vertical: Izquierda. Generador horizontal: Derecha.....	41
Figura 15. Molinos de eje horizontal.	42
Figura 16. Montaje de sistema eólico.....	43
Figura 17. Ejemplo de modelización de los criterios de selección.	45
Figura 18. Realización de asociaciones público – privadas de energía renovable.	53
Figura 19. Localización Geográfica: Vereda San Jorge – Municipio de Zipaquirá	62
Figura 20. Árbol para selección de alternativas del sistema <i>Stand Alone</i>	86
Figura 21. Árbol para selección de alternativas del sistema <i>Grid Connect</i>	86
Figura 22. Diseño matriz de importancia: proveedores <i>Stand Alone</i>	88
Figura 23. Diseño matriz de importancia: proveedores <i>Grid Connect</i>	89
Figura 24. Árbol de selección del proveedor del sistema <i>Stan Alone</i> - Valores	91
Figura 25. Árbol de selección del proveedor del sistema <i>Grid Connect</i> - Valores.....	91
Figura 26. Árbol para selección de alternativa SC vs. SNC.	103
Figura 27. Diseño matriz de importancia SC, SNC sa y SNC gc respecto al Costo (COP).....	107
Figura 28. Matriz de importancia SC, SNC sa y SNC gc Gas Efecto Invernadero (GEI)	109
Figura 29. Diseño matriz de importancia SC, SNC sa y SNC gc respecto a la Confiabilidad (%)... ..	112
Figura 30. Árbol de selección de alternativa SC vs. SNC de cero, cinco a 20 años	114
Figura 31. Puntaje de alternativas seis meses, uno, cinco, 10 y 20 años	115
Figura 32. (Fotografías) Taller de energías no convencionales, vereda San Jorge, Zipaquirá	117

Listado de gráficas

Gráfica 1. Componente de radiación global, directa y difusa, del modelo Angstrom.	21
Gráfica 2. Participación de tecnologías en la matriz eléctrica.	24
Gráfica 3. Curva I-V	32
Gráfica 4. Variación de la potencia, corriente y voltaje por acción de la temperatura.	33
Gráfica 5. Radiación solar y horas de sol por día.....	69
Gráfica 6. Velocidad del viento a 10 m de altura.....	70
Gráfica 7. Cuestionarios aplicados por sector y calidad del servicio.....	72
Gráfica 8. Horas de suspensión y baja tensión de energía	73
Gráfica 9. Percepción sobre las energías alternativas	75

Gráfica 10. Consumo actual en hogares de la vereda San Jorge, Zipaquirá.	76
Gráfica 11. Costo actual de la energía en la vereda.	79
Gráfica 12. Diagrama de Pareto. Velocidades del viento, vereda San Jorge.	85
Gráfica 13. Costo de instalación + mantenimiento en cada periodo.	99
Gráfica 14. Acumulado costo de instalación + mantenimiento.	100
Gráfica 15. Acumulado Huella de Carbono en KgCO ₂ eq.	101
Gráfica 16. Confiabilidad del servicio por tipo de sistema.	102

Listado de tablas

Tabla 1. Fuentes de energía eléctrica en Colombia.	24
Tabla 2. Regiones del espectro solar.	27
Tabla 3. Tipo de baterías usadas en sistemas PV.	36
Tabla 4. Escala de valoración de Saaty.	46
Tabla 5. Tasa de fallos asociados a los elementos del arreglo fotovoltaico.	49
Tabla 6. Ejemplo de tres escenarios de mantenimiento.	50
Tabla 7. Valores de evolución de LLP.	50
Tabla 8. Parámetros ambientales y de demanda de energía requeridos.	64
Tabla 9. Información requerida para la comparación.	67
Tabla 10. Condiciones de operaciones turbinas eólicas.	71
Tabla 11. Calculo energía requerida por hogar.	77
Tabla 12. Determinación del proveedor seleccionado.	92
Tabla 13. Costo de acometida e instalación del sistema de energía convencional.	93
Tabla 14. Tasas de fiabilidad de los componentes.	96
Tabla 15. Tasa de fallo en componentes del sistema Stand Alone.	96
Tabla 16. Tasa de fallo para los componentes del sistema <i>Grid Connect</i>	97
Tabla 17. Porcentaje de disponibilidad para el sistema no convencional Stand Alone.	98
Tabla 18. Porcentaje de disponibilidad para el sistema no convencional <i>Grid Connect</i>	98
Tabla 19. Porcentaje de disponibilidad del servicio convencional.	98
Tabla 20. Comparativo Costo (COP), GEI (KgCO ₂ eq/año) y Confiabilidad (%).	106

RESUMEN

La investigación analiza, desde el punto de vista ambiental y económico, el uso de fuentes de energía solar y eólica y su potencial, en hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá, caracterizando parámetros ambientales y demanda de energía necesarios para la implementación de fuentes de energía solar y eólica en la vereda, mediante la obtención de parámetros meteorológicos y aplicando un instrumento de recolección de datos para conocer la demanda de energía en la zona de estudio. La investigación permitió establecer que la energía eólica no es una opción para el potencial uso de su energía, con velocidades de viento entre 2,15 y 2,85 m/s, cuando los valores mínimos deben ser superiores a 3 m/s. En cuanto a los SNC de energía apropiados, están los solares: *Grid Connect* y *Stand Alone*, pues la zona cuenta con una radiación solar mínima de 3,5 wh/m²/día, suficiente para su instalación. Igualmente, se determinó que hogares de estratos uno y dos, tienen un consumo de energía de 4573 w/día, equivalente a 137 Kwh/mes, con esto se estableció que entre los seis meses y un año de instalación, la mejor alternativa es el SC, del año cinco al 20, es el SNC *Grid Connect*. Esto permite determinar que el sistema *Grid Connect* es una alternativa viable para la implementación en zona rural y se reafirma con el tiempo sobre los demás sistemas, con la limitante económica para la instalación inicial. Finalmente se determinó que, de contar con el apoyo de entes gubernamentales y sistemas de financiamiento, los habitantes tendrían la oportunidad de convertirse en generadores de energía y, a la vez, en agentes de cambio hacia el uso de energías no convencionales, mejorando así el desarrollo sostenible y el medio ambiente, social y humano.

Palabras Claves: Energía solar; energía eólica; energía alternativa; huella de carbono y confiabilidad.

ABSTRACT

The research is carried out with the purpose of analyzing, from the environmental and economic point of view, the potential for the use of solar and wind energy sources in the homes of the village of San Jorge - Zipaquirá. Through the characterization of the environmental parameters and the energy demand necessary for solar and wind energy sources in the village, by obtaining meteorological parameters and the application of a data collection instrument for the knowledge of the energy

demand in the homes of the study area, research that establishes wind energy is not an option for the potential use with wind speeds between 2.15 and 2.85 m / s, when the minimum values they must be superior to 3 m / s. As for the energy SNC, these are Grid Connect and *Stand Alone* (solar energy), since the area has a minimum solar radiation of 3.5 wh / m² / day that is sufficient for the implementation, it is also determined that the households are stratum 1 and 2 mostly and their energy consumption in 4573 w / day equivalent to 137 kWh / month, with this it was possible to establish the time for 6 months of installation and 1 year, the best alternative is the SC, a from year 5 to 20 the best alternative is the SNC Grid Connect. This allows to determine that the network system is connected as a viable alternative for the implementation in a rural area and reaffirms with time over the other systems, with the economic limitation for the initial installation. Finally, it was determined that if there is the support of governmental entities and systems that may have the opportunity to convert them into generators of energy and at the same time agents of change for the use of unconventional energies, thus improving sustainable development, the environment, social and human.

Key words: Solar energy; wind energy; renewable energy; carbon footprint and reliability.

INTRODUCCIÓN

En el contexto mundial, el ser humano se ha convertido en dependiente de la energía eléctrica para fabricar sus productos, generar transporte, alimento, climatizar hogares, cargar dispositivos electrónicos, entretenimiento, etc.; esto ha llevado a producir esta energía principalmente de fuentes no sustentables como la extracción y combustión de carbón, petróleo y gas, principales causantes del calentamiento global y detonadores del cambio climático. Razón por la que, en los últimos años se ven cambios importantes en los sistemas de generación energética a partir de fuentes no convencionales o energías renovables que ayuden a disminuir las emisiones de carbono al ambiente y reducir el impacto ambiental sobre el planeta. Según “*The energy report*” (WWF International, 2011), 1400 millones de personas no tienen acceso a energía confiable como derecho básico, lo que reduce drásticamente la posibilidad de obtener educación y oportunidades.

En Colombia la situación no es diferente puesto que, según informe de la Superintendencia de Servicios Públicos para el año 2011, la cobertura del servicio de energía eléctrica debe cubrir 11.722.128 de usuarios, de los cuales 11.229.000 contaban con servicio de energía eléctrica (equivalentes al 95,8%), es decir que 493.128 usuarios están ubicados en las *Zonas No Interconectadas*. Es importante indicar que algunos de los usuarios que cuentan con servicio de energía eléctrica, se encuentran ubicados en zonas rurales y se ven expuestos a una baja calidad del servicio lo que se manifiesta en bajas de tensión, picos de tensión, suspensiones, entre otros.

Como parte de la problemática, la investigación formula analizar el potencial ambiental y económico para la utilización de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá, población rural que cuenta con 450 hogares aproximadamente (Triviño, 2016), interconectada a la red de energía y que presenta problemas de confiabilidad del servicio por cortes y bajas de tensión. Para el desarrollo de la investigación se obtuvieron datos ambientales – meteorológicos de la zona de estudios, obtenidos del Ideam y SSE (Nasa Official, 2017), para conocer los requerimientos de potencia eléctrica por hogar, se diseñó un cuestionario que permitió caracterizar la demanda de energía por cada hogar, la percepción de los usuarios frente al servicio de energía eléctrica actual y la opinión frente a las energías no convencionales.

Con los datos meteorológicos, potencial de energía y percepción sobre la energía de los usuarios, se construyó una matriz de selección para determinar los sistemas más eficientes para una configuración *Grid Connect* (conectado a la red) y *Stand Alone* (autónomo). Seleccionados los

sistemas se elaboró una matriz de importancia para comparar las variables económicas, huella de carbono y grado de confiabilidad que, como resultado, genera un análisis del potencial uso para la utilización de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá. Finalmente, la calidad del suministro de energía prestado puede interferir con el desarrollo del área de estudio. Por tanto, se realizó una confrontación de los resultados de esta investigación frente a experiencias y/o investigaciones similares, de autores respecto al aporte al desarrollo social y humano de las energías solar y eólica.

JUSTIFICACIÓN.

La utilización de fuentes de energía convencional incrementa el deterioro de los recursos naturales a un ritmo acelerado para satisfacer las necesidades de la población, esto, genera un alto impacto sobre el medio ambiente y poblaciones que habitan cerca a los lugares donde se desarrollan los proyectos.

Dado que el panorama no es claro en cuanto al impacto ambiental de los sistemas convencionales contrastados con los no convencionales, se dificulta la toma de decisiones para la implementación de sistemas alternativos, puesto que no existen estudios especializados y suficientes que establezcan la viabilidad técnica y económica para la adopción de estos sistemas.

De continuar con la utilización de sistemas de energía con fuentes convencionales, como termoeléctricas e hidroeléctricas se seguirán generando impactos negativos sobre el medio ambiente como desplazamiento de fauna, alteración de los ciclos biológicos de los peces, pérdida de la disponibilidad de agua, contaminación atmosférica, cambio en las actividades culturales o tradicionales de las comunidades que habitan en las inmediaciones de donde se desarrollan estos proyectos.

Además de los impactos ya mencionados existen otros factores que afectan a las zonas rurales del país, a lo cual no es ajena la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá, que son: la inestabilidad

del servicio de energía en los hogares que cuentan con este y el limitado acceso debido a bajos ingresos económicos de los usuarios.

Teniendo en cuenta los impactos y factores mencionados anteriormente que afectan a las zonas rurales, se plantea una solución a estos problemas aprovechando la ubicación geográfica del país, tomando los datos de radiación solar y velocidad del viento, que permitirán analizar el potencial ambiental y económico para la utilización de fuentes no convencionales de energía, lo que será de gran importancia para que los hogares campesinos puedan contar con sistemas confiables, que generen energía limpia y sean económicamente viables para implementarlos, por esta razón se plantea realizar esta investigación.

A corto plazo la realización de esta investigación generará datos e información útil en la zona de estudio acerca de la incidencia de los rayos solares y de la velocidad del viento que serán de ayuda para la implementación de la energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge.

A mediano plazo permitirá la construcción de hogares que utilicen las energías solar y eólica como fuentes de energía, disminuyendo los daños al medio ambiente y a las comunidades, aumentando la confiabilidad del servicio, así como también generar un ejemplo para otras comunidades y generaciones futuras.

A largo plazo contribuirá a la disminución de gases efecto invernadero, a la independencia energética de las poblaciones y la transformación de la población que pasará de ser usuaria a generadora de energía, otorgando un ingreso más a las familias y asegurando que los hábitats actuales podrán ser disfrutados por las generaciones futuras.

Pregunta de investigación.

¿Cuál es el potencial ambiental y económico, para el uso de fuentes de energía solar y eólica en hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá?

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Analizar, el potencial ambiental y económico, para el uso de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros ambientales y la demanda de energía necesarios para el uso de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá.
- Determinar el sistema de energía solar, eólico o híbrido, para suplir la demanda promedio de energía en el área de estudio, basado en parámetros ambientales y la demanda de energía de los hogares de la vereda.
- Contrastar un sistema de energía convencional con el sistema no convencional seleccionado, teniendo en cuenta la variable económica, la huella de carbono y el grado de confiabilidad del servicio.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Desarrollo Sostenible

El año 2015 representó un momento histórico a nivel mundial, pues se definió la nueva agenda con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que deberá alcanzar la humanidad, no solo para satisfacer sus necesidades básicas, sino también para garantizar una vida digna a las generaciones presentes y futuras.

Ante problemáticas como la extrema pobreza, desigualdad, la inequidad entre géneros y una creciente degradación ambiental, la agenda contempló objetivos para un desarrollo posterior a 2015 y hasta el 2030, que reemplazaron parcialmente los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) fijados en 2000 por Naciones Unidas, mediante los ODS post-2015; aquí se resalta la importancia de comprender la dimensión ambiental del desarrollo sostenible como base para el crecimiento social y económico en el mundo.

Antes de continuar y analizar qué objetivos del desarrollo sostenible están alineados con el presente documento es preciso resaltar que los tres pilares del desarrollo sostenible son el ambiental, el social y el económico. Muchas veces se resalta un cuarto pilar que los relaciona a todos, representado por un marco de gobernanza fuerte (Barrera, Schönrock & Hernandez, 2015).

Según el Informe Brundtland (1989), *Nuestro Futuro Común*, el desarrollo sostenible es aquel que garantiza las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. En Colombia, el concepto de desarrollo sostenible se define por la ley 99 de 1993, en el artículo tercero, como:

(...) el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades. (Brundtland, 1989)

En el informe de los ODS también se señala que el desarrollo sostenible exige comenzar por distribuir los recursos de manera más equitativa en favor de quienes más lo necesitan. Esa equidad requiere del apoyo de los sistemas políticos que garanticen una participación ciudadana más

efectiva en los procesos de decisión. En últimas, el desarrollo sostenible depende de la voluntad política de cambiar. Finalmente, el Informe señala la importancia de la protección ambiental para la estabilidad social y ecológica del mundo, afirmando que esta problemática debe convertirse en una preocupación política prioritaria.

El séptimo objetivo de la agenda ODS, está alineado con esta investigación, pues pretende “asegurar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos”. Según Barrera, Schönrock y Hernández (2015), el objetivo será evaluado por indicadores propuestos para Colombia como:

- Porcentaje compartido de energía solar, eólica y geotérmica en uso energético final a nivel nacional.
- Inversión global total en energías renovables (incluyendo cambio anual).

Esta investigación es útil como herramienta para tomar decisiones que buscan asegurar acceso a las energías no convencionales en el área de estudio, alineado con el séptimo objetivo de los ODS post-2015.

2.2 La energía No convencional y el Desarrollo Sostenible

Históricamente el desarrollo económico ha estado correlacionado con el aumento de los gases efecto invernadero (GEI), y las energías no convencionales pueden ayudar a romper esa correlación, contribuyendo con el desarrollo sostenible. Por otra parte, de continuar utilizándose las fuentes convencionales de energía, se continuará con el agotamiento de recursos naturales para satisfacer la demanda de la población. Con las energías no convencionales se puede contribuir al desarrollo social, particularmente en zonas apartadas y medios rurales; conseguir acceso rápido a la energía para los 1.400 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad y para otros 1.300 millones que utilizan la biomasa tradicional; contribuir a un suministro de energía más seguro; aminorar las emisiones de GEI; y otros beneficios ambientales (IPCC, 2011).

Ejemplos de lo anteriormente dicho son: hogares de bajos recursos o aquellos ubicados en áreas rurales que hacen uso de biomasa como leña o carbón para cocinar y calentar el hogar; en otros hogares el uso de la biomasa se evidencia como alternativa económica para evitar la compra

de gas propano, puesto que al encontrarse en zonas rurales, este no tiene una red de distribución, por otro lado la falta de servicio de energía eléctrica en una zona, retarda el desarrollo social, económico e intelectual de los habitantes de un hogar. Contar con electricidad, facilita entonces a las personas el crecimiento en estos tres aspectos.

En este sentido:

... las energías no convencionales pueden contribuir a diferentes objetivos del desarrollo sostenible como lo son: 1) El desarrollo social y económico, 2) el acceso a la energía, 3) la seguridad energética y 4) la mitigación del cambio climático y la reducción de sus efectos sobre el medio ambiente y la salud. (IPCC, 2011: 119)

Observe la importancia del objetivo tres, ya que la seguridad energética es la solidez probada frente a las interrupciones repentinas del suministro de energía (IPCC, 2011), está también tienen que ver con la calidad con que el suministro de energía es prestado, pues de nada sirve no tener interrupciones si las cargas son muy bajas, las áreas rurales que cuentan con un servicio de energía a partir de fuentes convencionales de energía, en ocasiones no muestran cortes de fluido eléctrico, sin embargo si se presenta bajas tensiones; las bajas tensiones imposibilitan el uso normal de la electricidad como fuente para la generación de luz y uso de electrodomésticos como nevera, estufas eléctricas, televisor etc. Es por estas razones que la utilización de fuentes de energía no convencionales, principalmente en las zonas rurales y/o en zonas apartadas, puede significar un adelanto para los habitantes de dichos lugares representado en agua caliente, refrigeración de alimentos, luz etc., de manera constante y con niveles de tensión adecuados para el funcionamiento de los equipos. El acceso a la energía entonces, vista desde el desarrollo sostenible consistiría en poner estos servicios al alcance de grupos que actualmente no cuentan con ellos o tienen un acceso limitado (IPCC, 2011), proporcionándoles de esta manera oportunidades.

El aprovechamiento de la energía renovable también puede ser utilizado como una estrategia de desarrollo económico ya que el despliegue de tecnologías como es el caso de la solar FV crea más empleos que las inversiones en proyectos de generación con combustibles fósiles. (IPCC, 2011)

Otro aspecto importante de las energías no convencionales es que no comprometen los recursos de poblaciones futuras. Deng, Cornelissen y Klaus (2011) establecen que la energía no convencional proporciona un suministro ilimitado de energía que puede generar electricidad o

calentamiento. En la actualidad la energía solar, contribuye únicamente con el 0,02% del total de energía, pero ésta proporción está creciendo rápidamente. En un buen escenario los suministros de energía solar podrían suplir el 50% del total de la electricidad, el 50% de la calefacción de un edificio y el 15% en la industria, y como combustible para el 2050. Se estima que si se construyera una planta en el 0,3% del desierto del Sahara ésta sería capaz de proveer energía a toda Europa.

Para el caso de Colombia el “Plan Energético Nacional Colombia: Ideario energético 2050”, no es claro en cuanto al futuro de las energías no convencionales en el país, sin embargo, afirma que la actividad económica año a año es impactada fuertemente por la tendencia a invertir en tecnologías renovables dadas las metas de reducción de impacto ambiental y los apoyos gubernamentales (Upme, 2015). Por medio de la expedición de la ley 1715 de 2014, el gobierno de Colombia busca regular la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, esta ley tiene como finalidad:

Establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena) mediante la Ley 1665 de 2013. (Upme, 2015)

En cuanto a la energía eólica, que también es otro recurso renovable, Deng, Cornelissen y Klaus (2011), estiman que la energía generada por el viento actualmente suple cerca del 2% de la demanda energética global, con capacidad de duplicarse en los próximos cuatro años.

La producción de GEI en las energías no convencionales, son bastante menores que las ocasionadas por los combustibles fósiles; los valores medianos para el conjunto de las energías renovables están situados entre 4 y 46 g de CO₂eq/kWh, mientras que los combustibles de origen fósil están comprendidos entre 469 y 1.001 g de CO₂eq/kWh. Esto no solo tiene beneficios en la reducción de la contaminación atmosférica, también disminuye problemas de salud, reduce la presión sobre el recurso agua, la biodiversidad, riesgos de desastres como los que se asumen en las

hidroeléctricas y desplazamiento de comunidades o cambios en su hábitos y tradiciones (IPCC, 2011).

Para conseguir unas metas ambiciosas de protección del clima no bastan las mejoras de eficiencia energética, sino que hace falta utilizar además tecnologías de emisiones de carbono bajas o nulas. La aportación de las energías renovables a esa cartera de tecnologías dependerá, en gran medida, de la competencia económica entre ellas, de la carga comparativa que representen para el medio ambiente. (IPCC, 2011: 37)

Lo anterior permite inferir que, si no existe voluntad política y directrices que obliguen a eliminar las fuentes convencionales de energía, no se tendrán cambios significativos. Otro aspecto a tener en cuenta es que se requieren desarrollos tecnológicos que permitan que las fuentes no convencionales sean más económicas. Para el proyecto se estima que, si el análisis económico es positivo para las energías no convencionales, se podría esperar un crecimiento económico de la población, pues históricamente se ha encontrado una relación directa entre el ingreso per cápita y el consumo de energía.

2.3 Información Climatológica

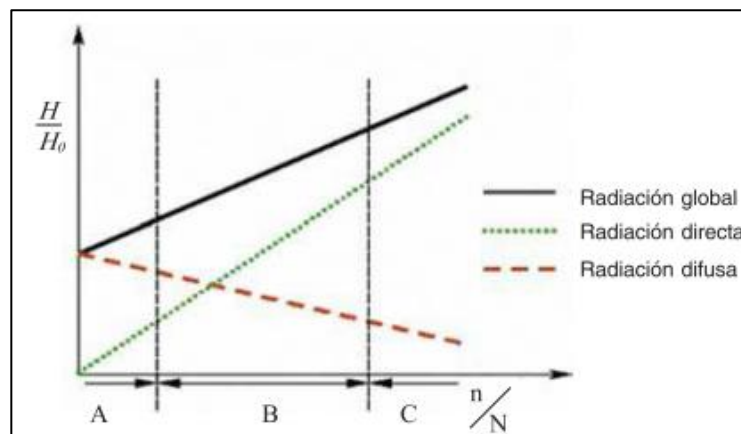
Método Angstrom-Prescott.

El instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales Ideam, generó entre 2005 y 2015 el *Atlas Nacional de Radiación Solar y del Viento*, en el caso de la radiación solar, el Ideam tomó como base para la actualización de los mapas los datos obtenidos de 110 piranómetros, tres espectrorradiómetros y 40 actinómetros para realizar la modelación de los mapas del atlas, dicha modelación muestra los promedios mensuales de radiación solar global horizontal a partir de brillo solar usando el método de modelación de Ångström-Prescott

(...) el cual es muy citado en trabajos similares a nivel internacional cuya correlación se fundamenta en la relación de las radiaciones solares, la calculada en el límite superior de la atmosfera (H_0) y la medida en superficie terrestre (H), expresadas en (Wh/m^2); las horas de brillo solar medidas en superficie (n) y la duración astronómica del día solar (N) medidos en horas, cuya igualdad matemática es: $H/H_0 = (a + b(n/N))$. (Ideam, 2014: 4)

Los valores de H_0 y N se calculan de acuerdo con la posición geográfica del lugar, la declinación solar y el ángulo horario para la salida del sol. El coeficiente H/H_0 expresa una relación de radiación difusa recibida sobre la superficie en condiciones nubladas o cubiertas del cielo, también llamado índice de claridad K_t y n/N es el coeficiente que representa la fracción de brillo solar. En la grafica 1, se pueden observar las dos componentes de la radiación solar global y como, cuando el brillo solar n/N disminuye, la componente de radiación directa disminuye y la difusa aumenta, esto debido a componentes atmosféricos, por otro lado, en un día despejado donde el brillo solar aumenta la componente directa aumenta y la difusa disminuye. En otras palabras, en un día claro la radiación global tiende a ser la componente directa, mientras que en un día nublado la radiación global tiende a ser la componente difusa.

Gráfica 1. Componente de radiación global, directa y difusa, del modelo Angstrom.



Fuente: Upme; Ideam; Ministerio de Minas y Energía, 2005.

La zona A corresponde a días nublados; la B corresponde a días normales donde la radiación global posee tanto radiación directa como difusa, y la C corresponde a días despejados donde la mayor parte de la radiación global es debida a la radiación solar directa” (Upme; Ideam; Ministerio de Minas y Energía, 2005: 161).

Instrumentos de recolección de datos.

Los instrumentos de recolección de datos, son herramientas que permiten la obtención de información de tipo cuantitativo o cualitativo a partir de su aplicación en las zonas de estudio, dentro de dichos instrumentos se encuentra el cuestionario que consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables (Sampieri, Collado & Lucio, 2014).

Los cuestionarios pueden estar conformados por diferentes tipos de preguntas como: cerradas, abiertas, dentro de las primeras se establecen una serie de posibles respuestas a las cuales el encuestado deberá ceñirse, estas podrán ser de tipo dicotómico, es decir con dos posibilidades de respuesta o con varias, también se pueden presentar preguntas con varias posibilidades de respuesta y con opción de seleccionar más de una respuesta.

Las preguntas abiertas no delimitan las alternativas por lo cual el número de respuestas es muy amplio y son particularmente útiles cuando no se tiene información sobre las posibles respuestas de los encuestados, es por esto que las preguntas abiertas requieren de mayor preparación y tiempo (Sampieri, Collado & Lucio, 2014).

La elección de si en un cuestionario se deben hacer preguntas de tipo abiertas o cerradas radica básicamente en el grado en que se puedan anticipar las posibles respuestas, los tiempos de que se disponga para codificar y si se quiere una respuesta más precisa o profundizar en alguna cuestión (Sampieri, Collado & Lucio, 2014).

Las respuestas de un cuestionario pueden ser codificadas, es decir se les puede numerar, lo cual permitirá al investigador codificar las respuestas de una manera más sencilla, por otro lado las preguntas deben tener unas características que permitan que la respuesta sea dada de la manera más adecuada dentro de estas encontramos:

1. Que sean claras, precisas y comprensibles.
2. Deben ser breves.
3. Deben ser formuladas con vocabulario familiar a las personas encuestadas.
4. Tienen que ser sutiles sin que ellas puedan incomodar o agredir al encuestado.
5. Deberán estar dirigidas a un solo aspecto o relación lógica.
6. Evitar la negación sobre el asunto que se pregunta.

2.4 Huella de Carbono e Impacto Ambiental

La huella de carbono representa la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Pandey, Agrawal & Pandey, 2010), y es considerada una de las herramientas más importantes para cuantificar las emisiones de GEI y valorar el impacto de una actividad sobre el medio ambiente, al

ser una herramienta tan flexible se puede estimar la huella de carbono generada por las fuentes de energía convencional (FEC) y las fuentes de energía no convencional (FENC), para así, sobre una misma base de medición comparar el impacto ambiental entre los tipos de generación de energía.

La huella de carbono se mide en CO₂ eq (Dióxido de Carbono equivalente), que se define como la “Unidad para comparar la fuerza de radiación de un GEI con el dióxido de carbono” (Incontec, 2006), la norma técnica colombiana, NTC ISO 14064-2, es usada en Colombia para el cálculo de la huella de carbono y el *Green House Gas Protocole* (GHG), en este proyecto se estimó para cada uno de los sistemas (FEC – FENC) la huella de carbono siguiendo la metodología NTC ISO 14064-2. La metodología permite calcular el CO₂ eq, basado en factores de emisión previamente calculados por autoridades e instituciones que permiten estimar de manera muy cercana la huella de carbono, no es del alcance de este proyecto realizar mediciones.

2.5 Energías convencionales

Se denomina así a todas las energías que son de uso frecuente en el mundo o que son las fuentes más comunes para producir energía eléctrica. En este caso, algunas veces se utiliza como agente de locomoción la fuerza del agua, como medio de producir energía mecánica, a través del movimiento de una rueda con cucharas y alabes, que canalizan el poder natural de las aguas y cuyos dispositivos se denominan turbinas. El agua utilizada para este fin pertenece al medio ambiente natural en que vivimos y por su fertilidad pertenece a la clase renovable. En otras ocasiones, se utiliza la combustión del carbón, el petróleo o el gas natural, cuyo origen son los elementos fósiles, que les sirve como combustible para calentar el agua y convertirlo en vapor. (Milla, 2002, p.78)

En Colombia, las fuentes de energía se clasifican de acuerdo con la ley 1715 de 2014, que establece que las fuentes de energía convencional “son aquellos recursos de energía que son utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país” (Ley 1715, 2014). Para mayor claridad de este concepto la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (Acolgen), diseñó el siguiente cuadro (Ver Tabla 1):

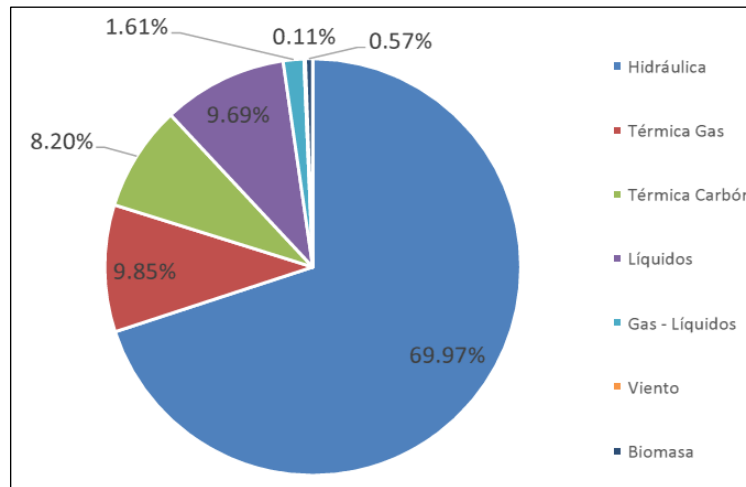
Tabla 1. Fuentes de energía eléctrica en Colombia.

FUENTES PARA GENERAR ENERGÍA			
Convencionales		No convencionales	
ENERGÍA	FUENTE	ENERGÍA	FUENTE
Térmica	Carbón	Biomasa	Materia Orgánica
Térmica	Gas natural	Mareomotriz	Fenómenos naturales marinos como la marea
Térmica	Combustibles líquidos	Hidroeléctrica pequeña	Cuerpos de agua a pequeña escala
Hidroeléctrica	Agua represada	Eólica	Movimiento de las masa de aire
	A filo de agua	Geotérmica	Calor del subsuelo terrestre
		Solar	Sol
		Cinética	El ser humano

Fuente: (Acolgen, 2016)

Según el informe de variables de generación del mercado eléctrico colombiano, a diciembre de 2015, emitido por la Unidad de Planeación Minero-Energética (Upme), la participación por tecnologías en la matriz eléctrica se representa en la Gráfica 2:

Gráfica 2. Participación de tecnologías en la matriz eléctrica.



Fuente: Upme, 2015.

De lo anterior, se establece que el porcentaje de participación de las Fuentes de Energía Convencional (FENC) en Colombia en la actualidad es bajo, pues tan solo contribuye en poco menos de un 2% de la generación total en el país.

2.6 Energías No Convencionales

Laley 1715 de 2014, en su Artículo 5 define las energías no convencionales renovables como:

Aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la Upme. (Ley 1715, 2014)

Como lo menciona la ley 1715 de 2014, las FNCER no son empleadas ni comercializadas ampliamente, por lo que según el *Plan de Desarrollo para las Fuentes no Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE)* la potencialidad de las energías solar, eólica, PCH's (pequeñas centrales hidroeléctricas) y biomasa es extraordinaria según la localidad de aplicación. Este mismo plan establece que las dos primeras

(...) tienen complementariedad con la energía hidroeléctrica y pueden aportar firmeza, tal como se ha demostrado en reciente estudio del Banco Mundial para la generación eólica en el SIN (Sistema interconectado Nacional). Ello implica un interesante potencial para diversificar las fuentes de generación reduciendo la vulnerabilidad frente al Cambio Climático manteniendo una baja huella de carbono. (Consortio Energetico Corpoema, 2010: 5)

De acuerdo con lo anterior, es necesario conocer en qué consisten y cómo funcionan estos dos tipos de fuentes de energía (Solar y eólica), su aplicación y potencialidad de dichas fuentes en Colombia.

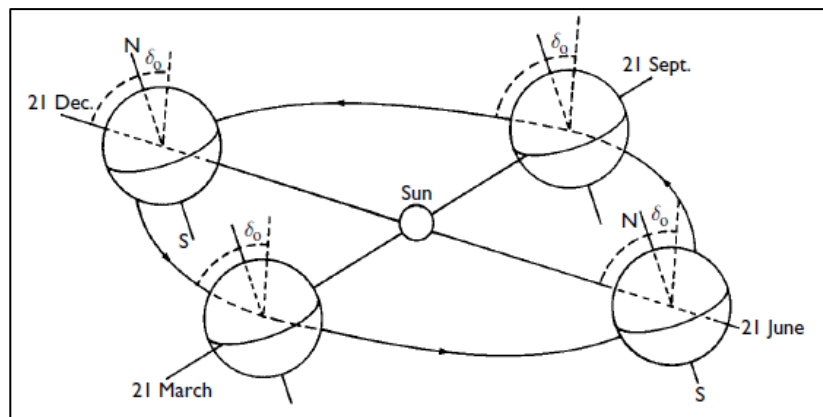
2.6.1 Energía Solar

Está definida por la Ley 1715 de 2014, numeral 13, artículo 5 como: "Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en la radiación electromagnética proveniente del sol." En ese sentido en un diseño o selección de un sistema de producción de energía a partir del sol la principal duda radica en la predicción de la radiación solar disponible en una ubicación geográfica específica (Dunn, *The solar resource*, 2013), por ello se hace necesario conocer algunas características del sol y de su relación con la tierra.

Relación del sol y la tierra.

La órbita de la tierra alrededor del sol tiene una forma elíptica esto hace que en ciertos puntos de dicha órbita la tierra se encuentre más cerca del sol y en otros más lejos de este; 147'500.000 km en el perihelio y 152'500.000 km en el afelio estas distancias, según Dunn, The solar resource (2013) muestran un aumento en la variación de 6% en la radiación recibida por la tierra (Ver Figura 1).

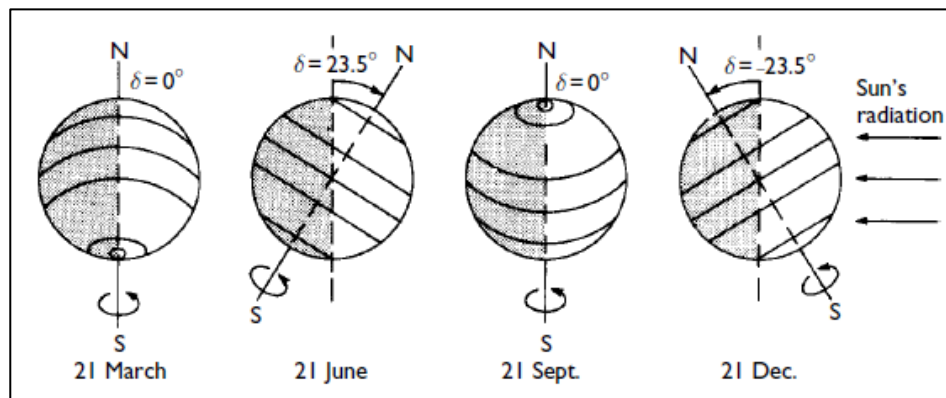
Figura 1. Órbita de la tierra alrededor del sol.



Fuente. Twidell & Weir, 2006.

El 21 de junio es el día más largo en el hemisferio norte y se denomina solsticio de verano. El 21 de diciembre ocurre el solsticio de invierno y en esta fecha el día es más corto en el hemisferio norte, mientras que en los meses de marzo y septiembre en el día 21 los días son exactamente iguales y se denomina equinoccio (Ver Figura 2).

Figura 2. Incidencia de radiación solar en la tierra.



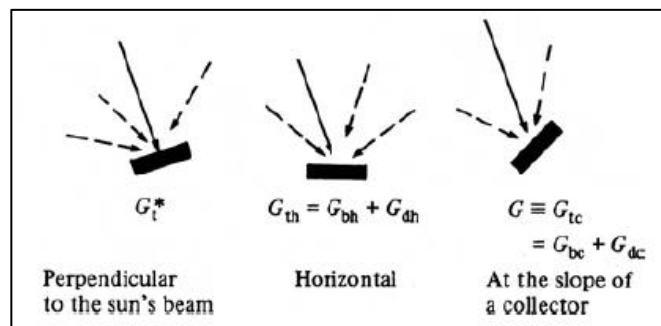
Fuente: Twidell & Weir, 2006.

