

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO DE 29kW PICO PARA DIFERENTES
CONDICIONES GEOGRÁFICAS EN COLOMBIA.**



JOSE GABRIEL ANGULO ROJAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
INGENIERIA EN ENERGIA
BUCARAMANGA
2013**

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO DE 29kW PICO PARA DIFERENTES
CONDICIONES GEOGRÁFICAS EN COLOMBIA.**

JOSE GABRIEL ANGULO ROJAS

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO EN ENERGÍA**

DIRECTOR

YECID ALFONSO MUÑOZ MALDONADO

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARMANGA
FACULTAD INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
INGENIERIA EN ENERGIA
BUCARAMANGA**

2013

Contenido

INTRODUCCIÓN	6
1. ESTADO DEL ARTE DE ZONAS NO INTERCONECTADAS CON GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE SISTEMAS HÍBRIDOS.	7
1.1. POTENCIAL DE SISTEMAS HÍBRIDOS EN COLOMBIA	9
2. FUNDAMENTO TEÓRICO Y MARCO DE REFERENCIA DE SISTEMAS HÍBRIDOS.	9
2.1. FUNCIONAMIENTO SISTEMAS HÍBRIDOS	9
2.2. SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO	11
2.2.1. ARQUITECTURA: SEGMENTOS, MERCADOS, REGLAS Y ACTORES	13
2.3. ACTUALIDAD ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA.	14
2.3.1. MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR.	15
2.4. ZONAS NO INTERCONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA EN COLOMBIA.	20
2.4.1. DEFINICIÓN	20
2.4.2. APACIDAD INSTALADA	20
2.4.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ZNI	21
2.5. BIOMASA EN COLOMBIA	22
2.5.1. SECTOR AGRÍCOLA	23
2.5.2. SECTOR PECUARIO	24
2.5.3. SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS (RSOU)	24
2.6. PROCESO DE GASIFICACIÓN	26
2.6.1. CONJUNTO GENERADOR	29
2.6.2. CONJUNTO GASIFICADOR	29
2.7. PEQUEÑAS CENTRALES HIDRO-ELÉCTRICAS EN COLOMBIA	30
2.8. ENERGÍA EÓLICA	31
2.9. ACTUALIDAD ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA.	33
2.10. FACTOR DE EMISIONES EN COLOMBIA.	35
3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA EN EL SOFTWARE HOMMER.	36
3.1. DEMANDA Y CARGA MÁXIMA	40
3.2. GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO EN CORRIENTE CONTINÚA.	43
3.2.1. ARREGLO SOLAR FOTOVOLTAICO	43
3.2.2. BANCO DE BATERÍAS	45
3.2.3. TURBINA EÓLICA	48

3.3.	INVERSOR DE POTENCIA.	50
3.4.	GENERACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA	51
3.4.1.	MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA	52
3.4.2.	GENERADOR CON GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE LA GASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE.	54
4.	RESULTADOS OBTENIDOS POR REGIÓN.	57
4.1.	RESULTADOS GUAINÍA Y NARIÑO	57
4.1.1.	CONDICIONES FAVORABLES.	57
4.1.2.	CONDICIONES DESFAVORABLES.	60
4.2.	RESULTADOS SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA	60
4.2.1.	CONDICIONES FAVORABLES DE VIENTO	60
4.2.2.	CONDICIONES DESFAVORABLES DE VIENTO.....	63
4.2.3.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	66
4.3.	RESULTADOS BOLÍVAR	66
4.3.1.	CONDICIONES FAVORABLES DE CAUDAL.....	67
4.3.2.	CONDICIONES DESFAVORABLES DE CAUDAL.	68
4.3.3.	CONDICIONES DESFAVORABLES DE VIENTO Y CAUDAL	70
4.3.4.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	73
4.4.	RESULTADOS CHOCÓ	73
4.4.1.	CONDICIONES FAVORABLES DE VIENTO.....	74
4.4.2.	CONDICIONES DESFAVORABLES DE VIENTO.....	77
4.4.3.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	78
4.5.	RESULTADOS ARAUCA.....	79
4.5.1.	RESULTADOS FAVORABLES DE SOL.....	79
4.5.2.	RESULTADOS DESFAVORABLES DE SOL.	83
4.5.3.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	84
5.	RESUMEN DE RESULTADOS	86
	CONCLUSIONES.....	88
	REFERENCIAS	91

Agradecimientos

Agradezco a CivicSolar por brindarme la oportunidad de trabajar y aprender con ellos, fue una excelente experiencia de trabajo muy enriquecedora intelectual y personalmente, que me sirvió como cimiento para el futuro.

Resumen

Se presenta un estudio detallado de las diferentes condiciones ambientales, económicas y energéticas a lo largo de Colombia al desarrollar un sistema de generación eléctrica de 29kW pico que se suplirá idealmente por energías alternativas.

Planteamiento del Problema

Existen poblaciones aisladas de la red eléctrica en diferentes zonas del país, una solución es implementar un sistema híbrido, se estima una potencia de 29kW pico para una población de este tipo según datos del IPSE, la energía solar fotovoltaica es el más regular en todo el país por eso se puede tomar como base para ser complementada con otros sistemas, se requiere del modelamiento y comparación de precios de un arreglo solar fotovoltaico aislado u otros sistemas de generación eléctrica en diferentes zonas no interconectadas de Colombia con diferentes sistemas de respaldo.

Objetivos de la Investigación

- Definir en qué áreas del territorio Colombiano son propicias para la instalación de sistemas de generación eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos como principal generador y su mejor sistema de respaldo para cuando estos no produzcan energía.
- Identificar cuál es la combinación más óptima para cada zona basándose en el costo de vida del proyecto y el precio del kilowatt por hora.

INTRODUCCIÓN

La energía solar se transforma en la naturaleza en otras formas de energía, como biomasa y energía eólica, pero también se puede transformar en calor y/o electricidad que es el caso de la energía solar fotovoltaica que ha tenido un gran crecimiento en potencia instalada en todo el mundo en la última década, debido a muchos acontecimientos como por ejemplo la reducción de su costo en más de 50%, su mejoría en la eficiencia, los problemas ambientales que afronta el planeta debido al uso de combustibles fósiles, catástrofes nucleares, y las nuevas tecnologías que han surgido con eficiencias y precios competitivos.

Actualmente la oferta de paneles solares también es cada vez mayor, y está concentrada en unos pocos países productores a gran escala, como EEUU, China, Taiwán y Corea, que son los principales productores de paneles a nivel mundial, en el caso particular de China y Taiwán, estos presentan precios altamente competitivos que son atractivos para proyectos a gran escala incluso en países con una no muy buena irradiación solar como Canadá o hasta Colombia, país que está ingresando en el mundo de la energía solar fotovoltaica.

En el caso latino americano, los países con condiciones propicias para la instalación de grandes centrales de generación fotovoltaicas (más de 10 MW), han empezado un par de años atrás a subsidiar proyectos que incentiven la instalación de estos. Países como Chile y Brasil son los más avanzados en materia solar, Chile por su favorable radiación solar en el desierto de atacama y Brasil por su gran interés en energías alternativas y su buena radiación, por encima del promedio mundial, por otra parte Colombia con buenas condiciones para la energía solar no ha desarrollado ningún tipo de política útil para el crecimiento exponencial de sistemas fotovoltaicos a lo largo del país.

Las aplicaciones más difundidas en Colombia son el calentamiento de agua para uso doméstico, industrial y recreacional (calentamiento de agua para piscinas) y la generación de electricidad a pequeña escala, esta última más que todo esfuerzos aislados por persona particulares que encuentran atractiva la alternativa de que sus hogares sean independientes de la red eléctrica.

Otras aplicaciones menos difundidas son El secado solar de productos agrícolas y la destilación solar de agua de mar u otras aguas no potables.

1. ESTADO DEL ARTE DE ZONAS NO INTERCONECTADAS CON GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE SISTEMAS HÍBRIDOS.

El panorama nacional de sistemas híbridos de generación no es muy amplio ya que usualmente, las demandas energéticas en zonas no interconectadas en el país (ZNI) son alimentadas a partir de generadores diésel o pequeñas centrales hidráulicas, y muy pocas veces se combinan los sistemas para generación a gran escala.

Situación eléctrica nacional:

- Electrificación rural Zonas sin suministro eléctrico (comunidades afrodescendientes e indígenas)
- Zonas no interconectadas al SIN que cuentan con sistemas propios de generación eléctrica (ZNI)
- Zonas con acceso al SIN mediante redes de distribución (calidad y fiabilidad del servicio)

Hasta la fecha no se han implementado muchos de los proyectos sobre sistemas híbridos que se han estudiado, debido a que estos estudios y la necesidad de un sistema de respaldo han desaparecido desde el año 1993 donde el país sufrió la peor crisis energética. Sin embargo ahora el objetivo de muchos estudios ha sido el suministro a bajo costo y ambientalmente responsable para estas áreas donde la red eléctrica nacional no cuenta con líneas de distribución principalmente las ZNI.

Desafortunadamente es muy poco lo que se ha realizado en Colombia desde tal fecha acerca de sistemas híbridos de generación de energía. En parte se debe a la capacidad de generación de energía por medio de los recursos hidráulicos con que cuenta el país. Se cuenta en el departamento de La Guajira con un sistema demostrativo solar fotovoltaico-diesel con una

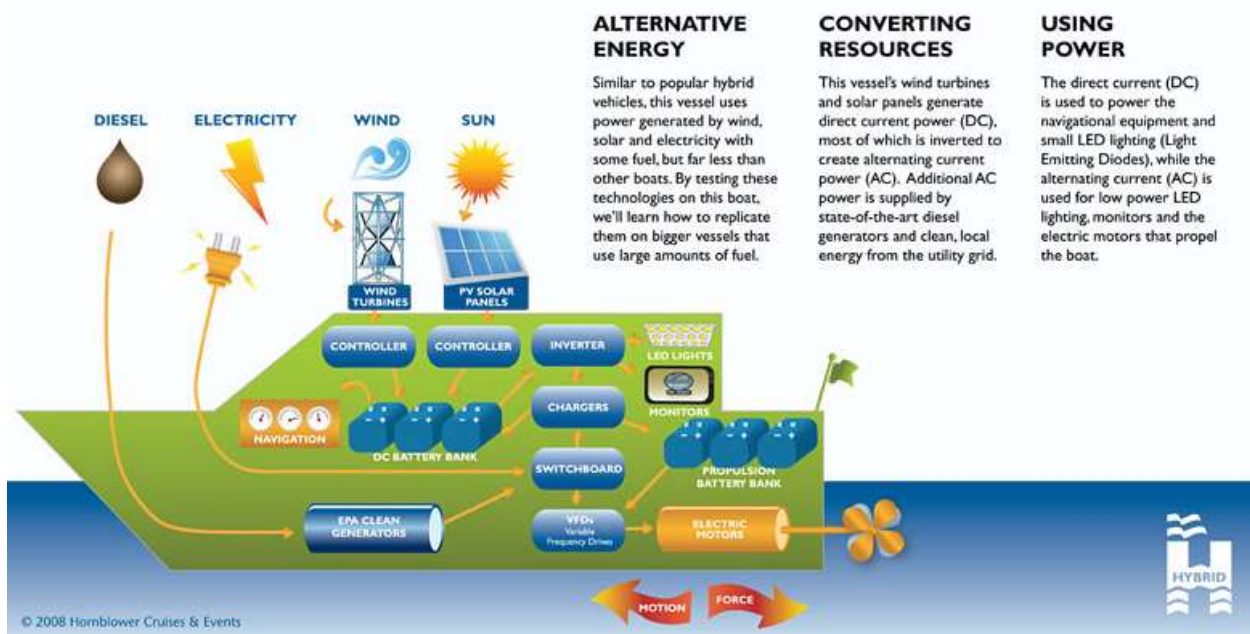
capacidad de 12 kW para incubadoras y otros equipos de un hospital con un costo total de 94 millones de pesos y fue instalado hace más de 10 años.