Radiación Solar.

La radiación solar cuenta con unas componentes que pueden ser observadas como: rayos de sol que llegan en línea recta a los límites exteriores de la atmosfera terrestre o como rayos que inciden sobre nubes y otros objetos tomando otras direcciones; la primera es denominada radiación extraterrestre y la segunda se denomina radiación difusa. La radiación total medida en cualquier plano será la suma del haz y de las componentes de la radiación difusa (Ver Figura 3, además de tener en cuenta las siguientes ecuaciones).

$$\text{Ecuación 1: } G_T = G_b + G_d(1)$$

Figura 3. Incidencia de la radiación solar en un plano.



Fuente: Twidell & Weir, 2006.

El valor de la radiación extraterrestre normal del haz, a la distancia media del sol o que es lo mismo a la unidad astronómica AU, con la tierra fue denominado constante solar por la WMO (Organización Meteorológica Mundial) por sus siglas en ingles.

$$\text{Ecuación 2: } I_o = 1353 \text{ W/m}^2(2)$$

Las radiaciones extraterrestres tienen una variación debido a la excentricidad de la tierra y a la cercanía de esta al sol durante el perihelio. La máxima variación es de $\pm 3.34\%$ pero puede haber variaciones de hasta el 1% causados por la actividad solar y con el ciclo de las manchas de sol (Dunn, The solar resource, 2013). La radiación extraterrestre se encuentra distribuida en un amplio espectro de longitudes de onda y está dividida en tres regiones, como se observa en la Tabla 2:

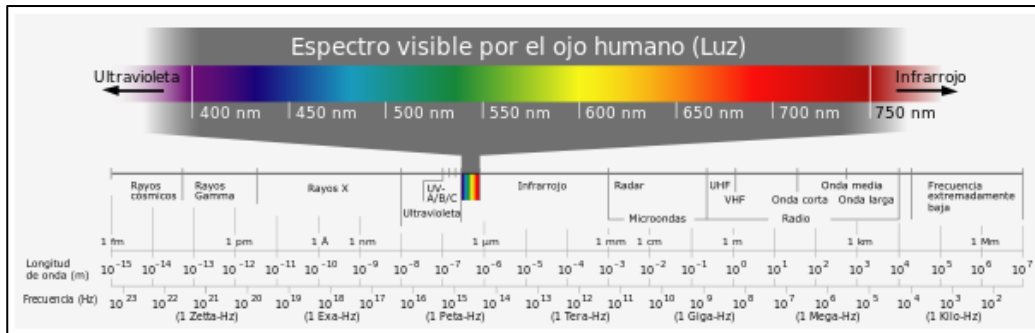
Tabla 2. Regiones del espectro solar.

Región	Radiación	Rango	% Radiación
I	Ultra-violeta	290nm< λ <400nm	~5%
II	Luz visible	400nm< λ <700nm	43%
III	Infra-rojo	700nm< λ <2600nm	52%

Fuente: Twidell & Weir, 2006.

El rango de radiación solar de la Región II, es aquel utilizado a la hora de trabajar con sistemas de energías solar fotovoltaica, dentro de este rango se encuentra el valor de sensibilidad máxima espectral del ojo humano en condiciones de luz del día que ocurre a una longitud de onda de 555nm (Ver Figura 4).

Figura 4. Espectro visible por el ojo humano.



Fuente: Horst (s.f)

Hay una relación entre la longitud de onda λ , la frecuencia f y la energía e (medida en electronvoltios eV) de la radiación solar (Dunn, The solar resource, 2013).

$$\text{Ecuación 3. } c = \lambda f(3)$$

Teniendo en cuenta que c es la velocidad de la luz y actúa como una constante entonces la frecuencia de la radiación solar a una longitud de onda de 555nm es:

$$\text{Ecuación 4. } f = \frac{299\,762\,458}{555 \times 10^9} = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}(4).$$

La energía en eV está dada por la Ecuación 5:

$$\text{Ecuación 5: } E = hf(5).$$

Donde h es la constante de Planck entonces la energía de la luz con longitud de onda de 555nm es:

$$\text{Ecuación 6: } E = 4.13566733 \times 10^{-15} * 540 \times 10^{12} = 2.23eV(6).$$

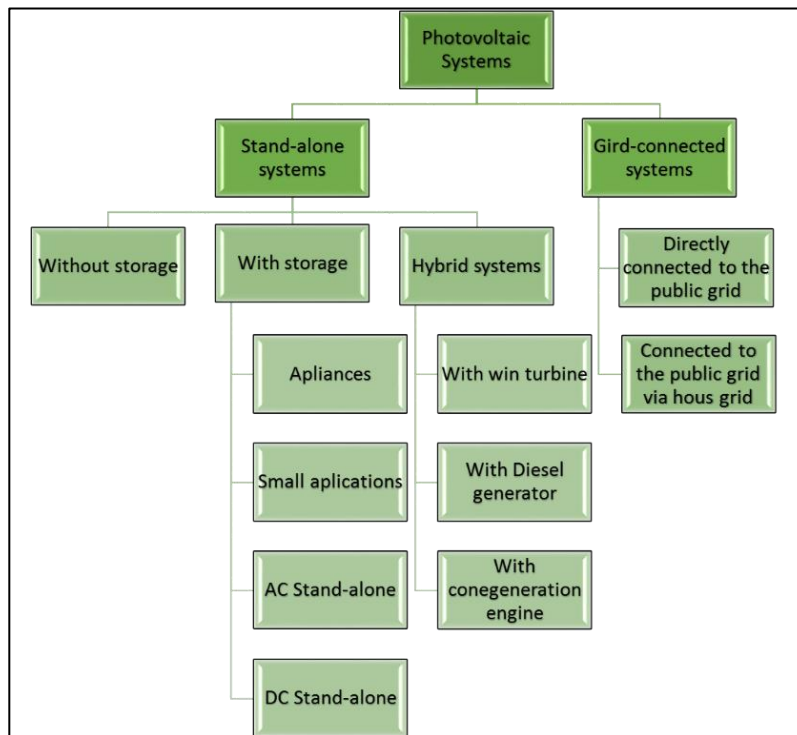
El resultado de la ecuación seis es importante, ya que los paneles fotovoltaicos solo responden a ciertas bandas de energía en radiación solar.

El aprovechamiento de la radiación solar se puede realizar a partir de múltiples tecnologías conocidas en la actualidad una de las más comunes es la energía solar a partir de la utilización de “celdas solares” o “celdas fotovoltaicas” (Twidell & Weir, 2006). Estos dispositivos producen

electricidad directamente especialmente de la radiación electromagnética de la luz, sin el movimiento de ninguna parte.

La energía Solar Fotovoltaica es una tecnología que genera corriente continua por medio de semiconductores cuando estos son iluminados por un haz de fotones (Montes, et. al, 2002); este tipo de sistema es uno de los más usados para generar energía a pequeña escala como es el caso de los hogares, aunque también se le puede ver a gran escala. De este modo “los sistemas fotovoltaicos se encuentran clasificados según los requerimientos de potencia que se requieran ya que pueden ser usados para alimentar desde pequeños dispositivos a un sistema eléctrico más grade” (Salam, et. al, 2014). Ver Figura 5 para conocer esta clasificación.

Figura 5. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.



Fuente: Salam et. al., 2014

Existen dos sistemas que son el *Stand Alone systems* que se refiere a sistemas que no están conectados a la red eléctrica y los *Grid Connected systems* que, como su nombre lo indica, son sistemas conectados a la red eléctrica, y que describimos a continuación.

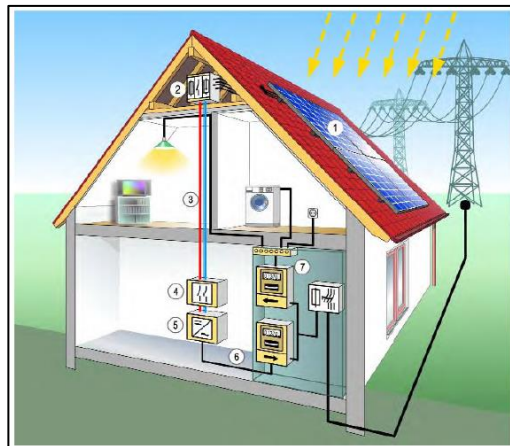
Sistemas Stand Alone.

Este tipo de sistemas son utilizados en zonas remotas donde no existe la posibilidad de estar conectado a la red de distribución nacional o en aplicaciones pequeñas como casas apartadas, iluminación, radios y telecomunicaciones. Estos sistemas, generalmente requieren de un sistema de almacenamiento, ya que la energía generada no es usada en la misma proporción en la que se genera por tal razón este tipo de sistemas necesita una serie de componentes que hace que tengan una vida útil más larga dentro de estos componentes se encuentran: módulos fotovoltaicos o celdas, reguladores de carga, baterías o bancos de baterías, cargadores e inversores (The German Energy Society, 2008).

Sistemas Grid Connected.

Los sistemas conectados a la red eléctrica son comúnmente utilizados en casas, bloques de apartamentos e industrias, este sistema es inteligente, suple de energía al sitio cuando es necesario y cuando hay energía en exceso es enviada a la red de interconexión (Salam, *et. al.*, 2014).

Figura 6. Principio de una conexión *grid-connection*.



Fuente: The German Energy Society, 2008.

Componentes de un sistema solar fotovoltaico.

Un sistema solar fotovoltaico está compuesto por los siguientes componentes: sistema de celdas solares o fotovoltaicas, convertidor o inversor electrónico, controlador; en el caso de los sistemas *stand-alone*, tendrá además un sistema de baterías.

Celda Fotovoltaica.

“Las celdas fotovoltaicas (PV) son tecnología que convierte luz del sol directa en electricidad. *Foto* significa luz, *voltaico* electricidad. Una celda fotovoltaica conocida como celda solar, es un dispositivo que genera electricidad cuando la luz cae sobre él” (Mah, 1998, p.2).

Estas celdas están fabricadas principalmente de silicio, (Dunn, Photovoltaics, 2013) menciona que es un material usado en 80% de todas las instalaciones en el mundo.

Para entender su funcionamiento se debe considerar la celda como un gran diodo semiconductor con dos electrodos P y N (Salam, *et. al.*, 2014), una parte de la celda estará expuesta al luz y la otra no lo estará (Ver Figura 7), cada uno de los electrodos está conformado por átomos de silicio.

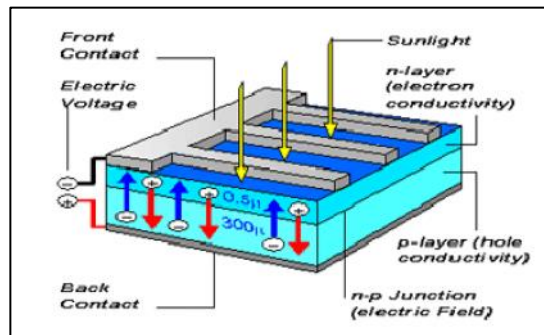
La orbita externa de los átomos es conocida como la órbita de valencia y esta determina las propiedades químicas del elemento y la forma en la que se combina con otros átomos, si la capa de valencia está llena, el elemento será inerte, si no lo está, entonces se puede combinar con otros átomos compartiendo electrones. (Dunn, Photovoltaics, 2013)

Partiendo de lo dicho antes, los átomos de silicio no tienen completamente llena su órbita de valencia, por lo que pueden ser combinados con otros átomos; la adición de átomos de otros elementos a la celda se llama “dopaje” y consiste en adicionar pequeñas cantidades de otro elemento en la estructura cristalina del silicio (Dunn, Photovoltaics, 2013).

Entonces en una celda solar se adiciona fósforo en la zona iluminada ya que los átomos de este elemento cuentan con un electrón más que el silicio, formando un material semiconductor tipo **n**. El lado que no está expuesto a la luz solar será adicionado con boro que es un elemento cuya orbita de valencia tan solo cuenta con tres electrones y de esta manera se crea un semiconductor tipo **p**, pues la adición de boro crea un enlace roto con libertad para moverse.

Al unir los semiconductores se origina una unión tipo **p-n** que es como están conformadas las celdas solares, al exponer la capa “**n**” a la luz solar se genera una adición de fotones en los átomos, la energía generada por los fotones es tan alta que los electrones del silicio saltan hacia la el semiconductor **p** buscando llenar los espacios faltantes en este el semiconductor.

Figura 7. Estructura de una celda solar.



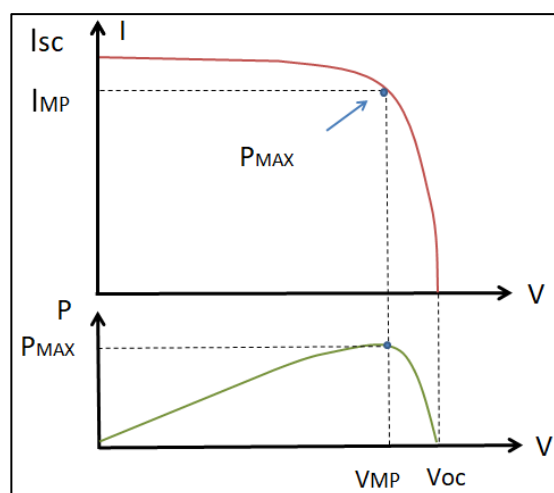
Fuente: Salam, et. al, 2014.

Características de una celda solar fotovoltaica.

Las celdas fotovoltaicas tienen tres parámetros importantes los cuales se deben dar a conocer por sus fabricantes además de suministrar una curva eficiencia vs voltaje, estos tres parámetros son: voltaje de circuito abierto, corriente de corto circuito y punto de máxima potencia (Salam, et. al., 2014). La corriente de corto circuito (I_{sc}) es la máxima corriente que se puede extraer de una celda solar. El voltaje de circuito abierto (V_{oc}) es la tensión en los terminales de conexión cuando no hay ninguna carga conectada al panel. La potencia máxima (P_{max}) Es el producto de la corriente y el voltaje máximo, la potencia máxima está dada por la Ecuación 7:

$$\text{Ecuación 7: } P_{max} = I_{max} * V_{max}$$

Gráfica 3. Curva I-V

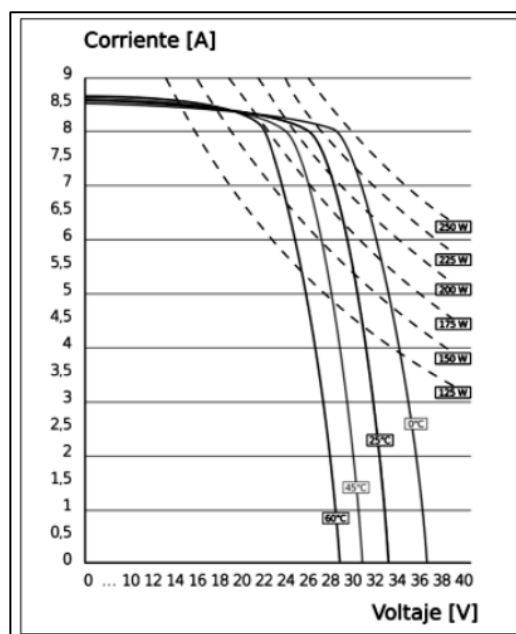


Fuente: Dunn, Photovoltaics, 2013

Dependencia de la temperatura.

Los valores de corto circuito y voltaje dependen de la temperatura del módulo haciendo que la potencia también dependa de esta (Dunn, Photovoltaics, 2013). Los fabricantes generalmente dan los coeficientes de temperatura a tener en cuenta a la hora de instalar un panel, estos datos dan una idea de las variaciones que puede sufrir la potencia, la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto a medida que la temperatura del módulo aumenta (Ver Gráfica 4).

Gráfica 4. Variación de la potencia, corriente y voltaje por acción de la temperatura.



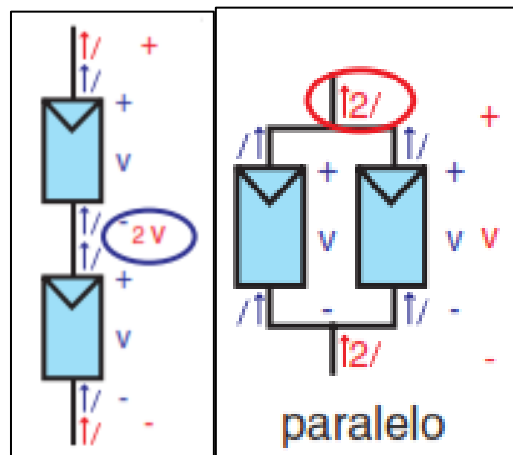
Fuente: Ortiz, 2013

Formas de conexión de celdas fotovoltaicas.

Los módulos o celdas fotovoltaicas se pueden conectar de dos formas, en serie o en paralelo esto permite utilizarlos para muchas aplicaciones.

En el conexionado en serie todos los módulos tienen la misma corriente a través del circuito mientras que el voltaje será la suma de cada uno de los voltajes de cada módulo conectado en el circuito; en el caso de la conexión en paralelo la corriente total será la suma de las corrientes de cada módulo y el voltaje total será igual al valor del voltaje de un módulo. (Dunn, Photovoltaics, 2013: 13)

Figura 8. Conexión en serie y paralelo.



Fuente: Diaz y Carmona, 2010.

Entonces si lo que se necesita es aumentar el voltaje se conectarán los paneles en serie mientras que si lo que se requiere es aumentar la corriente entonces se deberán conectar los paneles en paralelo.

Regulador o controlador de carga.

Tienen como misión evitar situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil (Diaz & Carmona, 2010, p.13) Estas situaciones se presentan ya que los voltajes entregados por los módulos solares son mayores que los de la batería. Cuando la batería se encuentra descargada la tensión o voltaje del panel se acopla con el de la batería, así se inicia el proceso de carga de estas, una vez las baterías se encuentran totalmente cargadas el regulador desconecta el panel solar de las baterías (Monera, 2015), para realizar esta función existen dos tipos de reguladores que son: los PWM (Pulse Width Modulation) y los MPPT (Maximum Power Point Tracking). Los dispositivos PWM, son dispositivos sencillos que obligan a los paneles a funcionar a la tensión de las baterías, por ejemplo, si se tienen una batería de 12V el panel funcionara a esta tensión y al cargar la batería el regulador impedirá el paso de corriente hacia las baterías, esto hace que se desperdicie la energía que sigue generando el panel luego de que las baterías se encuentran cargadas.

Por otro lado, los dispositivos MPPT son controladores que aprovechan la máxima potencia que este entregando el panel, estos dispositivos toman el voltaje de salida del panel y a la vez

detectan el voltaje que las baterías necesitan, cuando esto sucede el controlador envía la mejor tensión y corriente para cargar las baterías (American Solar Energy Society, 2016).

Dentro de los reguladores de voltaje se encuentran dispositivos llamados convertidores de corriente DC/DC, estos tienen como función adaptar la corriente que se utiliza a la demanda de corriente continua de un aparato específico. Dentro de los convertidores de corriente se pueden encontrar diferentes tipos: convertidor de corriente reductor, elevador y el elevador-reductor.

Acumuladores o baterías.

Según los autores Díaz y Carmona (2010): “La función de los acumuladores o baterías es la de almacenar energía durante determinado número de días, proporcionar una potencia instantánea elevada y fijar la tensión de trabajo de la instalación”, (p.21). Para la selección de una batería hay que conocer varios parámetros importantes, dentro de estos encontramos: capacidad, eficiencia de carga, auto descarga y profundidad de descarga. La capacidad de descarga se define como: “cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo” (Díaz & Carmona, 2010, p.21), la unidad de medida de la capacidad es Amperios hora (Ah) y se calcula mediante la Ecuación 8:

$$\text{Ecuación 8: } C = t * I$$

Aquí C es la capacidad de la batería, t el tiempo de actuación de la batería e I es la intensidad de descarga del acumulador. La eficiencia de almacenamiento está definida como la relación entre la energía de salida de la batería con la energía de entrada a esta, se espera que el valor resultante de esta relación este lo más próximo posible al 100% lo que indicaría que toda la energía de entrada podría ser usada en la instalación (Díaz & Carmona, 2010, p.21); la eficiencia está dada por la Ecuación 9:

$$\text{Ecuación 9: } n = \frac{E_e}{E_s} \times 100$$

Por otro lado, se encuentran los parámetros de auto descarga y profundidad de descarga, el primero es el proceso donde la batería tiende a descargarse sin estar en uso y el segundo se refiere a la cantidad de energía obtenida de una batería durante una descarga.

A continuación, se pueden ver algunos tipos de baterías utilizadas en los sistemas solares fotovoltaicos (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Tipo de baterías usadas en sistemas PV.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares. 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> • Precio. • Disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito. 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclados profundos y prolongados. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I. 	

Fuente: Diaz y Carmona, 2010.

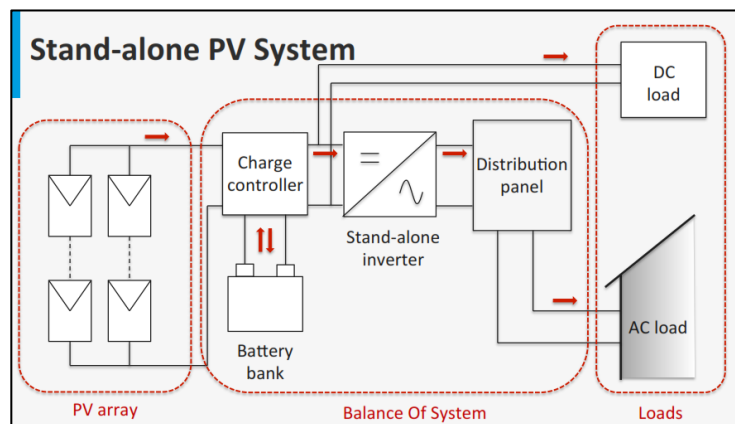
Convertidor o inversor.

Como último componente del sistema solar fotovoltaico se encuentra el convertidor o inversor que se encarga de transformar de corriente directa DC que es la entregada por el panel fotovoltaico a corriente alterna AC que es con la que funcionan la mayoría de equipos en un hogar.

Cálculo de un sistema solar.

Luego de conocer los diferentes componentes de un sistema solar fotovoltaico es importante calcular cada uno de ellos con el objetivo de seleccionar el equipo apropiado según el uso que se le vaya a dar a este. Un sistema solar fotovoltaico autónomo o *stand-alone* está compuesto por tres partes (Ver Figura 9).

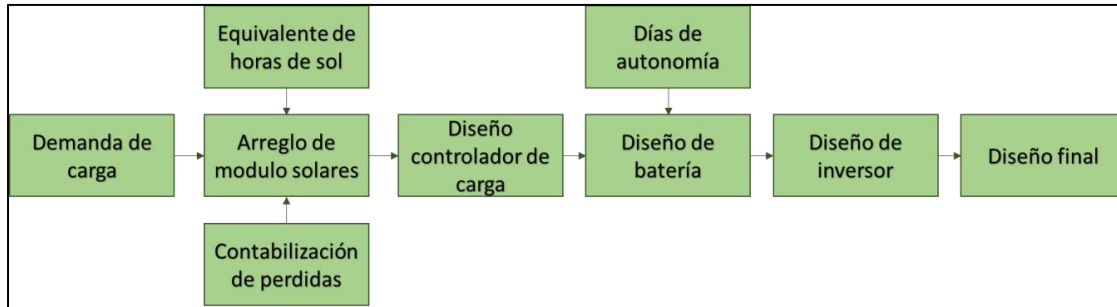
Figura 9. Sistema solar *stand-alone*.



Fuente: Smets y Narayan, 2014.

Como se puede ver las tres partes son: El arreglo de módulos solares, sistema de balance (BOS) por sus siglas en inglés y por último la carga. Establecidas las tres partes, se debe seguir el procedimiento para calcular el sistema (Ver Figura 10).

Figura 10. Esquema de procedimiento para calcular el sistema.



Fuente: Smets y Narayan, 2014.

Demanda de carga y días de autonomía.

Lo primero que se debe establecer para calcular el sistema, es la demanda de carga, esta demanda consiste en conocer la energía total consumida por el hogar donde se instalara el sistema para esto es necesario conocer los datos listados a continuación:

- Ítems o aparatos en el hogar (Bombillos, televisores, neveras, etc.).
- Cantidad presente de cada uno de los aparatos en el hogar.
- Potencia de cada uno de los ítems.
- Potencia total por tipo de ítem.
- Tiempo de uso de los ítems.
- Energía total.

Los seis puntos anteriormente mencionados definirán la demanda de carga al sumar la potencia total de cada ítem, dicha potencia se expresará en wh/día, luego de esto se determinarán los días de autonomía, que significa el número de días que el sistema puede funcionar antes de que las baterías se agoten.

Contabilización de las pérdidas.

Durante esta etapa es necesario calcular las pérdidas para esto se deben sumar las eficiencias de las baterías e inversores seleccionados o asumir una eficiencia, dicha eficiencia se utiliza para

conocer la potencia que se necesita en las celdas para hacer funcionar los equipos instalados, esta potencia se calcula bajo la Ecuación 10:

$$\text{Ecuación 10: } P = \frac{\text{Carga AC} + \frac{\text{Carga Dc}}{n_{\text{inversor}}}}{n_{\text{cables}} + n_{\text{Controlador}} + n_{\text{Bateria}}}$$

Conociendo la potencia requerida para suplir al hogar es necesario conocer las horas de sol equivalente en la zona donde se encuentra la casa.

Horas de sol equivalente.

Las horas de sol equivalente se estiman de acuerdo con los datos arrojados por la estación meteorológica cercana a la zona de estudio, este valor será necesario para conocer la potencia mínima requerida por el sistema y para calcular el número de paneles necesarios así:

$$\text{Ecuación 11: } P_{\text{min}} = \frac{P}{\text{Equivalente h/sol}}$$

Al conocer la potencia mínima requerida se pueden calcular el número de paneles a través de la Ecuación 12:

$$\text{Ecuación 12: } \text{No paneles} = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{panel}}}$$

El número de paneles resulta de la relación entre la potencia mínima y la potencia nominal de los paneles, esta potencia se obtiene de los valores de potencia comerciales bajo los cuales están fabricados los paneles.

2.6.2 Energía Eólica

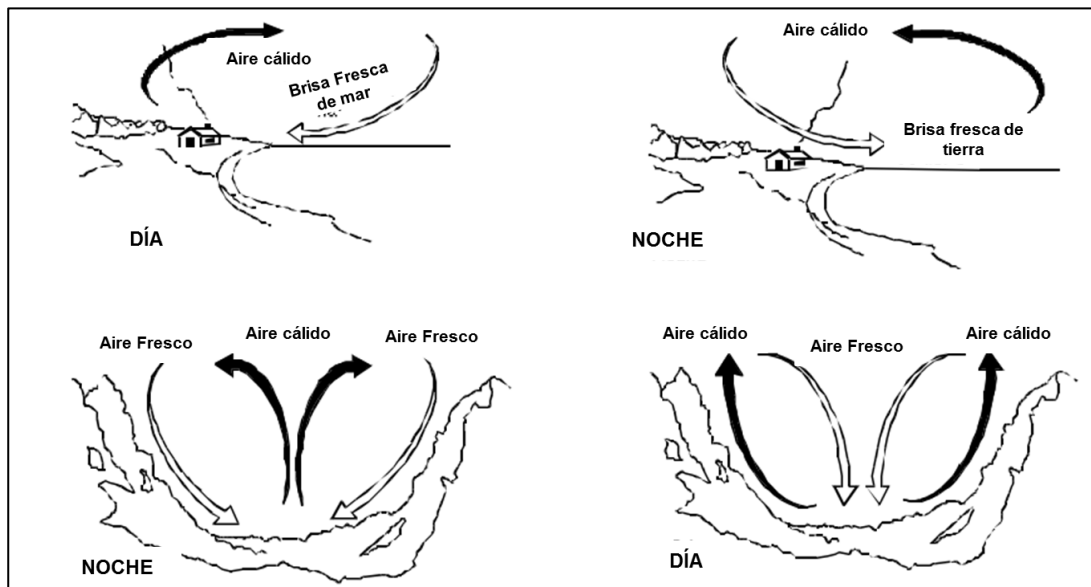
Principios de la energía eólica.

Se podría decir que la energía eólica es un producto de la energía solar, que se produce por fenómenos físicos cuando la radiación solar ingresa a la superficie terrestre y ésta a su vez calienta el aire circundante, el cual empieza a moverse a una velocidad X por diferencia de densidades con aire más frío; en general el aire caliente se eleva hacia la atmósfera y permite el ingreso de aire más frío proveniente de los polos y una vez en la atmósfera se desplaza hacia los polos, a este movimiento del aire se le suma la rotación de la tierra que genera unos patrones específicos y en una dirección determinada. A lo largo del año estos patrones cambian, pues como se vio, los

ángulos de incidencia de la radiación solar, la posición de la tierra respecto al sol y la inclinación de la misma, hacen que la radiación solar genere efectos particulares sobre el clima.

La geografía y la localización de las áreas también juegan un papel importante en el comportamiento de los vientos, tal es el caso de las costas donde durante el día el viento se dirige del mar hacia la costa y en las noches se revierte el proceso. Un fenómeno similar sucede en zonas montañosas donde las brisas de montaña y de valle son originadas por el calentamiento del aire en contacto con las laderas, generándose corrientes ascendentes durante las horas de sol y descendentes durante la noche como se puede apreciar en la Figura 11 (Rapllini & Moragues, 2003).

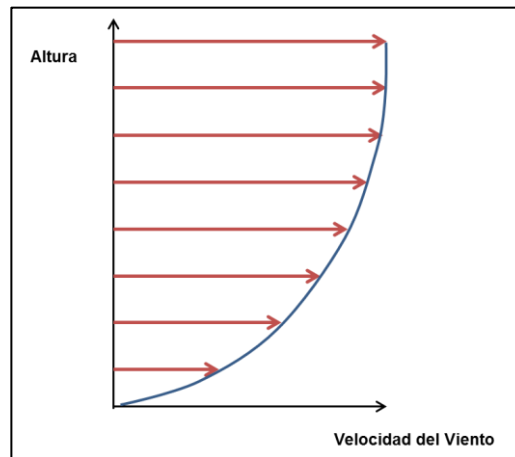
Figura 11. Vientos locales



Fuente: (Rapllini y Moragues).

El viento también es afectado por la orografía del terreno y varía de acuerdo con la altura, si se hace un símil con la hidráulica entre más cerca se encuentre el fluido a las paredes de una tubería existirá mayor fricción y por lo tanto turbulencia; al viento le pasa lo mismo, entre más cerca esté a la superficie su velocidad será menor y genera mayor turbulencia, a medida que se mide su comportamiento con la altura éste se va tomando más rápido y laminar (Ver Figura 12).

Figura 12. Perfil del viento en altura



Fuente: Creación de los autores.

Calcular la velocidad del viento es un factor importante para estimar la potencia disponible para construcción de una turbina. La velocidad también es afectada por efectos borde como árboles y edificaciones que pueden cambiar drásticamente la reducción de la potencia capturada por una turbina de viento (Gipe & Paul, 2004).

La variación de velocidad puede representarse mediante la siguiente expresión:

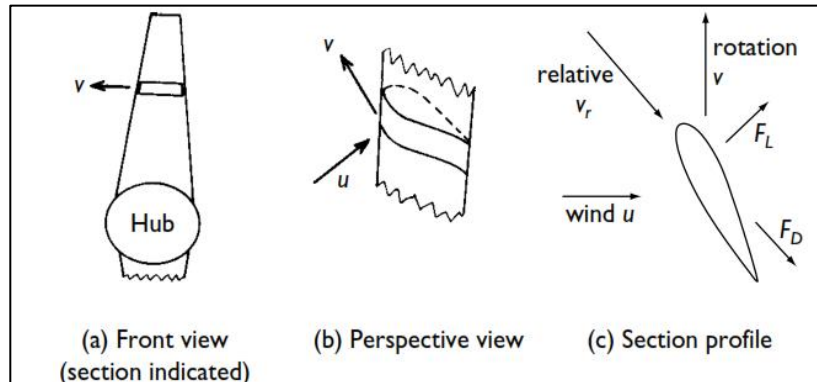
$$\text{Ecuación 13: } \frac{v_2}{v_1} = \left[\frac{h_1}{h_2} \right]^\alpha$$

“Donde $v_1 < v_2$ representan las velocidades del viento a las alturas $h_1 < h_2$, respectivamente. El exponente α caracteriza al terreno, pudiendo variar entre 0,08 (sobre superficies lisas como hielo, lagunas, etc.) y 0,40 (sobre terrenos muy accidentados)” (Rapllini & Moragues, 2003, p.3).

Tipos de turbina.

Los diferentes tipos de turbinas dependen de la configuración geométrica, como fueron construidas y la aerodinámica de sus aspas o alabes. El movimiento del aire al golpear el alabe es muy similar a la sección de un avión, en la Figura 13 se muestra cómo las diferentes fuerzas intervienen en un alabe.

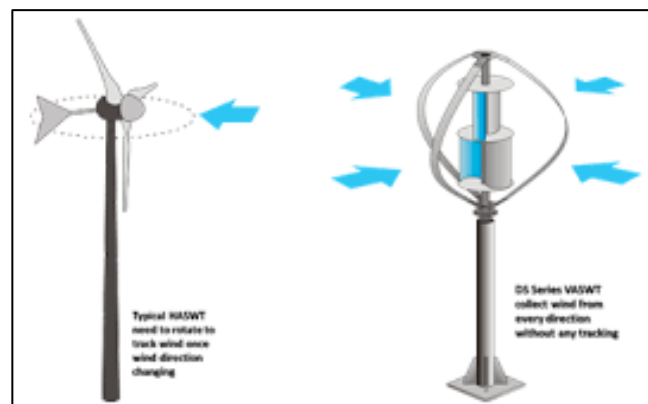
Figura 13. Velocidades y fuerzas en una sección de un alabe de turbina giratoria.



Fuente: Twidell y Weir, 2006.

En la vista frontal se identifica la velocidad de rotación del alabe (v), en la perspectiva se puede identificar la velocidad del viento sin perturbación (u) y en la sección del alabe se puede observar todas las fuerzas que intervienen como la velocidad relativa del viento (v_r), fuerza de arrastre (F_D , Drag Force) y fuerza de sustentación (F_L , Lift Force). Este principio contempla que el aire es obligado a fluir por la cara superior de una placa o perfil inclinado, llamado alabe, aire que a su vez genera diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante, como lo es la de arrastre y sustentación, dicho principio aplica para los generadores horizontales o verticales; en la figura 14 se puede observar un ejemplo.

Figura 14. Generador vertical: Izquierda. Generador horizontal: Derecha.



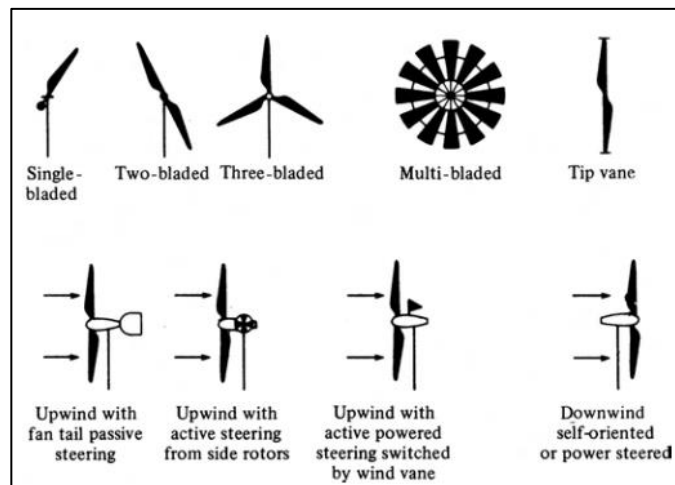
Fuente: Suministros y Montajes Eólicos S.L., 2012.

Los alabes de los generadores horizontales son similares a las de un avión y en ocasiones son llamados “tipo hélice”, éstos son los más difundidos y con mayores eficiencias de conversión. En

su mayoría cada generador cuenta con un dispositivo ubicado en la misma torre que convierte la energía del aire en eléctrica.

Los rotores con palas a popa en principio no requieren de sistemas de orientación pues las fuerzas en juego tienden a orientarlo naturalmente, aunque en máquinas de gran tamaño se prefiere emplearlos para evitar los "cabeceos" que someterían las palas a vibraciones perjudiciales. (Rapllini & Moragues, 2003:11)

Figura 15. Molinos de eje horizontal.



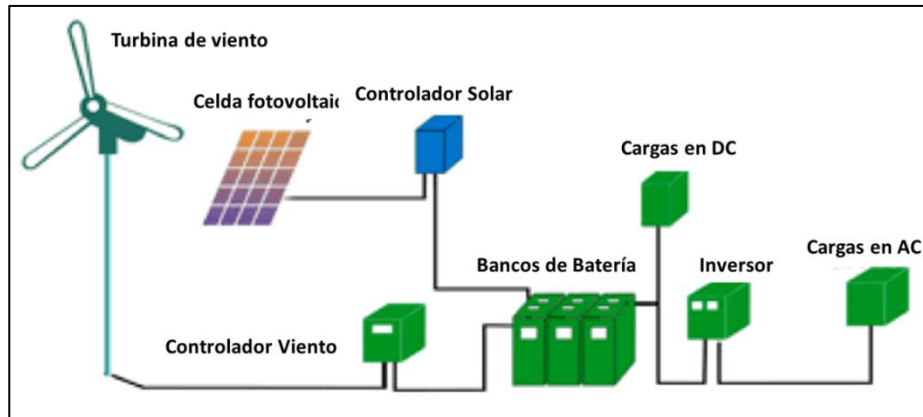
Fuente: Twidell y Weir, 2006.