Otro proyecto con muchos años de funcionamiento y que usa como fuente principal de generación de electricidad al sol es el Centro Solar Comunal de La Venturosa. En el departamento de Vichada también instalado hace más de 10 años con 2.6kWp con un costo de 35 millones de pesos. A parte de estos proyectos los esfuerzos que se han hecho para la elaboración de sistemas híbridos son de particulares interesados en el tema.

La actualidad mundial es muy diferente a la Colombia, en países como México, muchos locales comerciales usan sistemas Eólicos-Fotovoltaicos para generar la energía necesaria para las cargas más fundamental, ejemplo de esto es el proyecto SEARS en la ciudad industrial Framboyanes, Veracruz de 65 kW con interconexión a la red eléctrica de ese país.

Otro ejemplo bastante atractivo es San Francisco, California donde los ferris para ir a la isla de alcatraz, son impulsados a través de un sistema hibrido de generación Eólico-fotovoltaico-Diesel con sistema de almacenamiento con baterías de 380 V DC.

Figura 1. Diagrama de funcionamiento Ferry hibrido en San Francisco. [31]



1.1. POTENCIAL DE SISTEMAS HÍBRIDOS EN COLOMBIA

“Las ZNI en Colombia agrupan a cerca de 114232 usuarios conectados, con una capacidad instalada de 112MW, cubriendo cerca del 66% del territorio nacional, y un consumo entre 360 y 1200KWh/año, en general se encuentran soportadas por un parque de generación de más de 199.629,3 KW, contando con alrededor de 1075 unidades, 98% conformado de plantas diesel de menos de 100KW en promedio. Se estima además un potencial de generación con recursos hídricos de 180MW, de los que tan sólo se aprovecha un 2%. Estas cifras tomadas del instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las ZNI, IPSE, muestran como la generación para regiones que no hacen parte del sistema interconectado se ha construido fundamentalmente con base en plantas diesel, explicado en parte por los subsidios que recibe el electrocombustible (21.1%). Complementar estas cifras con las que se pueden obtener de regiones aisladas en las que aún no se ha implementado un sistema de generación de ningún tipo, proyectando un posible mercado de electricidad, así como un análisis de los recursos energéticos con los que cuentan estas regiones, ampliaría seguramente la perspectiva a una gran cantidad de posibilidades de servicio”. [10]

2. FUNDAMENTO TEÓRICO Y MARCO DE REFERENCIA DE SISTEMAS HÍBRIDOS.

2.1. FUNCIONAMIENTO SISTEMAS HÍBRIDOS

Los sistemas híbridos de generación eléctrica cada día son más atractivos para todos los países del mundo que cuentan con variedad de recursos energéticos, normalmente se usan para la no-dependencia en energías no renovables, estos sistemas están por debajo del margen de seguridad que garantizaría la cobertura a la demanda energética en un lugar y tiempo específico, ya que estos dependen en gran parte a los cambios climáticos y otros factores que pueden generar una variabilidad en el suministro de potencia.

Sistema híbrido hace referencia a la unión de dos o más sistemas de generación de energía eléctrica, usualmente un sistema basado en combustibles fósiles junto a un sistema basado en

energía renovables con almacenamiento (baterías), reguladores de carga e inversores. El primero para brindar estabilidad al sistema, ya que puede funcionar continuamente, el segundo para darle el componente renovable y no depender en alto grado a los combustibles fósiles.

Los sistemas híbridos permiten aprovechar los recursos energéticos renovables existentes en el territorio, y son altamente propicias para las zonas apartadas de las grandes centrales de generación.

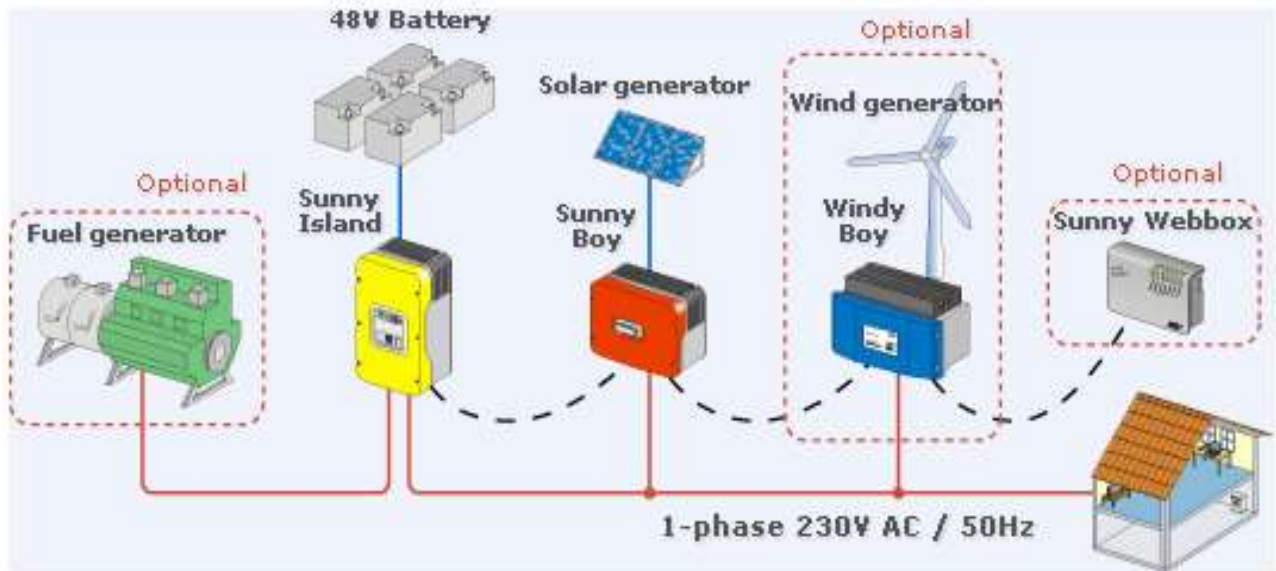
Composición usual de un sistema híbrido:

- Una o más unidades de generación basadas en energía renovables.
- Una o más unidades de generación convencional.

- Sistema de almacenamiento puede ser:
 - Mecánico.
 - Electroquímico.
 - Hidráulico.
- Sistemas de acondicionamiento de la potencia (inversores).
- Sistema de regulación y control (Regulador de carga, medidores).

En la siguiente figura se puede apreciar un tipo de configuración de sistema híbrido de 1 fase en 230VAC con generador, aerogenerador, Paneles fotovoltaicos y baterías los últimos tres con sus respectivos sistemas de regulación y control.

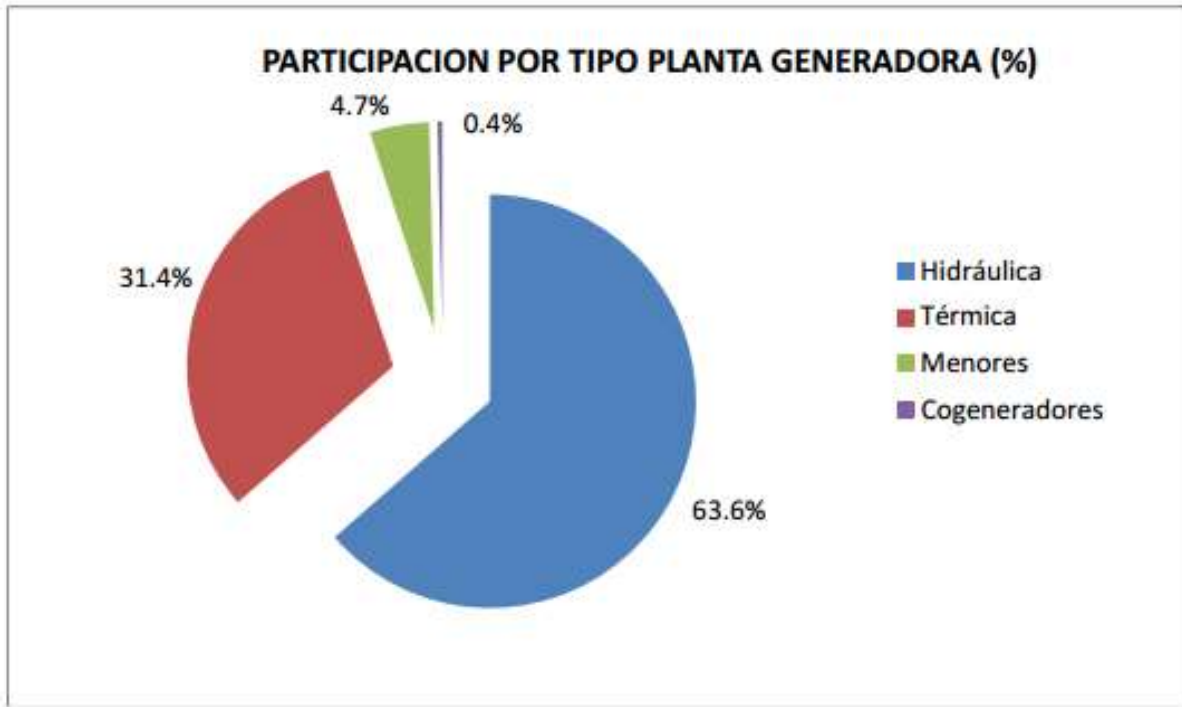
Figura 2. Sistema híbrido SMA. [32]



2.2. SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO.

El sector eléctrico en Colombia cuenta con 14,45 GW instalados está mayormente dominado por generación de energía hidráulica (63.6% de la producción) y generación térmica (31.4%), el resto es un repartido entre generaciones menores 4.7% y Cogeneradores 0.4%. Figura 3.

Figura 3. Porcentajes de tipos de generación eléctrica.



Una característica interesante del sector eléctrico de Colombia (así como de su sector de abastecimiento de agua) es la existencia de un sistema de subsidios cruzados de usuarios que viven en áreas consideradas como relativamente afluentes suponiendo que consumen cantidades de electricidad superiores, a aquellos que viven en áreas consideradas pobres y quienes se supone usan menos electricidad.

El sector eléctrico ha sido desagrupado en generación, transmisión, Red de distribución y comercialización desde que se llevaron a cabo las reformas del sector eléctrico en 1994. Alrededor de la mitad de la capacidad de generación es privada. La participación privada en distribución eléctrica es mucho más baja.

2.2.1. ARQUITECTURA: SEGMENTOS, MERCADOS, REGLAS Y ACTORES

El sistema energético colombiano cuenta con una serie de niveles de proceso que son manejados por diferentes entidades privadas o gubernamentales, donde la producción y comercialización son bastante confusas en su modo de operar; ya que operan de manera de bolsa de energía como se puede apreciar en la figura 4.

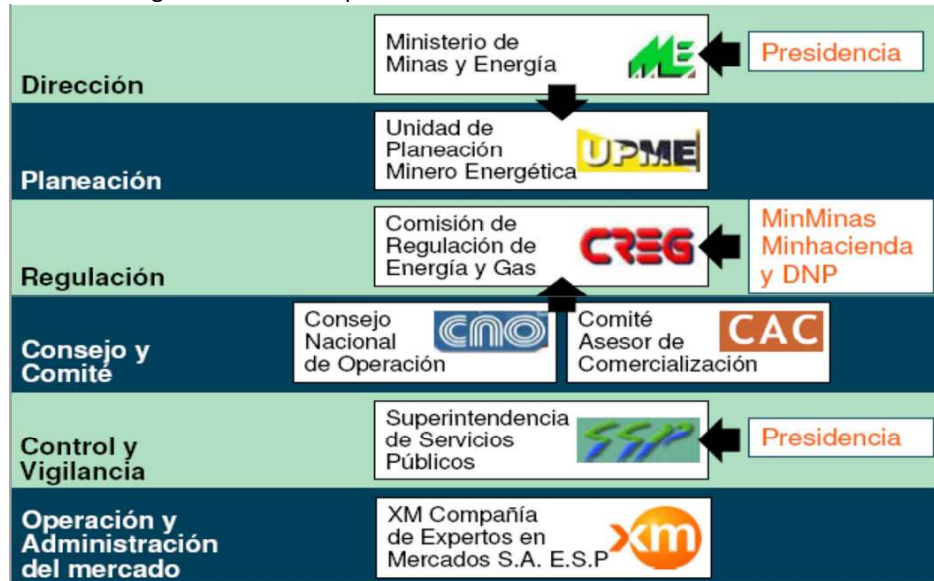
Figura 4. Sistema de transacciones del mercado mayorista de electricidad.

Transacciones en el mercado mayorista



Todos los sectores del sistema energético colombiano son dirigidos por diferentes entidades gubernamentales donde la información se sincroniza entre estas, cada sector va dirigido por una empresa como se muestra en la Figura 5. Facultad Ingenierías Físico-Mecánicas

Figura 5. Entidades presentes en el Sector eléctrico Colombiano



2.3. ACTUALIDAD ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA.

La energía solar en Colombia ocupa un lugar menor con respecto a las otras energías alternativas contando con aproximadamente 7MW capacidad instalada, prácticamente todos los esfuerzos por generar electricidad a partir de la irradiación solar son realizados por el sector privado en zonas no interconectadas del país y más que todo a pequeña escala.

Estos pequeños sistemas que son propicios para zonas rurales donde el coste de generación diésel es muy costoso y no cuentan con red eléctrica, comenzaron a aparecer en Colombia por los años 80 donde empresas de telecomunicaciones encontraron en los módulos una alternativa muy interesante para sus problemas con las antenas ubicadas en zonas no interconectadas.

Actualmente Colombia sigue muy atrás en cuanto a políticas de apoyo a la generación solar fotovoltaica respecto a otros países, donde mejores subsidios, incentivos, facilidades y la existencia de “net-metering” crea un panorama atractivo para las empresas desarrollar proyectos solares ya sea en el sector público o privado.

Asimismo Colombia cuenta con una ubicación privilegiada en la línea ecuatorial, según datos del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales) que es la entidad que se ha encargado en la medición de la radiación solar la Guajira cuenta con la mejor radiación promedio como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Promedio radiación solar por región al año.

Región del país	Radiación Solar (kWh/m ² /año)
Guajira	2 000 - 2 100
Costa Atlántica	1 730 - 2 000
Orinoquía-Amazonía	1 550 - 1 900
Región Andina	1 550 - 1 750
Costa Pacífico	1 450 - 1 550

Fuente: ZNI

Teniendo en cuenta que la radiación máxima mundial es de 2500 kWh/m²/año, la radiación solar en Colombia estaría entre un 50% y 85%, sin embargo el país cuenta con una posición privilegiada en la línea ecuatorial que disminuye las grandes variaciones de temperatura y radiación con diferencia a otros países.

2.3.1. MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR.

Donde no se recomienda tomar estas mediciones como válidas en zonas de alta montaña donde no se cuenta con elementos de medición. El siguiente mapa muestra las diferentes localidades de los mapas donde se ubican las estaciones de medición en todo el territorio colombiano.

A partir de los mapas de radiación presentador por la UPME se muestran los 2 meses de más influencia en el sector solar, Julio y Noviembre, el de mayor y el de menor radiación solar, respectivamente, de tal manera gracias a estos dos datos se pueden hacer diseños a lo largo del país exceptuando zonas de alta montaña como lo explica el IDEAM. [21]

Figura 6. Mapa de ubicación de las diferentes estaciones de medición del IDEAM

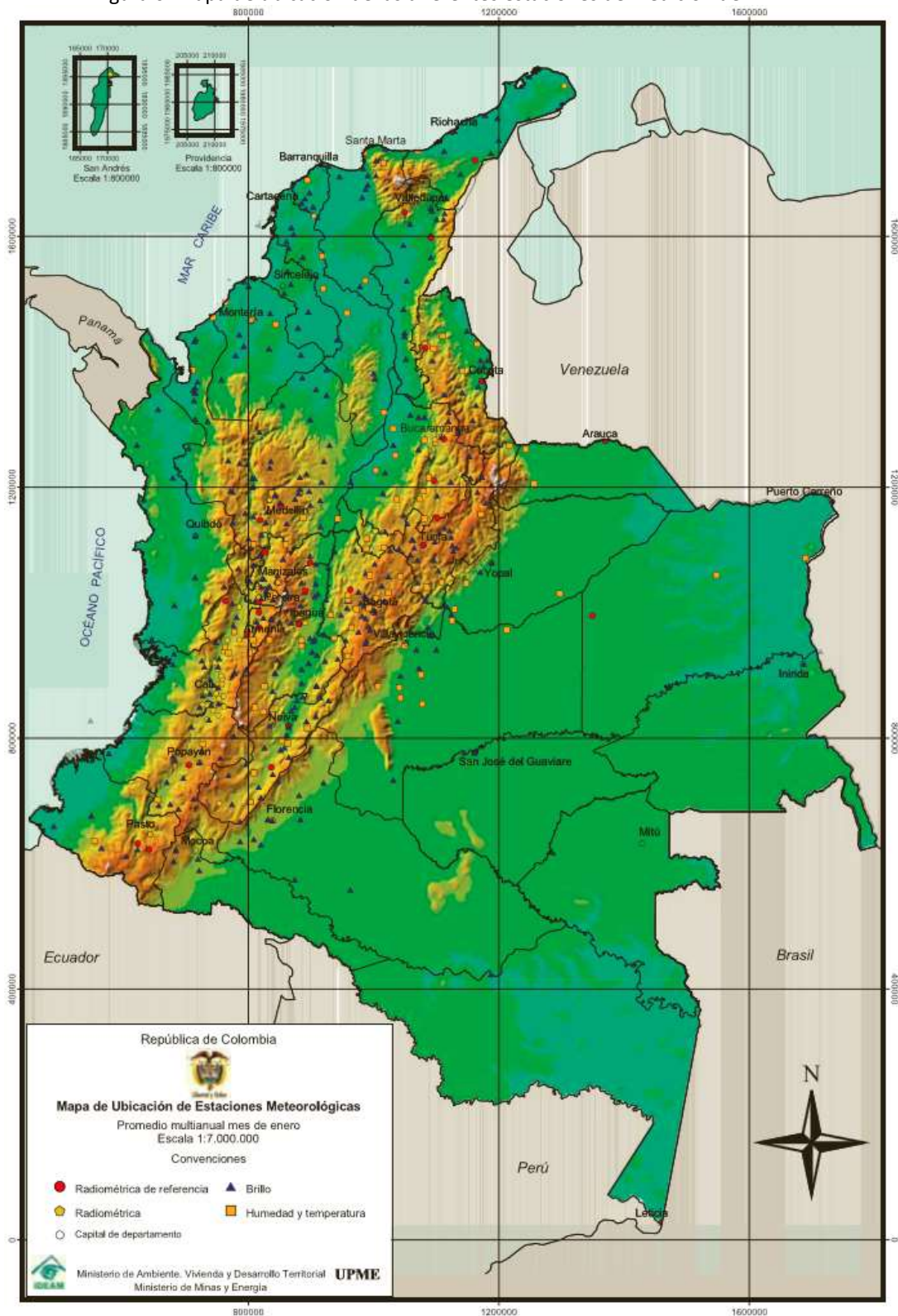


Figura 7. Mapa de radiación Solar Julio.

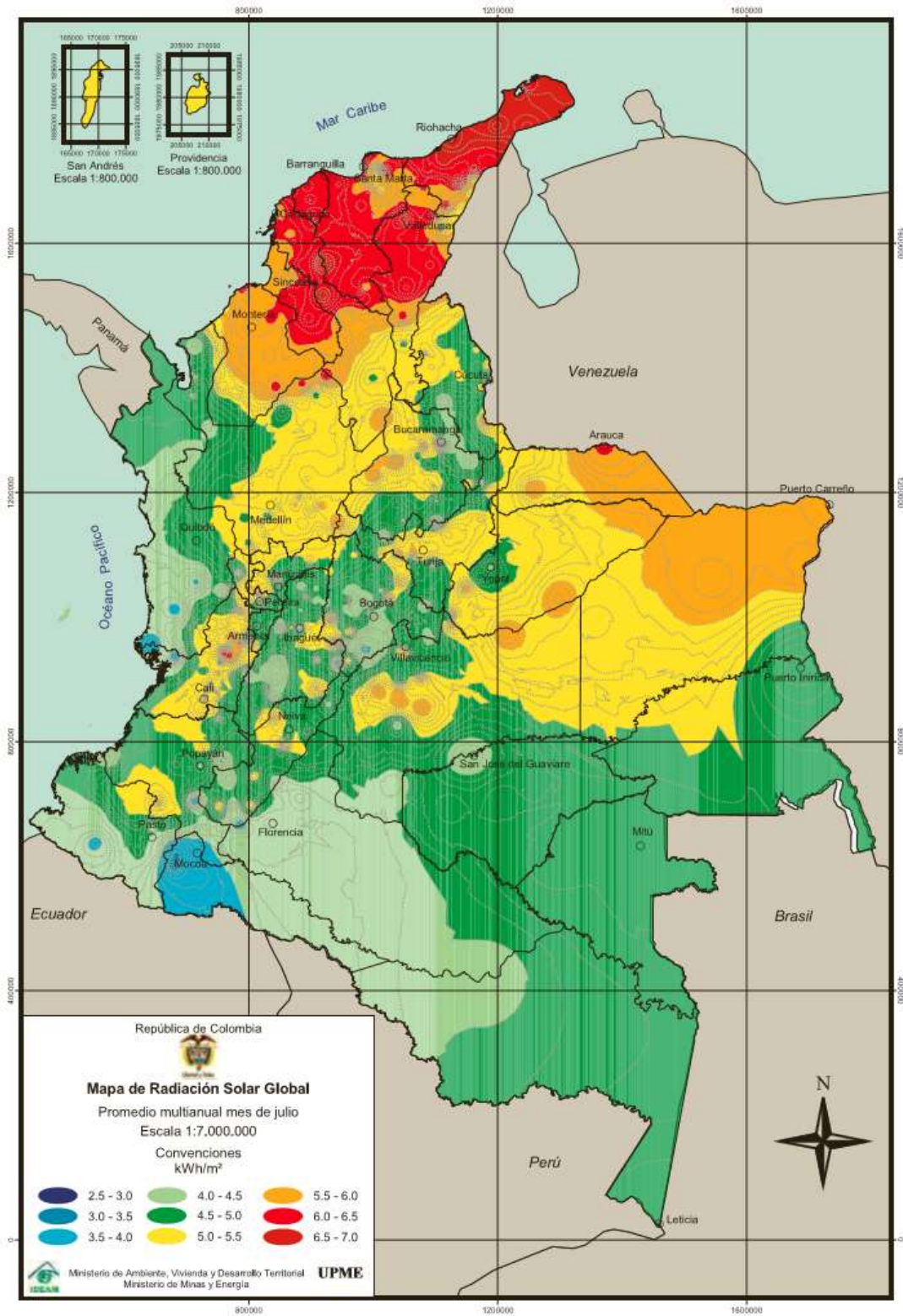


Figura 8. Mapa de Radiación Solar noviembre.