La característica principal de los generadores verticales, es que no requieren ajustes para la dirección, pero carecen de popularidad, porque no son tan eficientes como los horizontales. Por lo general este tipo de sistemas están compuestos de engranajes y el dispositivo que convierte la energía eólica en eléctrica se ubica en el suelo.

Existen dos diseños básicos y más usados, el Savonius y Darrieus. El rotor Savonius trabaja esencialmente por arrastre, tiene un alto par de arranque, pero su eficiencia es pobre. Por su sencillez y bajo costo es fácil de construir con técnicas artesanales. Se los emplea en aplicaciones que requieren potencias pequeñas como es el caso de los extractores de aire en grandes edificios industriales o depósitos y en bombeo de agua. Los rotores Darrieus, inventados por G.J.M. Darrieus en Francia en la década del 20, son actualmente los principales competidores de los de eje horizontal de palas aerodinámicas para la generación de electricidad. Las fuerzas dominantes son las de sustentación, tienen un par de arranque prácticamente nulo, pero entregan potencias altas por unidad de peso del rotor y por unidad de costo. (Rapllini & Moragues, 2003: 14)

Los componentes necesarios para configurar un sistema eólico autónomo (*Stand Alone*), son similares al sistema solar. En la figura 16 se muestran los componentes necesarios para completar un sistema eólico.

Figura 16. Montaje de sistema eólico.



Fuente: Adaptación del autor de Selesta Networks S.A., 2017.

Al igual que los sistemas solares, los sistemas eólicos a pequeña escala puede ser conectados a la red de energía (*Grid Connect*) o autónomo como el de la figura anterior (*Stand Alone*). Los sistemas eólicos a pequeña escala son una buena elección para áreas rurales puesto que no todas están conectadas a la red eléctrica (U.S. Department of Energy, 2016).

Para el caso de aplicación del proyecto, calcular un sistema eólico para hogares en zonas rurales o a pequeña escala, requiere planeación para determinar si en el área hay suficiente viento con una base consistente, sistema apropiado a las necesidades (cálculo de potencia), revisión normativa para instalar un sistema de este tipo, costos de instalación, mantenimiento y operación y beneficios ambientales. A continuación, se explica cómo se calcula la potencia requerida de un sistema eólico.

Potencia obtenida del viento.

Para la selección del tipo de turbina a utilizar, se debe conocer y calcular la energía máxima teórica que puede ser extraída de la masa de aire en movimiento, ésta se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 14: } E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

Donde:

$E_c = \text{Energía cinética [joule/s]}$

$m = \text{flujo de aire } \left[\frac{kg}{s} \right]$

$V = \text{velocidad del viento } \left[\frac{m}{s} \right]$

Conociendo el área de captación A (ó área de barrido de las aspas), el flujo de aire m circundante será:

$$\text{Ecuación 18: } m = \delta A V$$

Donde:

$\delta = \text{densidad de aire } \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$A = \text{área de captación } m^2$

Teniendo en cuenta que la energía del aire en una turbina no es aprovechable al 100%, se le añade a la ecuación un coeficiente de potencia adimensional para calcular su rendimiento real (C_p), teóricamente el máximo sería de 0,59 y en experiencias reales va de 0,25 a 0,45 (Departamento de Energía, EE.UU., 2007). Entonces se tendría que la energía teórica máxima por unidad de tiempo se calcularía mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 21: } P_t = \frac{1}{2} C_p \delta A V^3$$

$P_t = \text{Potencia de salida en } W/m^2$

$C_p = \text{Coeficiente de potencia (0,25 a 0,45).}$

$\delta = \text{Densidad del aire } 1,25 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$A = \text{Área de captación } [m^2] = \frac{\pi}{4} D^2$

$D = \text{Diámetro del rotor } [m]$

$V = \text{velocidad del viento } \left[\frac{m}{s} \right]$

La potencia determinada es una guía para elección del tipo de turbina y marca, puesto que dependiendo del modelo la energía producida varía de manera representativa.

2.7 Matriz de Alternativas

La selección de alternativas se convierte en un paso importante en el proyecto, pues será la herramienta para la escogencia de la mejor opción (aquella que se adapte más a las condiciones económica, ambientales y de confiabilidad en la zona de estudio). Dentro de los métodos existentes para la selección de alternativas, está el llamado Proceso Analítico Jerárquico, que (...)

(...) es una teoría general sobre juicios y valoraciones que, basada en escalas de razón, permite combinar lo científico y racional con lo intangible para ayudar a sintetizar la naturaleza humana con lo concreto de nuestras experiencias capturadas a través de la ciencia. (Moreno, 2014: 10)

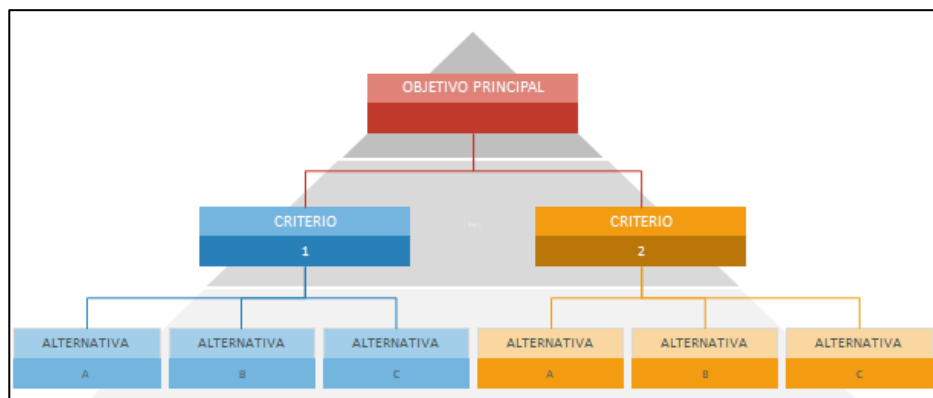
Por medio de la aplicación de este método se puede pasar de un problema multicriterio a un problema en escala unidimensional es decir a una escala de prioridades en la que se representan las salidas globales.

La metodología que sigue el Proceso Analítico Jerárquico modela el problema en jerarquías donde el objetivo principal se ubica en el nivel cero y en los demás niveles los aspectos relevantes, existe la jerarquización más sencilla que consta de dos niveles: Nivel 1, criterios; nivel 2, alternativas.

La construcción de la matriz de alternativas se basa en las siguientes etapas:

- **Modelización:** Etapa en la que se genera una estructura en la cual estén representados los aspectos relevantes para la resolución del problema. En esta etapa se jerarquizan los criterios y las alternativas de selección como lo muestra la Figura 17.

Figura 17. Ejemplo de modelización de los criterios de selección.



Fuente: Elaboración propia.

- **Valoración:** En esta parte de la construcción se incluyen las alternativas a ser evaluadas dentro de una matriz cuadrada en la que se muestra la dominación relativa de una alternativa

frente a otra. Para realizar dicha valoración, Saaty estableció una escala de juicios en la que se muestran valores de uno a 9 (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Escala de valoración de Saaty.

Escala Numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en la práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Fuente: Moreno, 2014.

Luego de darle una escala numérica a las alternativas se generará una matriz cuadrada cuyos elementos representan las prioridades asociadas a los criterios comparados.

$$C1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} A1 & A2 & A3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} A1/A1 & A1/A2 & A1/A3 \\ A2/A1 & A2/A2 & A2/A3 \\ A3/A1 & A3/A2 & A3/A3 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- Priorización y síntesis:** Esta etapa de la metodología se obtiene (método de las potencias) elevando la matriz de juicios a una potencia suficientemente grande, sumando por filas y normalizando estos valores mediante la división de la suma de cada fila por la suma total (Moreno, 2014). A la matriz cuadrada se le normaliza con la finalidad de obtener valores en porcentaje y luego un peso para cada una de las alternativas evaluadas, el proceso de normalización se lleva a cabo de la siguiente forma: sumando los valores de columna y dividiendo cada uno de los valores de esa columna sobre la sumatoria de la columna:

$$c1 = \frac{A1}{A1} / \left(\frac{A1}{A1} + \frac{A2}{A1} + \frac{A3}{A1} \right)$$

Luego de la normalización de la matriz se obtiene el peso en porcentaje el cual resulta de la suma de las filas de la matriz normalizada sobre el número de criterios. La matriz normalizada y los pesos resultantes de la operación deben ser confrontados y así evaluar si los juicios realizados hacen que la matriz sea consistente, aquellas matrices cuyos valores o juicios normalizados no son idénticos, tienen un sesgo y por lo tanto deberán ser evaluados a través del cálculo de la razón de consistencia de la matriz la cuales está determinada por la siguiente Ecuación:

$$\text{Ecuación 22: } CR = \frac{CI}{RI}$$

Dónde: CR: Razón de consistencia. CI: Índice de consistencia. RI: Consistencia aleatoria.

El índice de consistencia esta expresado como:

$$\text{Ecuación 23: } CI = \frac{n_{max}-n}{n-1}$$

Dónde: n: Dimensión de la matriz. n_{max} : El producto resultante entre la matriz original y los pesos de cada alternativa. La consistencia aleatoria RI esta expresada como:

$$\text{Ecuación 24: } RI = \frac{1.98(n-2)}{n}$$

Una vez calculado el índice de consistencia y la consistencia aleatoria, se tienen el resultado de la razón de consistencia CR.

En la práctica, suelen darse por buenas razones de consistencia inferiores al 10%. Si la razón de consistencia supera ese umbral se recomienda revisar los juicios, corrigiendo aquél que más se separa de la razón dada por las prioridades relativas correspondientes. (Moreno, 2014:18)

2.8 Grado de confiabilidad

Como parte de los objetivos de este proyecto, se estableció comparar el grado de confiabilidad de un sistema eléctrico convencional, frente al de un sistema no convencional; el término colectivo empleado para describir un funcionamiento basado en la disponibilidad y los factores influyentes, ha sido la fiabilidad, es decir, capacidad y apoyo al mantenimiento (Villar, 2003). La confiabilidad es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida, durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas, según Grajales, Sanchez y Pinzón (2006).

La evaluación de la confiabilidad de los sistemas de generación eléctrica convencional y no convencional, depende también de la evaluación de los factores que componen este término.

Fiabilidad.

Definida como “la capacidad de un componente o sistema para desarrollar la función requerida, bajo determinadas condiciones ambientales y de operación por un tiempo determinado” (Villar, 2003), dentro de la fiabilidad se deben tener en cuenta algunos factores que tendrán influencia en esta, como demanda de energía insuficiente, demanda excesiva y fallos en las instalaciones.

- **Tecnología de los equipos a usar.** El uso de equipos de una alta sofisticación tecnológica ofrece, por un lado, cierto grado de calidad y confianza acerca de su funcionamiento en el tiempo, sin embargo, este hecho también presenta dificultades en el momento de tener que realizar un mantenimiento, ya que si los componentes presentan un alto grado de complejidad o características muy especializadas se presentarán dificultades en la consecución de repuestos o técnicos especializados en este tipo de componentes.
- **Costo y disponibilidad de los equipos.** Este factor es importante y hay que tenerlo en cuenta en el momento de seleccionar o diseñar un sistema, la selección de componentes con un alto grado tecnológico puede llevar a tener una amplia fiabilidad, sin embargo también puede conllevar a largos periodos de mantenimiento debido a la difícil consecución de repuestos o de técnicos especializados en la tecnología que posean los equipos, estos dos hechos deben tenerse en cuenta ya que impactan en el tiempo en el que el sistema puede estar fuera de operación.
- **Grado de dispersión y accesibilidad.** La dispersión y la accesibilidad de los sistemas es otro de los factores a tener presente a la hora de instalar un sistema de energía no convencional, es importante evaluarlo ya que en el caso de presentarse daños en el sistema no convencional es muy importante ser consciente del tiempo que puede tomar la atención y reparación del daño, debido a la distancia a la cual se encuentra la instalación.

Disponibilidad.

Autores como Grajales, Sánchez y Pinzón (2006), definen la disponibilidad como el porcentaje de tiempo en el que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. Otra definición para disponibilidad es la mencionada por Villar (2003) como la

“Capacidad de un componente o sistema para desarrollar su función en un instante preciso o durante un periodo de tiempo determinado”.

Según este autor, en cuanto a la evaluación de la confiabilidad en sistemas de generación eléctrica los datos básicos a tener en cuenta son:

- Tasas de falla asociadas.
- Efecto del mantenimiento.
- Evaluación de fiabilidad asociada a la probabilidad de pérdida de carga (LLP).
- Evaluación conjunta de la disponibilidad del sistema.

Tasas de falla asociadas a cada componente.

Los datos de estimación de la tasa de fallo estimada para cada componente es un tanto difícil de establecer, debido a las diferencias apreciables entre los diferentes datos existentes, por esta razón en esta investigación se tomarán como base los datos mostrados por Villar (2003), quien estimó valores de tasas de fallo basado en la experiencia y en informaciones genéricas, en el caso de baterías y cableados. El autor establece dichos datos para dos escenarios uno en el que la tasa de falla es constante para todos los elementos y otro en el que contempla efectos temporales en módulos y baterías (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Tasa de fallos asociados a los elementos del arreglo fotovoltaico.

	Escenario I		Escenario II	
	Hipótesis (FD Exponencial)	Parámetros	Hipótesis	Parámetros
Generador	0,2% fallos /año	$I_{G1}=0,002; a_{G1}=1$	FD exponencial + FD Weibull creciente	$I_{G1}=0,002; a_{G1}=1$ $I_{G2}=0,01; a_{G2}=2$
Batería	20% fallos / año	$I_{B1}=0,02; a_{B1}=1$	FD Weibull creciente	$I_{B2}=0,2; a_{B2}=2$
Regulador	5% fallos / año	$I_{R1}=0,05; a_{R1}=1$	FD exponencial	$I_{R2}=0,05; a_{R2}=1$
Cableado	0,2 fallos / año	$I_{C1}=0,002; a_{C1}=1$	FD exponencial	$I_{C2}=0,002; a_{C2}=1$

Fuente: Villar (2003)

La determinación de la confiabilidad del sistema está también en función el tiempo de reparación de alguna avería o inconveniente técnico que se presente, para tal caso y gracias a la experiencia. Villar (2003) establece tres ejemplos de alternativas de tiempo de reparación que cataloga como elevada, media y baja, siendo la primera aquella en la que el sistema puede ser

reparado en el menor tiempo posible por la cercanía de un distribuidor o bien por que el usuario cuenta con repuestos y conocimiento técnico para el reemplazo y reparación del sistema, de esta manera los escenarios de tiempo medio de reparación MDT se representan en la Tabla 6.

Tabla 6. Ejemplo de tres escenarios de mantenimiento.

	Escenario I	Escenario II	Escenario III
Fiabilidad sistemas + accesibilidad	Elevada	Media	Baja
Tiempo medio hasta inspección	2 días	7 días	14 días
Tiempo medio de adquisición de repuestos	1 día	14 días	45 días
Tiempo medio hasta inicio reparación MTSR	3 días	21 días	59 días
Tiempo medio de reparación. MTTR	1 día	1 día	1 día
Tiempo medio total de parada por mantenimiento: MDT	4 días	22 días	60 días

Fuente: Villar (2003)

El tercer paso en el procedimiento para determinar la disponibilidad global del sistema, es la evaluación de fiabilidad asociada a la probabilidad de carga, LLP por sus siglas en inglés, la probabilidad de carga la representa Villar (2003) en la Tabla 7

Tabla 7. Valores de evolución de LLP.

	Año	LLP
Elementos ideales	0	0,01
Elementos reales	0	0,02
	1	0,04
	2	0,07
	5	>> 0,01

Fuente: Villar (2003)

Como último paso, se determina la disponibilidad media del sistema, que consiste en el producto entre la ausencia de fallos, por la ausencia de fallos asociados al dimensionamiento aplicando la Ecuación 25:

$$\text{Ecuación 25: } A = Afallos * ALLP = \left(1 - \frac{MDT}{MUT+MDT}\right) * (1 - LLP)$$

2.9 Metodología.

La investigación se desarrolla de manera secuencial o por etapas, con un enfoque cuantitativo toda vez que acciones para el cumplimiento de los objetivos se realizan siguiendo las diferentes fases que componen un enfoque de este tipo. Las cuales son:

- Idea.
- Planteamiento del problema.
- Revisión de literatura y desarrollo del marco teórico.
- Visualización del alcance del estudio.
- Elaboración de hipótesis y definición de variables.
- Desarrollo del diseño de investigación.
- Definición y selección de la muestra.
- Recolección de datos.
- Análisis de los datos.
- Elaboración del reporte de resultados.

Esto permite que la investigación siga un proceso sistemático y los datos obtenidos de las mediciones sean objetivos al no ser afectados por el investigador, quien debe evitar en lo posible que sus temores, creencias, deseos y tendencias influyan en los resultados del estudio o interfieran en los procesos y que tampoco sean alterados por las tendencias de otro Sampieri, Collado y Lucio (2015)..

No en todas las investigaciones cuantitativas se plantean hipótesis. El hecho de que formulemos o no hipótesis depende de un factor esencial: el alcance inicial del estudio. Las investigaciones cuantitativas que formulan hipótesis son aquellas cuyo planteamiento define que su alcance será correlacional o explicativo Sampieri, Collado y Lucio (2015).

3 ANTECEDENTES: CONTEXTO INTERNACIONAL Y LOCAL

3.1 Contexto internacional

Los autores Biswas, Bryce y Diesendorf (2001), proponen un modelo ecológico, económico y social integrado para ayudar al desarrollo rural sostenible en las aldeas de Bangladesh. La investigación concluye principalmente que las tecnologías de energía renovable (RET, por sus siglas en inglés), utilizadas de manera apropiada, pueden mejorar la calidad de vida de la población rural y brindar oportunidades de generación de ingresos; el modelo de proyecto sugerido describe cómo los RET pueden proporcionar estos elementos, creando actividades generadoras de ingresos al tiempo que reparan las desigualdades sociales y ambientales.

Nakataa, Kuboa y Lamontb (2005), diseñaron un sistema de energía renovable con aplicaciones rurales para Japón, la investigación permitió establecer, qué la generación local de energía renovable puede ser económica al usar la red de energía eléctrica, para compensar la intermitencia de la energía renovable y que el sistema integrado renovable reduce el costo anual de todo el sistema en un 31% y reduce las emisiones de carbono en un 50%.

Ghafoor y Munir (2015), presenta un estudio sobre el diseño y el análisis de un sistema económico solar fotovoltaico para hogares, en cuyos resultados muestran que el costo unitario de la electricidad generado por un sistema fotovoltaico (PV) que no está conectado a la red es menor que el costo unitario que un sistema convencional en áreas residenciales y concluye que un sistema solar PV es económico y técnicamente viable.

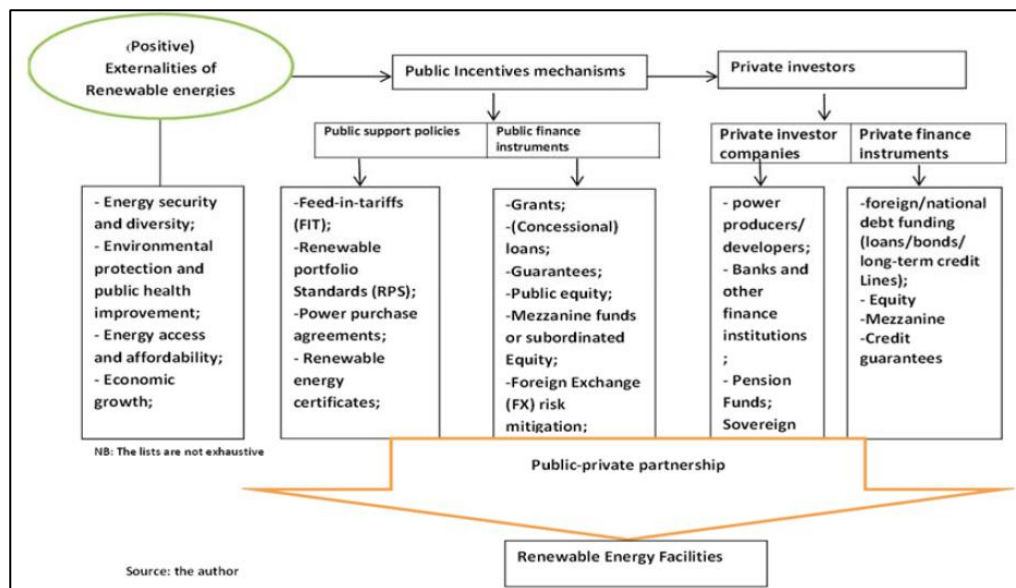
El estudio de Kolhe, Udumbara y Gunawardana (2015), se basó en el dimensionamiento y evaluación técnico-económica, en zonas rurales de Sri Lanka con una población de 150 hogares y con una demanda de electricidad de 270 Kw-h, dicha investigación, al igual que la anterior, concluye que el sistema híbrido es económicamente viable, puesto que el costo del Kw-h es bajo.

Goel y Sharma (2017), en su investigación *“Performance evaluation of Stand Alone, Grid Connected and hybrid renewable energy systems for rural application: A comparative review”*, realizaron una revisión comparativa de varios estudios de sistemas; autónoma, conectada a la red e híbrida estudiados en todo el mundo, generando una discusión entre los autores que permitieron establecer las siguientes conclusiones:

- I. El sistema PV-Eólico es económico si la carga es inferior a 75 kWh / día y el punto de carga está a 50 km. o más de la red.
- II. La electrificación rural con fuentes de energía renovables puede reducir hasta el 99% de las emisiones totales de CO₂ de las áreas residenciales en comparación con la electrificación con sistemas de red y diésel.
- III. El costo de la electricidad basada en energía renovable puede no ser siempre una opción rentable para aplicaciones remotas a menos que sea adecuado y respaldado por el gobierno.
- IV. La eficiencia PV disminuye con el aumento de la temperatura de la celda y aumenta con la radiación solar.

El acceso a la energía ha sido proporcionado cada vez más por algunos gobiernos a través de nuevas fuentes alternativas de energía conocidas como energía renovable (principalmente energía hidroeléctrica, solar, biomasa, eólica, geotérmica). Cedrik y Long (2017), revisaron las externalidades que han impulsado el aumento de energía renovable y analizaron las prácticas internacionales en este campo, identificando así los acuerdos clave, que contribuyen a mitigar los riesgos asociados a un proyecto de energía renovable en particular. El estudio identifica estas externalidades positivas en la siguiente figura:

Figura 18. Realización de asociaciones público – privadas de energía renovable.



Fuente: Cedrik y Long, 2017

Chindanand y Gopalan (2018), efectuaron un modelo de electrificación rural a través de la combinación de redes eléctricas y la generación local de la energía. Este modelo fue probado en 20 casos, en una aldea en la India, como uno de sus resultados principales, determino que la energía renovable adicional puede reducir el costo de la energía convencional en un 27%, disminuir las interrupciones de energía en un 40% y disminuir las pérdidas en la red en un 62,5% en comparación con una simple extensión de la red eléctrica. Finalmente, el estudio concluye que la instalación de energía renovable en pueblos remotos también tiene efectos sociales muy positivos y contribuye a restablecer el dinamismo en las zonas rurales. Este estudio podría usarse para dar forma a nuevas regulaciones a favor de la generación local de energía renovable en áreas rurales, para el beneficio de todos.

3.2 Contexto local

Pinto (2004), en su investigación: “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda el Carrizal en Sutamarchán”, establece que el uso de la energía renovable depende principalmente del nivel de ingreso en zonas no interconectadas. Las deficiencias en la interpretación del DS se originan en la fragmentación institucional del tema de la energía. Actualmente, el diseño de políticas orientadas al mejor uso de las energías renovables en zonas rurales, involucra a las autoridades ambientales, agrícolas y de la energía.

La investigación “*Energía no convencional -solar y eólica- para escuelas rurales en la provincia de Entre Ríos*”, permitió establecer que es posible utilizar, en forma combinada, energía solar y eólica para obtener energía eléctrica y agua caliente en una escuela rural de Entre Ríos, experiencia que además permitió poner a prueba el método de elección del lugar y de emplazamiento de los equipos conversores de energía, de los autores Brisuela y Aguirre (2004).

Ruíz y Rodríguez (2005), en su investigación estableció que la promoción de tecnología que aprovecha la energía renovable requiere la intervención del Estado para su desarrollo e implementación. Las metodologías de costos deben ser evaluadas y reformuladas teniendo en cuenta los factores ambientales y sociales y la posibilidad o no de interconexión a la red eléctrica. Otro aspecto importante que mencionan los autores es que las fuentes de energía renovable y el uso eficiente y racional de la energía podría tener objetivos similares, sin embargo, sus aplicaciones son

diferentes, así como sus tecnologías; por lo tanto, la legislación para fuentes de energía renovable debe tomarse por separado de la legislación para un uso eficiente y racional de la energía.

González, Beltrán, Troyo-Diéguez y Ortega-Rubio (2006), en su estudio *“Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México”*, menciona un aspecto social importante en los proyectos eólicos donde las propiedades son minifundios, lo que puede resultar difícil que haya la conformidad de todos los habitantes de la zona. Además, los resultados indican que adicional al desarrollo tecnológico requerido, se deben fortalecer los aspectos legales que fomenten e incentiven la producción de energía eólica, y establecer regulaciones y normas ambientales que protejan al ambiente y a las poblaciones silvestres.

La investigación *“Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case”* realizada por Zuluaga y Dyner (2007), en sus simulaciones llevadas a cabo para el mercado de Colombia, han llegado a la conclusión de que es menos eficiente promover las energías renovables a través de políticas fiscales como la exención del impuesto a la renta, mientras que otros tipos de políticas como los subsidios directos tienen un efecto importante en cuanto a la aceleración del proceso de difusión de la tecnología. Por lo tanto, le corresponde al gobierno establecer los incentivos apropiados para explotar eficientemente los recursos de energía renovable.

Caspary (2009), en su estudio hace un análisis para medir la competitividad futura de la energía renovable en Colombia, determino que surgen dos puntos clave para la agenda de investigación inmediata. En primer lugar, los resultados difieren mucho entre el más alto y el más bajo, por lo tanto, los investigadores deben con urgencia generar cifras indicativas de costos. En segundo lugar, la investigación debe sentar las bases para un gobierno informado de opciones entre inversiones en energía renovable Vs energía tradicional.

Hernandez, Velazco y Trujillo (2011), en su investigación, describen las principales características de generación, relacionadas con las fuentes de energías renovable, haciendo énfasis en la energía fotovoltaica, así como también muestra un análisis a cerca de la implementación de sistemas fotovoltaicos, como una opción de generación en Colombia. Afirman en su investigación que el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos en Colombia se debe centrar principalmente en el sector rural. En el sector rural, los altos costos generación, se dan principalmente por los precios del

combustible, costos de operación y mantenimiento en áreas remotas. Este hecho hace que la generación solar sea más confiable y económica a largo plazo.

Ladino (2011), encontró que en las zonas no interconectadas solo se puede acceder a la energía eléctrica renovable, a partir de programas sociales que permitan el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, durante el desarrollo de esta investigación, se pudo evidenciar que no existen programas sociales, ni técnicos de seguimiento, control y mantenimiento de los sistemas, lo cual impide obtener información útil para replicar este tipo de proyectos en otras zonas. Para este caso el autor concluye que la implementación de las energías renovables trajo bienestar a la población, que no existía antes de la implementación de la energía fotovoltaica.

La investigación de Esteve (2011), analiza las alternativas de generación solar y eólica como soluciones de energización para centros poblados pequeños (menos de 500 habitantes) de 49 municipios que pertenecen a las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia. Como conclusiones se pudo determinar: i) que la disponibilidad del recurso solar en las ZNI es excelente (radiación mínima 4KWh/m^2), lo cual resalta la importancia de tener en cuenta la alternativa solar, ii) el recurso eólico en los municipios analizados no es tan favorable (velocidad del viento de $2,4\text{ m/s}$ a 20 m de altura).

Sin embargo, vale la pena tener en cuenta la alternativa eólica para proyectos de mayor capacidad (en centros poblados más grandes, como por ejemplo, cabeceras municipales o departamentales) en donde pueden implementarse aerogeneradores de mayor altura, iii) Los costos máximos de prestación de servicio (CMPS) establecidos por la CREG en la resolución 082 de 1997 son muy bajos y no alcanzan a cubrir los costos de generación en las, este análisis corrobora la razón por la cual el Conpes 3453 (2006) recomienda diseñar un nuevo esquema tarifario que tenga en cuenta los costos reales de la generación eléctrica en las ZNI (recomendación parcialmente atendida por la resolución CREG 091 de 2007).

El estudio de Pansera (2012), analiza el estado actual de la energía renovable rural en Bolivia, que determinó aspectos sociales importantes como mayor inclusión social en las políticas de energía renovable, donde las comunidades pueden financiar sus propios proyectos de energía y venta de excedentes en los casos de sobreproducción y a su vez descentralización de la producción de energía.

La ley 1715 de 2014, forman un marco legal, para la integración de las energías renovables no convencionales (NCSRE) al Sistema Energético Nacional, y los autores Lopez y otros (2014), realizan un análisis de la implicación de esta ley, encontrando que hay interés por parte del gobierno para promover el sector NCSRE. Entre ellos, se pueden entregar excedentes, vender créditos de energía, eficiencia energética y respuesta a la demanda, también con la implementación de incentivos fiscales y de tarifas, sin embargo, se puede decir que, aunque ha habido algunos avances en la implementación de la ley, aún existe la necesidad de un mayor compromiso por parte del gobierno a la hora de otorgar mayor flexibilidad a la actividad de reglamentación para que estos mecanismos se vuelvan completamente operativos y despiertan el interés de los inversionistas privados en apoyar al sector NCSRE en Colombia.

Sánchez, Torres y Kalid (2015), en su investigación "*Renewable energy generation for the rural electrification of isolated communities in the Amazon Región*", evaluaron los proyectos de generación de energía más importantes en la región amazónica apartadas del Brasil, analizando los costos, aspectos técnicos y sociales, durante un periodo de evaluación de 10 años. Como resultado de dicha investigación, la principal conclusión de dicho estudio yace en demostrar que, el uso de tecnologías de energía renovables, es una opción más conveniente y económica que la generación tradicional a partir de generadores Diésel. Más importante aún, muestran que la generación eléctrica a partir de fuentes renovables locales puede surgir como una verdadera forma de empoderar a las comunidades desfavorecidas, dando independencia energética y beneficios del acceso a la electricidad.

Rosso y Kfarov (2015), este trabajo presenta los resultados de una encuesta realizada a varios actores involucrados con los sistemas de energía renovable (RES) en Colombia. Se enfoca en identificar y analizar tres dimensiones sociales: Aceptación sociopolítica, aceptación en el mercado y aceptación de la comunidad. En el aspecto sociopolítico, se evidencian falta de políticas específicas, restrictivas y de apoyo que influye en la confianza pública para nuevos proyectos RES, respecto a la aceptación en el mercado se identificó falta de conocimiento de las instituciones financieras y familiaridad de la RES. Por lo tanto, es necesario fomentar programas, proyectos de implementación temprana, disseminar información, capacitación y conocimiento sobre estas tecnologías. Por otro lado, la interacción de las partes interesadas no debe verse simplemente como una forma de resolver problemas locales de aceptación social, sino también como una forma de encontrar nuevas

innovaciones. Soluciones que promuevan la evolución socio técnica de nuevas y sostenibles fuentes de energía renovables.

Radomes Jr. y Arango (2015), afirman que el potencial de Colombia para la generación de electricidad fotovoltaica es caracterizado por las horas constantes de sol durante todo el año, lo que es una desventaja en comparación con países que cuentan con estaciones. En su investigación *“Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaicsystem support schemes in Medellín, Colombia”*, determinaron que, para difundir las energías renovables, es importantes explorar incentivos fiscales y no fiscales. La investigación futura puede centrarse en el estado económico de los hogares ya que esta variable tiene importantes implicaciones para la posible voluntad de invertir en sistemas PV. Los hogares con altos ingresos tienen más inclinación a invertir, mientras los de bajos ingresos, adoptarían cualquier tipo de energía que les proporcione con el menor costo.

Rosso y Kfarov (2015), realizaron otro interesante estudio titulado *“Analysis on the Economic Feasibility of Power Generation from Renewable Energy Systems in Non-Interconnected Zones of Colombia, Study of Cases”*, cuyo objetivo era dar posibles soluciones para abastecer la falta de electricidad en tres ciudades Colombianas con la mayor demanda de energía residencial en Zonas no interconectadas concluyeron que el tiempo de recuperación de la inversión inicial se encuentra entre los seis y siete años, además de esto también establecieron que las fuentes de energía viables en escenarios no subsidiados son las pequeñas turbinas eólicas y pequeñas hidroeléctricas, el panorama cambia en los escenarios no subsidiados, en ellos solo es viable la energía solar fotovoltaica, en la ZNI del estudio el tipo de energía con mayor viabilidad son las pequeñas hidroeléctricas, por su bajo mantenimiento y la abundancia de agua.

La revisión sobre el uso de micro redes alrededor del mundo y particularmente en zonas aisladas como solución al problema de acceso a la energía es el tema principal de Gaona, Trujillo y Guacaneme(2015); en esta investigación se analizan los dos problemas principales que afectan el sistema eléctrico colombiano: La cobertura de la infraestructura y el fenómeno del niño, al igual que Rosso y Kafarov (2015), concluyen que la energía hidroeléctrica es la mayor fuente de energía en las zonas no interconectadas, también establece que el uso de micro redes en el país depende de las regulaciones y las inversiones estatales y privadas, establece que la ley 1715 deberá ser más

regulada en lo que se refiere a incentivos para la producción de energía renovable junto con la venta de energía excedente a la red.

Martínez y Triana (2015), en su investigación *“Energías alternativas para la población de la eco-región de la Mojana”* analizaron e identificaron los diferentes sistemas de generación de energía con el fin de conocer y comparar sus características, generando de esta manera la selección de un sistema adecuado para las características geográficas, hídricas y sociales de la zona de estudio, llegando a la conclusión que la mejor alternativa para la zona fue la pequeña hidroeléctrica, ya que la zona se encuentra bañada por el río Cauca.

Mamaghani, Avella Escandona, Najafi, Shirazi y Rinaldía (2016), analizaron la aplicación de paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas y generadores diésel en un sistema híbrido de generación de energía independiente en tres pueblos rurales que se encuentra fuera de la red de interconexión eléctrica en Colombia, en esta investigación se seleccionó la configuración más adecuada desde el punto de vista económico y ambiental a través del uso de indicadores como el costo de capital inicial, Valor presente neto y las emisiones de CO₂ resultantes, dentro de los resultados obtenidos se determinó que la implementación de un sistema híbrido diésel-renovable tienen una huella de carbono muy baja.

Una de las principales conclusiones a la que llegaron los autores fue la siguiente: Aunque las aplicaciones completamente renovables e híbridas son los diseños más recomendables desde el punto de vista ambiental también representan una barrera para su implementación, debido al costo de inversión inicial, otro factor que impide que las comunidades de bajos ingresos puedan acceder a estas tecnologías son los costos de mantenimiento y operación pues claramente no pueden pagarlos. Los autores concluyen además que los beneficios otorgados por la ley en materia fiscal y exenciones no representan un apoyo suficiente para que las comunidades de bajos recursos implementen estos sistemas.

Celemín Cuellar (2016), en su investigación *“Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda san roque en el municipio de Ortega-Tolima”*, concluye que la utilización de sistemas solares tiene ventajas frente a otros tipos de energías ya que permite la reducción de emisiones de CO₂, además de esto la investigación establece que la implementación de sistemas solares en la zona de estudio permite el acceso de la comunidad a diferentes medios de comunicación (televisión, internet, teléfono), reduciendo el

aislamiento social. El costo inicial del sistema es la principal barrera para la utilización de estos sistemas si se tiene en cuenta que los usuarios finales pertenecen a familias de recursos limitados.

Silva Herran y Nakata (2016), determinó que los sistemas de energía renovable para un área rural aislada no interconectada en Colombia, son suficientes para satisfacer la demanda de electricidad, pero no la carga máxima de electricidad, lo que sugiere una necesidad de almacenamiento. También, se identifica la ausencia de políticas o incentivos adecuados que motiven una amplia participación de los interesados en los proyectos de planificación energética rural, entre muchos otros, finalmente, la evaluación de otros factores como el excedente de generación de electricidad (que podría usarse para mejorar las actividades productivas existentes o hacer posibles nuevos) y la confiabilidad del sistema (en términos de uso de recursos locales o dependencia de recursos externos) deben incluirse en el análisis, así como otros sectores de demanda de electricidad (cocina, agricultura).

Un aspecto importante son los avances en regulaciones del mercado de energías renovables. Y Bradshaw (2017), realizó una investigación en este aspecto en Brasil, evidenciando que el contexto institucional ha sido moldeado por un sistema hidroeléctrico altamente centralizado, lo que ha generado limitaciones para la adopción de formas alternativas de energía. Sin embargo, en la actualidad se han emprendido cambios innovadores para alentar el uso de energía renovable dentro del alcance de su mandato, perspectiva positiva para el sector energético renovables, si las regulaciones empiezan a quedar en firme en el futuro se requieren estudios más especializados que determinen y garanticen la sostenibilidad económica y ambiental a largo plazo de los sectores eléctricos en América Latina.