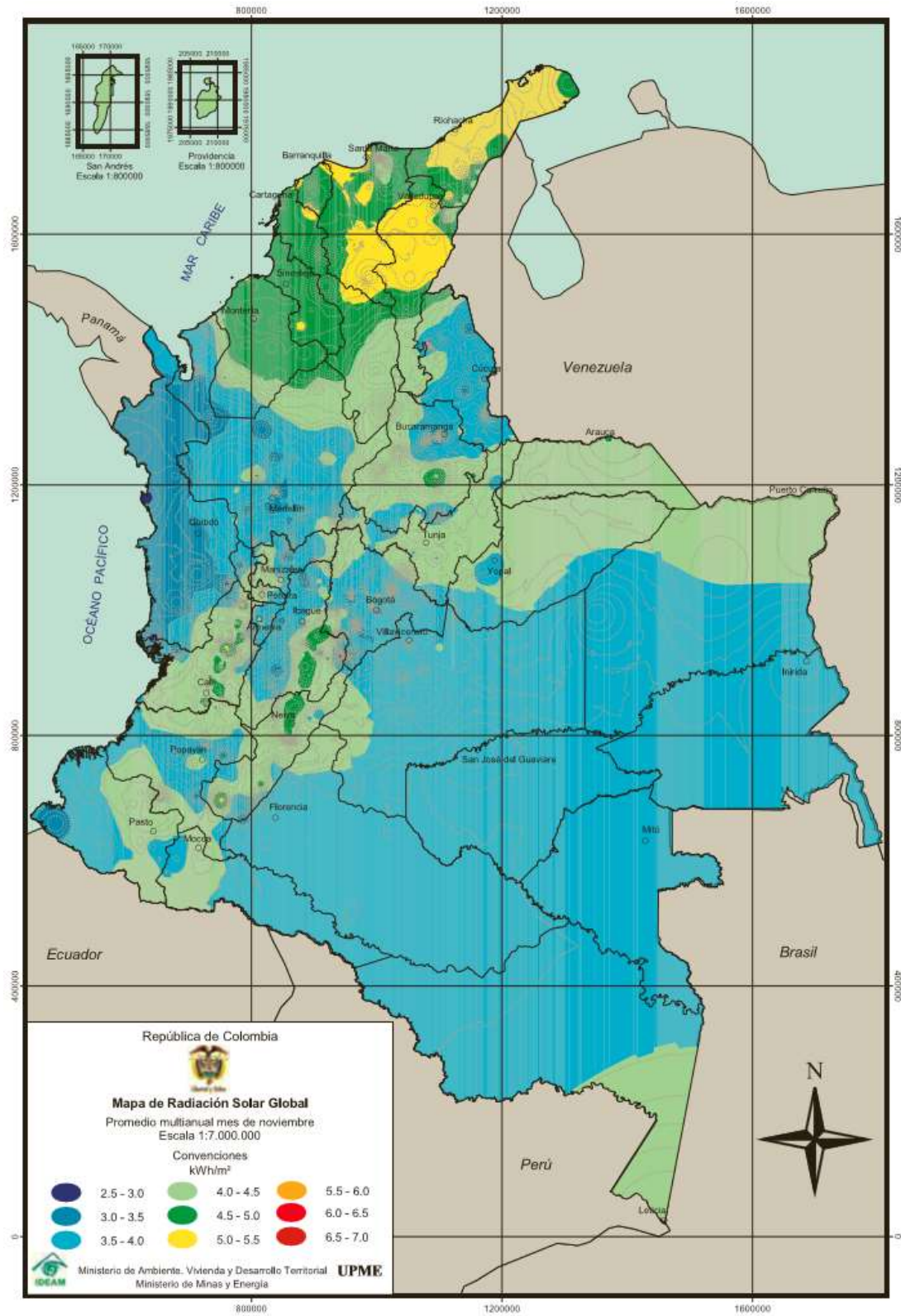
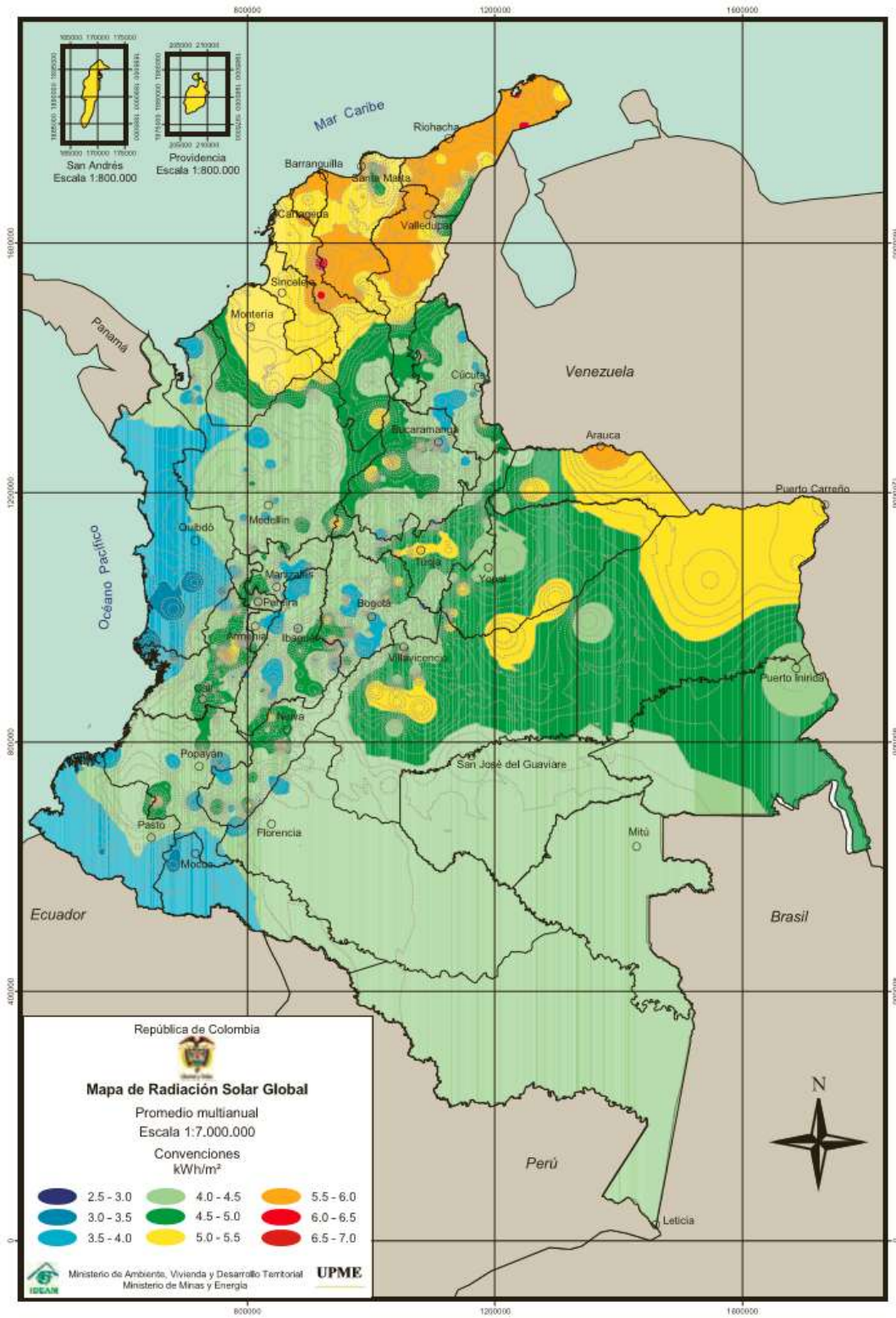


Figura 9. Mapa de Radiación Solar promedio anual.



2.4. ZONAS NO INTERCONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA EN COLOMBIA.

2.4.1. DEFINICIÓN

Las ZNI se definieron como aquellas áreas geográficas del territorio nacional donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional (Artículo 11, Ley 43 de 1994). Estas locaciones se caracterizan por su baja densidad poblacional, por estar ubicadas bastante alejadas de los centros urbanos y por su gran riqueza en recursos naturales. Por tal motivo, resulta tan costoso su integración al SIN y se es necesario la prestación del servicio directamente en la zona y, gracias a la abundancia de recursos, se desea que las fuentes de generación se basen en energías alternativas y no energías convencionales.

En comparación con el SIN, para el cual existe un mercado mayorista con separación vertical de las actividades de generación, distribución, comercialización transmisión, donde se fija un precio marginal mediante una bolsa de energía, para las zonas no interconectadas no existe un mecanismo de mercado para determinar el precio de la electricidad, ni está definida con claridad la separación entre la generación, la distribución y la comercialización, debido a que primero se debe enfrentar el problema de cómo proveer el servicio en estas zonas. En cuanto a precios y tarifas existe reglamentación en la CREG que fija la formula tarifaria y la estructura general de costos.