La cobertura de electricidad en América Latina ha aumentado sustancialmente en las últimas décadas, pasando del 50% de la población en 1970, a más del 95% en 2015, tal como lo refiere Banal-Estañol, Calzada y Jordana (2017) en su investigación "*How to achieve full electrification: Lessons from Latin America*"; sin embargo, 28 millones de personas en Latino América, aún no tienen acceso a la electricidad. Muchas de estas personas viven en áreas rurales remotas, donde extender la red de electricidad es extremadamente desafiante. Gran oportunidad para las energías renovables que podrían expandirse sin necesidad de redes eléctricas, aunque la implementación de políticas eléctricas rurales a menudo es ineficaz, lo que resulta en fallas de política e intereses de

grandes empresas. Para mitigar estos problemas y lograr el objetivo político de cobertura total, los proyectos de electrificación deben adaptarse a los aspectos socioeconómicos y condiciones del área.

Aguirre Mendoza, Díaz Mendoza y Pasqualino (2017), en su investigación *“Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipiélago, Colombia”* afirma que el suministro de energía es uno de los problemas más críticos que afectan el desarrollo económico y social de las islas pequeñas y remotas. Las soluciones de energía alternativa son prometedoras y favorables para los pequeños propósitos de la isla, ya que pueden utilizarse en aplicaciones de pequeña escala. El estudio determinó que no hay potencial para las soluciones de energía de las olas y las mareas, y de velocidad del viento con promedios de 2,6 m/s, cuando lo requerido debe ser de 3 m/s a 6 m/s. La energía solar fotovoltaica es, sin embargo, una solución prometedora para esta isla, donde algunas personas ya tienen sistemas solares para el autoconsumo, mientras que otras utilizan generadores diésel.

El concepto de *Smart City* se basa en el desarrollo urbano que tiene en cuenta la huella ambiental para mejorar la calidad de vida de los residentes, Muñoz, Carrillo, Serrano, Carrillo y Guerrero (2017), desarrollaron una metodología para evaluar la situación actual y encontrar soluciones para optimizar la eficiencia energética, metodología que fue capaz de evaluar cada etapa del proceso de generación, distribución y uso final de energía eléctrica para áreas rurales, lo que permitió concluir que tienen mayor oportunidad los proyectos en ZNI, comunidades bajo los esquemas y conceptos de *Smart City*, y que para esto existe la necesidad de fortalecer las políticas y regulaciones existentes para ZNI, así como buscar conciencia en los habitantes.

Madriz-Vargas, Bruce y Watt (2017), en su investigación *“The future of Community Renewable Energy for electricity access in rural Central América”*, logró determinar que para asegurar el funcionamiento de sistemas de energía renovables es vital con apoyo de las entidades financieras, beneficios financieros para locales, responsabilidad en el mantenimiento y solides de diseños técnicos. Además, los contextos políticos tendieron a limitar la electrificación rural, debido a una preferencia por las extensiones de red, por tanto, las intervenciones políticas, son claves al respecto para impulsar las energías renovables.

Gevelt y otros autores (2018), generaron la iniciativa *“Smart village”*, que durante tres años, reunió evidencia y opiniones de más de 1000 partes interesadas de 70 países para identificar las condiciones marco necesarias para la provisión de servicios de energía a las comunidades rurales y

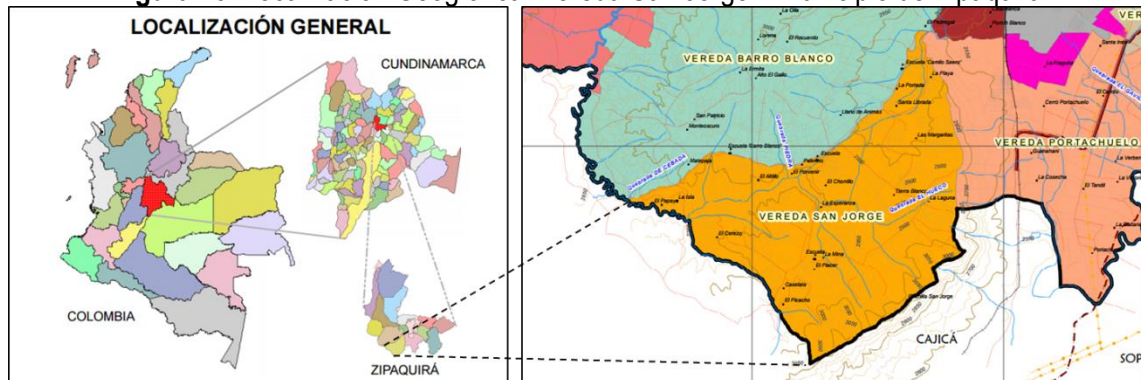
garantizar que el acceso a la energía y permitió determinar que el acceso a la energía y el desarrollo rural requerirá que las aldeas inteligentes o “*Smart Village*” se conviertan en la norma, no la excepción, para las comunidades rurales. Aún existe una escasez de estudios experimentales capaces de evaluar rigurosamente enfoques escalables para proporcionar acceso a la energía y los mecanismos necesarios para garantizar el disfrute de la energía. Hallazgos de tales estudios pueden ayudar a construir la base de evidencia necesaria para avanzar en la política y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

3.3 Descripción de la zona de estudio

La investigación se llevará a cabo en la vereda San Jorge ubicada en el municipio de Zipaquirá a siete Km del casco urbano, departamento de Cundinamarca, Colombia. La vereda San Jorge ubicada en el municipio de Zipaquirá, hace parte de uno de los 14 asentamientos rurales con los que cuenta el municipio, a nivel de plan de ordenamiento territorial la vereda se divide en tres sectores Centro-Barroblanco sector donde se concentra la mayor densidad de población, El Gavilán y El Puyón, que cuentan con 450 hogares aproximadamente (Triviño, 2016).

Otro aspecto importante de esta vereda, es que cuenta con uno de los núcleos rurales más grandes de Zipaquirá que corresponde a los asentamientos que presentan cierto grado de consolidación urbanística y que, por su posición equidistante dentro del territorio rural, es susceptibles de convertirse en núcleos básicos de servicios y espacios representativos que permitan cohesionar la población y ser los puntos de representación de diferentes entidades municipales ante la comunidad campesina (Alcaldía de Zipaquirá, 2010).

Figura 19. Localización Geográfica: Vereda San Jorge – Municipio de Zipaquirá



Fuente: POT Zipaquirá, 2013.

4 METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló dando respuesta a una serie de preguntas planteadas, para cada uno de los objetivos específicos establecidos, permitiendo proponer acciones de forma ordenada y estructurada para llevar a cabo el objetivo general del proyecto, siguiendo un enfoque cuantitativo.

4.1 Objetivo específico número uno

- *Caracterizar los parámetros ambientales y la demanda de energía necesarios para el uso de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge en el municipio de Zipaquirá.*

¿Cómo se caracterizan los parámetros ambientales y la demanda de energía en la zona de estudio?

Los parámetros ambientales requeridos hacen referencia a datos climatológicos de la zona de estudio y, aquellos de demanda de energía, a la potencia eléctrica que requieren los hogares de la vereda para satisfacer sus necesidades actuales.

Los parámetros ambientales se caracterizaron mediante la recolección de información climatológica de bases de datos recolectadas en estaciones cercanas a la zona de estudio, las cuales son monitoreadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Atlas de Radiación Solar y Atlas de Viento, generado por la misma entidad, además de datos de la SSE (Nasa Officia, 2017).

Para conocer los requerimientos de potencia eléctrica por hogar, se diseñó un cuestionario que permite caracterizar la demanda de energía por cada hogar, la percepción de los usuarios frente al servicio de energía eléctrica actual y la opinión frente a las energías no convencionales.

¿Dónde se obtienen los parámetros ambientales y demanda de energía en la zona de estudio? y ¿Qué parámetros ambientales y demanda de energía se requieren?

Los datos de parámetros ambientales se obtuvieron de bases de datos, Atlas de Radiación Solar y Atlas de Viento, generado por la misma entidad, además de datos de la SSE (Nasa Officia, 2017). Y los datos de la demanda de energía, mediante un cuestionario semi estructurado, realizado a

hogares de la población de San Jorge. Estos parámetros ambientales y de demanda de energía requeridos se relacionan en la Tabla 8.

Tabla 8. Parámetros ambientales y de demanda de energía requeridos.

ÍTEM	PARÁMETROS AMBIENTALES REQUERIDOS
1	Radiación solar global (Kwh / m ² / día).
2	Velocidad del viento m/s.
3	Horas equivalentes de sol.
ÍTEM	DEMANDA DE ENERGÍA
1	Demanda de energía promedio por hogar.
2	La percepción de los usuarios frente al servicio de energía eléctrica actual.
3	Opinión de las comunidades frente a las energías no convencionales.
4	Horas de interrupción basados en el servicio actual.

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

¿Mediante que método se obtienen los parámetros ambientales y de demanda de energía?

Los parámetros ambientales climatológicos obtenidos del Ideam, fueron capturados por el instituto mediante técnicas de recolección de información directa en estaciones convencionales o actinógrafos, y automáticas o piranómetros, instaladas a lo largo del territorio nacional; estos últimos son los que actualmente operan, pues los actinógrafos fueron desmontados por las dificultades para la evaluación de la Gráfica s generadas. La modelación de los datos obtenidos de dichas estaciones, se llevó a cabo siguiendo el modelo de correlación Ångström-Prescott (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam, 2014). En caso de la SSE, los datos obtenidos derivan de las más recientes observaciones satelitales, utilizando una cuadrícula de ángulo de 1° de longitud por un grado de latitud 1°, que cubre todo el planeta, a través del sistema de observación de la Nasa, Geos 4 (*Goddard Earth Observing System, Versión*), con datos de series de tiempo multianuales.

El instrumento de recolección de datos seleccionado para conocer la demanda de energía en los hogares de la zona de estudio, es el cuestionario, que consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir (Sampieri, Collado & Lucio, 2014), dicho cuestionario plantea preguntas cerradas y abiertas, para obtener información acerca de los electrodomésticos usados, número y tipo de bombillos usados, número de interrupciones del servicio, percepción del servicio actual, opinión acerca de las energías no convencionales y demanda de energía mensual promedio, según la factura del servicio de energía.

4.2 Objetivo específico número dos

- *Determinar el sistema de energía solar, eólico o híbrido, para suplir la demanda promedio de energía en el área de estudio, basado en parámetros ambientales y la demanda de energía de los hogares de la vereda.*

¿Cómo determinar el sistema de energía solar, eólico o híbrido para suplir la demanda promedio de energía en el área de estudio?

Para determinar el sistema en una primera fase se toman como referencia tres marcas reconocidas de paneles solares y turbinas eólicas en el país, de estas marcas se obtendrá del proveedor las fichas técnicas y valor de los equipos.

En una segunda fase se calcula, la potencia que puede ser entregada en la zona de estudio, de acuerdo con los datos climatológicos obtenidos en esta y las características de los potenciales equipos a instalar. Para el caso del sistema solar fotovoltaico el cálculo se realiza siguiendo los lineamientos de (Dunn, Photovoltaics, 2013) y (IEEE 1013, 2007), luego de esto se selecciona el arreglo con las mejores condiciones de potencia y eficiencia. Para el sistema eólico el cálculo se realizará siguiendo los lineamientos de propuestos por el (Departamento de Energía EE.UU., 2007), en cuanto al sistema híbrido, se diseña un arreglo que mezcle el eólico y solar, se calcula la potencia que entrega el sistema.

Posteriormente, con base en la potencia requerida por hogar, se realiza el cálculo del sistema teniendo en cuenta las características técnicas de los equipos previamente seleccionados, es importante aclarar que los sistemas se calculan para configuraciones *Grid Connect* (conectado a la red eléctrica) y *Stand Alone* (autónomo), para cada uno de los sistemas no convencionales (solar, eólico e híbrido).

En una tercera fase se construye una matriz que muestra los costos de cada uno de los sistemas calculados y la eficiencia de estos, con base en esta se selecciona el sistema más económico y eficiente para cada una de las configuraciones (*Grid Connect* y *Stand Alone*).

¿Qué se determina del sistema de energía solar, eólico o híbrido?

Para la determinación del sistema se tendrá en cuenta la alternativa más eficiente y económica.

¿Mediante que método se determinará el sistema de energía solar, eólico o híbrido?

Los sistemas de energía solar, eólico o híbrido, se determinan a través de un matriz que permita comparar los costos de cada uno de los sistemas calculados y la eficiencia (generación de energía). La matriz contendrá sistemas en configuración *Grid Connected* y *Stand Alone*.

4.3 Objetivo específico número tres

- *Contrastar un sistema de energía convencional con el sistema no convencional seleccionado, teniendo en cuenta la variable económica, la huella de carbono y el grado de confiabilidad del servicio.*

¿Cómo contrastar el sistema de energía convencional con el sistema no convencional preseleccionado?

Se diseña una matriz de alternativas que permite comparar las variables económicas, huella de carbono y grado de confiabilidad. La variable económica se obtiene en cumplimiento del objetivo n, el número dos, el grado de confiabilidad del sistema se determina bajo la aplicación de los parámetros obtenidos por (Villar Díaz, 2003), dichos parámetros se aplican a cada una de los sistemas obteniendo un porcentaje de disponibilidad y la huella de carbono se determina siguiendo la cuantificación de emisiones y/o remociones de GEI (Gases efecto invernadero) del numeral 5,7 de la NTC ISO 14064-2.

¿Dónde se obtendrá la información para contrastar un sistema de energía convencional con el sistema no convencional seleccionado? y ¿Qué información se requiere?

Como ya se mencionó los datos requeridos se obtienen de varias fuentes: El económico directamente de proveedores, la estimación huella de carbono siguiendo la metodología NTC ISO 14064-2 y los datos del grado de confiabilidad, al igual que las horas de interrupción, se obtienen de la información recolectada en los cuestionarios aplicadas a la comunidad. Con dichos datos se analizan y calculan los porcentajes de disponibilidad del sistema a partir de los parámetros dados por (Villar Díaz, 2003).

¿Mediante qué método se obtendrá la selección del sistema de energía convencional y el sistema no convencional?

Para tal fin se diseña una matriz de alternativas que permite comparar las variables económicas, huella de carbono y grado de confiabilidad. El método para la selección del sistema se basa en la matriz de selección de alternativas (Begoña, 2007): primero se definen las alternativas propuestas con el desarrollo del objetivo número dos, luego se determina la importancia para los criterios de evaluación; técnico (confiabilidad), económico (costo del sistema) y ambiental (huella de carbono), a estos aspectos se les asigna un valor numérico en la escala Saaty, luego esta importancia se replica para cada criterio a los sistemas escogidos, para finalmente priorizar las alternativas. La información requerida para la comparación de las alternativas se resume en la Tabla 9.

Tabla 9. Información requerida para la comparación

Ítem	Sistema convencional de energía
1	Costo del sistema: incluye costo de solicitud del punto, acometida, instalación, equipos requeridos y valor Kwh / mes
2	Huella de carbono en CO ₂ (eq) – Sistema convencional
3	Confiabilidad del servicio en horas de interrupción o prestación con baja calidad
Ítem	Sistema no convencional de energía – Grid Connect
1	Costo del sistema, acometida, instalación, equipos requeridos y valor Kwh / mes (mantenimiento)
2	Huella de carbono en CO ₂ (eq) – Sistema no convencional. Con ciclo de vida y sin ciclo de vida
3	Confiabilidad del servicio en horas de interrupción o prestación con baja calidad
Ítem	Sistema no convencional de energía – Stand Alone
1	Costo del sistema, acometida, instalación, equipos requeridos y valor Kwh / mes (mantenimiento)
2	Huella de carbono en CO ₂ (eq) – Sistema no convencional. Con ciclo de vida y sin ciclo de vida
3	Confiabilidad del servicio en horas de interrupción o prestación con baja calidad

Fuente: *Elaboración de los autores, 2017*

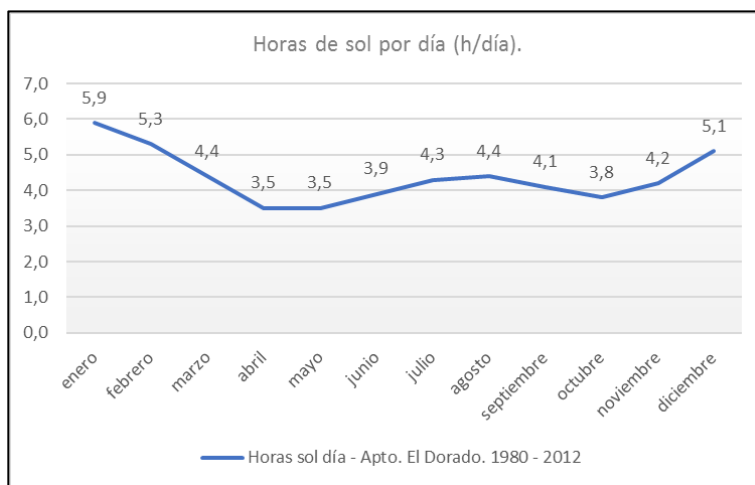
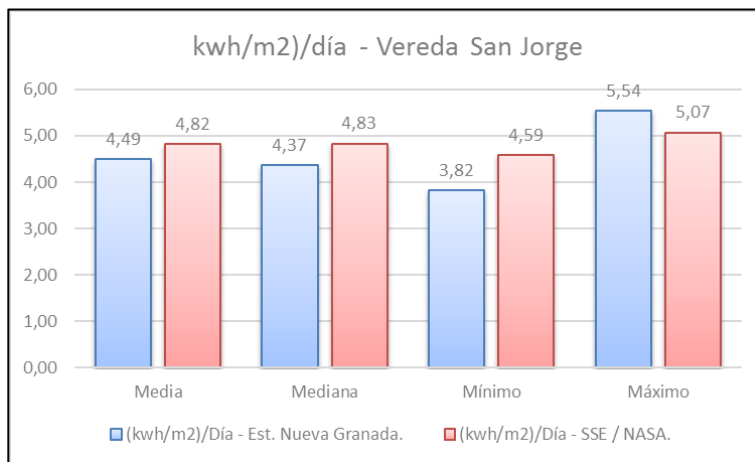
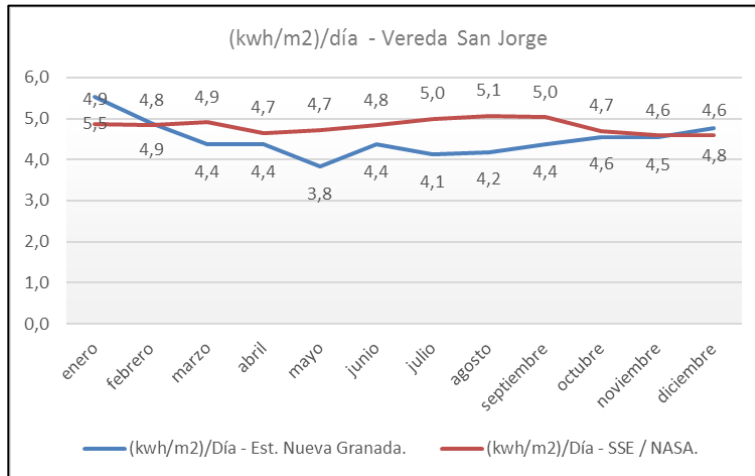
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La vereda San Jorge está ubicada en el municipio de Zipaquirá y hace parte de uno de los 14 asentamientos rurales con los que cuenta el municipio. Un aspecto importante de la Vereda es que cuenta con uno de los núcleos rurales más grandes del municipio, que presentan cierto grado de consolidación urbanística y que por su posición equidistante dentro del territorio rural son susceptibles de convertirse en núcleos básicos de servicios y espacios representativos que permitan cohesionar la población y ser los puntos de representación de diferentes entidades municipales ante la comunidad campesina (Alcaldía de Zipaquirá, 2010).

5.1 Parámetros climatológicos

La estación más cercana con datos de radiación solar obtenida, fue la estación meteorológica universidad Nueva Granda la cual está ubicada 4,5 km aprox. En línea recta, esta cuenta con datos validados por el Ideam de cuatro años. También se consultaron datos obtenidos por *Surface meteorology and solar energy* (SSE), conjunto de datos que contiene los parámetros formulados para evaluar y diseñar sistemas de energía renovable (Nasa Officia, 2017), con datos de radiación solar para un periodo de 22 años. Para el cálculo del sistema se tendrán en cuenta los meses con la menor radiación, obtenidos de las estaciones Nueva Granada y Nasa que se muestran en la siguiente gráfica.

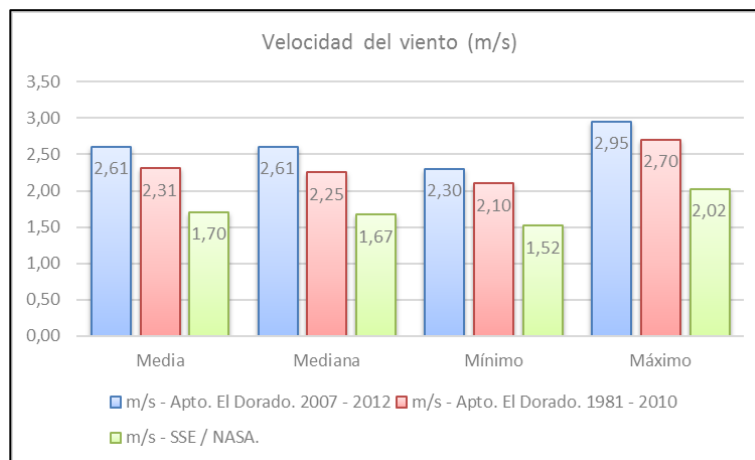
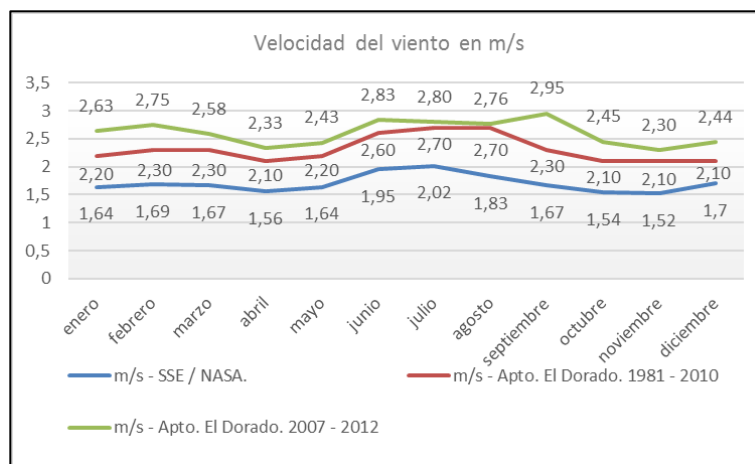
Gráfica 5. Radiación solar y horas de sol por día.



Fuente: SSE y Nasa.

Para obtener los datos de velocidad del viento se solicitó al Ideam dos estaciones cercanas al área de estudio: La Cosecha y Universidad Militar Nueva Granada, sin embargo, al buscar los datos, las estaciones meteorológicas no cuentan con velocidad del viento. La siguiente estación cercana, con datos de velocidad del viento a 10 m de altura, es la estación del aeropuerto El Dorado, a 34 Km de distancia, y se consultaron datos de la SSE (Nasa Official, 2017) para compararlos. En la Gráfica 6 se comparan los datos de SSE, aeropuerto El Dorado series 2007 – 2012 y serie 1981 – 2010. Para el desarrollo del proyecto se utilizaron los datos de la serie 1981 – 2010.

Gráfica 6. Velocidad del viento a 10 m de altura.



Fuente: SSE y Nasa.

Para el dimensionamiento de los sistemas no convencionales, se utilizan datos de entrada de los valores mínimos obtenidos para radiación solar, horas sol día y velocidad del viento.

En el caso de la radiación, se obtuvo un valor de 3,82 kw/m²/día, en la estación Nueva Granada y de 4,59 kw/m²/día en la SEE de la Nasa, para el caso de estudio se trabajó con el primer valor (Esteve Gomez, 2011), en su investigación resalta que en las zonas no interconectadas del país se cuenta con una excelente disponibilidad del recurso solar, con una radiación solar mínima de 4,00 kw/m²/día, lo que indica que los valores para la zona de estudio son cercanos a lo que encontró el autor en su investigación, incluso en la zona de estudio se evidenciaron valores de hasta de 5,54 kW/m²/día favorables para el desarrollo de proyectos relacionados con energía solar.

En cuanto a la velocidad del viento, se encontraron valores mínimos 2,30 m/s, 2,10 m/s y 1,52 m/s para el aeropuerto El Dorado periodo 2007 – 2012, aeropuerto El Dorado 1981 – 2010 y SSE Nasa, respectivamente, en cuanto a los datos SSE Nasa se desvían en más del 20%, por tanto, no fueron tenidos en cuenta, para el dimensionamiento del sistema se tuvo en cuenta los datos más recientes del aeropuerto El Dorado. Los valores de velocidad del viento en la zona de estudio tienen promedios bajos, lo cual no favorece la implementación de este tipo de sistemas, de acuerdo con lo citado por Aguirre Mendoza, Díaz Mendoza y Pasqualino (2017), donde establecen que una velocidad requerida debe ser entre 3 y 6 m/s. Esteve Gomez (2011) en su investigación, menciona que el recurso no es favorable en los municipios analizados, puesto que solo cuentan con una velocidad del viento de 2,4 m/s a 20 metros de altura, velocidad que no es suficiente para un proyecto a pequeña escala; finalmente, para el análisis de datos, se revisaron las condiciones de operación de tres turbinas eólicas presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Condiciones de operaciones turbinas eólicas.

Marca	Modelo	Velocidad arranque (m/s)	Velocidad normal de (m/s)
Raum Energy	3,5 Kw	2,8	11
Nohanna 3000	WT1kW Triple Pala	3	3 - 14
Solar Greensys	SGNE 1000 M5	2,5	2,5 – 12

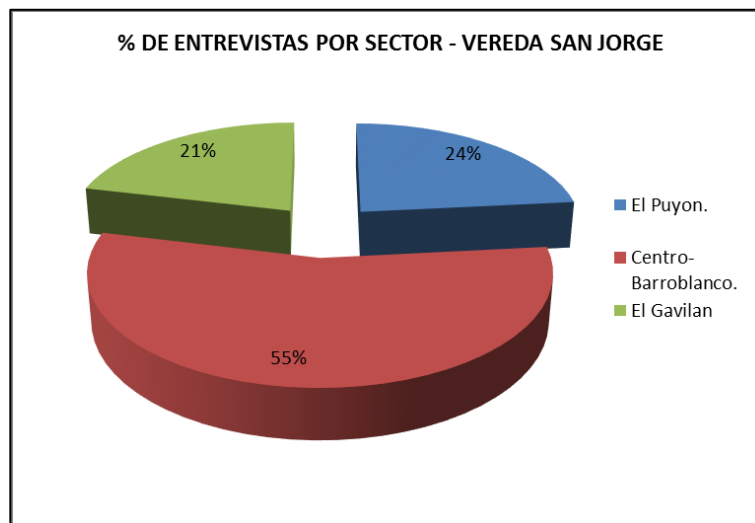
Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Lo anterior permite establecer que las velocidades del viento en el área de estudio no son suficientes para la implementación de sistemas eólicos, puesto que las velocidades de arranque son mayores a las del área de estudio.

5.2 Resultados de los cuestionarios.

Los cuestionarios aplicados permitieron obtener resultados categorizados en tres aspectos, calidad del servicio, opinión sobre las energías no convencionales y datos para determinar la demanda de energía por hogar. La encuesta fue aplicada en tres sectores en los que se subdivide la vereda, 55% en el Centro-Barroblanco sector donde se concentra la mayor densidad de población, 21% en El Gavilán y 24% El Puyón con un total de 47 cuestionarios aplicados. Respecto a la calidad del servicio, la percepción de la comunidad es que en un 66% la empresa presta un servicio bueno, en un 28% regular y en un 6% malo.

Gráfica 7. Cuestionarios aplicados por sector y calidad del servicio.

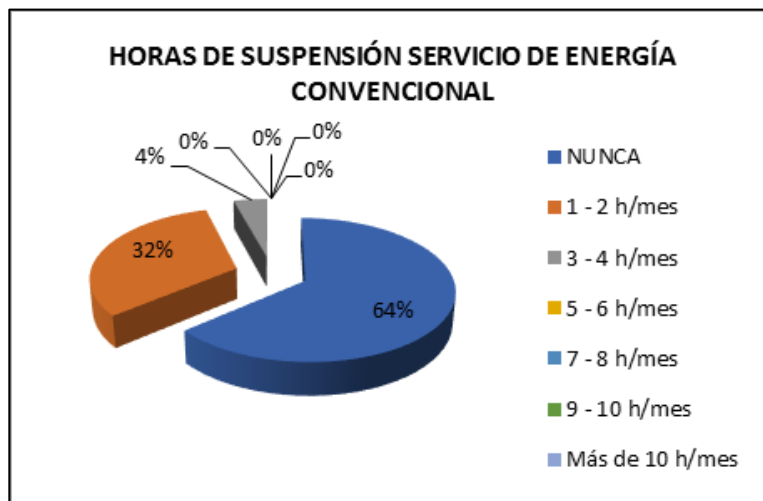


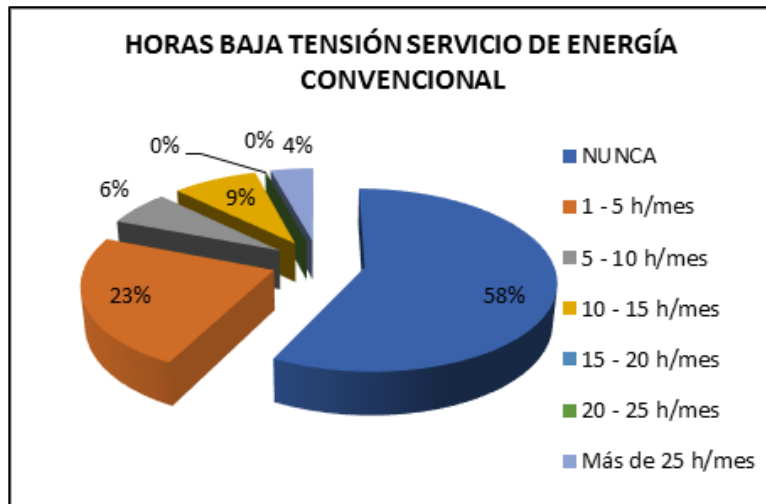
Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Para la medición de la calidad del servicio, se profundizó en dos preguntas con la comunidad, referentes a las horas de suspensión del servicio de energía y cortes por mes. El 64% de los entrevistados afirman que nunca tienen suspensión del servicio de energía, el 32% suspensión de una a dos horas mes y el 4% de tres a cuatro horas mes. En cuanto a la confiabilidad del sistema, el 58% no presenta problemas con baja tensión, sin embargo, el 42% restante afirma presentar algún tipo de problema con la baja tensión como se observa en la Gráfica 7, calidad del servicio que afecta el desarrollo de normal de las actividades en la vereda, es importante resaltar que los entrevistados que presentan mayor porcentaje de baja tensión en sus hogares, son los que se encuentran fuera del área con mayor densidad de población (sector centro).

No contar con un servicio confiable o intermitente afecta la calidad de vida de los habitantes, retrasa las oportunidades de negocio, ingresos y aumenta las desigualdades sociales respecto a zonas con una confiabilidad alta, acorde con lo postulado por Biswas, Bryce y Diesendorf (2001). Estas intermitencias pueden llegar a ser compensadas al implementar sistemas de energía renovable en forma masiva en una zona rural como lo demostró la investigación de Nakataa, Kuboa y Lamontb (2005) en Japón. En este aspecto la investigación determina que en la vereda hay problemas de confiabilidad, relacionados con la intermitencia y la baja de tensión, que afectan directamente el desarrollo de actividades, lo que disminuye la productividad en los habitantes, abriendo un camino importante para las energías no convencionales que, por investigaciones previas, se conoce que disminuyen las intermitencias.

Gráfica 8. Horas de suspensión y baja tensión de energía

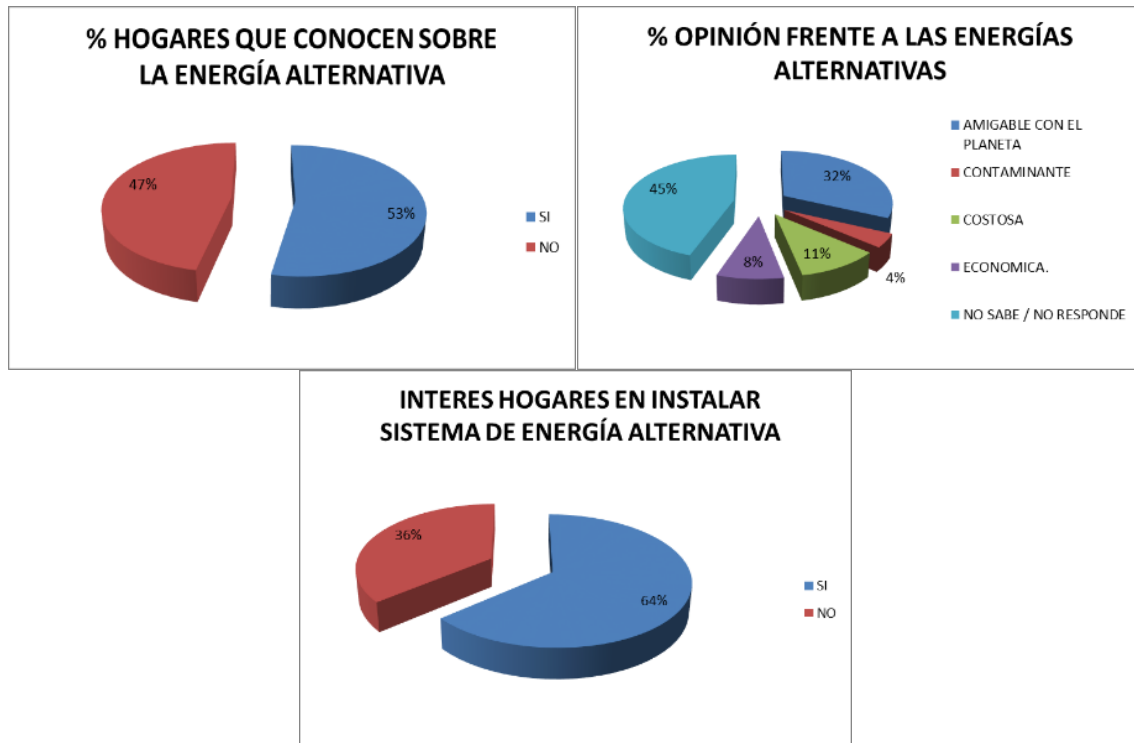




Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Respecto al conocimiento de la población sobre energías alternativas como la solar y eólica, las opiniones se encuentran divididas, el 53% afirma conocer o haber escuchado sobre estos sistemas y el 47 % los desconoce, esto nos permite inferir que la divulgación sobre este tipo de energías es muy baja. Durante la aplicación del cuestionario se les informó cómo funcionan estos sistemas para que contaran su opinión tienen frente a estos, el 45% opinan que son amigables con el planeta, el 32% no sabe o no responde, 11% opina que es costosa y el 8% que es económica, sin embargo, al preguntar sobre el interés en instalar un sistema de energía alternativa, la población responde en un 64% afirmativamente, pero con un condicionante social importante, y es el factor económico, pues si bien es cierto que la mayoría opina que son sistemas amigables con el planeta, el factor determinante para instalarlo es que sea más económico que el sistema convencional actual. En estudios previos como el de Rosso Cerón y Kafarov (2015), se estableció que los periodos de retorno para recuperar la inversión inicial se encuentran entre seis y siete años, información confirmada o negada con la resolución del objetivo tres.

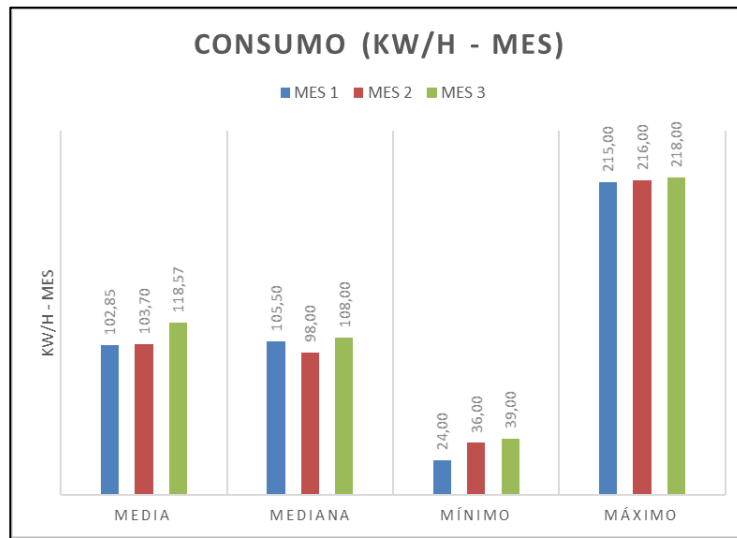
Gráfica 9. Percepción sobre las energías alternativas



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Para determinar la demanda de energía durante la aplicación del cuestionario, se analizaron dos aspectos principales, primero, el consumo actual basado en los recibos de pago y, segundo, un inventario eléctrico para determinar la demanda real por hogar. El consumo actual obtenido de los recibos de pago, en promedio fue de 108,37 kw/h-mes, con un máximo promedio de 216,33 kw/h-mes, como se muestra en la Gráfica 10.