2.4.2. CAPACIDAD INSTALADA

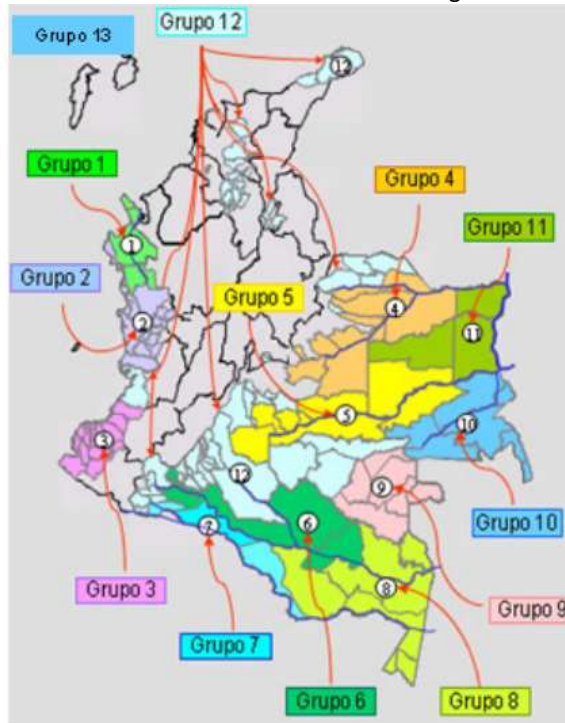
Las ZNI corresponden al 66% del territorio nacional y abarca 16 departamentos. Actualmente se encuentran instalados 118 MW de capacidad de generación, de los cuales entre el 8% y el 10% son generados con Fuentes No Convencionales de Energía FNCE. La capacidad instalada para generación eléctrica en las Zonas No Interconectadas (ZNI), el 92% (108,5 MW) corresponde a generación con plantas Diesel y el 8 % restante corresponde a generación con PCH's, **Sistemas fotovoltaicos y generación con biomasa.**

Tabla 2. Potencial instalada y tipo de generación en ZNI

Potencia Instalada a 2009	118	MW
Generación Diesel	92%	
Generación con FNCE	8%	

2.4.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ZNI

Figura 10. Mapa de ZNI [7]



Diagnóstico ZNI

DIAGNÓSTICO ZNI

- ✓ 66 % territorio nacional
- ✓ 16 Departamentos
- ✓ 4 Capitales departamentales
- ✓ 13 Grupos territoriales
- ✓ 44 Cabeceras municipales
- ✓ 91 Municipios
- ✓ 1.200 Localidades
- ✓ 118 mil usuarios atendidos
- ✓ 91 Entes prestadores
- ✓ 118 MW

El departamento con mayor número de municipios es Chocó, con el 28,6% seguido de Nariño, con el 14,3% y Cauca, con el 12,1%. A diferencia de lo anterior, el mayor número de localidades se sitúa de la siguiente manera: Nariño con el 38,8% seguido de Chocó, con 20,1%. Finalmente el volumen de usuarios se distribuye en correlación las localidades: Así, Nariño presenta el mayor nivel, seguido de Chocó y Cauca.

Tabla 3. Generalidades y ubicación geográfica de las ZNI en Colombia.

Departamento	Municipios		Variación porcentual	Localidades		Variación porcentual	Número de usuarios		Variación porcentual
	1996	2007		1996	2007		1996	2007	
Amazonas	2	2	0	39	41	5	7.039	2.163	-69
Antioquia	2	2	0	29	33	14	1.992	2.544	228
Arauca	2	0	-100	2	0	-100	40	0	-100
Bolívar	n. d.	1	100	0	1	100	0	85	100
Caquetá	14	11	-21	58	47	-19	7.125	6.910	-3
Casanare	8	3	-63	10	5	-50	895	1.184	32
Cauca	5	5	0	102	105	3	11.911	12.962	9
Chocó	27	26	-4	250	238	-5	20.693	20.883	1
Guainía	1	1	0	48	52	8	3.775	4.675	24
Guaviare	4	3	-25	36	36	0	3.593	2.046	-43
Meta	14	9	-36	51	37	-27	5.347	5.118	-4
Nariño	10	13	30	427	460	8	34.613	43.519	26
Putumayo	7	7	0	49	37	-24	4.848	4.205	-13
Valle del Cauca	1	1	0	34	33	-3	2.772	2.624	-5
Vaupés	5	3	-40	37	39	5	2.772	2.691	-3
Vichada	3	4	33	27	22	-19	4.637	2.623	-43
Total	105	91	-13	1.199	1.186	-1	112.052	114.232	2

Fuente: Subdirección de la Planificación Energética, IPSE, Minminas

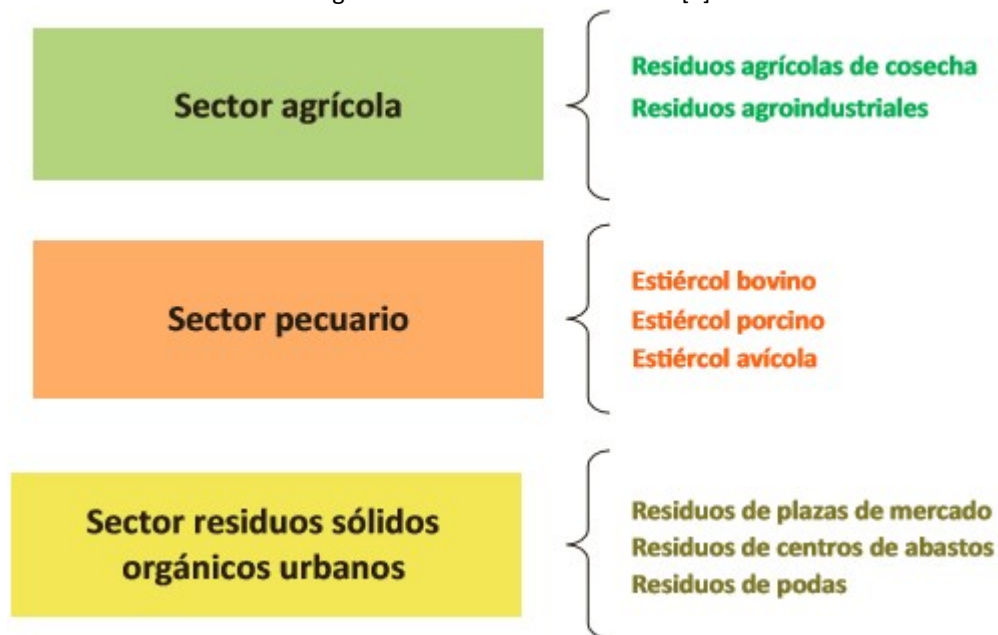
2.5. BIOMASA EN COLOMBIA

Colombia como país productor de gran variedad de alimentos por su clima propicio para la siembra, también con una gran población y espacios para el funcionamiento del sector pecuario, todo esto sumado hace que Colombia genere Biomasa en exuberantes cantidades que la convierten en una solución atractiva para la generación eléctrica en zonas no interconectadas del país principalmente.

Actualmente en Colombia se cuenta con un mapa de Biomasa residual con su potencial energético, este se desarrolló conjuntamente por la UPME y el IDEAM, que recopilaron información de las principales entidades del sector rural del país como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Agropecuario y la Asociación Colombiana de Porcicultores.

Los principales sectores de la biomasa en Colombia se dividen en tres sectores principalmente, mostrados a continuación en la figura 5. [8]

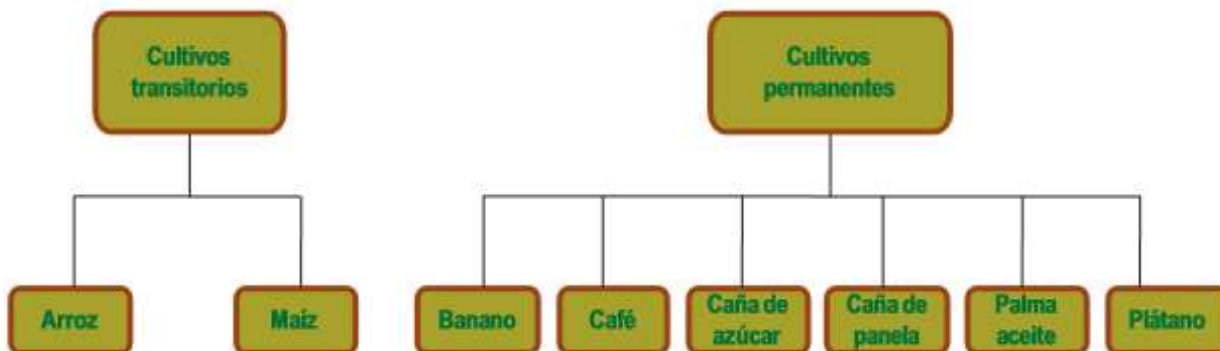
Figura 11. Sectores de la biomasa [8]



2.5.1. SECTOR AGRÍCOLA

La biomasa residual en el sector agrícola se conforma por los subproductos de la recolección y transformación de cosechas y están divididos en dos categorías, residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales. También dependiendo de su ciclo de sembrado se subdividen 8 tipos de cultivos que se presentan en la Figura 12.

Figura 12. Cultivos generadores de biomasa residual [8]



2.5.2. SECTOR PECUARIO

La muestra representativa para el sector pecuario se seleccionó con base en el porcentaje de participación de las diferentes actividades y en la disponibilidad de la información relativa a los censos poblacionales por especie. En la siguiente figura se muestran los principales subsectores del sector pecuario detalladamente.

Figura 13. Animales del sector pecuario generadores de biomasa.[8]



2.5.3. SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS (RSOU)

Esos residuos consisten básicamente los desechos sólidos orgánicos que se generan en las principales zonas urbanas por el normal diario vivir, en este caso se tomaran en cuenta los

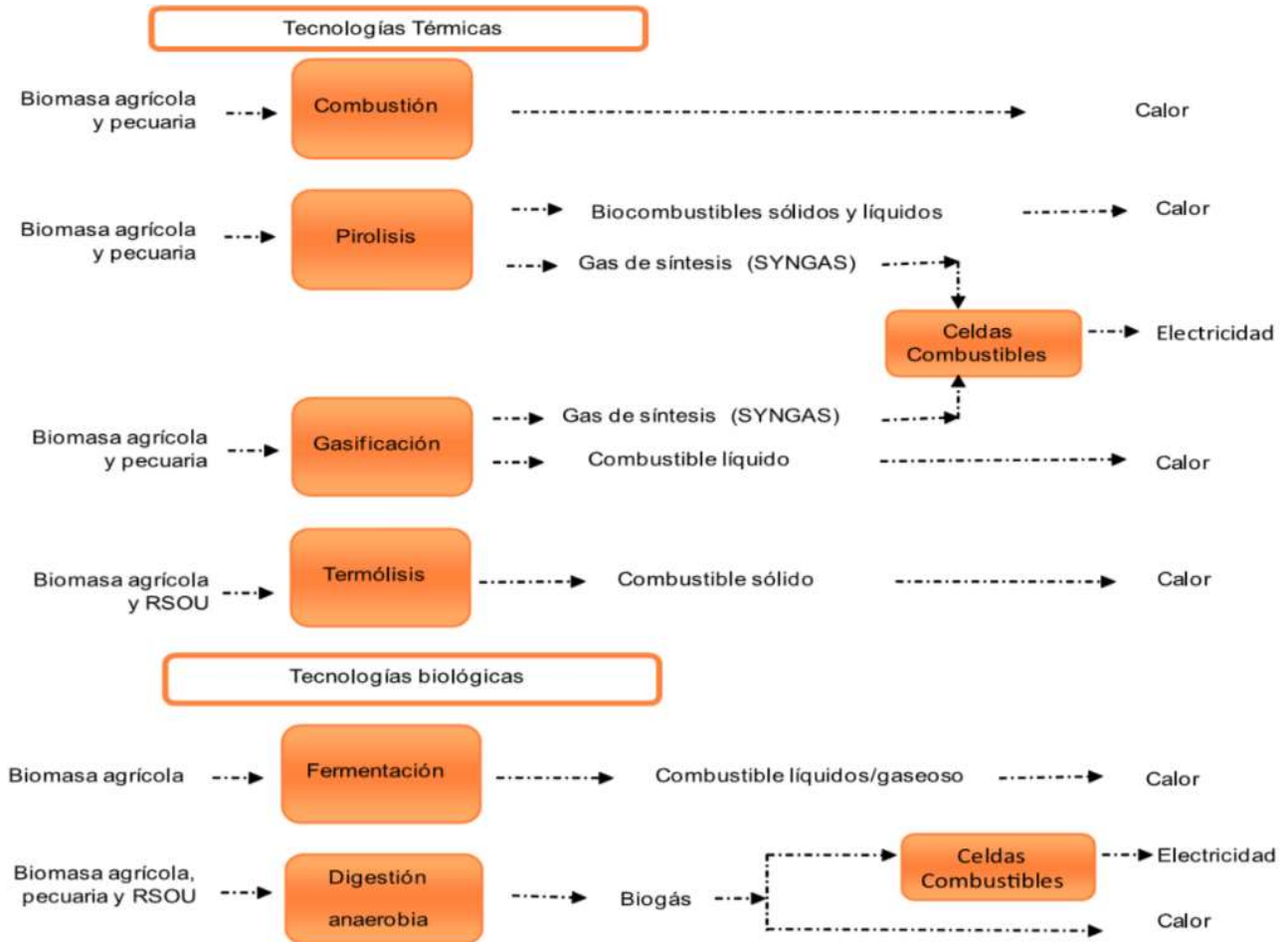
RSOU de centros de abastos, plazas de mercado y la poda de zonas verdes en 12 ciudades de Colombia mostradas a continuación.