Gráfica 10. Consumo actual en hogares de la vereda San Jorge, Zipaquirá.



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Sin embargo, los datos anteriores fueron tomados como referencia para establecer una línea base, la determinación del consumo para el diseño de un sistema de energía no convencional se obtuvo de un inventario de equipos eléctricos y electrónicos obtenidos mediante la aplicación del cuestionario, con el cual se estableció un consumo de 137 kw/h-mes, siguiendo los lineamientos del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050, 1998).

Tabla 11. Calculo energía requerida por hogar

Electrodoméstico (devices)	Vatios promedio por ítem (watts)	Cantidad / casa promedio	Cantidad / casa redondear	Potencia total (w)	Potencia total (w) ¹ ntc 2050_220-21,	Potencia total (w) ² ntc 2050_220-17,	Horas (h) / día	Horas (h) / mes	Vatios total watts - día w	Vatios total kw - día
Televisor	150	1,64	2,00	300,00	300,00	225,00	4,43	132,77	995,74	1,00
Equipo de sonido	100	0,87	1,00	100,00	0,00	0,00	2,26	67,66	0,00	0,00
Computador	120	0,70	1,00	120,00	120,00	90,00	1,32	39,57	118,72	0,12
Lavadora	400	0,79	1,00	400,00	400,00	300,00	0,13	3,91	39,15	0,04
Secadora	400	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Plancha	1000	0,77	1,00	1000,00	1000,00	1000,00	0,12	3,70	123,40	0,12
Aspiradora	1000	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Horno microondas	1000	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,22	0,00	0,00
Nevera	300	1,00	1,00	300,00	300,00	225,00	8,00	239,98	1799,82	1,80
Ducha eléctrica	1500	0,70	1,00	1500,00	1500,00	1500,00	0,09	2,80	139,89	0,14
Secador de pelo	1500	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,45	0,00	0,00
Plancha de pelo	1000	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	7,98	0,00	0,00
Estufa eléctrica		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	33,33	0,00	0,00

¹Se utilizó el criterio de cargas no coincidentes, NTC 2050_220-21.

²Se utilizó el criterio de NTC 2050_220-17, reducción del 75%.



DVD	30	1,00	1,00	30,00	0,00	0,00	0,13	4,00	0,00	0,00
Video Juego	36	1,00	1,00	36,00	36,00	27,00	3,33	100,00	90,00	0,09
Impresora		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,10	3,00	0,00	0,00
Licuadaora	350	1,00	1,00	350,00	0,00	0,00	0,50	15,00	0,00	0,00
Sanduchera	800	1,00	1,00	800,00	800,00	600,00	0,13	3,75	75,00	0,08
Maquina cerca eléctrica	30	1,00	1,00	30,00	30,00	22,50	3,00	90,00	67,50	0,07

SUBTOTAL 3449,23 3,45

	Vatios promedio (watts)	Cantidad / casa	Cantidad / casa redondear ³	Horas (h) / día	Horas (h) / mes	Vatios total (watts) - día	Vatios total kw - día
No. bombillas Incandescente	60	3,85	4,00	4	120	924,255	0,92
No. bombillas Fluorescente	40	0,13	0,00	4	120	0,000	0,00
No. bombillas Led	7	0,34	0,00	4	120	0,000	0,00
No. bombillas Ahorradoras	25	2,47	2,00	4	120	200,000	0,20
No. bombillas de Halógeno	50	0,32	0,00	4	120	0,000	0,00
						Subtotal	1124,26 1,12

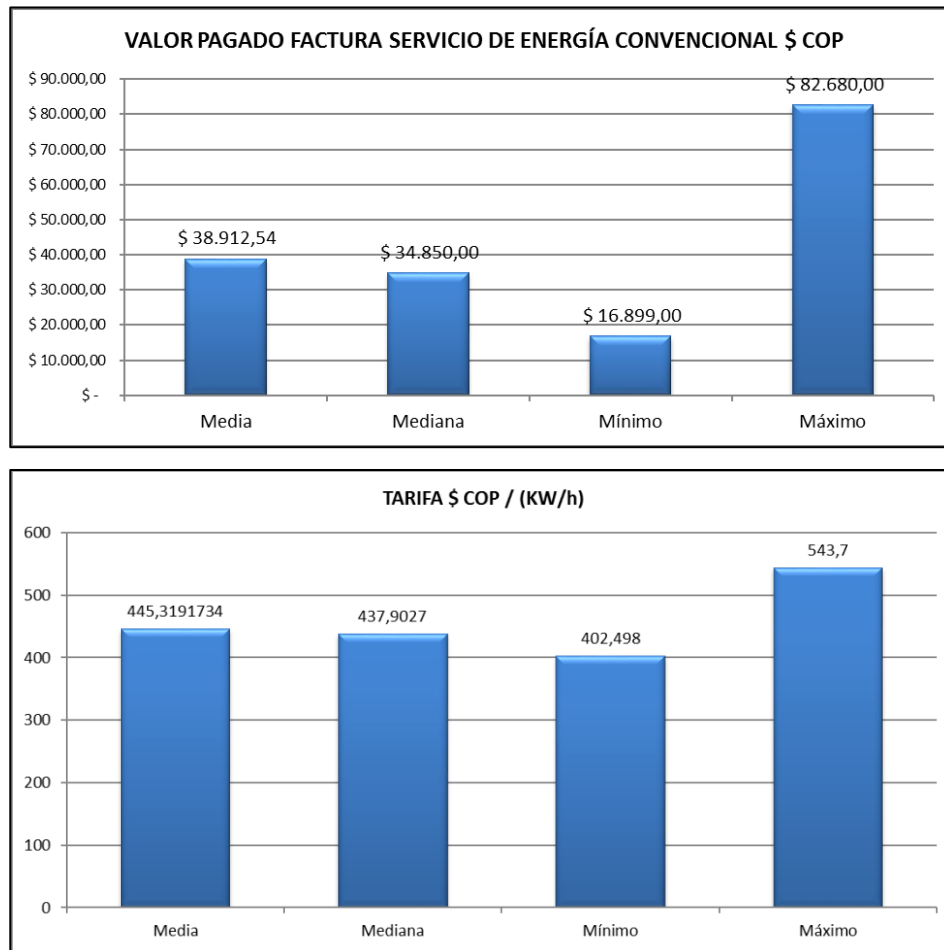
Total (w/día)	4573,00
Total (w/mes)	137205,00
Total (Kw-h / mes)	137,00

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

³El consumo de luminarias fue calculado de acuerdo con los datos reales obtenidos en campo, sin embargo, para un sistema más eficiente es recomendable solo utilizar aparatos eléctricos y electrónicos ahorradores de energía, como lo son las bombillas led.

El consumo de 137 kw/h-mes, es un dato aceptable y viable para el diseño del sistema de energía no convencional, teniendo en cuenta los datos obtenidos por el consumo real, es importante aclarar que los hogares rurales no fueron pensados para sistemas de energía no convencional y aún utilizan aparatos eléctricos y electrónicos poco eficientes como bombillas incandescentes, lo que permite concluir que, el consumo para hogares nuevos, puede ser menor si se planea pensando en sistemas más eficientes. Otro aspecto importante en la investigación que más adelante se planteará como insumo para comparar los dos sistemas, es el valor mensual que les cuesta hoy a los habitantes de la vereda. En la Gráfica 11 se indica que, en promedio, se cancelan por una factura \$38.912, lo que equivale a \$ 466.951 año, y el valor del kw en promedio se paga a \$ 445,32. Estos datos son un referente para comparar los costos con un sistema no convencional.

Gráfica 11. Costo actual de la energía en la vereda.



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Algunos datos de interés que se evidenciaron durante la aplicación del cuestionario, fue el uso generalizado de estufas de carbón y leña, hecho que condujo a hacer una pregunta adicional: ¿por qué no se usaba la estufa de gas?, obteniendo como respuesta el alto costo de un cilindro de gas que, según informaron, cuesta más de \$60.000 COP y solo dura un mes, dato que abre una oportunidad de investigación, para formular alternativas más económicas y sostenibles.

Por parte de la comunidad se evidencia un interés de cambio hacia sistemas alternativos de energía, ya sea para suministro de energía, calefacción del hogar o para cocinar, pero con un condicionante sumamente importante, el costo de la alternativa, es decir, prevalece un interés económico para migrar a otros sistemas no convencionales, lo que es comprensible, puesto que la mayoría de los hogares son estrato uno y dos, donde las condiciones económicas por hogar son bastante estrechas.

5.3 Arreglo del sistema de energía no convencional

5.3.1 Sistema de energía solar

Para la determinación del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para un hogar promedio de la vereda San Jorge, se realizó el dimensionamiento mínimo a tener en cuenta, esto con el fin de conocer cuántos equipos son requeridos para un arreglo típico, si es viable técnicamente de acuerdo con los datos climatológicos y como línea base. El arreglo fotovoltaico se realizó teniendo en cuenta lo norma IEEE 1013 de 2007, “*IEE Recommended practice for sizing lead-acid batteries for stand-alone photovoltaic (PV) systems*”, dando los siguientes resultados:

1. Demanda de carga, días de autonomía y pérdidas							
				Valor	Unidad		
Potencia AC por día				4573	wh/día		
Potencia total AC por día				4573	wh/día		
Voltaje nominal del sistema				48	V		
Autonomía del sistema				1,5	día		
Autonomía del sistema				36	hora		

2. Diseño arreglo fotovoltaico							
Características estándar panel				Características térmicas panel			
Potencia de Salida	P	275,00	Wp	Nominal operation cell temperature	NOCT	46	°C

Maximum power point voltage	V _{MPP}	31,00	V		TC Isc	0,04	%/°C
Maximum power point current	I _{MPP}	8,94	A		TC Voc	-0,3	%/°C
Open circuit voltage	V _{OC}	39,40	V		TC Pmpp	-0,41	%/°C
Short circuit current	I _{sc}	9,58	A	Operating temperature		menos 40°C to 85°C	
Module efficiency	η _m	16,4	%			*STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1.5	
Marca del Panel.	Sunmodule Plus - SW 275 MONO						

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

$$\text{Minima } W_p = \frac{\text{Potencia total AC por día}}{\text{Horas de sol por día}} \times \text{Pérdidas del sistema} \qquad \text{Minima } W_p = \frac{4573,00 \text{ Wh}}{3,5 \text{ h/day}} \times 1,2 = 1567,89 \text{ W}$$

Número de paneles

$$\text{Numero de paneles} = \frac{\text{Minima } W_p}{\text{Potencia salida panel}} \qquad \text{Numero de paneles} = \frac{1567,89 \text{ W}}{275 \text{ W}} = 6,0$$

Potencia mínima requerida	1567,8857	W
Total, de paneles	6	Und

3. Controlador de carga

Máximo Voltaje (V)	600,00	V	Marca del controlador	VarioString VS-120
Máxima Corriente (I)	120	A		
Voltaje de operación	48	V		
MPPT	Sí			

DIMENSIONAMIENTO CONTROLADOR

$$\begin{aligned} \text{Corriente maxima(paralelo)} &= I_{sc} \times \text{No. de paneles} & \text{Voltaje maximo(serie)} &= V_{oc} \times \text{No. de paneles} \\ \text{Corriente maxima(paralelo)} &= 9,58 \text{ A} \times 6 = 57,48 \text{ A} & \text{Voltaje maximo(serie)} &= 236,4 \text{ V} \times 6 = 236,4 \text{ V} \end{aligned}$$

Corriente máxima (paralelo)	57,48	A	Unidades requeridas en paralelo	1
Voltaje máximo (serie)	236,4	V	Unidades requeridas en serie	1
Configuración del sistema FV	Serie.			

4. Baterías

Máxima profundidad de descarga	60,00	%	Marca del batería	AGM 150 Ah
Voltaje nominal de la batería	12			
Capacidad de la Batería	150	(Ah@10h)		

DIMENSIONAMIENTO BATERÍA

$$\text{Mínima capacidad batería} = \frac{\text{Potencia total AC por día}}{\text{Profundidad de descarga} \times \text{Voltaje nominal del sistema}} \times \text{Perdida del sistema} \times \text{días de autonomía}$$

$$\text{Mínima capacidad batería} = \frac{4573,00 \text{ wh/día}}{0,6 \times 48\text{V}} \times 1,2 \times 1,5 = 285,81 \text{ Ah}$$

$$\text{Número de baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje nominal del sistema}}{\text{Voltaje de la batería}}$$

$$\text{Número de baterías en paralelo} = \frac{\text{Mínima capacidad batería}}{\text{Capacidad de la batería}}$$

$$\text{Número de baterías en serie} = \frac{48\text{V}}{12\text{V}} = 4$$

$$\text{Número de baterías en paralelo} = \frac{285,81 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah@10h}} = 2$$

Mínima capacidad batería	285,81	Ah	Capacidad total banco de baterías	300,00	(Ah@10h)
Cantidad de baterías en Serie	4,00	Und	Voltaje total banco de baterías	48,00	V
Cantidad de baterías en paralelo	2,00	Und	Días de autonomía real	1,57	días
Cantidad total de baterías	8,00	Und	Profundidad promedio de descarga	60%	%

5. Inversor

Eficiencia	96,00	%	Marca del inversor	Studer Innotec
Voltaje operacional inversor	48,00	v	Modelo inversor	XTM 4000-48
Capacidad en forma continua	3500,00	W	Modelo inversor	Inversor / cargador
Capacidad pico	10500,00	W		

DIMENSIONAMIENTO CONTROLADOR

$$\text{Tasa mínima nominal de potencia} = \frac{\text{Suma de la demanda de energía}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{Tasa mínima nominal de potencia} = \frac{4573 \text{ wh/día}}{0,96} = 4763,54 \text{ w}$$

Tasa mínima nominal de potencia	4763,54	W
Unidades requeridas	2,00	W

Una vez realizado dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico se pudo determinar que el arreglo final del sistema estará compuesto como mínimo por:

Arreglo final sistema pv	Stand Alone	Grid Connect
Paneles Fotovoltaicos	6	6
Controlador de carga	1	0

Batería	8	0
Inversor	2	2

Para su instalación la investigación determino, que se requieren elementos adicionales como los mencionados en la siguiente lista:

Descripción	Stan alone	Grid Connect
Suministro e Instalación Cable Solar 6mm	X	X
Suministro e Instalación Cable encauchetado 10 AWG	X	X
Suministro e Instalación Breaker DC 30 AMP	X	X
Suministro e Instalación Caja de Breaker4 circuitos	X	X
Suministro e Instalación tubería IMC 1/2" x 3m	X	X
Suministro e Instalación codo 1/2" 90ª IMC	X	X
Suministro e Instalación Unión 1/2" IMC	X	X
Suministro e Instalación Estructura para Soporte Baterías	X	
Suministro Medidor Bidireccional		X
Conexión planta solar a tablero de distribución	X	
Certificación RETIE	X	

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

5.3.2 Arreglo del sistema eólico

Al igual que el sistema solar, fue necesario realizar el dimensionamiento de un arreglo eólico para determinar su viabilidad técnica, de acuerdo con los datos climatológicos y como línea base. Como datos de entrada se utilizaron los calculados a partir de los aparatos eléctricos y electrónicos, que son los mismos utilizados para el sistema solar.

1. Demanda de carga, días de autonomía y pérdidas

	Valor	Unidad
Potencia AC por día	4573	wh/día
Potencia total AC por día	4573	wh/día
Voltaje nominal del sistema	48	V
Autonomía del sistema	1,5	día
Autonomía del sistema	36	hora

2. Condiciones meteorológicas y del terreno

Velocidad del viento en (m/s)												
enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
2,63	2,75	2,58	2,33	2,43	2,83	2,80	2,76	2,95	2,45	2,30	2,44	
Coeficiente de Potencia			Cp	0,45								
Densidad del Aire			δ	0,90								

3. Diseño arreglo eólico

Características estándar turbina			Características térmicas panel		
Potencia nominal	1000,00	W	Diámetro del rotor	2,35	m
Máximo poder	1030,00	W	Peso Neto	25	Kg
Tensión Nominal	48,00	V	Número de cuchillas	3	
Velocidad de arranque del viento	2,50	m/s	Eficiencia	15%	
Velocidad nominal del viento	12,00	m/s			
Velocidad del viento	45,0	m/s			
Marca de la turbina	Turbina eólica 1000W / Referencia SGNE 1000 M5				

Determinación de la potencia turbina eólica

$$Potencia = \frac{1}{2} * C_p * \delta * A * V^3$$

$$Potencia = \frac{1}{2} * 0,45 * 0,90 * \frac{\pi}{4} * 2,35^2 * 2,30^3$$

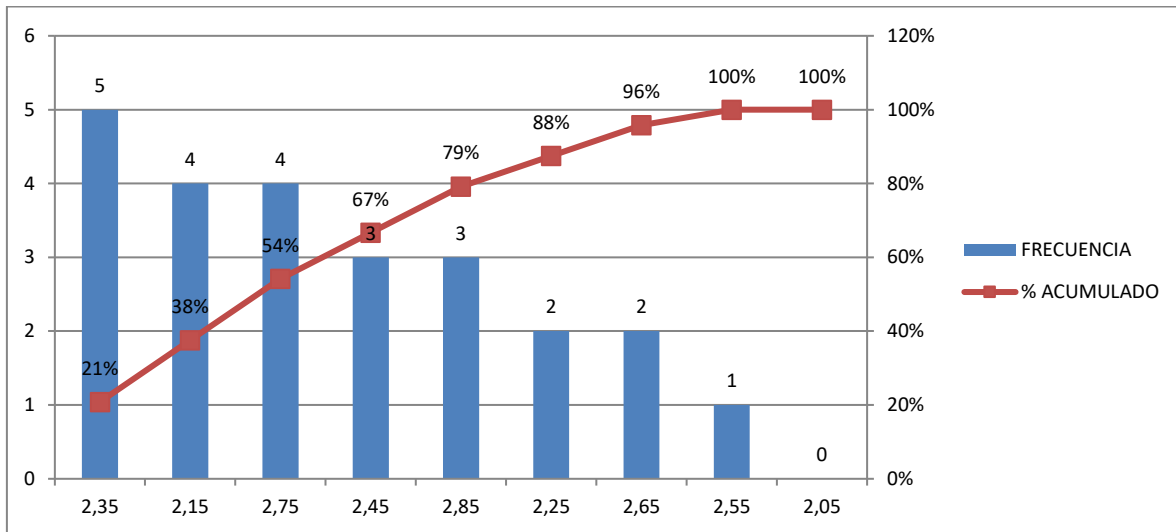
Potencia que Genera la Turbina	10,686492	W	La velocidad del viento no permite el uso de energía eólica por su bajo potencial. Para llegar a suplir la energía necesaria se requieren más de 400 turbinas, lo que es inviable.
No. De Turbinas requeridas	427,9234	Und.	

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

El arreglo del sistema no se continua, puesto que, de acuerdo con las velocidades del viento, se determina que, técnicamente nos es viable instalar un sistema eólico, puesto que para lograr la potencia de 4573 wh/día, se necesitarían más de 400 turbinas; lo que no es posible por espacio, deterioro del paisaje y fuente de financiación razonable, esto permite concluir y confirmar lo citado por las investigaciones de Aguirre Mendoza, Díaz Mendoza y Pasqualino (2017), además de Esteve Gomez (2011), donde velocidades por debajo de 3 m/s, no son viables para la utilización de sistemas eólicos a pequeña escala.

La Gráfica 12, representa el total de las velocidades promedio del viento en m/s de la estación aeropuerto El Dorado para el periodo 2007 – 2012. En la que se puede establecer que el 80% de las velocidades se van a mover entre 2,15 m/s a 2,85 m/s, como máximo, dando razón a los autores y confirmando los resultados de los cálculos determinados.

Gráfica 12. Diagrama de Pareto. Velocidades del viento, vereda San Jorge.



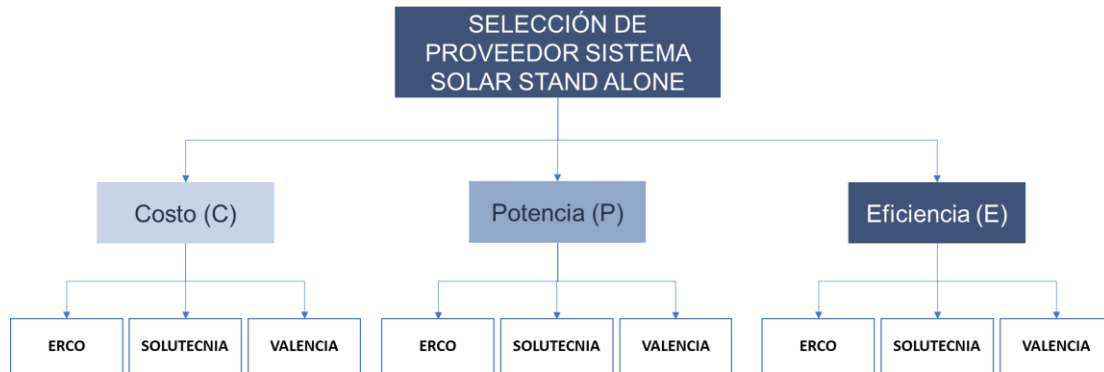
Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Finalmente, instalar un sistema híbrido (solar y eólico), tampoco es posible, teniendo en cuenta que, como se determinó anteriormente, el arreglo de un sistema solar es suficiente, y agregar un sistema híbrido al solar, en lugar de aumentar su eficiencia, esta disminuirá y, por ende, aumentarían los costos de producción de energía, razón por la que el análisis de alternativas se basa en sistemas solares *Grid Connect* y *Stand Alone* únicamente.

5.4 Matriz de alternativas, selección del sistema

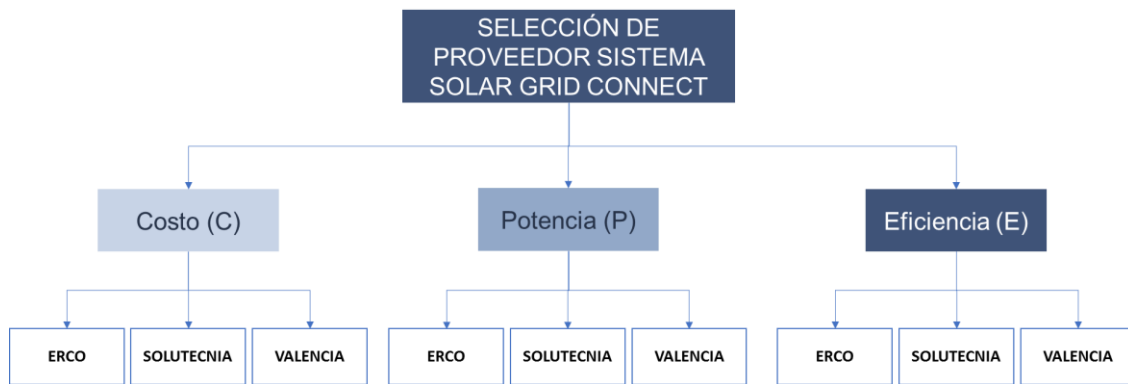
La selección de alternativas se basó en la escala de importancia relativa, en la que se asignaron valores al costo, la potencia y la eficiencia. Se siguieron los diagramas de flujo que vienen a continuación, para determinar la mejor alternativa para el sistema *Stand Alone* y *Grid Connected*:

Figura 20. Árbol para selección de alternativas del sistema *Stand Alone*.



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Figura 21. Árbol para selección de alternativas del sistema *Grid Connect*



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

En la siguiente matriz se establecen los niveles de importancia de variables como costo, potencia y eficiencia:

$$\textit{Alternativa} = \begin{matrix} & \text{Costo} & \text{Potencia} & \text{Eficiencia} \\ \text{Costo} & \left[\begin{array}{ccc} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{array} \right] \\ \text{Potencia} & & & \\ \text{Eficiencia} & & & \end{matrix}$$

Matriz de importancia normalizada:

		Costo	Potencia	Eficiencia	Peso por Criterio	
<i>Alternativa – No</i>	Costo	0,500	0,571	0,4	0,49	
	Potencia	0,250	0,286	0,4		0,31
	Eficiencia	0,250	0,143	0,2		

Consistencia de la matriz:

$$nmax = \begin{matrix} & \text{Costo} & \text{Potencia} & \text{Eficiencia} \\ \text{Costo} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{Potencia} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{Eficiencia} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Peso por Criterio} \\ \begin{bmatrix} 1,67 \\ 1,17 \\ 0,67 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1,51 \\ 0,95 \\ 0,60 \end{bmatrix} \end{matrix} = 3,06$$

$$\text{Indice de consistencia} \quad CI \quad \frac{nmax - n}{n - 1} = \mathbf{0,0304}$$

$$\text{Consistencia aleatoria} \quad RI \quad \frac{1,98 (n - 2)}{n} = \mathbf{0,6600}$$

$$\text{Razon de consistencia} \quad CR \quad \frac{CI}{RI} = \mathbf{0,0460}$$

El nivel de consistencia se considera aceptable si es menor o igual a 0,1, para este caso se concluye que la matriz no presenta sesgo y es consistente con un valor de 0,0460. Los valores de la matriz se utilizaron para la selección de la alternativa *Grid Connect* y *Stand Alone*. Para valoración la determinación de la importancia de los proveedores Erco, Solutecnia Y Valencia, igualmente se generó una matriz para toma de decisiones, así:

Figura 22. Diseño matriz de importancia: proveedor s *Stand Alone*

1. Diseño matriz de proveedores <i>stan alone</i> - COSTO	2. Normalización matriz alternativas proveedores stand alone	3. Consistencia de la matriz
$ \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUtec.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1/3 & \\ & & 1/2 \end{bmatrix} & & \\ \text{SOLUtec.} & \begin{bmatrix} 3 & & \\ & 1 & \\ & & 2 \end{bmatrix} & & \\ \text{VALENC.} & \begin{bmatrix} 2 & & \\ & 1/2 & \\ & & 1 \end{bmatrix} & & \end{matrix} $	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>6,00 1,83 3,50</p> $ \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUtec.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 0,167 & 0,182 & 0,143 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUtec.} & \begin{bmatrix} 0,500 & 0,545 & 0,571 \end{bmatrix} \\ \text{VALENC.} & \begin{bmatrix} 0,333 & 0,273 & 0,286 \end{bmatrix} \end{matrix} $ <p>Peso por Criterio</p> $ \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,54 \\ 0,30 \end{bmatrix} $	$ \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUtec.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1/3 & \\ & & 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUtec.} & \begin{bmatrix} 3 & & \\ & 1 & \\ & & 2 \end{bmatrix} \\ \text{VALENC.} & \begin{bmatrix} 2 & & \\ & 1/2 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} $ <p>Peso por Criterio</p> $ \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,54 \\ 0,30 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,49 \\ 1,62 \\ 0,89 \end{bmatrix} = 3,01 $ <p>Índice de consistencia CI $\frac{nm_{max} - n}{n - 1}$ = 0,0056</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = 0,0085</p>

1. Diseño matriz de proveedores <i>stan alone</i> - POTENCIA	2. Normalización matriz alternativas proveedores stand alone	3. Consistencia de la matriz
$ \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUtec.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 2 & \\ & & 2 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUtec.} & \begin{bmatrix} 1/2 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \\ \text{VALENC.} & \begin{bmatrix} 1/2 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} $	<p>2. Normalización matriz alternativas (criterios)</p> <p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>2,00 4,00 4,00</p> $ \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUtec.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 0,500 & 0,500 & 0,500 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUtec.} & \begin{bmatrix} 0,250 & 0,250 & 0,250 \end{bmatrix} \\ \text{VALENC.} & \begin{bmatrix} 0,250 & 0,250 & 0,250 \end{bmatrix} \end{matrix} $ <p>Peso por Criterio</p> $ \begin{bmatrix} 0,50 \\ 0,25 \\ 0,25 \end{bmatrix} $	$ \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUtec.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 2 & \\ & & 2 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUtec.} & \begin{bmatrix} 1/2 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \\ \text{VALENC.} & \begin{bmatrix} 1/2 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} $ <p>Peso por Criterio</p> $ \begin{bmatrix} 0,50 \\ 0,25 \\ 0,25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,50 \\ 0,75 \\ 0,75 \end{bmatrix} = 3,00 $ <p>Índice de consistencia CI $\frac{nm_{max} - n}{n - 1}$ = 0,0000</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = 0,0000</p>

1. Diseño matriz de proveedores stan alone - EFICIENCIA	2. Normalización matriz alternativas proveedores stand alone	3. Consistencia de la matriz
$\text{Alternativas}_{\text{eficiencia}} = \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUTEC.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & 8/9 & 6/7 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUTEC.} & \begin{bmatrix} 1\ 1/8 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{VALEN.} & \begin{bmatrix} 1\ 1/6 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>3,29 2,89 2,83</p> $\text{Alternativa}_{\text{costo} - \text{No}} = \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUTEC.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 0,304 & 0,308 & 0,303 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUTEC.} & \begin{bmatrix} 0,342 & 0,346 & 0,343 \end{bmatrix} \\ \text{VALEN.} & \begin{bmatrix} 0,354 & 0,346 & 0,354 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,30 \\ 0,34 \\ 0,35 \end{bmatrix}$</p>	$nmax = \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUTEC.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & 8/9 & 6/7 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUTEC.} & \begin{bmatrix} 1\ 1/8 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{VALEN.} & \begin{bmatrix} 1\ 1/6 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 0,30 \\ 0,34 \\ 0,35 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,91 \\ 1,03 \\ 1,05 \end{bmatrix} = 2,99$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1}$ = -0,0051</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n - 2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = -0,0077</p>

Fuente: Elaboración de los autores, 2017

Figura 23. Diseño matriz de importancia: proveedores Grid Connect

1. Diseño matriz de proveedores gríd connect - COSTO	2. Normalización matriz alternativas proveedores stand alone	3. Consistencia de la matriz
$\text{Alternativas}_{\text{costo}} = \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUTEC.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUTEC.} & \begin{bmatrix} 5 & 1 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{VALEN.} & \begin{bmatrix} 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>8,00 1,70 3,50</p> $\text{Alternativa}_{\text{costo} - \text{No}} = \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUTEC.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 0,125 & 0,118 & 0,143 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUTEC.} & \begin{bmatrix} 0,625 & 0,588 & 0,571 \end{bmatrix} \\ \text{VALEN.} & \begin{bmatrix} 0,250 & 0,294 & 0,286 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,59 \\ 0,28 \end{bmatrix}$</p>	$nmax = \begin{matrix} & \text{ERCO} & \text{SOLUTEC.} & \text{VALENC.} \\ \text{ERCO} & \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SOLUTEC.} & \begin{bmatrix} 5 & 1 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{VALEN.} & \begin{bmatrix} 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,59 \\ 0,28 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,39 \\ 1,79 \\ 0,83 \end{bmatrix} = 3,01$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1}$ = 0,0037</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n - 2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = 0,0056</p>

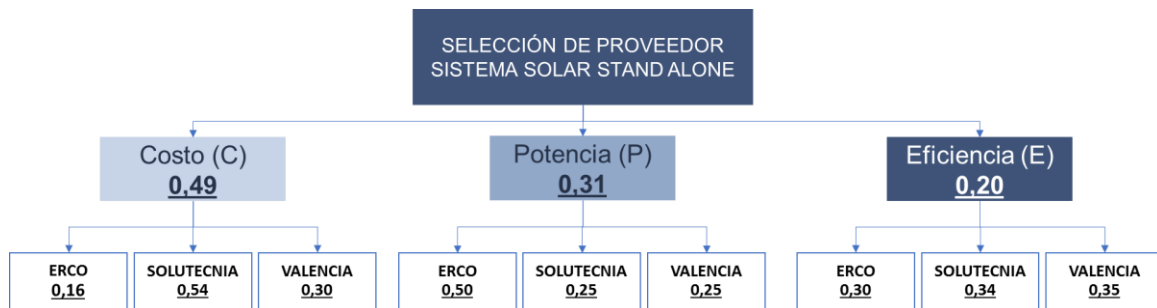
1. Diseño matriz de proveedores grid connect - POTENCIA	2. Normalización matriz alternativas proveedores stand alone	3. Consistencia de la matriz																																																						
<p>Alternativas_{potencia} =</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>1/2</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>1/2</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	ERCO	1	2	2	SOLUTEC.	1/2	1	1	VALEN.	1/2	1	1	<p>Suma</p> <table border="1"> <tr><td>Columna 1</td><td>2,00</td></tr> <tr><td>Columna 2</td><td>4,00</td></tr> <tr><td>Columna 3</td><td>4,00</td></tr> </table> <p>Alternativa_{potencia} - No =</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>0,500</td><td>0,500</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>0,250</td><td>0,250</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>0,250</td><td>0,250</td><td>0,25</td></tr> </table> <p>Peso por Criterio</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>0,25</td></tr> </table>	Columna 1	2,00	Columna 2	4,00	Columna 3	4,00	ERCO	0,500	0,500	0,50	SOLUTEC.	0,250	0,250	0,25	VALEN.	0,250	0,250	0,25	ERCO	0,50	SOLUTEC.	0,25	VALEN.	0,25	<p>nmax =</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>1/2</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>1/2</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table> \times <table border="1"> <tr><td>0,50</td></tr> <tr><td>0,25</td></tr> <tr><td>0,25</td></tr> </table> $=$ <table border="1"> <tr><td>1,50</td></tr> <tr><td>0,75</td></tr> <tr><td>0,75</td></tr> </table> $=$ 3,00 <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1} =$ 0,0000</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n - 2)}{n} =$ 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} =$ 0,0000</p>	ERCO	1	2	2	SOLUTEC.	1/2	1	1	VALEN.	1/2	1	1	0,50	0,25	0,25	1,50	0,75	0,75
ERCO	1	2	2																																																					
SOLUTEC.	1/2	1	1																																																					
VALEN.	1/2	1	1																																																					
Columna 1	2,00																																																							
Columna 2	4,00																																																							
Columna 3	4,00																																																							
ERCO	0,500	0,500	0,50																																																					
SOLUTEC.	0,250	0,250	0,25																																																					
VALEN.	0,250	0,250	0,25																																																					
ERCO	0,50																																																							
SOLUTEC.	0,25																																																							
VALEN.	0,25																																																							
ERCO	1	2	2																																																					
SOLUTEC.	1/2	1	1																																																					
VALEN.	1/2	1	1																																																					
0,50																																																								
0,25																																																								
0,25																																																								
1,50																																																								
0,75																																																								
0,75																																																								

1. Diseño matriz de proveedores grid connect - EFICIENCIA	2. Normalización matriz alternativas proveedores stand alone	3. Consistencia de la matriz																																																						
<p>Alternativas_{eficiencia} =</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>1</td><td>8/9</td><td>6/7</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>1 1/8</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>1 1/6</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	ERCO	1	8/9	6/7	SOLUTEC.	1 1/8	1	1	VALEN.	1 1/6	1	1	<p>Suma</p> <table border="1"> <tr><td>Columna 1</td><td>3,29</td></tr> <tr><td>Columna 2</td><td>2,89</td></tr> <tr><td>Columna 3</td><td>2,83</td></tr> </table> <p>Alternativa_{eficiencia} - No =</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>0,304</td><td>0,308</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>0,342</td><td>0,346</td><td>0,34</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>0,354</td><td>0,346</td><td>0,35</td></tr> </table> <p>Peso por Criterio</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>0,34</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>0,35</td></tr> </table>	Columna 1	3,29	Columna 2	2,89	Columna 3	2,83	ERCO	0,304	0,308	0,30	SOLUTEC.	0,342	0,346	0,34	VALEN.	0,354	0,346	0,35	ERCO	0,30	SOLUTEC.	0,34	VALEN.	0,35	<p>nmax =</p> <table border="1"> <tr><td>ERCO</td><td>1</td><td>8/9</td><td>6/7</td></tr> <tr><td>SOLUTEC.</td><td>1 1/8</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>VALEN.</td><td>1 1/6</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table> \times <table border="1"> <tr><td>0,30</td></tr> <tr><td>0,34</td></tr> <tr><td>0,35</td></tr> </table> $=$ <table border="1"> <tr><td>0,91</td></tr> <tr><td>1,03</td></tr> <tr><td>1,05</td></tr> </table> $=$ 2,99 <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1} =$ -0,0051</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n - 2)}{n} =$ 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} =$ -0,0077</p>	ERCO	1	8/9	6/7	SOLUTEC.	1 1/8	1	1	VALEN.	1 1/6	1	1	0,30	0,34	0,35	0,91	1,03	1,05
ERCO	1	8/9	6/7																																																					
SOLUTEC.	1 1/8	1	1																																																					
VALEN.	1 1/6	1	1																																																					
Columna 1	3,29																																																							
Columna 2	2,89																																																							
Columna 3	2,83																																																							
ERCO	0,304	0,308	0,30																																																					
SOLUTEC.	0,342	0,346	0,34																																																					
VALEN.	0,354	0,346	0,35																																																					
ERCO	0,30																																																							
SOLUTEC.	0,34																																																							
VALEN.	0,35																																																							
ERCO	1	8/9	6/7																																																					
SOLUTEC.	1 1/8	1	1																																																					
VALEN.	1 1/6	1	1																																																					
0,30																																																								
0,34																																																								
0,35																																																								
0,91																																																								
1,03																																																								
1,05																																																								

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

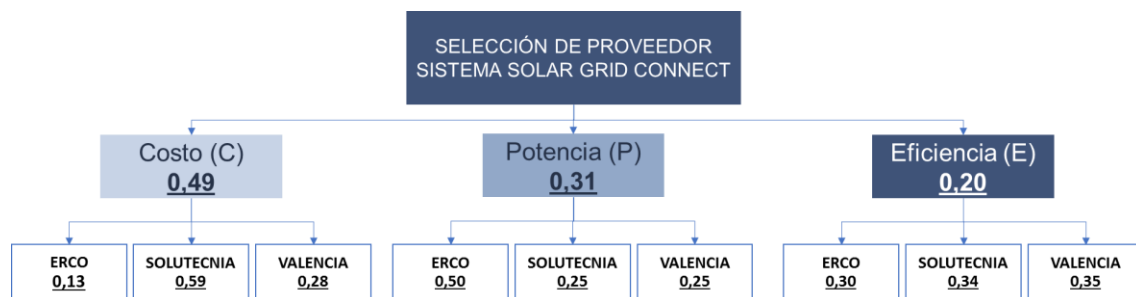
En cada una de las matrices se realizó la comprobación del índice de consistencia que, una vez calculado, permitió verificar la consistencia aleatoria de las matrices de decisión, las que, “en la práctica, suele darse por buenas razones de consistencia inferiores al 10%” (Moreno, 2014). Para este caso, todas las matrices obtuvieron valores inferiores al 10%; de esta manera se continuó con el árbol de alternativas para los sistemas *Stand Alone* y *Grid Connect*, que generó los siguientes puntajes:

Figura 24. Árbol de selección del proveedor del sistema *Stan Alone* - Valores



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Figura 25.. Árbol de selección del proveedor del sistema *Grid Connect* - Valores



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Una vez determinado los valores, se realizó la solución de las matrices para establecer cuál es la mejor alternativa, así:

Tabla 12. Determinación del proveedor seleccionado

TIPO DE SISTEMA	Autonomo / Interconectado	MARCA	POTENCIA (Kwh - MES)	POTENCIA (Wh - día)	COSTO con IVA	EFICIENCIA DEL SISTEMA	CALCULO PUNTAJE ALTERNATIVA	PUNTAJE ALTERNATIVA
SOLAR	STAND ALONE	ERCO	229	7633,33	\$ 48.452.220,00	13,70%	$ERCO = (0,49 \times 0,16) + (0,31 \times 0,50) + (0,20 \times 0,30) =$	0,297
SOLAR	STAND ALONE	SOLUTECNIA	156	5200,00	\$ 12.783.869,00	15,37%	$SOLU. = (0,49 \times 0,54) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,34) =$	0,410
SOLAR	STAND ALONE	VALENCIA	161,4	5380,00	\$ 22.291.152,00	15,85%	$VALE. = (0,49 \times 0,30) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,35) =$	0,293
SOLAR	GRID CONNECT	ERCO	229	7633,33	\$ 34.052.220,00	13,70%	$ERCO = (0,49 \times 0,13) + (0,31 \times 0,50) + (0,20 \times 0,30) =$	0,279
SOLAR	GRID CONNECT	SOLUTECNIA	162	5400,00	\$ 6.201.899,00	15,37%	$SOLU. = (0,49 \times 0,59) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,34) =$	0,438
SOLAR	GRID CONNECT	VALENCIA	161,4	5380,00	\$ 16.917.208,00	15,85%	$VALE. = (0,49 \times 0,28) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,35) =$	0,283

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

De acuerdo con la tabla anterior, el proveedor seleccionado para sistema *Stand Alone* y *Grid Connect* es Soluctecnia con 0,410 y 0,438 puntos respectivamente. El proveedor propone un sistema de 155 Kwh /mes para el sistema *Stand Alone* y de 162 Kwh / mes para el sistema *Grid Connect*, que cubre la necesidad establecida en el presente proyecto de 137 Kwh /mes. Paso importante, pues será este proveedor con el que se desarrollará el tercer objetivo, para comparar con un sistema convencional. Los resultados obtenidos son consistentes con Kolhe, Udumbara y Gunawardana (2015), en cuya investigación se determinó el sistema híbrido como económicamente viable, puesto que el costo del Kw-h es bajo. Esto al comparar los valores del sistema *Stand Alone* con el *Grid Connect* de la Tabla 12, los sistemas *Grid Connect* presentan disminución, en promedio, del valor del 31%.

Otro aspecto importante es que la solicitud de cotizaciones y configuración para la vereda, se realizó a 24 proveedores (Ver Anexo 4) en Colombia, de los cuales cuatro enviaron cotización y uno fue descartado para el análisis de alternativas por falta de información técnica. Esto permite concluir que, a pesar de la aparente oferta en el país, muchas empresas requieren maduración en sus procesos, aspectos técnicos y tiempos de respuesta, lo que deja una oportunidad abierta para emprendedores ya existentes.

Con la elaboración del cuestionario se determinó, de manera concluyente, que el futuro de las energías no convencionales en la zona rural de estudio, está directamente ligado al costo de la energía, acorde con lo encontrado por Siavato (2004), en su investigación “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia”.

Los excedentes de un sistema de energía no convencional podrán significar una oportunidad para los auto generadores a pequeña escala, puesto que la ley 1515 de 2014, reglamentada bajo la resolución CREG 030 de 2018, permite la venta al sistema de energía de la red nacional. Lo que genera mayores expectativas en el futuro para los sistemas *Grid Connect*, sin embargo, se requerirán estudios más detallados para conocer cómo se puede y en qué medida se benefician los auto generadores.

5.5 Características sistema de energía convencional y no convencional seleccionado

Costo sistema de energía no convencional.

En la siguiente tabla se resumen los costos para la vereda de un sistema de energía convencional, para posteriormente comparar con un sistema de energía no convencional.

Tabla 13. Costo de acometida e instalación del sistema de energía convencional

Acometida del poste a muro contador. (50 m de distancia): <ul style="list-style-type: none"> • 1 poste e instalación. • Cableado. • Mano de obra muro y obra civil. 	\$2.000.000
Contador bifásico.	\$500.000
Acometida de 6 a 8 circuitos del contador a los breakeres de hogar	\$1.500.000
Total	\$4.000.000

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

5.5.1 Huella de carbono

La determinación de la huella de carbono del sistema convencional se realizó, siguiendo la metodología de cuantificación de emisiones y/o remociones de GEI (Gases efecto invernadero) del numeral 5,7 de la NTC ISO 14064-2. Para esto se obtuvo un factor de emisión de Gases efecto invernadero del documento Factores de emisión del sistema interconectado nacional Colombia-SIN (Upme, 2017), el cual corresponde a 0,21 tonCO₂/Mwh, así:

CALCULO HUELLA DE CARBONO SISTEMA CONVENCIONAL

Factor de Emision	0,210	tonCO ₂ /MWh
Consumo de energía	137,2	Kw-h / mes
Consumo de energía	1646,4	Kw-h / año

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = \text{Factor de Emisión} * \text{Consumo de energía}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 0,21 \frac{tonCO_2}{MWh} \times \frac{1000 KgCO_2}{1 tonCO_2} \times \frac{1 MWh}{1000Kwh} \times 1646,4 \frac{Kwh}{año}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 0,21 \frac{tonCO_2}{MWh} \times \frac{1000 KgCO_2}{1 tonCO_2} \times \frac{1 MWh}{1000Kwh} \times 1646,4 \frac{Kwh}{año}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = \mathbf{345,744} \frac{KgCO_2}{año}$$

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

La huella de carbono de un sistema convencional es equivalente a 345,744 KgCO₂eq / año.

Para el sistema *Stand Alone* de energía se realizó con un factor de emisión de 0,04991 tonCO₂/Mwh (Nugent & Sovacool, 2014).

CALCULO HUELLA DE CARBONO SISTEMA STAND ALONE (AUTONOMO)

Factor de Emision	0,04991	tonCO ₂ /MWh
Consumo de energía	156	Kw-h / mes
Consumo de energía	1872	Kw-h / año

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = \text{Factor de Emisión} * \text{Consumo de energía}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 0,04991 \frac{tonCO_2}{MWh} \times \frac{1000 KgCO_2}{1 tonCO_2} \times \frac{1 MWh}{1000Kwh} \times 1872 \frac{Kwh}{año}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 0,04991 \frac{tonCO_2}{MWh} \times \frac{1000 KgCO_2}{1 tonCO_2} \times \frac{1 MWh}{1000Kwh} \times 1872 \frac{Kwh}{año}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = \mathbf{93,43152} \frac{KgCO_2}{año}$$

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

La huella de carbono de un sistema no convencional *Stand Alone* es equivalente a 93,43152 KgCO₂eq / año. Para la instalación del sistema y puesta en funcionamiento, de ahí en adelante nuevamente genera huella de carbono, hasta el reemplazo de las baterías.

Para el sistema *Grid Connect* (Upme, 2017), establece que no es posible determinar un factor de emisión único para sistemas híbridos, teniendo en cuenta que para establecerlo se requiere tomar medidas cada hora cuando una planta de (mecanismo de desarrollo limpio) MDL o renovable este generando, y así determinar la energía desplazada en la red de energía convencional. Upme deja abierta la alternativa de realizar estudios para determinar este factor de emisión promedio.

Cada caso es particular, razón por la que la resolución CREG 030 de 2018, establece que los medidores de doble vía para la venta de energía deben tomar registros horarios. Para efectos del proyecto se utilizará un factor de emisión con reducción del 24% respecto a un sistema autónomo solar, basado en el estudio internacional de Barrozo Budes, Valencia Ochoa y Cárdenas Escorcía (2017).

CALCULO HUELLA DE CARBONO SISTEMA GRID CONNECT (INTERCONECTADO)

Factor de Emisión	0,0379	tonCO ₂ /MWh
Consumo de energía	162	Kw-h / mes
Consumo de energía	1944	Kw-h / año

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = \text{Factor de Emisión} * \text{Consumo de energía}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 0,0379 \frac{tonCO_2}{MWh} \times \frac{1000 KgCO_2}{1 tonCO_2} \times \frac{1 MWh}{1000Kwh} \times 1944 \frac{Kwh}{año}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 0,0379 \frac{tonCO_2}{MWh} \times \frac{1000 KgCO_2}{1 tonCO_2} \times \frac{1 MWh}{1000Kwh} \times 1944 \frac{Kwh}{año}$$

$$GEI (KgCO_2eq)_{año} = 73,6776 \frac{KgCO_2}{año}$$

Fuente: Elaboración de los autores, 2017

La huella de carbono de un sistema no convencional *Grid Connect* es equivalente a 73,6776 KgCO₂eq / año.

5.5.2 Evaluación de confiabilidad del sistema

Para determinar el grado de confiabilidad y la comparación de dicho grado entre las tres alternativas (*Stand Alone*, *Grid Connect*, convencional) se tomaron como base los datos proporcionados por el estudio de (Villar, 2003), como primera medida se calcularon las tasas de fallo estimadas para cada uno de los componentes de los sistemas no convencionales (*Stand Alone* y *Grid Connect*), a partir de los parámetros dados por la Tabla 5, de los cuales, luego del cálculo utilizando la función de fiabilidad mostrada en la $R(t) = e^{-(t)a}$ Ecuación, se obtienen los porcentajes de fiabilidad y la tasa de fallo resultante para cada uno de los componentes del sistema mostrados en la Tabla 14.

$$R(t) = e^{-(t)a} \text{ Ecuación 26}$$

Dónde:

I: Ocurrencia de fallos

t: Tiempo

a: Tasa de fallos del componente

Tabla 14. Tasas de fiabilidad de los componentes.

Componente del sistema	Años en operación					Tasa de fallo del componente
	0,5	1	5	10	20	
GENERADOR	99,9	99,8	98,8	97	92,3	$0,002+0,0002t$
BATERIA	99	96,1	36,8	1,8	0	$0,08t$
REGULADOR	97,5	95,1	77,8	60,6	36,8	0,05
CABLEADO	99,9	99,8	99	98	96,1	0,02
SISTEMA	96,4	91	28	1	0	$0,054+0,0802t$

Fuente: Villar, 2003.

Luego de obtener la fórmula para el cálculo de la tasa de fallo de cada uno de los componentes del sistema se calcula dicha tasa a los 6 meses, 1, 5, 10 y 20 años, en el sistema *Stand Alone* y *Grid Connect*, los resultados de este cálculo es el porcentaje de número de fallos en cada componente y en el sistema los cuales se muestran en la Tabla 14 y Tabla 15, respectivamente.

Tabla 15. Tasa de fallo en componentes del sistema *Stand Alone*.

STAND ALONE					
Componente del sistema	Años en operación				
	0,5	1	5	10	20
TASA DE FALLO GENERADOR (años)	0,0021	0,0022	0,003	0,004	0,006
TASA DE FALLO BATERIA (años)	0,04	0,08	0,4	0,8	1,6
REGULADOR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
CABLEADO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
TASA DE FALLO DEL SISTEMA (años)	0,1121	0,1522	0,473	0,874	1,676

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Tabla 16. Tasa de fallo para los componentes del sistema *Grid Connect*

Componente del sistema	GRID CONNECT				
	Años en operación				
	0,5	1	5	10	20
TASA DE FALLO GENERADOR (años)	0,0021	0,0022	0,003	0,004	0,006
TASA DE FALLO BATERIA (años)	0	0	0	0	0
REGULADOR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
CABLEADO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
TASA DE FALLO DEL SISTEMA (años)	0,0721	0,0722	0,073	0,074	0,076

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Se puede observar que en el sistema *Grid Connect* la tasa de fallo de la batería tiene un valor de cero ya que este sistema no cuenta con baterías. Al obtener el porcentaje de número de fallos del sistema se procede al cálculo del porcentaje de disponibilidad, dada por la Ecuación 27:

$$A = Afallos * ALLP = \left(1 - \frac{MDT}{MUT + MDT}\right) * (1 - LLP) \text{ Ecuación 27.}$$

Dónde:

MDT: Tiempo medio de reparación en años

MUT: Tiempo de operación normal.

LLP: Probabilidad de pérdida de carga.

A fallos: Disponibilidad a ausencia de fallos.

A LLP: Disponibilidad a dimensionamiento.

Las variables de la ecuación 27 se obtienen en primera medida tomando los parámetros de tiempo medio de reparación MDT, para los que Villar (2003) establece tres escenarios, expuestos en la Tabla 6 ,donde, en este caso, se tomó el escenario uno, que corresponde a un tiempo de reparación de cuatro días, se toma el primer escenario, pues la vereda San Jorge, se encuentra a 45 minutos de Bogotá, hecho que permite la rápida consecución de personal técnico capacitado y de repuestos. Tras la generación de las variables expuestas en la Ecuación 22, el resultado se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Porcentaje de disponibilidad para el sistema no convencional Stand Alone

STAND ALONE					
Variables para calculo de disponibilidad	AÑOS DE OPERACIÓN				
	0,5	1	5	10	20
Tiempo de parada por mantto (Días)	4				
MTBF	8,921	6,570	2,114	1,144	0,597
MDT	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
AFALLOS	0,999	0,998	0,995	0,991	0,982
ALLP	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990
A	0,989	0,988	0,985	0,981	0,972
% DISPONIBILIDAD	98,879	98,835	98,489	98,061	97,214

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Tabla 18. Porcentaje de disponibilidad para el sistema no convencional Grid Connect

GRID CONNECT					
Variables para calculo de disponibilidad	AÑOS DE OPERACIÓN				
	0,5	1	5	10	20
Tiempo de parada por mantto (Días)	4				
MTBF	13,870	13,812	13,699	13,514	13,158
MDT	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
AFALLOS	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
ALLP	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990
A	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989
% DISPONIBILIDAD	98,922	98,922	98,921	98,920	98,918

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Como último paso, se calculó el porcentaje de disponibilidad del sistema convencional, basado en el número de horas interrumpidas, reportadas por Codensa en las facturas, más las horas de baja tensión reportadas en lo cuestionario aplicados a los habitantes, de este ejercicio se obtiene el resultado de la Tabla 19.

Tabla 19. Porcentaje de disponibilidad del servicio convencional

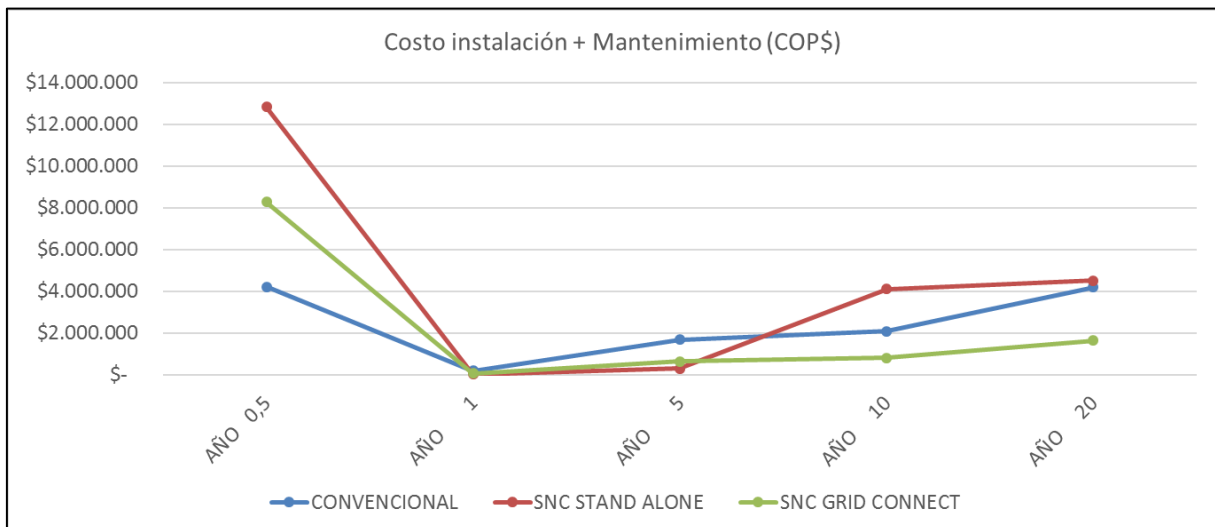
Sistema Convencional	
No Hogares	47
Horas interrumpidas	202
Horas de baja tensión	117
Total horas sin servicio	319
Promedio de horas interrumpidas por hogar	6,787
Días promedio servicio interrumpidas por hogar	0,28280
Porcentaje de horas año de interrupción	0,00077
% Disponibilidad del servicio	0,99923
	99,9225

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

5.6 Comparación SC Vs. SNC.

Teniendo en cuenta que los sistemas no convencionales varían en el tiempo y con base en los antecedentes la investigación contemplo realizar un análisis de los datos en seis meses, uno, cinco, 10 y 20 años.

Gráfica 13. Costo de instalación + mantenimiento en cada periodo.



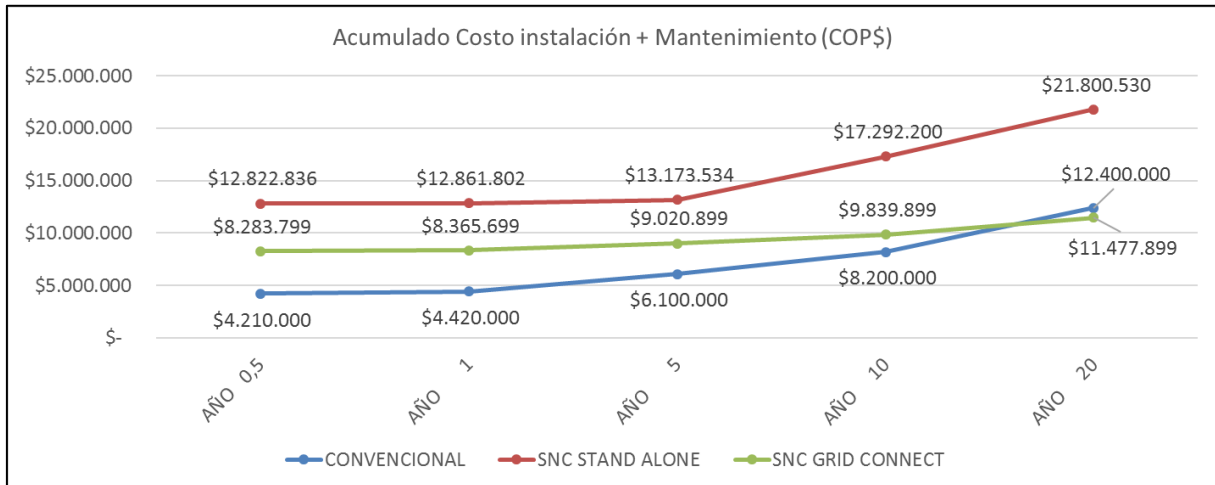
Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

A los seis meses, con la instalación de los equipos, el *SNC Stand Alone*, es el más costoso con un valor de COP\$ 12.822.835, respecto a un SC, con un valor COP\$ 4.210.000 y COP\$ 8.283.799 para el *SNC Grid Connect*, es decir, supera los valores en un 204% y 96% respectivamente, para los años uno al cinco, los valores del costo de mantenimiento tienden a igualarse y en el año 10, nuevamente se incrementan considerablemente los costos del *SNC Stand Alone*, por deterioro de las baterías en un 96%, respecto a un SC; finalmente, en el año 20 la tendencia exitosa en temas de costos es para el sistema *Grid Connect*, con un valor de COP\$ 1.638.000 (año 10 al 20), lo que significa una reducción del 39%, respecto al SC, con un valor de COP\$ 4.200.000 para el mismo periodo y una reducción del 36% respecto al SNC, *Grid Connect* con un valor de COP\$ 4.508.330 para el mismo periodo.

Para ejecutar una comparación efectiva de costos se realizó una sumatoria acumulativa incluyendo instalación y mantenimiento, con el fin de determinar los valores totales al final de cada

periodo y así determinar en 20 años cual termina siendo más costoso, en la Figura 27, se observa el comportamiento acumulado por sistema.

Gráfica 14. Acumulado costo de instalación + mantenimiento.



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

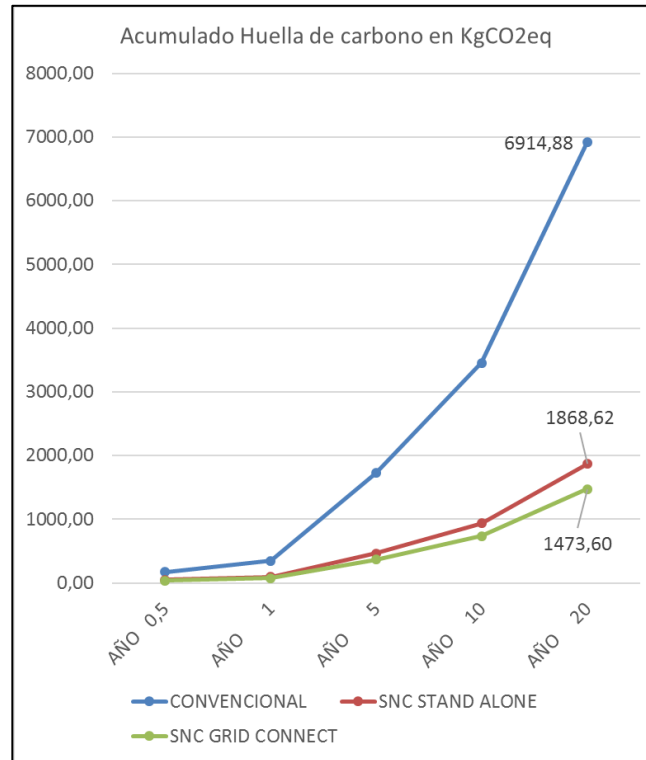
Realizando el análisis de la gráfica 14, se determina que en el año 10 el sistema Stand Alone supera en más del 110% el SC y SNC Grid Connect en 76%. Sin embargo, en el año 10, la tendencia no es tan marcada para el SC y SNC Grid Connect la diferencia entre los dos es tan solo el 19%.

Para el año 20 la tendencia pasa a ser favorable para el sistema *Grid Connect* con una reducción del 8% respecto al SC, este análisis permite concluir que los SNC Stand Alone (autónomos), en zonas interconectadas, no son viables económicamente, por el contrario los SNC *Grid Connect* (conectados a la red), es un opción viable y económica si el proyecto o, en este caso vivienda, está pensado en más de 20 años, se aclara que en este proyecto no se tuvo en cuenta la resolución CREG 030 de 2018, que reglamenta la ley 1715 de 2014, que permite hacer la venta de excedentes al sistema de red nacional, dado que aún no son claras las tarifas para la venta de energía por SNC, sin embargo esto deja una puerta abierta para reducir aún más los costos de los SNC *Grid Connect* y que pueden ser motivo de una investigación en detalle para este tipo de sistemas.

Otro aspecto que se analizo fue la huella de carbono, que cada vez toma más relevancia en los gobiernos como mecanismos para medir el impacto ambiental y en algunos casos el aumento de

la carga fiscal. En la gráfica 15 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se aprecia el comportamiento acumulado de la huella de carbono de los tres sistemas.

Gráfica 15. Acumulado Huella de Carbono en KgCO₂eq.



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

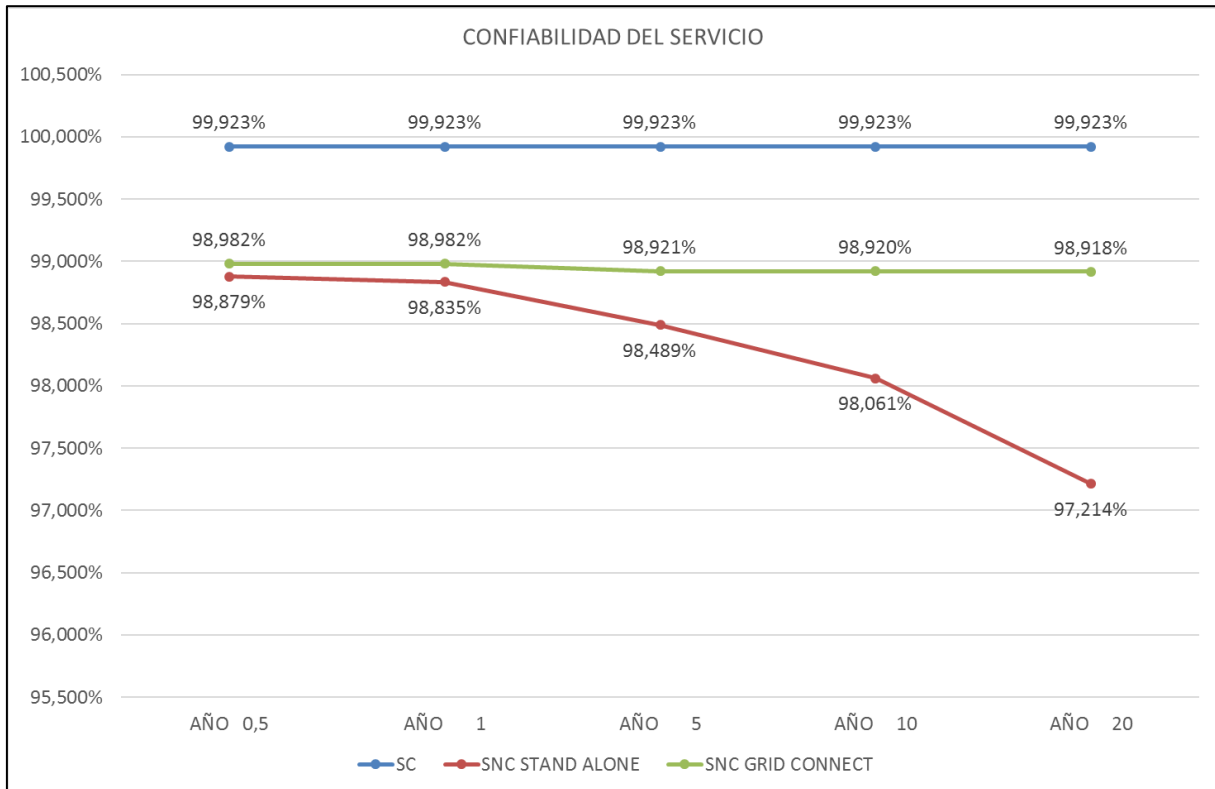
En el año 20, la diferencia es marcada, en cuanto al impacto generado por los diferentes sistemas. Por ejemplo, un hogar promedio de la vereda San Jorge, con los sistemas actuales de energía habrá emitido 6569,136 KgCO₂eq, mientras un SNC Stand Alone 1868,620 KgCO₂eq y un SNC Grid Connect 1473,6 KgCO₂eq, es decir un 270% y 369%, respectivamente en el año 20.

Este análisis también permitió establecer en la investigación que un SC de energía en la vereda San Jorge emite 345 KgCO₂eq/año, el SNC Stand Alone 93,43 KgCO₂eq/año y el SNC Grid Connect 73,68 KgCO₂eq/año.

En cuanto a la gráfica 16, se indica el comportamiento de la confiabilidad, este no presenta variaciones importantes entre un sistema y otro, los % son muy pequeños en la variabilidad, para el caso del SC este es quien presenta mayor estabilidad y confiabilidad a lo largo de los 20 años con

valores por encima del 99%, seguido por el SNC Grid Connect con valores cercanos al 98% de confiabilidad y en último lugar el SNC Stand Alone con valores entre 98 y 97 %.

Gráfica 16. Confiabilidad del servicio por tipo de sistema



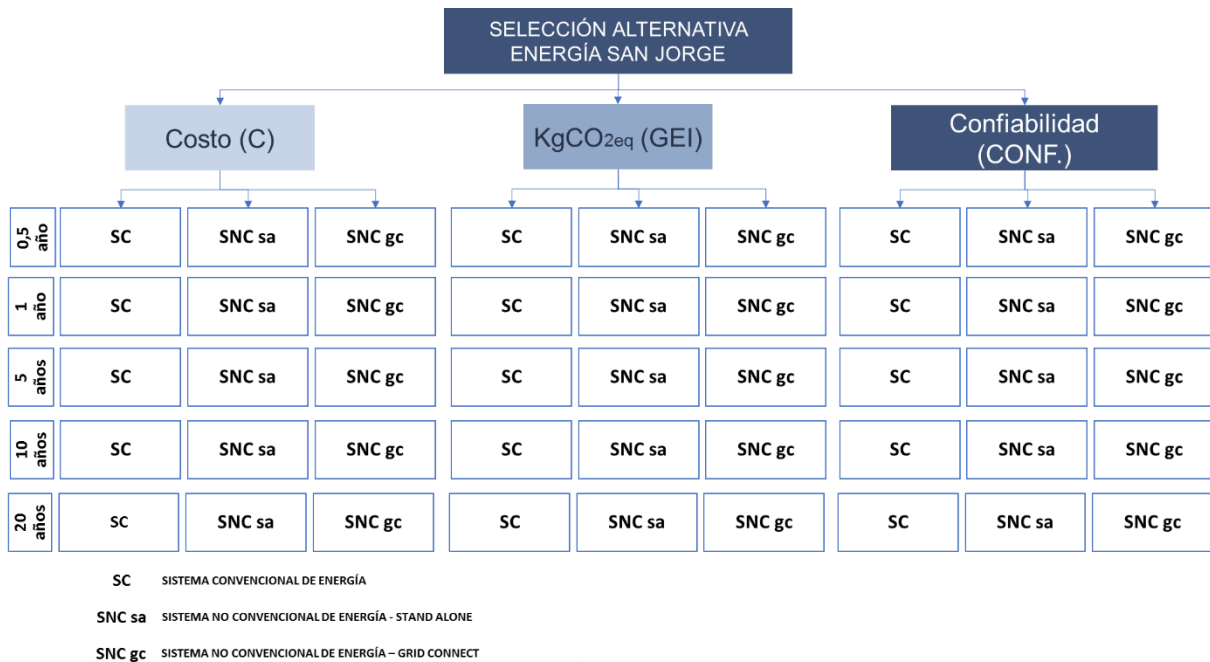
Fuente: Elaboración de los autores, 2017

El SNC Stand Alone tiende a disminuir su confiabilidad debido a uno de sus componentes, como lo son las baterías que presentan tasas de fallo importantes después de cinco años de uso.

Selección de alternativas SC Vs. SNC.

Teniendo en cuenta el análisis de las variables mencionadas anteriormente, durante la investigación se debió generar una correlación entre estas, para la selección de alternativas se generó una escala de importancia relativa, en la cual se asignaron valores al costo (COP), gases efecto invernadero (GEI) expresado en KgCO₂eq/año y confiabilidad (%) del servicio, siguiendo árbol para la selección de alternativas (ver Figura 27).

Figura 26. Árbol para selección de alternativa SC vs. SNC.



En la siguiente matriz se establecen los niveles de importancia de las variables costo (COP), gases efecto invernadero (GEI) expresado en KgCO_{2eq}/año y confiabilidad (%). Para la decisión de los valores de importancia se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El costo es un factor determinante en la vereda de San Jorge para la adopción del tipo de energía, esto se evidencio en los cuestionarios realizados, por tal razón tiene una ponderación del doble sobre la huella de carbono (GEI) y la confiabilidad (CONF.)
- La huella de carbono (GEI), teniendo en cuenta lo expresado en los cuestionarios, es un tema importante para la comunidad expresado en frases relacionadas con el cuidado del medio ambiente.
- La confiabilidad es el último en las prioridades de la comunidad. Sin ser menos importante.

Basado en las consideraciones anteriores, se determinó la matriz de importancia, así:

$$\text{Alternativa} = \begin{matrix} & \text{COSTO} & \text{GEI} & \text{CONF.} \\ \text{COSTO} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{GEI} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{CONF.} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Matriz de importancia normalizada,

$$\text{Alternativa} - \text{No} = \begin{matrix} & \text{COSTO} & \text{GEI} & \text{CONF.} & \text{Peso por Criterio} \\ \text{COSTO} & \begin{bmatrix} 0,500 & 0,571 & 0,4 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,49 \end{bmatrix} \\ \text{GEI} & \begin{bmatrix} 0,250 & 0,286 & 0,4 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,31 \end{bmatrix} \\ \text{CONF.} & \begin{bmatrix} 0,250 & 0,143 & 0,2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,20 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Consistencia de la matriz,

$$n_{max} = \begin{matrix} & \text{COSTO} & \text{GEI} & \text{CONF.} & \text{Peso por Criterio} \\ \text{COSTO} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,49 \end{bmatrix} \\ \text{GEI} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,31 \end{bmatrix} \\ \text{CONF.} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,20 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{matrix} \begin{bmatrix} 0,49 \\ 0,31 \\ 0,20 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1,51 \\ 0,95 \\ 0,60 \end{bmatrix} \end{matrix} = 3,06$$

$$\text{Indice de consistencia} \quad CI \quad \frac{n_{max} - n}{n - 1} = 0,0304$$

$$\text{Consistencia aleatoria} \quad RI \quad \frac{1,98 (n - 2)}{n} = 0,6600$$

$$\text{Razon de consistencia} \quad CR \quad \frac{CI}{RI} = 0,0460$$

Fuente: Elaboración de los autores, 2017

El nivel de consistencia se considera aceptable si es menor o igual a 0,1, para este caso se concluye que la matriz no presenta sesgo y es consistente con un valor de **0,0460**. Los valores de la

matriz se utilizaron para la comparación de las alternativas del sistema convencional, sistema no convencional *Stand Alone* y *Grid Connect*.

Para valoración la determinación de la importancia sistema convencional, sistema no convencional *Stand Alone* y *Grid Connect*, igualmente se generó una matriz para toma de decisiones, basados en los datos obtenidos en la investigación ver Tabla 18. El costo está en valor presente neto (VPN), y no tiene en cuenta incrementos.

Tabla 20. Comparativo Costo (COP), GEI (KgCO₂eq/año) y Confiabilidad (%)

TIPO DE SISTEMA	EMPRESA	PERIODO	COSTO INSTALACIÓN	COSTO SERVICIO POR AÑO o MANTENIMIENTO	Σ COSTO TOTAL	Σ COSTO TOTAL ACUMULADO	KgCO ₂ eq	Σ KgCO ₂ eq ACUMULADO	CONFIABILIDAD
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 0,5	\$ 4.000.000,00	\$ 210.000,00	\$ 4.210.000,00	\$ 4.210.000,00	172,872	172,872	99,923%
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 1		\$ 210.000,00	\$ 210.000,00	\$ 4.420.000,00	172,872	345,744	99,923%
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 5		\$ 1.680.000,00	\$ 1.680.000,00	\$ 6.100.000,00	1382,976	1728,72	99,923%
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 10		\$ 2.100.000,00	\$ 2.100.000,00	\$ 8.200.000,00	1728,72	3457,44	99,923%
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 20		\$ 4.200.000,00	\$ 4.200.000,00	\$ 12.400.000,00	3457,44	6914,88	99,923%
				TOTALIDAD	\$ 8.200.000,00		6914,88		99,923%
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 0,5	\$ 12.783.869,00	\$ 38.966,53	\$ 12.822.835,53	\$ 12.822.835,53	46,7155	46,716	98,879%
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 1		\$ 38.966,53	\$ 38.966,53	\$ 12.861.802,07	46,7155	93,431	98,835%
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 5		\$ 311.732,27	\$ 311.732,27	\$ 13.173.534,33	373,724	467,155	98,489%
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 10	\$ 3.729.000,00	\$ 389.665,33	\$ 4.118.665,33	\$ 17.292.199,67	467,155	934,310	98,061%
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 20	\$ 3.729.000,00	\$ 779.330,67	\$ 4.508.330,67	\$ 21.800.530,33	934,31	1868,620	97,214%
				TOTALIDAD	\$ 17.292.199,67		1868,62		98,296%
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 0,5	\$ 8.201.899,00	\$ 81.900,00	\$ 8.283.799,00	\$ 8.283.799,00	36,84	36,84	98,982%
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 1		\$ 81.900,00	\$ 81.900,00	\$ 8.365.699,00	36,84	73,68	98,982%
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 5		\$ 655.200,00	\$ 655.200,00	\$ 9.020.899,00	294,72	368,4	98,921%
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 10		\$ 819.000,00	\$ 819.000,00	\$ 9.839.899,00	368,4	736,8	98,920%
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 20		\$ 1.638.000,00	\$ 1.638.000,00	\$ 11.477.899,00	736,8	1473,6	98,918%
				TOTALIDAD	\$ 11.477.899,00		1473,6		98,945%

Fuente: Elaboración de los autores, 2017

Las matrices de importancia para comparar los diferentes sistemas se realizaron teniendo en cuenta la variabilidad de los costos, el GEI y la confiabilidad para 6 meses, uno, cinco, 10 y 20 años. Esto dado que para los sistemas no convencional de antemano se conocía que su beneficio es obtenido en el tiempo.