Figura 13. Sector de los RSOU – Principales ciudades generadoras de biomasa [8]



Existen muchas formas de utilización final de la biomasa pero depende de donde proviene esta, si es Agrícola, pecuaria o RSOU, sin embargo la tecnología más usada hoy en día es combustión controlada para calentar vapor y este mover una turbina, otro medio posible es el de la pirolisis y extraer el gas para usarlo como combustible.

Figura 14. Diferentes tecnologías para la generación de energía a partir de la biomasa. [8]



2.6. PROCESO DE GASIFICACIÓN

A continuación se da una descripción del proceso de gasificación para el caso de un reactor de corrientes paralelas con calentamiento indirecto empleado en este trabajo y los diferentes niveles de realización del mismo. Asimismo en la Figura 15 se ilustra de forma esquemática la realización del proceso.

- En una fase inicial se realiza el secado por medio de calentamiento indirecto, en esta fase se extrae la humedad contenida en la biomasa, obteniéndose biomasa seca y agua.

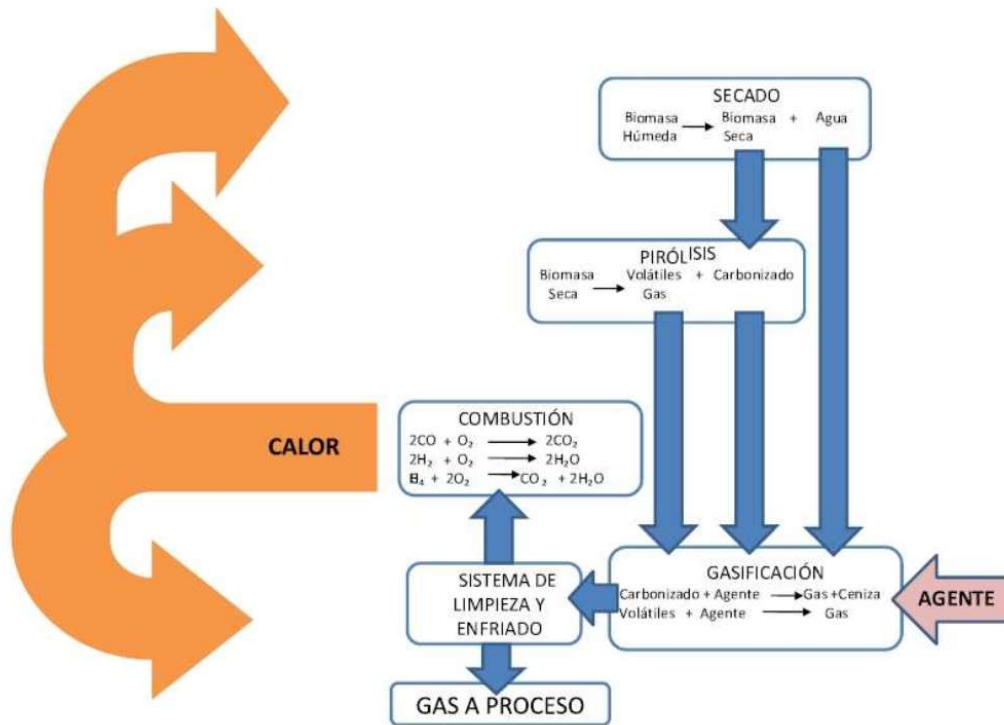
- La biomasa seca y el agua posteriormente entran en la zona de pirolisis, donde por efecto de la descomposición térmica la biomasa seca se descompone, produciendo carbonizado y volátiles.
- Los productos de la pirolisis junto con el agua obtenida en el secado ingresan a la zona de gasificación donde son mezclados con el agente de reacción y por medio de la temperatura a la que son expuestos se producen las reacciones de gasificación y la reducción de los alquitranes contenidos en el gas.

El uso de calentamiento indirecto en procesos de gasificación, permite obtener un gas con menor contenido de alquitranes y mayor poder calorífico al no tener una zona de combustión al interior del equipo de procesamiento.

Como producto final se obtiene un gas combustible, el cual luego de ser sometido a sistemas de limpieza y enfriamiento reúne las condiciones adecuadas para su uso en motores de combustión interna.

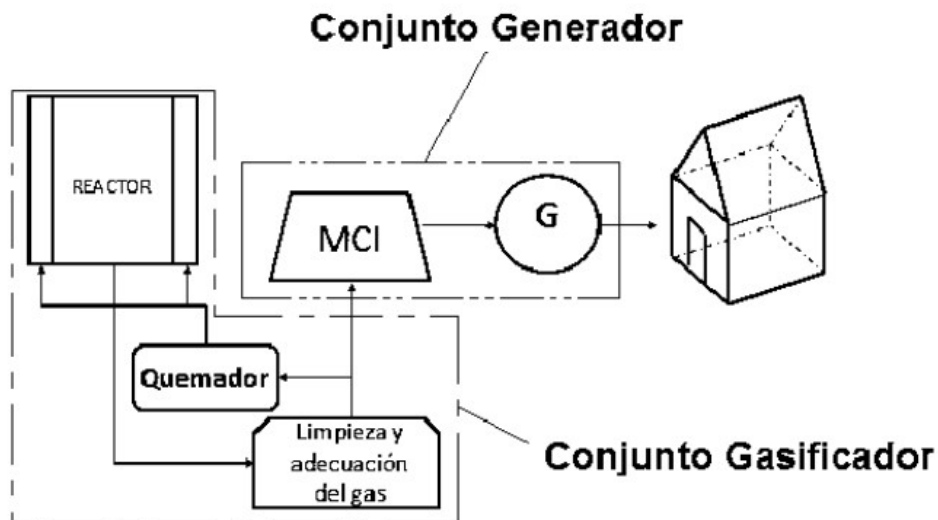
Cabe destacar que en la fase inicial de operación del equipo el suministro de energía se hace por medio de una fuente externa; posteriormente cuando el proceso se estabiliza y comienza la producción de gas, se utiliza una fracción del gas producido para el suministro de energía necesario para mantener el proceso.

Figura 15. Esquema de funcionamiento de proceso.



El dimensionamiento del sistema de generación de energía se realiza en primera instancia estableciendo el requerimiento energético a suplir; posteriormente a partir de este valor se procede a establecer la potencia a entregar en cada una de las etapas del sistema de generación de energía. [1]

Figura 16. Esquema de equipos para la generación.



El sistema de generación se compone principalmente de dos conjuntos, conjunto generador y conjunto gasificador. En la figura 16, se muestran los dos sistemas mencionados anteriormente y las diferentes etapas que los componen:

2.6.1. CONJUNTO GENERADOR

El conjunto generador está compuesto por un motor de combustión interna que se encuentra acoplado a un generador eléctrico que finalmente es el equipo que provee la energía. En esta parte del sistema es donde se producen las mayores pérdidas originadas por la baja eficiencia energética del motor de combustión interna. A continuación se describen los flujos de potencia en cada uno de los equipos que componen esta etapa:

- **Generador eléctrico.** *(90% eficiencia aproximadamente)*
- **Motor de combustión interna.** *(35% eficiencia aproximadamente)*

2.6.2. CONJUNTO GASIFICADOR

Este conjunto está compuesto por conjunto menores, tales como calentamiento, reactor, alimentación y enfriamiento. Algunos de estos juegan un papel determinante en los flujos que se deben manejar en el proceso para cumplir con el requerimiento energético anteriormente establecido.

- **Calentamiento:** bajo el principio de realizar el proceso de una forma auto-térmica, una fracción del gas obtenido del proceso es desviada hacia el sistema de calentamiento con el fin de proveer la energía necesaria para el proceso. La fracción restante del gas producido es utilizada en el conjunto generador.
- **Reactor:** se puede establecer que el flujo de gas requerido del proceso dependiendo de la demanda que se quiere cubrir. [1]

2.7. PEQUEÑAS CENTRALES HIDRO-ELÉCTRICAS EN COLOMBIA

Las pequeñas centrales hidroeléctricas son centrales con una potencia de generación que se puede decir “baja”. La gran mayoría se construyen en zonas aisladas y no afectan al sistema interconectado nacional ya que su área de influencia es muy pequeña. Estas centrales tienen la desventaja de que presentan una corriente eléctrica variable, debido a los cambios climáticos y meteorológicos que pueden hacer variable el flujo de agua, y por consiguiente la cantidad de agua disponible.

La organización latinoamericana de energía OLADE clasifica las PCH de acuerdo a la potencia instalada como muestra la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de PCH según potencia instalada OLADE.

POTENCIA (kW)	TIPO
0 – 50	Micro Central
50 – 500	Mini Central
500 – 5000	Pequeña Central

Clasificación de las centrales hidroeléctricas según ISA

TIPOS	POTENCIA (MW)
Micro centrales	Menores a 0.1
Mini centrales	De 0.1 a 1
Pequeña central hidroeléctrica	De 1 a 10

Clasificación de PCH según potencia instalada ISA

También se pueden clasificar según la caída o altura como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de PCH según la caída.

	Baja (m)	Media (m)	Alta (m)
Micro	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequeña	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Colombia tiene grandes posibilidades para la implementación de Micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas, debido a su gran cantidad de recursos hídricos en casi todas las áreas del país, asimismo la generación de energía es principalmente proveniente de grandes represas con turbinas Francis o Kaplan.

Por otro lado las grandes compañías de energía están incentivando la creación de este tipo de centrales debido a su gran potencial de contribución con las zonas no interconectadas de Colombia y en las zonas rurales con grandes plantaciones.

Los costos de la turbina, las obras civiles y el equipamiento son tomados de un estudio de la Universidad de Lancaster de Inglaterra donde se desarrolló una Herramienta de Evaluación de Recursos Hidráulicos, en la cual se presentan las fórmulas para estimación del costo de la Turbina en Euros y su participación en los costos totales de implementación. [21]

$$C_K = 46000 * (Q * H)^{0.35} \quad (£)$$

Donde Q y H son Caudal y cabeza de la turbina y Ck viene dado en Euros.

2.8. ENERGÍA EÓLICA

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

Los vientos en Colombia están entre los mejores de Sudamérica. Regiones en donde se han investigado, como en el departamento de la Guajira, han sido clasificados vientos clase 7 (cerca de los 10 metros por segundo (m/s)). La única otra región con esta clasificación en Latinoamérica es la Patagonia, ubicada en Chile y Argentina

Colombia tiene un potencial estimado de energía eólica de 21GW solamente en el departamento de la Guajira (lo suficiente para satisfacer casi dos veces la demanda nacional de energía). Sin embargo, el país solamente ha instalado 19.5MW en energía eólica, explotando 0.4% de su potencial teórico. Esta capacidad la aprovecha principalmente el Parque de Jepirachí, desarrollado por Empresas Públicas de Medellín (EPM) bajo Carbon Finance, un mecanismo anexado al Banco Mundial.

Jepirachí tiene una capacidad instalada de 19,5 MW de potencia nominal, con 15 aerogeneradores de 1,3 MW cada uno, sometidos a los vientos alisios que soplan casi todo el año en esta parte de la península, a un promedio de 9,8 metros por segundo. Las máquinas están distribuidas en dos filas de ocho y siete máquinas respectivamente, en un área aproximada de un kilómetro de largo en dirección paralela a la playa y 1,2 kilómetros de ancho al norte de la ranchería Kasiwolin y al occidente de la ranchería Arutkajui.

La capacidad de potencia del viento, es decir la máxima potencia que se puede extraer de una corriente de aire P , es posible usar la ecuación de Bernoulli con respecto al flujo de masa derivado de su energía cinética:

$$P = \frac{dK_e}{dt} = \frac{1}{2} v^2 \frac{dm}{dt}$$

La tasa de flujo másico por segundo está dada por la derivada de la cantidad de masa \dot{m} , del aire que se desplaza con velocidad v a través del área circular A barrida por las palas del rotor, para cualquier flujo medio de un fluido ($\bar{Q} = \bar{A}v$) el flujo de masa aguas arriba puede estar dado en términos del volumen del aire como:

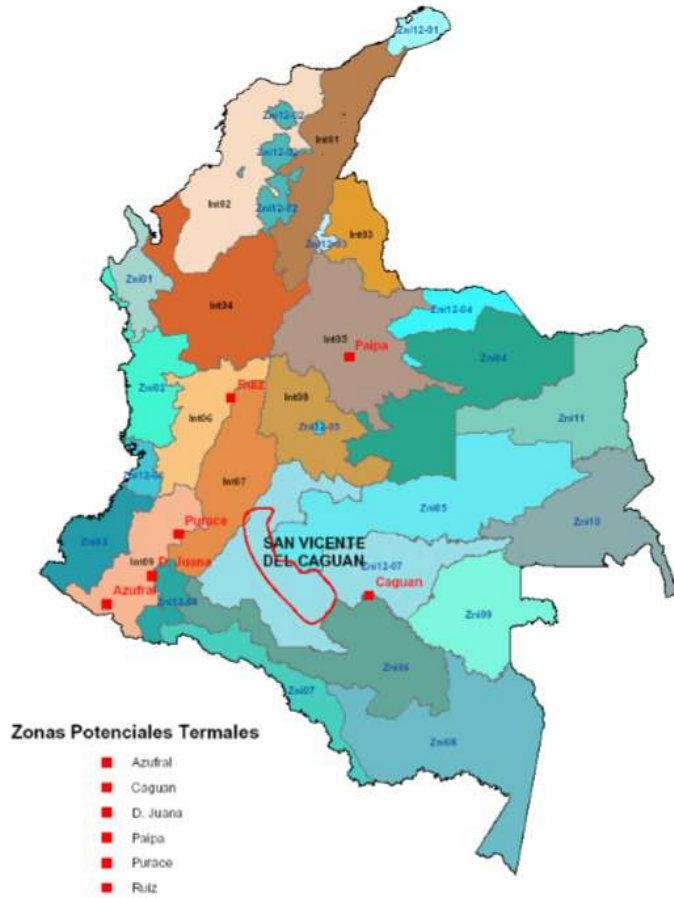
$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dv}{dt} = \rho A \bar{v}$$

2.9. ACTUALIDAD ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA.

La energía geotérmica se traduce en la energía que puede obtenerse a partir del calentamiento natural de la tierra. Actualmente Colombia no cuenta con una producción considerable de energía geotérmica, es prácticamente nula en el país, sin embargo como todos los países de la zona andina Colombia cuenta con un alto potencial geotérmico, debido a gran cantidad de volcanes y su ubicación en el cinturón de fuego donde la temperatura es propicia para generación eléctrica a partir de la geotermia.

La empresa de energía ISAGEN es la principal promotora de proyectos enfocados al ámbito geotérmico, contando con numerosos estudios de factibilidad y mapas geotérmicos del territorio nacional los puntos más atractivos se muestran a continuación.

Figura 17. Mapa de Zonas potenciales para la geotermia en Colombia.



El potencial de las principales fuentes de energía geotérmica está resumido así:

Tabla 6. Zonas con potencial geotérmico. [7]

Área	Departamento	Potencial
Chiles-Cerro Negro	Nariño	Alto
Azufral de Túqueres	Nariño	Alto
Doña Juana	Nariño	Desconocido
Grupo Sotará	Cauca	Desconocido
Puracé	Cauca	Desconocido
Machía	Huila	Alto
Cerro Bravo	Nariño	Alto
Nevado del Ruiz-Santa Isabel	Caldas-Risaralda	Alto

Claramente se puede apreciar que las fuentes geotérmicas casualmente están ubicadas cerca a muchas zonas no interconectadas del país, sin embargo las tecnologías y conocimiento sobre esta fuente de energía son nulas creando un sobre-costos teniendo una alternativa al alcance.

2.10. FACTOR DE EMISIONES EN COLOMBIA.

Los factores de emisión son herramientas que permiten estimar la cantidad de emisiones de diferentes contaminantes. Varían de acuerdo con el tipo de combustible y con la actividad en la que se aplique su proceso de combustión como por ejemplo, generación de energía, procesos industriales, aplicaciones residenciales, etc.

“Dentro de los compromisos adquiridos por Colombia como suscriptor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), se encuentra el de remitir a la conferencia de las Partes los Inventarios Nacionales de Emisiones antropogénicas de todos los gases de efecto invernadero (GEI) no controlados por el protocolo de Montreal, empleando para su desarrollo la metodología planteada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).” [23]

La Tabla 7. Presenta los factores de emisión de carbono para los combustibles más comunes, sugeridos por la metodología IPCC y su equivalente como factores de emisión de CO₂, calculado a través de la relación estequiométrica.

Tabla 7. Factores de emisión de carbono y CO₂ por combustible (kg/GJ)

Combustible	Estado	Factor de emisión (kg C/GJ)^a	Factor de emisión (kg CO₂/GJ)^b
Carbón	Sólido	26.8	94.53
Crudo	Líquido	20	73.28
Diesel	Líquidos	20.2	74.01
Gasolina		18.9	69.25
Kerosene		19.5	71.45

Gas propano GLP	Gas	17.2	63.02
Natural gas		15.3	56.06

Fuente: Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. [23]

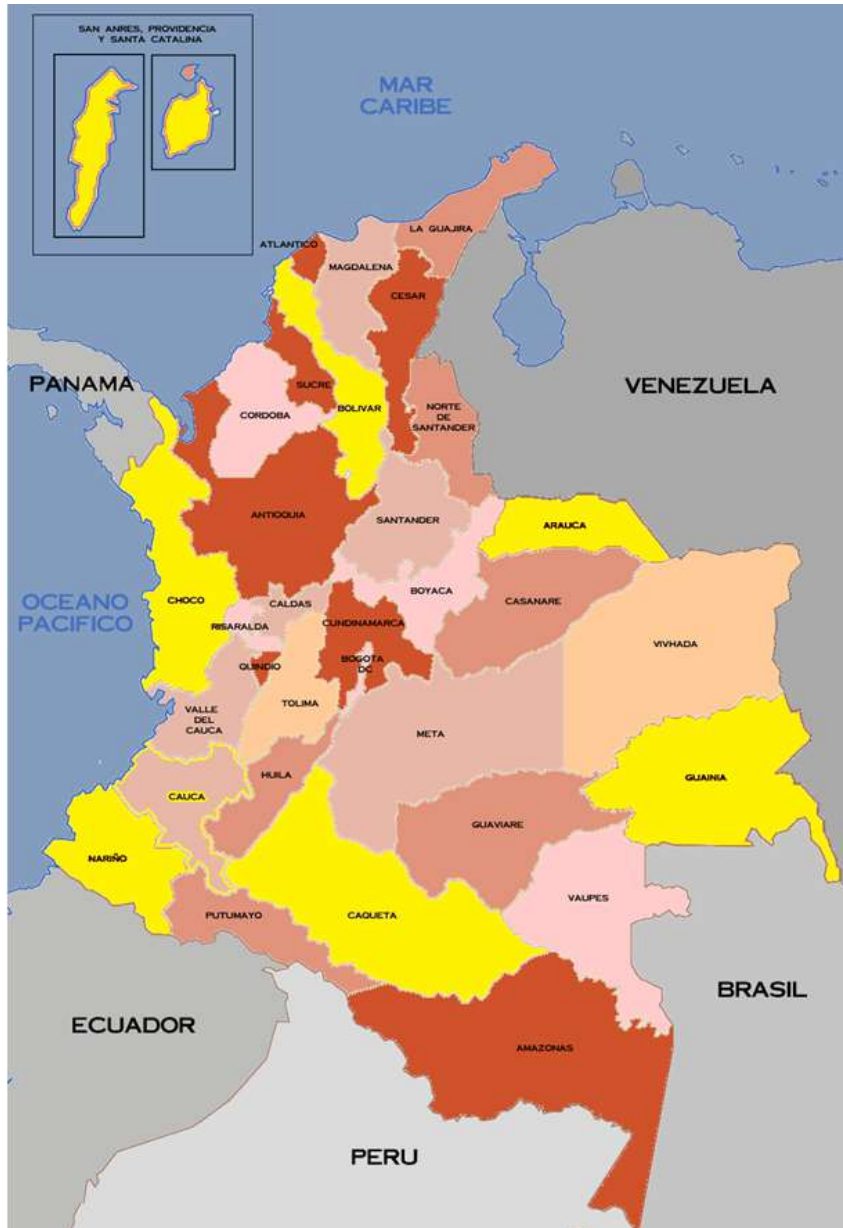
3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA EN EL SOFTWARE HOMMER.

El funcionamiento y la mejor combinación de sistemas de generación eléctrica dependiendo a la zona en la que este se encuentre dentro del territorio nacional colombiano es lo deseado, este sistema híbrido contara con participación de tecnologías de generación eléctrica solar, eólica, biomasa y combustión, con ayuda del software **Hommer Energy** se determinara la mejor opción, los costos totales, y otros aspectos de funcionamiento.