Figura 27. Diseño matriz de importancia SC, SNC sa y SNC gc respecto al Costo (COP)

1. Diseño matriz de importancia 0,5 años. - COSTO	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz												
$\text{Alternativa Costo} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/3 & 1 & 2/3 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1\ 5/9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Suma</th> <th>Columna 1</th> <th>Columna 2</th> <th>Columna 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1,84</td> <td>5,55</td> <td>3,61</td> </tr> </tbody> </table> $\text{Alternativa - No} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,543 & 0,541 & 0,545 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,181 & 0,180 & 0,179 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,276 & 0,279 & 0,277 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Peso por Criterio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,543</td> </tr> <tr> <td>0,180</td> </tr> <tr> <td>0,277</td> </tr> </tbody> </table>	Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3		1,84	5,55	3,61	Peso por Criterio	0,543	0,180	0,277	$nmax = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/3 & 1 & 2/3 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1\ 5/9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Peso por Criterio} \\ \begin{bmatrix} 0,54 \\ 0,18 \\ 0,28 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1,63 \\ 0,54 \\ 0,83 \end{bmatrix} \end{matrix} = 3,00$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1} = 0,0000$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = 0,0000$</p>
Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3											
	1,84	5,55	3,61											
Peso por Criterio														
0,543														
0,180														
0,277														

1. Diseño matriz de importancia 1 año. - COSTO	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz												
$\text{Alternativa Costo} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1\ 8/9 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/3 & 1 & 2/3 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1\ 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Suma</th> <th>Columna 1</th> <th>Columna 2</th> <th>Columna 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1,86</td> <td>5,54</td> <td>3,54</td> </tr> </tbody> </table> $\text{Alternativa - No} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,543 & 0,541 & 0,524 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,181 & 0,180 & 0,180 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,287 & 0,277 & 0,277 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Peso por Criterio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,536</td> </tr> <tr> <td>0,180</td> </tr> <tr> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table>	Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3		1,86	5,54	3,54	Peso por Criterio	0,536	0,180	0,280	$nmax = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1\ 8/9 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/3 & 1 & 2/3 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1\ 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Peso por Criterio} \\ \begin{bmatrix} 0,54 \\ 0,18 \\ 0,28 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1,61 \\ 0,54 \\ 0,84 \end{bmatrix} \end{matrix} = 2,99$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1} = -0,0052$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = -0,0079$</p>
Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3											
	1,86	5,54	3,54											
Peso por Criterio														
0,536														
0,180														
0,280														

1. Diseño matriz de importancia 5 años. - COSTO	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Alternativa Costo =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 2\ 1/8 & 1\ 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 2/3 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 2/3 & 1\ 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>2,15 4,59 3,16</p> <p>Alternativa – No =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,543 & 0,384 & 0,409 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,255 & 0,180 & 0,189 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,367 & 0,263 & 0,277 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> $\begin{bmatrix} 0,445 \\ 0,208 \\ 0,302 \end{bmatrix}$	<p>Peso por Criterio</p> $nmax = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 2\ 1/8 & 1\ 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 2/3 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 2/3 & 1\ 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 0,45 \\ 0,21 \\ 0,30 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,34 \\ 0,62 \\ 0,91 \end{bmatrix} = 2,87$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1}$ = -0,0659</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98 (n - 2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = -0,0998</p>

1. Diseño matriz de importancia 10 años. - COSTO	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Alternativa Costo =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 2\ 1/9 & 1\ 1/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 4/7 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 5/6 & 1\ 3/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>2,31 4,86 2,77</p> <p>Alternativa – No =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,543 & 0,379 & 0,332 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,261 & 0,180 & 0,157 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,453 & 0,317 & 0,277 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> $\begin{bmatrix} 0,418 \\ 0,199 \\ 0,349 \end{bmatrix}$	<p>Peso por Criterio</p> $nmax = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 2\ 1/9 & 1\ 1/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 4/7 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 5/6 & 1\ 3/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 0,42 \\ 0,20 \\ 0,35 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,25 \\ 0,60 \\ 1,05 \end{bmatrix} = 2,90$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1}$ = -0,0512</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98 (n - 2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = -0,0776</p>

1. Diseño matriz de importancia 20 años. - COSTO	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
$\text{Alternativa Costo} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 1\ 3/4 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 4/7 & 1 & 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1 & 1\ 8/9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>2,65 4,65 2,45</p> $\text{Alternativa - No} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,543 & 0,315 & 0,256 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,310 & 0,180 & 0,146 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,587 & 0,342 & 0,277 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,372 \\ 0,212 \\ 0,402 \end{bmatrix}$</p>	$n_{max} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 1\ 3/4 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 4/7 & 1 & 1/2 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1 & 1\ 8/9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Peso por} \\ \text{Criterio} \\ \begin{bmatrix} 0,37 \\ 0,21 \\ 0,40 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1,11 \\ 0,64 \\ 1,21 \end{bmatrix} \end{matrix} = 2,96$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{n_{max} - n}{n - 1} = -0,0224$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98 (n - 2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = -0,0339$</p>

Figura 28. Matriz de importancia SC, SNC sa y SNC gc Gas Efecto Invernadero (GEI)

1. Diseño matriz de importancia 0,5 años. - GEI	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
$\text{Alternativa GEI} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 3\ 5/7 & 1 & 7/9 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 4\ 2/3 & 1\ 1/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>9,392 2,530 1,993</p> $\text{Alternativa - No} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,106 & 0,107 & 0,107 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,394 & 0,395 & 0,391 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,500 & 0,498 & 0,502 \end{bmatrix} \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,107 \\ 0,394 \\ 0,500 \end{bmatrix}$</p>	$n_{max} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 3\ 5/7 & 1 & 7/9 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 4\ 2/3 & 1\ 1/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Peso por} \\ \text{Criterio} \\ \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,39 \\ 0,50 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 0,32 \\ 1,18 \\ 1,50 \end{bmatrix} \end{matrix} = 2,99$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{n_{max} - n}{n - 1} = -0,0031$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98 (n - 2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = -0,0048$</p>

1. Diseño matriz de importancia 1 año - GEI	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>9,392 2,538 2,001</p> <p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa GEI = $\begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 \\ 3\ 5/7 & 1 & 4/5 \\ 4\ 2/3 & 1\ 1/4 & 1 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa - No = $\begin{bmatrix} 0,106 & 0,107 & 0,107 \\ 0,394 & 0,395 & 0,395 \\ 0,500 & 0,501 & 0,502 \end{bmatrix}$</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,107 \\ 0,395 \\ 0,501 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,39 \\ 0,50 \end{bmatrix}$</p> <p>$n_{max} = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 \\ 3\ 5/7 & 1 & 4/5 \\ 4\ 2/3 & 1\ 1/4 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,39 \\ 0,50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,32 \\ 1,18 \\ 1,50 \end{bmatrix} = 3,00$</p> <p>Indice de consistencia CI $\frac{n_{max} - n}{n - 1} = 0,0004$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98 (n - 2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = 0,0007$</p>

1. Diseño matriz de importancia 5 años - GEI	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>7,714 2,605 2,054</p> <p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa GEI = $\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1 & 4/5 \\ 3\ 3/4 & 1\ 1/4 & 1 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa - No = $\begin{bmatrix} 0,106 & 0,133 & 0,133 \\ 0,315 & 0,395 & 0,395 \\ 0,400 & 0,501 & 0,502 \end{bmatrix}$</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,124 \\ 0,369 \\ 0,468 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,12 \\ 0,37 \\ 0,47 \end{bmatrix}$</p> <p>$n_{max} = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1 & 4/5 \\ 3\ 3/4 & 1\ 1/4 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,12 \\ 0,37 \\ 0,47 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,37 \\ 1,10 \\ 1,40 \end{bmatrix} = 2,87$</p> <p>Indice de consistencia CI $\frac{n_{max} - n}{n - 1} = -0,0627$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98 (n - 2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = -0,0949$</p>



1. Diseño matriz de importancia 10 años - GEI	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>8,553 2,568 2,025</p> <p>Alternativa GEI =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 2/7 & \\ & & 1/4 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 3 & 1/3 & \\ & 1 & \\ & & 4/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 4 & 2/9 & \\ & 1 & 1/4 \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>8,553 2,568 2,025</p> <p>Alternativa - No =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,106 & 0,119 & 0,118 \\ & 0,355 & 0,395 & 0,396 \\ & & 0,450 & 0,501 & 0,502 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \\ \text{SNC GC} & \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> $\begin{bmatrix} 0,114 \\ 0,382 \\ 0,484 \end{bmatrix}$	<p>Peso por Criterio</p> <p>$n_{max} =$</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 2/7 & \\ & & 1/4 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 3 & 1/3 & \\ & 1 & \\ & & 4/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 4 & 2/9 & \\ & 1 & 1/4 \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,38 \\ 0,48 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,34 \\ 1,14 \\ 1,45 \end{bmatrix} = 2,94$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{n_{max} - n}{n - 1}$ = -0,0324</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = -0,0491</p>

1. Diseño matriz de importancia 20 años - GEI	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>8,974 2,552 2,012</p> <p>Alternativa GEI =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 2/7 & \\ & & 2/9 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 3 & 1/2 & \\ & 1 & \\ & & 4/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 4 & 1/2 & \\ & 1 & 1/4 \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>8,974 2,552 2,012</p> <p>Alternativa - No =</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,106 & 0,112 & 0,112 \\ & 0,374 & 0,395 & 0,395 \\ & & 0,475 & 0,501 & 0,502 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \\ \text{SNC GC} & \end{matrix}$ <p>Peso por Criterio</p> $\begin{bmatrix} 0,110 \\ 0,388 \\ 0,493 \end{bmatrix}$	<p>Peso por Criterio</p> <p>$n_{max} =$</p> $\begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 2/7 & \\ & & 2/9 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 3 & 1/2 & \\ & 1 & \\ & & 4/5 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 4 & 1/2 & \\ & 1 & 1/4 \\ & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,39 \\ 0,49 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,33 \\ 1,16 \\ 1,47 \end{bmatrix} = 2,97$ <p>Indice de consistencia CI $\frac{n_{max} - n}{n - 1}$ = -0,0164</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n}$ = 0,6600</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI}$ = -0,0248</p>

Fuente: Elaboración de los autores, 2017

Figura 29. Diseño matriz de importancia SC, SNC sa y SNC gc respecto a la Confiabilidad (%)

1. Diseño matriz de importancia 0,5 años. - CONF %	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz																																	
$\text{Alternativa Conf.} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Suma</th> <th>Columna 1</th> <th>Columna 2</th> <th>Columna 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,980</td> <td>3,012</td> <td>3,008</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> $\text{Alternativa - No} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,336 & 0,336 & 0,336 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,332 & 0,332 & 0,332 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,332 & 0,332 & 0,332 \end{bmatrix} \end{matrix}$	Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3	2,980	3,012	3,008		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SC</th> <th>SNC SA</th> <th>SNC GC</th> <th>Peso por Criterio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$nmax =$</td> <td>$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</td> <td>$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</td> <td>$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</td> <td>$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$</td> </tr> <tr> <td>Indice de consistencia</td> <td>CI</td> <td>$\frac{nmax - n}{n - 1}$</td> <td>=</td> <td>-0,0001</td> </tr> <tr> <td>Consistencia aleatoria</td> <td>RI</td> <td>$\frac{1,98 (n - 2)}{n}$</td> <td>=</td> <td>0,6600</td> </tr> <tr> <td>Razon de consistencia</td> <td>CR</td> <td>$\frac{CI}{RI}$</td> <td>=</td> <td>-0,0002</td> </tr> </tbody> </table>		SC	SNC SA	SNC GC	Peso por Criterio	$nmax =$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$	Indice de consistencia	CI	$\frac{nmax - n}{n - 1}$	=	-0,0001	Consistencia aleatoria	RI	$\frac{1,98 (n - 2)}{n}$	=	0,6600	Razon de consistencia	CR	$\frac{CI}{RI}$	=	-0,0002
Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3																																
2,980	3,012	3,008																																	
	SC	SNC SA	SNC GC	Peso por Criterio																															
$nmax =$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$																															
Indice de consistencia	CI	$\frac{nmax - n}{n - 1}$	=	-0,0001																															
Consistencia aleatoria	RI	$\frac{1,98 (n - 2)}{n}$	=	0,6600																															
Razon de consistencia	CR	$\frac{CI}{RI}$	=	-0,0002																															

1. Diseño matriz de importancia 1 año. - CONF %	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz																																	
$\text{Alternativa Conf.} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Suma</th> <th>Columna 1</th> <th>Columna 2</th> <th>Columna 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,980</td> <td>3,012</td> <td>3,008</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> $\text{Alternativa - No} = \begin{matrix} & \text{SC} & \text{SNC SA} & \text{SNC GC} \\ \text{SC} & \begin{bmatrix} 0,336 & 0,336 & 0,336 \end{bmatrix} \\ \text{SNC SA} & \begin{bmatrix} 0,332 & 0,332 & 0,332 \end{bmatrix} \\ \text{SNC GC} & \begin{bmatrix} 0,332 & 0,333 & 0,332 \end{bmatrix} \end{matrix}$	Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3	2,980	3,012	3,008		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SC</th> <th>SNC SA</th> <th>SNC GC</th> <th>Peso por Criterio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$nmax =$</td> <td>$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</td> <td>$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</td> <td>$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</td> <td>$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$</td> </tr> <tr> <td>Indice de consistencia</td> <td>CI</td> <td>$\frac{nmax - n}{n - 1}$</td> <td>=</td> <td>-0,0001</td> </tr> <tr> <td>Consistencia aleatoria</td> <td>RI</td> <td>$\frac{1,98 (n - 2)}{n}$</td> <td>=</td> <td>0,6600</td> </tr> <tr> <td>Razon de consistencia</td> <td>CR</td> <td>$\frac{CI}{RI}$</td> <td>=</td> <td>-0,0002</td> </tr> </tbody> </table>		SC	SNC SA	SNC GC	Peso por Criterio	$nmax =$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$	Indice de consistencia	CI	$\frac{nmax - n}{n - 1}$	=	-0,0001	Consistencia aleatoria	RI	$\frac{1,98 (n - 2)}{n}$	=	0,6600	Razon de consistencia	CR	$\frac{CI}{RI}$	=	-0,0002
Suma	Columna 1	Columna 2	Columna 3																																
2,980	3,012	3,008																																	
	SC	SNC SA	SNC GC	Peso por Criterio																															
$nmax =$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$																															
Indice de consistencia	CI	$\frac{nmax - n}{n - 1}$	=	-0,0001																															
Consistencia aleatoria	RI	$\frac{1,98 (n - 2)}{n}$	=	0,6600																															
Razon de consistencia	CR	$\frac{CI}{RI}$	=	-0,0002																															

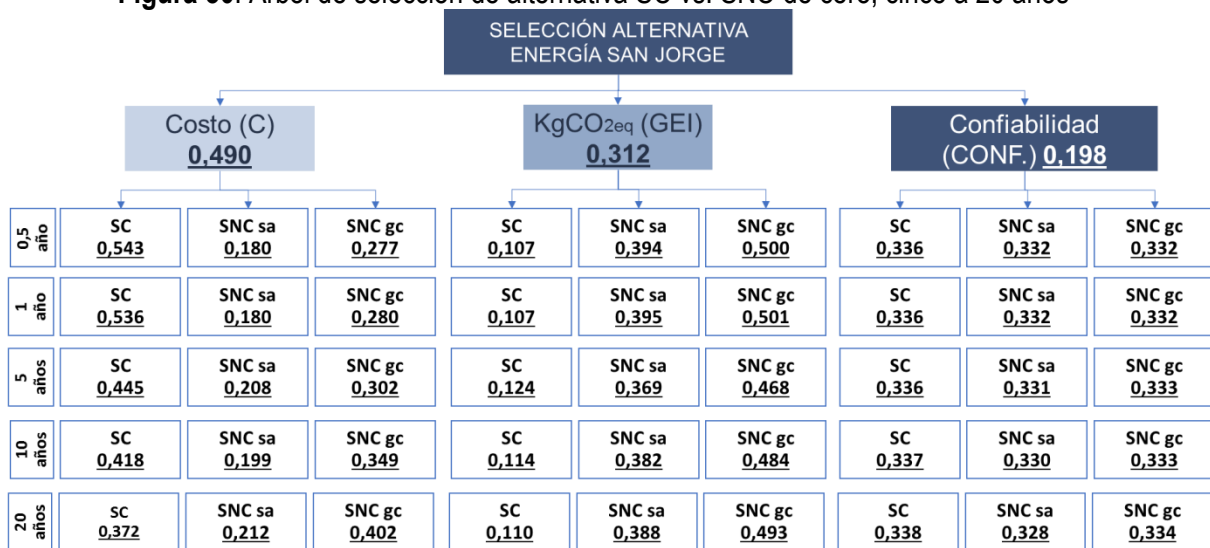
1. Diseño matriz de importancia 10 años. - CONF %	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>2,971 3,028 3,001</p> <p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa Conf. = $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa - No = $\begin{bmatrix} 0,336 & 0,338 & 0,336 \\ 0,329 & 0,332 & 0,330 \\ 0,332 & 0,335 & 0,332 \end{bmatrix}$</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,337 \\ 0,330 \\ 0,333 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 0,99 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$</p> <p>$nmax = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix}$</p> <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1} = 0,0000$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = 0,0001$</p>

1. Diseño matriz de importancia 20 años. - CONF %	2. Normalización matriz alternativas (criterios)	3. Consistencia de la matriz
<p>Suma Columna 1 Columna 2 Columna 3</p> <p>2,963 3,045 2,993</p> <p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa Conf. = $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Alternativa - No = $\begin{bmatrix} 0,336 & 0,341 & 0,336 \\ 0,327 & 0,332 & 0,327 \\ 0,332 & 0,338 & 0,332 \end{bmatrix}$</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,338 \\ 0,328 \\ 0,334 \end{bmatrix}$</p>	<p>SC SNC SA SNC GC</p> <p>Peso por Criterio</p> <p>$\begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01 \\ 0,99 \\ 1,00 \end{bmatrix} = 3,00$</p> <p>$nmax = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,34 \\ 0,33 \\ 0,33 \end{bmatrix}$</p> <p>Indice de consistencia CI $\frac{nmax - n}{n - 1} = 0,0001$</p> <p>Consistencia aleatoria RI $\frac{1,98(n-2)}{n} = 0,6600$</p> <p>Razon de consistencia CR $\frac{CI}{RI} = 0,0002$</p>

Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

En cada una de las matrices se realizó la comprobación del índice de consistencia que una vez calculado permitió verificar la consistencia aleatoria de las matrices de importancia, las cuales “en la práctica, suele darse por buenas razones de consistencia inferiores al 10% (Moreno, 2014)”. Para este caso todas las matrices obtuvieron valores inferiores al 10%. El desarrollo de las matrices de importancia permitió asignar valores consistentes para cada sistema a través de los años, en la Figura 30, se encuentra el resultado de los puntajes.

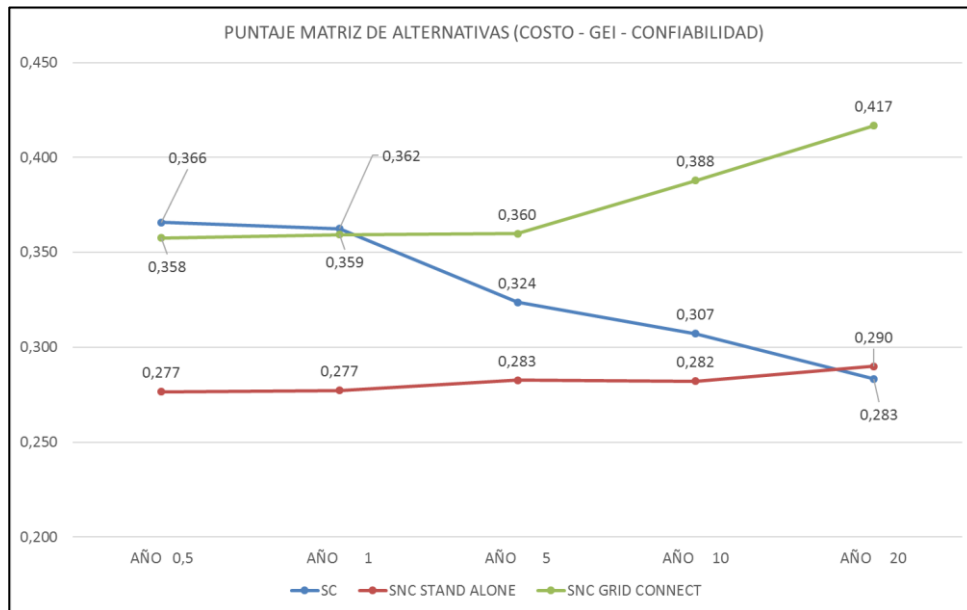
Figura 30. Árbol de selección de alternativa SC vs. SNC de cero, cinco a 20 años



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Establecidos los valores se aplicó la matriz de alternativas para cada uno de los periodos, seis meses, uno, cinco, 10 y 20 años. Teniendo en cuenta los criterios de costo, huella de carbono y confiabilidad, en la Figura 32 se presentan los resultados obtenidos de las matrices.

Figura 31. Puntaje de alternativas seis meses, uno, cinco, 10 y 20 años



Fuente: Elaboración de los autores, 2017.

Al realizar el cruce de los tres criterios, la mejor alternativa en un inicio para la instalación y el año uno es el SC, en el año cinco del SNC Grid Connect se mantiene por encima de los SC y SNC Stand Alone hasta el año 20 como la mejor alternativa. En el año cinco el SNC Grid Connect presenta una diferencia del 11%, con el SC, y del 27% con el SNC Stand Alone, para el año 10 la diferencia del SNC Grid Connect con el SC se aumenta al 26% y 38% con el SNC Stand Alone, en el año 20 la diferencia aumenta al 47% con el SC y al igual que el SNC Stand Alone con un valor de 44%.

En resumen, podemos establecer que el para los seis meses de instalación y un año, la mejor alternativa es el SC, a partir del año cinco hasta el 20 la mejor alternativa es el SNC Grid Connect, y que en el año 20 también se presenta un dato interesante al evidenciar que el SNC Stand Alone empieza a superar en puntaje al SC. Esto permite determinar que el sistema Grid Connect es una alternativa viable para la implementación en una zona rural y se reafirma con el tiempo sobre los demás sistemas.

El SNC Grid Connect, es una alternativa viable para la implementación en la vereda San Jorge del Municipio de Zipaquirá, esto acorde con el estudio presentado por Ghafoor y Munir (2015), quienes concluyen que un sistema solar PV es económico y técnicamente viable, al igual que Kolhe, Udumbara, y Gunawardana (2015), concluyen que el sistema híbrido es económicamente viable,

puesto que el costo del Kw-h es bajo. En cuanto al costo se determina que la reducción puede llegar a ser del 8% del SNC *Grid Connect* respecto a un SC, acorde con lo encontrado en la investigación de Chindanand y Gopalan (2018), la cual determino que la energía renovable adicional puede reducir el costo de la energía convencional en un 27%. Es importante tener en cuenta que, a pesar de que el SNC *Grid Connect*, generó el mejor resultado, hay limitaciones de tipo económico para su implementación en el inicio, se podría sugerir que para ganar mercado de este tipo de energías el costo inicial pueda ser financiado en el tiempo, o que se generen beneficios tributarios para lograr incentivar a los habitantes de la vereda San Jorge, así como Radomes Jr. y Arango (2015), en su investigación “Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaic system support schemes in Medellín, Colombia”, determinaron que, para difundir las energías renovables, es importante explorar incentivos fiscales y no fiscales.

En cuanto la reducción de huella de carbono, indudablemente los SNC *Stand Alone* y *Grid Connect* generan un impacto menor sobre el ambiente, en acuerdo con lo postulado por (Celemín Cuellar, 2016), quien concluye que la utilización de sistemas solares tiene ventajas frente a otros tipos de energías ya que permite la reducción de emisiones de CO₂.

5.7 Aporte al desarrollo sostenible, medio ambiente, social y humano

En el inicio del proyecto una de sus justificaciones fue promover la investigación que permitiera disminución de la huella de carbono, aumento de la calidad de vida de los habitantes y evitar el deterioro ambiental, criterios que están ligados directamente al desarrollo sostenible, ambiente, social y humano. Lo que implícitamente llevo a interactuar con los líderes de junta de acción comunal, profesores de la escuela, líderes acueducto veredal y comunidad en general, con quienes se encontró una oportunidad muy bonita y agradable para generar conocimiento en sistemas no convencionales de energía, puesto que por medio de ellos fue posible mostrar cómo y de donde proviene la electricidad que hoy consumen, las diferentes fuentes de energía con las que cuenta el país en este momento y las tecnologías que aún no se usan en masa en el país (sistemas no convencionales de energía eléctrica), a través de la interacción con la comunidad también se pudo evidenciar la percepción de las personas hacia el potencial uso de energías no convencionales en la zona, la respuesta dada generalmente fue de aprobación argumentando que si un sistema de este

tipo ayudaba al medio ambiente sería bueno, sin embargo ligada a esta respuesta estaba la del costo del sistema, pues para la comunidad la barrera económica es determinante. En el siguiente registro se puede observar el taller impartido a los estudiantes de la escuela vereda San Jorge (Bachillerato).

Figura 32. (Fotografías) Taller de energías no convencionales, vereda San Jorge, Zipaquirá



Fuente: Registros realizados por los autores.

En este sentido se pudo ver en los resultados arrojados por esta investigación que el costo inicial de un sistema de generación de energía no convencional *Stand Alone* y *Grid Connect* superan el costo inicial de la instalación de un sistema convencional, sin embargo a largo plazo el segundo sistema resulta más económico que uno convencional, el hecho de que la inversión inicial sea mayor puede representar una limitante para que los habitantes de la vereda San Jorge accedan a esta tecnología, sin embargo también abre una ventana de oportunidad para las entidades financieras hacia la creación de sistemas de crédito asequible que permita que las comunidades rurales puedan adquirir este tipo de tecnologías, tal como las externalidades positivas a partir de iniciativas privadas encontradas por la investigación de Cedrik y Long (2017); también Biswas, Bryce y Diesendorf (2001), mencionan que la implementación de los sistemas no convencionales acompañados de sistemas de microcréditos como los hechos por Grameen Bank y Barc, pueden abrir una oportunidad hacia la mejora de la calidad de vida de los habitantes, lo encontrado por esta investigación y las mencionadas anteriormente se alinean con lo expuesto por Ul Haq (2003) quién manifiesta que el crecimiento económico puede trasladarse a la vida de las personas a través de múltiples acciones como la implementación de nuevos sistemas de crédito que permitan el acceso a los más pobres.

La vereda San Jorge se podría ver beneficiada a través de la implementación de sistemas de energía no convencional ya que representaría una potencial fuente de aprendizaje y de trabajo para aquellos habitantes que aprendan sobre los sistemas y se conviertan en técnicos capaces de hacer mantenimientos y reparaciones pequeñas, así como también se podrían ver beneficiados económicamente ya que podrían vender la energía producida no consumida al estado, logrando así lo mencionado por Ul Haq (2003):

(...) las personas valoran logros que no aparecen del todo, o por lo menos inmediatamente, en cifras de ingreso o crecimiento: mayor acceso al conocimiento, mejor nutrición y servicios de salud, medios de vida más seguros, seguridad frente a crímenes y violencia física, un tiempo libre más satisfactorio, libertades políticas y culturales y un sentido de participación en actividades comunitarias. (Ul Haq, 2003)

Se abre una oportunidad de investigación y un llamado a las entidades gubernamentales a establecer el mejor método para el pago o compensación por producir energía ya que en la actualidad la legislación 1715 de 2014 no ha clarificado de qué manera se compensará a los productores de energía.

Pinto (2004) concluye en su investigación que la implementación de energías no convencionales depende principalmente del nivel de ingresos de las zonas no interconectadas, de la misma manera esta investigación muestra que la implementación dependerá de los ingresos que tengan sus habitantes, sin embargo se puede establecer que la alternativa *Grid Connect* a partir del año 20 será una mejor opción que la convencional si se tienen en cuenta solo el aspecto económico y si se tienen en cuenta las tres variables (económico, GEI y confiabilidad), la mejor alternativa es el *Grid Connect* a partir del año cinco, que contribuirá al desarrollo sostenible pues generará ingresos o descuentos en pagos de energía, disminuciones de GEI y conocimiento en los habitantes en esta nueva tecnología así como una potencial fuente de trabajo en cuanto a labores de mantenimiento y reparación, tal como lo menciona IPCC (2011). En este sentido el potencial uso de SNC podría implementarse con la ayuda de mecanismos que permitan a los habitantes de la zona instalar este tipo sistemas ya que se beneficiarían en el aspecto económico, ambiental y en nuevos conocimientos.

Aunque para los habitantes de la vereda San Jorge el principal criterio de aceptación hacia la potencial utilización de sistemas no convencionales de energía es el económico, es importante mencionar que la implementación de un SNC contribuiría a la disminución de CO₂ y de GEI en el 270% a los 20 años de servicio, acorde a lo concluido por (Nakataa, Kuboa, & Lamontb, 2005) y (Goel & Sharma, 2017), este hecho representa un aporte importante al desarrollo sostenible y al medio ambiente pues una disminución de ese tamaño claramente es beneficiosa para los habitantes de la vereda, alineándose con el objetivo siete de los objetivos del milenio “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”.

(Kolhe, Udumbara, & Gunawardana, 2015) Concluyo que la implementación de un sistema híbrido es económicamente viable, la presente investigación al igual que este autor establece que la potencial utilización del sistema *Grid Connect* aunque implica una inversión más alta tiene un aumento menor en el tiempo al sistema convencional y a partir del año 20 este comienza aumentar en una mayor proporción impactando a los usuarios, de este modo la disminución del costo en el tiempo significa un aporte al desarrollo sostenible, social y humano pues dicha disminución puede contribuir al aprovechamiento de los recursos ahorrados en otras necesidades del hogar.

Durante la aplicación de los cuestionarios, se determinó que el 8.5% de los hogares encuestados no cuenta con una ducha eléctrica, en una zona a 2800 msnm tomar una ducha de

agua caliente es una pequeña muestra de bienestar para los habitantes que se puede ser posible por medio de la implementación de las energías no convencionales, por otro lado el 57% de los hogares cuentan aún con estufas de leña o carbón ya que en la zona no se cuenta con línea de gas natural y el uso de una estufa eléctrica o a gas incrementa considerablemente los costos del hogar, mediante la potencial utilización de sistemas no convencionales de energía en la zona, los habitantes podrían hacer uso de estufas eléctricas sin preocupación a un incremento en su factura y de esta manera desestimular el uso de la estufa de carbón o leña, que contribuye a la contaminación.

Finalmente, esta investigación aporta al desarrollo sostenible, social y humano pues a través de la evaluación y resultados arrojados por esta se puede observar que de llegarse a desarrollar un proyecto encaminado al uso de las energías no convencionales, la comunidad tendría una transformación de su entorno y de las vidas de sus habitantes, mejorando sus ingresos, haciéndolos pioneros en la zona gracias a la implementación de este tipo de tecnologías, dándoles una nueva fuente de ingresos como productores de energía o como técnicos concededores de la tecnología.

6 CONCLUSIONES

Luego de la caracterización de los parámetros ambientales y de demanda de energía de la vereda San Jorge en el municipio de Zipaquirá, se concluyó que el potencial uso de energía eólica no es viable, puesto que la velocidad del viento se encuentra en un rango de 2,15 a 2,85 m/s, lo cual no es suficiente para la generación de energía a partir de esta fuente no convencional. Se requieren valores mínimos de velocidad del viento de 3 m/s, para que la energía eólica pueda ser tomada en cuenta como una opción de generación.

Con la caracterización se determinó que los sistemas no convencionales solares fotovoltaicos tipo Grid Connect y Stand Alone, cuentan con potencial para la generación de energía en la vereda, capaz de suplir la demanda promedio de energía de los hogares, con una radiación solar mínima de 3,5 wh/m²/día.

En la zona de estudio no se cuenta con la infraestructura suficiente para la medición de parámetros como radiación solar y velocidad del viento, en el momento solo se cuenta con la estación de la Universidad Militar Nueva Granada, con el atlas de velocidad del viento y de radiación solar del IDEAM, este último es una excelente iniciativa y debe ser complementada a través de la instalación de equipos de última tecnología que permitan la toma de datos y la generación de bases más robustas en puntos más cercanos a la vereda San Jorge.

Desde el aspecto económico el SC en el año 20 de la instalación tendrá costos superiores al de un SNC Grid Connect y adicionalmente beneficiará a los usuarios a partir de su instalación puesto que por medio de la generación de energía eléctrica permite en la ley colombiana la venta de excedentes.

Teniendo en cuenta la matriz de alternativas de los tres criterios (costo, GEI y confiabilidad), se pudo establecer que, para los 6 meses de instalación y 1 año, la mejor alternativa es el SC, a partir del año 5 hasta el 20 la mejor alternativa es el SNC Grid Connect. En el año 20 también se presenta un dato interesante al evidenciar que el SNC Stand Alone empieza a superar en puntaje al SC. Esto permite concluir que el sistema Grid Connect es una alternativa viable para la implementación en una zona rural y se reafirma con el tiempo sobre los demás sistemas.

Frente a la huella de carbono la disminución de GEI de los SNC Grid Connect, Stand Alone con 1473,6, 1868,62 KgCO₂eq respectivamente, Vs. 6914,88KgCO₂eq, indican que el SNC representa una reducción de los GEI.

La confiabilidad del servicio en las tres opciones es favorable. El SC de energía es el que ofrece mayor porcentaje de disponibilidad en el tiempo seguido por el SNC Grid Connect y por el SNC Stand Alone. Este último, tiene una caída en el porcentaje de la fiabilidad en el momento que sus baterías llegan al final de su vida útil.

La inversión inicial puede verse como una limitante para la instalación de cualquiera de los dos SNC de energía de los habitantes de la vereda San Jorge, esto abre una oportunidad para entidades financieras hacia la creación de sistemas de crédito asequible que permita que las comunidades rurales puedan adquirir este tipo de tecnologías desde un inicio y en el caso SNC Grid Connect se perciba como una inversión y no como un gasto al poder vender excedentes a la red nacional, esta también es una potencial fuente de trabajo en cuanto a labores de mantenimiento y reparación se refiere.

La venta de excedentes al sistema de red nacional puede ser motivo de una investigación acerca de cuál sería el método más adecuado para dicha compensación y cuál sería su impacto sobre la economía, el desarrollo social y humano de las zonas y las personas auto generadoras de energía, puesto que aún no es clara la compensación estipulada en la resolución CREG 030 de 2018 que reglamenta la ley 1715 de 2014.

La diferencia en el costo inicia entre un sistema convencional y un sistema no convencional stand alone es del 51%, el gobierno podría generar auxilios para la financiación y así beneficiar a los habitantes dándoles la oportunidad de convertirse en generadores de energía y a la vez agentes de cambio hacia el uso de energías no convencionales.

Los habitantes de la vereda San Jorge le dan importancia al cuidado del medio ambiente y son conscientes que la implementación de un sistema no convencional sería favorable para este, a pesar de esto la investigación determinó que el aspecto económico es el punto de inflexión y debe ser tenido en cuenta de manera prioritaria para la toma de la decisión de instalar o no un sistema no convencional.

La implementación de este tipo de tecnologías en la vereda San Jorge debe ir acompañada de campañas por parte de representantes del gobierno local, líderes comunales y estudiantes

universitarios encaminando a la comunidad y a las nuevas generaciones, haciéndoles ver la importancia no solo ambiental sino también la social y como estas impactan positivamente sobre el desarrollo de la comunidad.

Durante la realización de esta investigación se pudo evidenciar que más del 57% de los hogares que respondieron al cuestionario, usan estufas de leña, muchos de sus habitantes argumentan que el uso de este tipo de estufa se debe a la falta de una red de gas natural y al alto costo de un cilindro de gas propano, de este hecho se puede generar la investigación sobre métodos de producción de gas a partir de biomasa o estiércoles provenientes de la ganadería de la zona.

7 ANEXOS (ADJUNTOS)

Anexo 1. Modelo de cuestionario.

Anexo 2. Dimensionamiento sistema solar y eólico.

Anexo 3. Matriz selección de importancia proveedores.

Anexo 4. Matriz selección SNC Vs. SC.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Acolgen. (2016). *Acolgen*. Obtenido de <http://www.acolgen.org.co/index.php/sectores-de-generacion/definicion-de-fuentes-de-energia>
- Aguirre; Díaz & Pasqualino. (2017). Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipelago, Colombia. *Ecological Engineering*, 10-21.
- Alcaldía de Zipaquirá. (14, 04, 2010). *Alcaldía de Zipaquirá - Cundinamarca*. Obtenido de http://www.zipaquira-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1631052
- American Solar Energy Society. (2016). *Northern Arizona win & sun*. Obtenido de <https://www.solar-electric.com/mppt-solar-charge-controllers.html>
- Banal-Estañol; Calzada & Jordana. (2017). How to achieve full electrification: Lessons from Latin America. *Energy Policy*, 55–69.
- Barrera; Schönrock & Hernández. (2015). *El ABC de lo objetivos de desarrollo sostenible: La importancia de la dimension ambiental en la nueva agenda del desarrollo*. WWF-Colombia. Colombia: WWF.
- Barrozo; Valencia & Cárdenas. (2017). Hybrid PV and Wind Grid-Connected Renewable Energy System to Reduce the Gas Emission and Operation Cost. *Contemporary Engineering Sciences*, 1269 - 1278.
- Bautista. (2011). *Proceso de la investigación cualitativa: Epistemología, metodología y aplicaciones*. Bogotá: Ed. El Manual Moderno Ltda.
- Begoña. (2007). *Teoría de la decisión: Decisión con Incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Biswas; Bryce & Diesendorf. (2001). Model for empowering rural poor through renewable energy technologies in Bangladesh. *Environmental Science & Policy*, 333-334.
- Bonilla & Sehk. (2005). *Mas allá del dilema de los Métodos: la investigación en ciencias sociales*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Bradshaw. (2017). Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil. *Utilities Policy*, 156e164.

- Brisuela & Aguirre. (2004). energía no convencional -solar y eólica- para escuelas rurales en la provincia de Entre Ríos. *Ciencia, Docencia y Tecnología. Universidad de Entre Ríos*, 179-201.
- Brundtland. (1989). Nuestro futuro común. *In Ponencias y comunicaciones: Congreso internacional de tecnologías alternativas de desarrollo*, (pp.7-8). Madrid.
- Caspary. (2009). Gauging the future competitiveness of renewable energy in Colombia. *Energy Economics*, 443-449.
- Cedrik & Long. (2017). Investment motivation in renewal energy: A PPP approach. *Energy Procedia*, 229-238.
- Celemín. (2016). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda San Roque en el municipio de Ortega-Tolima*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Chindanand & Gopalan. (2018). Low cost, highly reliable rural electrification through a combination of grid extension and local renewable energy generation. *Sustainable cities and society*, 1 - 24.
- Cibse Chartered Institution of Building Services Engineers . (Enero de 2015). Solar radiation, long-wave radiation and daylight Annex to Cibse Guide A chapter 2. *Solar radiation, long-wave radiation and daylight Annex to cibse Guide A chapter 2*, 1-75. Londres.
- Consortio Energético Corpoema. (2010). Plan de desarrollo para las fuentes de energías no convencionales en Colombia. En M. d. Energía: *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia* (Vol. 1, p.367). Bogotá.
- Deng; Cornelissen & Klaus. (2011). *The energy report - 100% renewable energy by 2050*. Switzerland: WWF International.
- Departamento de Energía EE.UU. (2007). *Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad*. Obtenido de Office of Energy Efficiency & Renewable Energy: http://apps2.eere.energy.gov/wind/windexchange/pdfs/small_wind/small_wind_guide_spanish.pdf
- Diaz & Carmona, G. (2010). *Tecnico en instalaciones electricas y automaticas. Reforma LOE*. Mcgraw Hill. Obtenido de https://www.mhe.es/ceo_link.
- Dunn. (2013). *Photovoltaics*. Londres.
- Dunn. (2013). *The solar resource*. Londres.

- Esteve. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gaona; Trujillo & Guacaneme. (2015). Rural microgrids and its potential application in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125-137.
- Gevelt; Holzeis; Fennell; Heap; Holmes; Depret & Safdar. (2018). Achieving universal energy access and rural development through smart village. *Energy for Sustainable Development*, 139–142.
- Ghafoor & Munir, A. (2015). Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 496-502.
- Gipe & Paul. (2004). *Wind power renewable energy for home, farm and business*. Vermont: Chelsea Green Publishing Company.
- Goel & Sharma, R. (2017). Performance evaluation of Stand Alone, Grid Connected and hybrid renewable energy systems for rural application: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1378 - 1389.
- González; Beltrán; Troyo-Diéguez & Ortega-Rubio. (2006). Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energías eléctricas en zonas rurales de México. *Interciencia*, 240-245.
- Grajales; Sanchez & Pinzón. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 155 -160.
- Hernandez; Velazco & Trujillo. (2011). Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2290-2298.
- Horst. (2018). *Wikipedia*. Recuperado el 3 de Agosto de 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible#/media/File:Electromagnetic_spectrum-es.svg
- Incontec. (2006). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14064-1 Gases de efecto invernadero*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Ideam. (2014). *Atlas de radiación*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IEEE 1013. (2007). *IEE Recommended practice for sizing lead-acid batteries for stand-alone photovoltaic (PV) systems*. New York: IEEE.

- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales Ideam. (2014). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Recuperado el 22 de 03 de 2016, de Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales Ideam. (2014). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Recuperado el 22 de 03 de 2016, de Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IPCC. (2011). *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Potsdam: Michael Melford/National Geographic Stock.
- Kolhe, M. L., Udumbara, K. I. & Gunawardana, S. (2015). Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53-64.
- Ladino Peralta, R.E. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en áreas rurales de Colombia (Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena-Casanare)*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- López Gómez, A., Arredondo, C. A., Luna, M. A., Villegas, S. & Hernández, J. (2014). Regulating the Integration of Renewable Energy in Colombia: Implications of Law 1715 of 2014. *Universidad de Medellín*, 3317 - 3321.
- Madriz-Vargas, R., Bruce, A. & Watt, M. (2017). The future of Community Renewable Energy for electricity access in rural Central America. *Energy Research & Social Science*, 1-14.
- Mah, O. (1998). *Fundamentals of Photovoltaic materials*. National Solar Power Research Institute Inc.
- Mamaghani, A.H., Avella Escandona, S. A., Najafi, B., Shirazi, A. & Rinaldia, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 293-305.
- Martínez Cortes, J. S. & Triana Lesmes, C. A. (2015). *Energías alternativas para la población de la eco-región*. Bogotá: Universidad Católica.
- Milla, L. (2002). *Evolución de la Energía Convencional y No Convencional*. Recuperado el 11 de 07 de 2016, de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n2/evol_ener.htm
- Ministerio Hacienda y Crédito Público; Ministerio de Minas y Energía; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Ley 1715 de 2014. Ley.


- Monera, F. (Marzo de 2015). *Elecsolsolar*. Recuperado el 11 de agosto de 2016, de <http://www.elecsolsolar.com>
- Montes; Fernández; Jiménez; Lecuona; Mellado; Plaza & Sala (2002). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Grupo NAP.
- Moreno, J. J. (2014). El proceso analítico jerárquico (ahp) fundamentos, metodología y aplicaciones. Zaragoza, España.
- Muñoz, Y. A., Carrillo, E., Serrano, G., Carrillo, L. J. & Guerrero, J.E. (2017). Methodology for Smart Energy Performance in Rural Zones of Colombia. *Smart Cities Symposium Prague*, 01-07.
- Nakataa, T., Kuboa, K. & Lamontb, A. (2005). Design for renewable energy systems with application to rural areas in Japan. *Elseiver - Energy Policy*, 209-219.
- Nasa Officia. (13 de 09 de 2017). *Atmospheric science data center*. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
- NTC 2050. (1998). *Código eléctrico colombiano ntc 2050*. Bogotá: Incontec.
- Nugent, D., & Sovacool, B. (2014). Assessing the life cycle green house gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Polcy*, 1 - 16.
- Ortiz, J. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Vision electronica* , 103-117.
- Pandey, Agrawal, D. M., & Pandey, J. (2010). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment. Scielo*, 135-160.
- Pansera, M. (2012). Renewable energy for rural areas of Bolivia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6694 – 6704.
- Pinto Siavato, F. (2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán. *Cuadernos de desarrollo rural*, 103 - 132.
- POT Zipaquirá. (2013). *Plan de ordenamiento territorial - Zipaquirá*. Zipaquirá: Alcaldía de Zipaquirá.
- Radomes Jr., A.A., & Arango, S. (2015). Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaic system support schemes in Medellín, Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.
- Rapllini, A., & Moragues, J. (2003). *Energía Eólica*. Argentina: Instituto Argentino de la Energía “General Mosconi”.

- Rosso Cerón, A. M. & Kafarov, V. (2015). Environmental Sustainability Analysis of Technologies for Electricity Generation of Renewable Energy Sources in Non-Interconnected Areas from Colombia through the Use of Fuzzy Logic. *Chemical engineering transactions*, 1813 - 1818.
- Rosso Ceron, A. M. & Kfarov, V. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy systems in Colombia. *Chemical engineering*, 103-110.
- Ruiz, B., & Rodriguez Padilla, V. (2005). Renewable energy sources in the Colombian energy policy, analysis and perspectives. *Energy policy*, 3684–3690.
- Salam; Khalil; Mukhtar; Farooq; Siddique & Muhammad. (2014). Comprehensive Overview of Basic Photovoltaic (PV) Power System. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, V, 8.
- Sampieri; Collado & Lucio. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Sanchez; Torres & Kalid. (2015). Renewable energy generation for the rural electrification of isolated communities in the Amazon Region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 278–290.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Guía para el cálculo y reporte de Huella de Carbono Corporativa*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Selesta Networks S.A. (08 de 05 de 2017). *Selesta networks*. Obtenido de <http://www.selestanet.com/asolar.html>
- Silva & Nakata. (2016). Renewable technologies for rural electrification in Colombia: a multiple objective. *International Journal of Energy Sector Management*, 139-155.
- Smets & Narayan. (2014). *EDX*. Recuperado el 12 de agosto de 2016, de https://courses.edx.org/courses/DelftX/ET3034TUx/2013_Fall/pdfbook/0/
- Sogari. (2003). Diseño de un sistema híbrido solar-eólico. *Universidad nacional del nordeste*.
- Spiegel & Stephens. (2009). *Estadística cuarta edición*. Monterrey, Mexico: McGrawHill.
- Suministros y Montajes Eólicos S.L. (2012). *Suministros y Montajes Eólicos S.L.* Obtenido de <http://www.e-vawt.es/>
- Superservicios. (2015). *Zonas no interconectadas*. Obtenido de <http://www.superservicios.gov.co/Energia-y-gas/Energia/Zonas-no-interconectadas>
- Terrapon-Pfaff; Dienst; König & Ortiz. (2014). A cross-sectional review: Impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries. *Elseiver - Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-10.

- The German Energy Society. (2008). *Planning and installing photovoltaic systems a guide for installers, architects and engineers* (Segunda ed.). New York: Taylor & Francis group.
- Triviño. (18 de 06 de 2016). Entrevista tesorero acueducto veredal San Jorge, Zipaquirá. (C.A. Navarrete, & J. C. Tinjacá, Entrevistadores)
- Twidell & Weir. (2006). *Renewable Energy Resources* (Tercera ed.). New York: Routledge.
- U.S. Department of Energy. (2016). *Small wind electric systems*. Obtenido de <https://energy.gov/energysaver/small-wind-electric-systems>
- Upme. (2015). *Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano – junio de 2015*. Recuperado el 11 de 07 de 2016, de http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2015/Seguimiento_Variables_Junio_2015.pdf
- Upme. (2015). *Plan energético nacional Colombia: Ideario energético 2050*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Upme. (2017). *Factores de emisión del sistema interconectado nacional Colombia-SIN*. Bogotá: Upme.
- Upme; Ideam; Ministerio de minas y energía. (2005). *Atlas de radiación solar en Colombia*. Bogota.
- Villar. (2003). *Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural*. Madrid.
- WWF International. (2011). *The energy report 100% renewable energy by 2050*. Switzerland: WWF International.
- Zuluaga & Dyrer. (2007). Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case. *Cleaner Production*, 153-152.

Anexo 1.

Modelo de cuestionario.

	ENTREVISTA PROYECTO *ANÁLISIS, DESDE EL PUNTO DE VISTA AMBIENTAL Y ECONÓMICO, DEL POTENCIAL PARA LA UTILIZACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN LOS HOGARES DE LA VEREDA SAN JORGE DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ*	Entrevista No. _____

Fecha de elaboración: _____ Sector _____ Estrato _____

Nombre (Entrevistado): _____ Edad: _____

Entrevista

No.	Preguntas
1	¿Como le parece el servicio de energía que tiene actualmente en su hogar?

Respuesta: _____

	Bueno
	Malo
	Regular

2	¿Ha presentado en el servicio de energía eléctrica, cortes de energía, baja tensión (luz baja) o alguna otra novedad?
---	---

Respuesta: _____

Corte del servicio de energía. ¿Cuántas horas al mes?	Nunca	1 - 2 h/mes	3 - 4 h/mes	5 - 6 h/mes	7 - 8 h/mes	9 - 10 h/mes	Más de 10 h/mes
	Bajas de tensión (luz baja)	1 - 5 h/mes	5 - 10 h/mes	10 - 15 h/mes	15 - 20 h/mes	20 - 25 h/mes	Más de 25 h/mes
¿Cuántas horas al mes?	Nunca	1 - 5 h/mes	5 - 10 h/mes	10 - 15 h/mes	15 - 20 h/mes	20 - 25 h/mes	Más de 25 h/mes

3	¿Ha escuchado sobre las energías alternativas (Solar y eólica) y que opinina de ellas?
---	--

Respuesta: _____






Si No

¿Qué opinión tiene respecto de las energías alternativas?	AMIGABLE CON EL PLANETA	CONTAMINANTE	COSTOSA	ECONOMICA.	NO SABE / NO RESPONDE
---	-------------------------	--------------	---------	------------	-----------------------

4	¿Me puede usted decir cuántas personas viven habitualmente en este hogar?
---	---

	1		4		7	
	2		5		8	
	3		6		9	

5	¿Que tipo de bombillo utiliza y que cantidad tiene en su hogar?
---	---

 Incandecente CANTIDAD <input type="text"/>	 Led CANTIDAD <input type="text"/>	 Halogeno CANTIDAD <input type="text"/>
 Fluorecente <input type="text"/>	 Ahorrador <input type="text"/>	

6	¿De los siguientes electrodomésticos con cuáles cuenta su hogar y aproximadamente cuánto tiempo los utiliza?
---	--

Cantidad.			Cantidad.		
Televisor	<input type="text"/>	h/día	Horno microondas	<input type="text"/>	min/día
Equipo de sonido	<input type="text"/>	h/día	Nevera	<input type="text"/>	h/día
Computador	<input type="text"/>	h/día	Ducha eléctrica	<input type="text"/>	min/día
Lavadora	<input type="text"/>	Veces/mes	Secador de pelo	<input type="text"/>	Veces/mes
Secadora	<input type="text"/>	Veces/mes	Plancha de pelo	<input type="text"/>	Veces/mes
Plancha	<input type="text"/>	Veces/mes	Calentador eléctrico	<input type="text"/>	min/día
Aspiradora	<input type="text"/>	Veces/mes			

7	¿Con qué tipo de estufa cuenta su hogar? - ¿Cuántas horas la utiliza al día?
---	--

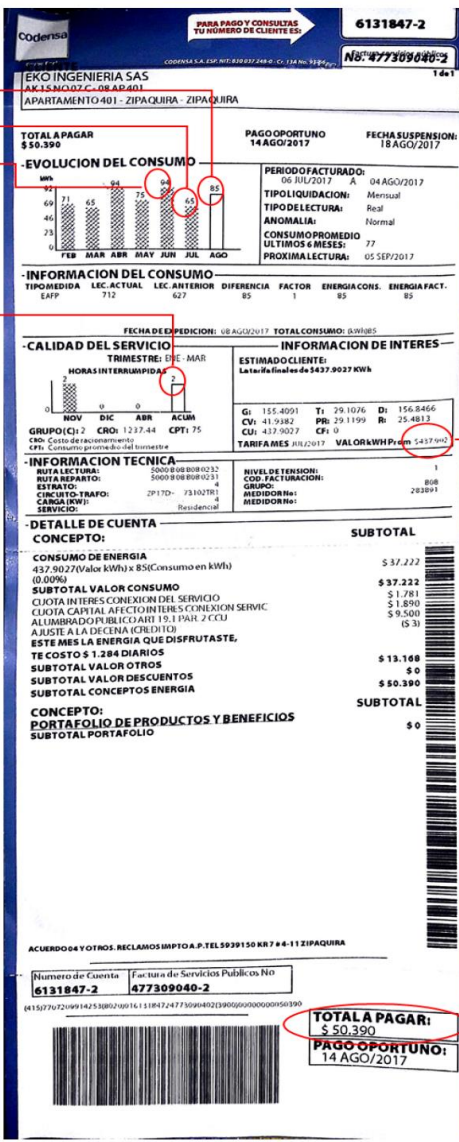
	SI	NO	Horas / día	
Carbón	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="text"/>
Leña	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="text"/>
Gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="text"/>
Gasolina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="text"/>
Estufa eléctrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	

¿Por qué razón prefiere usar este tipo de estufa? _____

8	¿Puede usted facilitarnos la última factura de energía eléctrica de su hogar?
Evolución del Consumo (Kwh - Mes) Lectura 1 <input type="text"/> Lectura 2 <input type="text"/> Lectura 3 <input type="text"/> Calidad del servicio (horas interrumpidas) Acumulado 2017 <input type="text"/> Valor promedio Kw/h TOTAL A PAGAR	
9	¿Le interesaría a usted instalar un sistema no convencional (energía limpia) en su hogar?
Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>
¿POR QUÉ? _____	

FIRMA ENTREVISTADO _____

EJEMPLO PARA RESPONDER LA PREGUNTA NUMERO 8



Codereisa
 PARA PAGAR Y CONSULTAR TU NÚMERO DE CLIENTES: **6131847-2**
 No: **477309040-2**

EKO INGENIERIA SAS
 APARTAMENTO 401 - ZIPAQUIRA - ZIPAQUIRA

TOTAL A PAGAR \$ 50.390

EVOLUCION DEL CONSUMO

W/h	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
92	71	65	64	75	74	82	85

PERIODO FACTURADO: 06 JUL/2017 - 04 AGO/2017
TIPO LIQUIDACION: Mensual
TIPO DE LECTURA: Real
ANOMALIA: Normal
CONSUMO PROMEDIO ULTIMOS 6 MESES: 77
PROXIMA LECTURA: 05 SEP/2017

INFORMACION DEL CONSUMO

TIPO MEDIDA	LEC. ACTUAL	LEC. ANTERIOR	DIFERENCIA	FACTOR	ENERGIA CONS.	ENERGIA FACT.
EAFP	712	627	85	1	85	85

FECHA DE EMISION: 08 AGO/2017 **TOTAL CONSUMO:** 80885

QUALIDAD DEL SERVICIO **INFORMACION DE INTERES**

HORAS INTERRUMPIDAS: 7

ESTIMADO CLIENTE: Lata final de \$457.9027 Kw/h

GRUPO (C): 2 **CRO:** 1237.44 **CPT:** 75

TARIFAS: 18/2017 **VALOR & W/h:** \$437.902

INFORMACION TECNICA

DETAJE DE CUENTA

CONCEPTO	SUBTOTAL
CONSUMO DE ENERGIA	\$ 37.222
457.9027 (Valor Kw/h) x 85 (Consumo en Kw/h)	
(0.00%)	\$ 37.222
SUBTOTAL VALOR CONSUMO	\$ 37.222
CUOTA INTERES CONEXION DEL SERVICIO	\$ 1.781
CUOTA CAPITAL AFECTO INTERES CONEXION SERVICIO	\$ 1.890
ALUMBRADO PUBLICO ART 19.1 PAR 2 CCU	\$ 9.500
AJUSTE A LA DECIMA CERO DIEZ	(5.3)
ESTE MES LA ENERGIA QUE DISFRUTASTE,	
TE COSTO \$ 1.284 DIARIOS	\$ 13.168
SUBTOTAL VALOR OTROS	\$ 0
SUBTOTAL VALOR DESCUENTOS	\$ 50.390
SUBTOTAL CONCEPTOS ENERGIA	\$ 50.390
CONCEPTO:	
PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y BENEFICIOS	\$ 0
SUBTOTAL PORTAFOLIO	\$ 0

ACUERDOS Y OTROS RECLAMOS IMPTO. P. TEL 5939150 KR7 # 4-11 ZIPAQUIRA

Numero de Cuenta: **6131847-2** Factura de Servicios Publicos No: **477309040-2**

TOTAL A PAGAR: \$ 50.390
PAGO OPORTUNO: 14 AGO/2017

Anexo 2.

Dimensionamiento sistema solar y eólico.

DISEÑO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO STAND ALONE - HOGAR PROMEDIO VEREDA DE SAN JORGE											
NORMA DE REFERENCIA:		IEEE 1013 / 2007									
1. DEMANDA DE CARGA, DÍAS DE AUTONOMÍA Y PERDIDAS.											
	Valor	Unidad	Valores promedio que consume un hogar en la vereda de San Jorge. (Ver entrevistas)								
Potencia AC por día	4573	wh/día									
Potencia total AC por día	4573	wh/día									
Voltaje nominal del sistema	48	V									
Autonomía del sistema	1,5	día									
Autonomía del sistema	36	hora									
2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS											
Lugar estación meteorológica	Latitud	4°59'51.75"N	Como punto de referencia se tomo las coordenadas de la vereda donde mayor población se concentra, sitio denominado "El centro".								
	Longitud	74° 1'31.40"O									
HORAS SOL PROMEDIO POR DÍA (h)											
enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
5,9	5,3	4,4	3,5	3,5	3,9	4,3	4,4	4,1	3,8	4,2	5,1
RADIACIÓN SOLAR [(wh/m2)/d]											
enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
5540,4	4900,4	4367,0	4370,3	3823,4	4372,8	4123,3	4189,0	4361,3	4552,2	4535,0	4755,3
5,5	4,9	4,4	4,4	3,8	4,4	4,1	4,2	4,4	4,6	4,5	4,8
4,9	4,8	4,9	4,7	4,7	4,8	5,0	5,1	5,0	4,7	4,6	4,6
TEMPERATURA (°C)											
enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
13,1	12,8	13,7	14,3	14,1	13,5	12,3	13,0	13,4	13,4	13,8	13,1
3. DISEÑO ARREGLO FOTOVOLTAICO.											
CARACTERÍSTICAS ESTANDAR PANEL						CARACTERÍSTICAS TERMICAS PANEL					
Potencia de Salida	P	275,00 Wp	Nominal operation cell temperature			NOCT	46 °C				
Maximum power point voltage	V _{MPP}	31,00 V	TC Isc			0,04 %/°C					
Maximum power point current	I _{MPP}	8,94 A	TC Voc			-0,3 %/°C					
Open circuit voltage	V _{OC}	39,40 V	TC Pmpp			-0,41 %/°C					
Short circuit current	I _{SC}	9,58 A	Operating temperature			menos 40°C to 85°C					
Module efficiency	η _m	16,4 %				*STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1.5					
Marca del Panel.	Sunmodule Plus - SW 275 MONO										
Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos											
$\text{Minima Wp} = \frac{\text{Potencia total AC por día}}{\text{Horas de sol por día}} \times \text{Pérdidas del sistema}$						$\text{Minima Wp} = \frac{4573,00 \text{ Wh}}{3,5 \text{ h/day}} \times 1,2 = 1567,89 \text{ W}$					
Número de paneles											
$\text{Numero de paneles} = \frac{\text{Minima Wp}}{\text{Potencia salida panel}}$						$\text{Numero de paneles} = \frac{1567,89 \text{ W}}{275 \text{ W}} = 6,0$					
Potencia mínima requerida	1567,8857	W									
Total de paneles	6	Und									
4. CONTROLADOR DE CARGA											
CARACTERÍSTICAS ESTANDAR CONTROLADOR DE CARGA											
Maximo Voltaje (V)	600,00	V	Marca del controlador			VarioString VS-120					
Maxima Corriente (I)	120	A									
Voltaje de operación	48	V									
MPPT	Sí										
DIMENSIONAMIENTO CONTROLADOR											
Corriente maxima(paralelo) = I _{sc} x No. de paneles						Voltaje maximo(serie) = Voc x No. de paneles					
Corriente maxima(paralelo) = 9,58A x 6 = 57,48 A						Voltaje maximo(serie) = 236,4V x 6 = 236,4V					
Corriente maxima (paralelo)	57,48	A	Unidades requeridas en paralelo			1					
Voltaje maximo (serie)	236,4	V	Unidades requeridas en serie			1					
Configuración del sistema FV	Serie.										



5. BATERIAS			
Maxima profundidad de descarga	60,00 %	Marca del batería	AGM 150 Ah
Voltaje nominal de la batería	12		
Capacidad de la Batería	150 (Ah@10h)		
DIMENSIONAMIENTO BATERÍA			
$\text{Minima capacidad batería} = \frac{\text{Potencia total AC por día}}{\text{Profundida de descarga} \times \text{Voltaje nominal del sistema}} \times \text{Perdida del sistema} \times \text{días de autonomía}$			
$\text{Minima capacidad batería} = \frac{4573,00 \text{ wh/día}}{0,6 \times 48V} \times 1,2 \times 1,5 = 285,81 \text{ Ah}$			
$\text{Número de baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje nominal del sistema}}{\text{Voltaje de la batería}}$		$\text{Número de baterías en paralelo} = \frac{\text{Minima capacidad batería}}{\text{Capacidad de la batería}}$	
$\text{Número de baterías en serie} = \frac{48V}{12V} = 4$		$\text{Número de baterías en paralelo} = \frac{285,81 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah@10h}} = 2$	
Minima capacidad batería	285,81 Ah	Capacidad total banco de baterías	300,00 (Ah@10h)
Cantidad de baterías en Serie	4,00 Und	Voltaje total banco de baterías	48,00 V
Cantidad de baterías en paralelo	2,00 Und	Días de autonomía real	1,57 días
Cantidad total de baterías	8,00 Und	Profundidad promedio de descarga	60% %
6. INVERSOR			
Eficiencia	96,00 %	Marca del inversor	Studer Innotec
Voltaje operacional inversor	48,00 v	Modelo inversor	XTM 4000-48
Capacidad en forma continua	3500,00 W	Modelo inversor	INVERSOR / CARGADOR
Capacidad pico	10500,00 W		
DIMENSIONAMIENTO CONTROLADOR			
$\text{Tasa minima nominal de potencia} = \frac{\text{Suma de la demanda de energia}}{\text{Eficiencia}}$			
$\text{Tasa minima nominal de potencia} = \frac{4573 \text{ wh/día}}{0,96} = 4763,54 \text{ w}$			
Tasa minima nominal de potencia	4763,54 W		
Unidades requeridas	2,00 W		
7. ESQUEMA FINAL DE COMPOSICIÓN DEL SISTEMA			
ELEMENTO			
Paneles Fotovoltaicos	6		
Controlador de carga	1		
Batería	8,00		
Inversor	2,00		



DISEÑO SISTEMA EOLICO STAND ALONE - HOGAR PROMEDIO VEREDA DE SAN JORGE											
NORMA DE REFERENCIA:											
1. DEMANDA DE CARGA, DÍAS DE AUTONOMÍA Y PERDIDAS.											
	Valor	Unidad									
Potencia AC por día	4573	wh/día	Valores promedio que consume un hogar en la vereda de San Jorge. (Ver entrevista)								
Potencia total AC por día	4573	wh/día									
Voltaje nominal del sistema	48	V									
Autonomía del sistema	1,5	día									
Autonomía del sistema	36	hora									
2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS y DEL TERRENO.											
Lugar estación meteorológica	Latitud	4°59'51.75"N	Como punto de referencia se tomo las coordenadas de la vereda donde mayor población se concentra, sitio denominado "El centro".								
	Longitud	74° 1'31.40"O									
VELOCIDAD DEL VIENTO EN (m/s)											
enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2,63	2,75	2,58	2,33	2,43	2,83	2,80	2,76	2,95	2,45	2,30	2,44
2,20	2,30	2,30	2,10	2,20	2,60	2,70	2,70	2,30	2,10	2,10	2,10
1,64	1,69	1,67	1,56	1,64	1,95	2,02	1,83	1,67	1,54	1,52	1,7
0,99	1,06	0,91	0,77	0,79	0,88	0,78	0,93	1,28	0,91	0,78	0,74
Coeficiente de Potencia		Cp	0,45								
Densidad del Aire		δ	0,90								
3. DISEÑO ARREGLO EOLICO											
CARACTERÍSTICAS ESTANDAR TURBINA						CARACTERÍSTICAS TERMICAS PANEL					
Potencia nominal	P	1000,00	W	Diametro del rotor				2,35	m		
Maximo poder		1030,00	W	Peso Neto				25	Kg		
Tension Nominal		48,00	V	Número de cuchillas				3			
Velocidad de arranque del viento		2,50	m/s	Eficiencia				15%			
Velocidad nominal del viento		12,00	m/s	Eficiencia							
Velocidad del viento		45,0	m/s								
Marca de la turbina	TURBINA EÓLICA 1000W / Referencia SGNE 1000 M5										
<i>Determinación de la potencia turbina eolica</i>											
$Potencia = \frac{1}{2} * Cp * \delta * A * V^3$ $Potencia = \frac{1}{2} * 0,45 * 0,90 * \frac{\pi}{4} * 2,35^2 * 2,30^3$											
Potencia que Genera la Turbina	10,68649181	W	La velocidad del viento no, permite el uso de energia eolica por su bajo potencial. Para llegar a suplir la energia necesaria se requieren mas de 400 Turbinas, algo inviable.								
No. De Turbinas requeridas	427,9234	Und.									

m/s - Apto. El Dorado. 2007 - 2012
m/s - Apto. El Dorado. 1981 - 2010
m/s - SSE / NASA.

Página 1

Anexo 3.

Matriz selección de importancia proveedores.

RESUMEN MATRIZ DE SELECCIÓN DE IMPORTANCIA MARCAS SISTEMAS NO CONVENCIONALES

TIPO DE SISTEMA	Autonomo / Interconectado	MARCA	POTENCIA (Kwh - MES)	POTENCIA (Wh - día)	COSTO con IVA	EFICIENCIA DEL SISTEMA	CALCULO PUNTAJE ALTERNATIVA	PUNTAJE ALTERNATIVA
SOLAR	STAND ALONE	ERCO	229	7633,33	\$ 48.452.220,00	13,70%	$ERCO = (0,49 \times 0,16) + (0,31 \times 0,50) + (0,20 \times 0,30) =$	0,297
SOLAR	STAND ALONE	SOLUTECNIA	156	5200,00	\$ 12.783.869,00	15,37%	$SOLU. = (0,49 \times 0,54) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,34) =$	0,410
SOLAR	STAND ALONE	VALENCIA	161,4	5380,00	\$ 22.291.152,00	15,85%	$VALE. = (0,49 \times 0,30) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,35) =$	0,293
SOLAR	GRID CONNECT	ERCO	229	7633,33	\$ 34.052.220,00	13,70%	$ERCO = (0,49 \times 0,13) + (0,31 \times 0,50) + (0,20 \times 0,30) =$	0,279
SOLAR	GRID CONNECT	SOLUTECNIA	162	5400,00	\$ 6.201.899,00	15,37%	$SOLU. = (0,49 \times 0,59) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,34) =$	0,438
SOLAR	GRID CONNECT	VALENCIA	161,4	5380,00	\$ 16.917.208,00	15,85%	$VALE. = (0,49 \times 0,28) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,35) =$	0,283

STAND ALONE			
		ERCO	0,16
Costo	0,49	SOLUTECNIA	0,54
		VALENCIA	0,30
		ERCO	0,50
Potencia	0,31	SOLUTECNIA	0,25
		VALENCIA	0,25
		ERCO	0,30
Eficiencia	0,20	SOLUTECNIA	0,34
		VALENCIA	0,35

GRID CONNECT			
		ERCO	0,13
Costo	0,49	SOLUTECNIA	0,59
		VALENCIA	0,28
		ERCO	0,50
Potencia	0,31	SOLUTECNIA	0,25
		VALENCIA	0,25
		ERCO	0,30
Eficiencia	0,20	SOLUTECNIA	0,34
		VALENCIA	0,35

Anexo 4.

Matriz selección SNC Vs. SC. (Seis hojas).



RESUMEN MATRIZ DE IMPORTANCIA SISTEMA CONVENCIONAL Vs. NO CONVENCIONAL (COSTO - GEI - CONFIABILIDAD)

TIPO DE SISTEMA	EMPRESA	PERIODO	COSTO INSTALACIÓN	COSTO SERVICIO POR AÑO o MANTENIMIENTO	Σ COSTO TOTAL	Σ COSTO TOTAL ACUMULADO	KgCO ₂ eq	Σ KgCO ₂ eq ACUMULADO	CONFIABILIDAD	SELECCIÓN ALTERNATIVA 6 MESES	SELECCIÓN ALTERNATIVA 1 AÑO	SELECCIÓN ALTERNATIVA 5 AÑOS	SELECCIÓN ALTERNATIVA 10 AÑOS	SELECCIÓN ALTERNATIVA 20 AÑOS
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 0,5	\$ 4.000.000,00	\$ 210.000,00	\$ 4.210.000,00	\$ 4.210.000,00	172,872	172,872	99,923%	0,3658	0,3624	0,3237	0,3072	0,2834
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 1		\$ 210.000,00	\$ 210.000,00	\$ 4.420.000,00	172,872	345,744	99,923%					
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 5		\$ 1.680.000,00	\$ 1.680.000,00	\$ 6.100.000,00	1382,976	1728,72	99,923%					
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 10		\$ 2.100.000,00	\$ 2.100.000,00	\$ 8.200.000,00	1728,72	3457,44	99,923%					
CONVENCIONAL	CODENSA	AÑO 20		\$ 4.200.000,00	\$ 4.200.000,00	\$ 12.400.000,00	3457,44	6914,88	99,923%					
TOTALIDAD					\$ 8.200.000,00		6914,88		99,923%					
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 0,5	\$ 12.783.869,00	\$ 38.966,53	\$ 12.822.835,53	\$ 12.822.835,53	46,7155	46,716	98,879%	0,2766	0,2773	0,2826	0,2822	0,2899
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 1		\$ 38.966,53	\$ 38.966,53	\$ 12.861.802,07	46,7155	93,431	98,835%					
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 5		\$ 311.732,27	\$ 311.732,27	\$ 13.173.534,33	373,724	467,155	98,489%					
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 10	\$ 3.729.000,00	\$ 389.665,33	\$ 4.118.665,33	\$ 17.292.199,67	467,155	934,310	98,061%					
SNC STAND ALONE	SOLUTECNIA sa	AÑO 20	\$ 3.729.000,00	\$ 779.330,67	\$ 4.508.330,67	\$ 21.800.530,33	934,31	1868,620	97,214%					
TOTALIDAD					\$ 17.292.199,67		1868,62		98,296%					
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 0,5	\$ 8.201.899,00	\$ 81.900,00	\$ 8.283.799,00	\$ 8.283.799,00	36,84	36,84	98,982%	0,3576	0,3594	0,3599	0,3879	0,4168
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 1		\$ 81.900,00	\$ 81.900,00	\$ 8.365.699,00	36,84	73,68	98,982%					
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 5		\$ 655.200,00	\$ 655.200,00	\$ 9.020.899,00	294,72	368,4	98,921%					
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 10		\$ 819.000,00	\$ 819.000,00	\$ 9.839.899,00	368,4	736,8	98,920%					
SNC GRID CONNECT	SOLUTECNIA gc	AÑO 20		\$ 1.638.000,00	\$ 1.638.000,00	\$ 11.477.899,00	736,8	1473,6	98,918%					
TOTALIDAD					\$ 11.477.899,00		1473,6		98,945%					

IMPORTANCIA			IMPORT. 0,5 AÑOS	IMPORT. 1 AÑO	IMPORT. 5 AÑOS	IMPORT. 10 AÑOS	IMPORT. 20 AÑOS
Costo (C)	SC	0,490	0,543	0,536	0,445	0,418	0,372
	SNC STAND ALONE		0,180	0,180	0,208	0,199	0,212
	SNC GRID CONNECT		0,277	0,280	0,302	0,349	0,402
KgCO ₂ eq (GEI)	SC	0,312	0,107	0,107	0,124	0,114	0,110
	SNC STAND ALONE		0,394	0,395	0,369	0,382	0,388
	SNC GRID CONNECT		0,500	0,501	0,468	0,484	0,493
Confiabilidad (CONF.)	SC	0,198	0,336	0,336	0,336	0,337	0,338
	SNC STAND ALONE		0,332	0,332	0,331	0,330	0,328
	SNC GRID CONNECT		0,332	0,332	0,333	0,333	0,334



UNIVERSIDAD DE
MANIZALES