Asimismo el sistema podrá contar con un banco de baterías, para los casos donde la energía eólica y/o solar sean propicias para la generación eléctrica de igual manera se tendrá un inversor para la transformación de la potencia de DC a AC, ya que las baterías, paneles solares y turbinas eólicas generan potencia en corriente continua.

Las áreas para el estudio serán las Zonas No Interconectadas de Colombia más importantes dependiendo de la cantidad de usuarios del servicio, generación eléctrica a partir de motores diésel y ubicación geográfica, los escogidos son los siguientes:

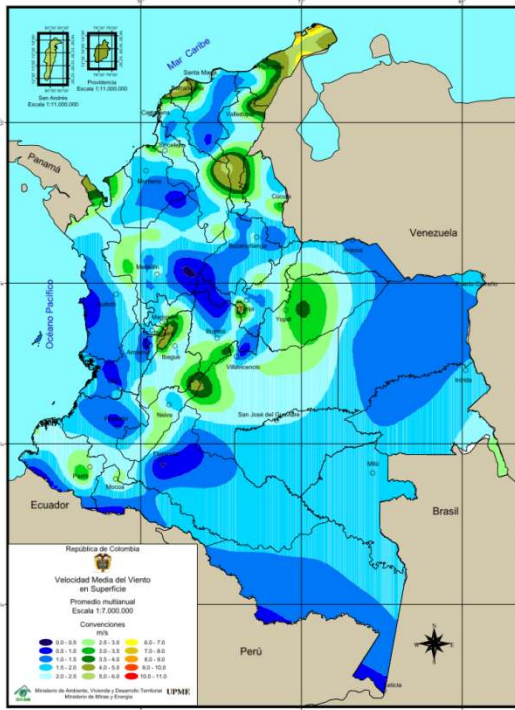
Figura 18. Mapa Lugares para instalación del sistema



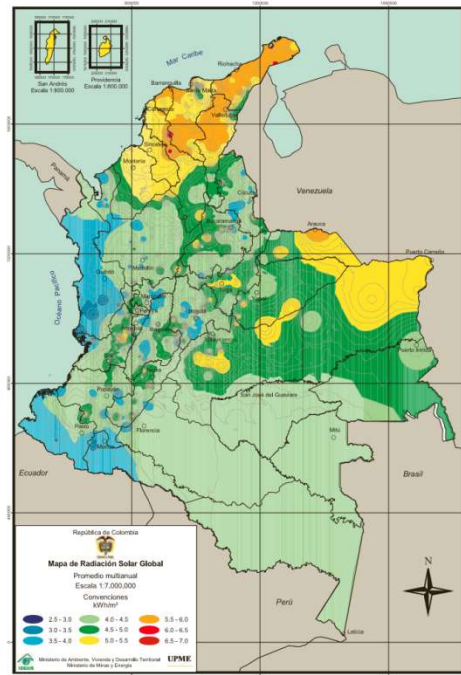
- Chocó
- Guainía
- Nariño
- Arauca
- Bolívar
- San Andrés y Providencia.

El estudio para estos lugares se hará de manera general es decir, con información del departamento, dependiendo de las condiciones climáticas y otros factores, que con la ayuda de los mapas de sol, viento, geotermia y biomasa se definirá cual es la mejor opción para cada uno. En la siguiente figura se aprecian los atlas de diferentes recursos energéticos y las Zonas No Interconectadas.

Atlas de Viento



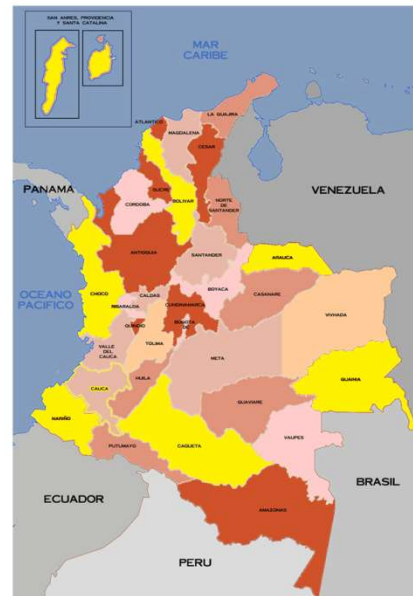
Atlas de Radiación Solar



Atlas de ubicación de la fibra de palma de aceite.



Mapa de Zonas no Interconectadas de estudio



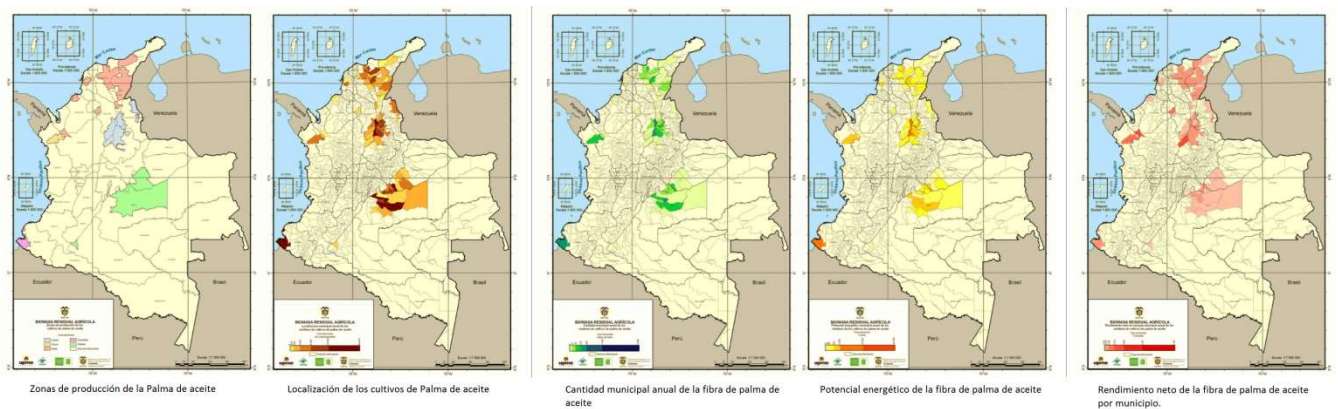
Analizados los atlas publicados por la UPME se realiza esta tabla donde se aprecia el potencial energético de cada región, mediante una lectura de los datos ofrecidos por los mapas de sol, biomasa, y viento.

Tabla 8. Potencial Energético por región

Departamento	Río Disponible	Caudal Mínimo (m3/s)	Caudal Medio (m3/s)	Viento (m/s)		Radiación (kWh/m2)		Biomasa de aceite de palma		
				Min	Max	Min	Max	Cantidad (Miles T/año)	Potencial (TJ/año)	Rendimiento (TJ/ha año)
Guainía	Río Negro ^[19]	3000	29300	0,5	5	4	5	0	0	0
Nariño	Río Patía ^[15]	61.3	305.3	0,5	5	3,5	5,5	400	10000	0,2
Choco	Río Baudó ^[15]	2123.7	2593.7	0,5	9	3	4,5	120	2000	0,5
Arauca	Río Arauca ^[16]	485	800	1	4	4	7	0	0	0
Bolívar	Río San Jorge ^[18]	24	697	1,5	7	4	7	40	200	0,15
San Andrés y Providencia	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5	7	5	7	0	0	0

La información obtenida acerca de los residuos de palma de aceite es respaldada por los atlas de Biomasa publicados por la UPME en el 2009. [8]

Figura 19. Diferentes atlas de Biomasa.



Para datos detallados acerca del potencial energético, cantidad de toneladas al año y rendimiento energético de los residuos de palma de aceite se estudió este documento. [10]

3.1. DEMANDA Y CARGA MÁXIMA

Se definió como caserío estándar 10 casas con algunos electrodomésticos base que nos darán la demanda máxima requerida por casa.

Se eligieron los siguientes electrodomésticos básicos que no difieren de lo planteado por la UPME en el plan indicativo de expansión de cobertura del servicio de energía eléctrica. [13]

Tabla 9. Formato de cálculo de cargas del caserío en AC.

Cargas	Potencia	Unidades
8 x Bombillas Fluorescentes	120	W
Televisor	180	W
Equipo de Sonido	75	W
Plancha	1000	W
Refrigerador	250	W
Otros	500	W
TOTAL x CASA	2125	Wh
TOTAL CASERIO	21250	Wh
DIARIO	510000	Wdia

La demanda máxima del caserío es de:

$$D_{max} = 10 * 2125 Wh$$

21250 watts por hora suponiendo que todos los aparatos eléctricos están encendidos a la misma hora y la de manda máxima por día seria ese valor multiplicado por las 24 horas del día.

$$D_{max} = 510000 Wh/dia AC$$

Teniendo la demanda máxima se mira el comportamiento de una casa promedio en el territorio nacional, datos dados por el ministerio de minas y energía.

Figura 20. Curva Porcentual de la demanda máxima

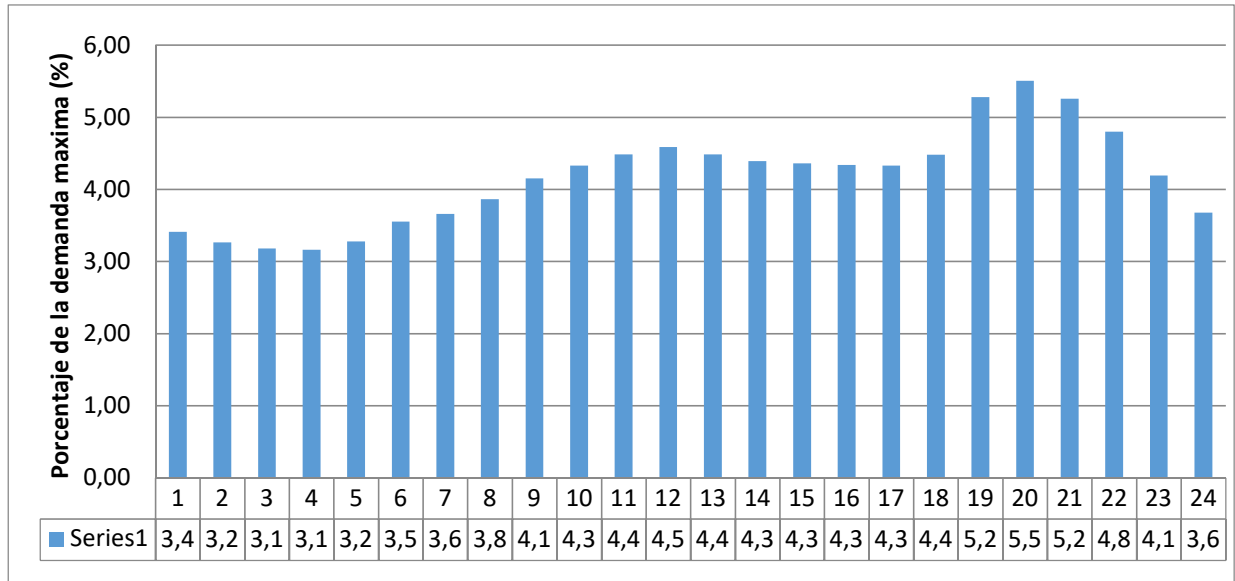
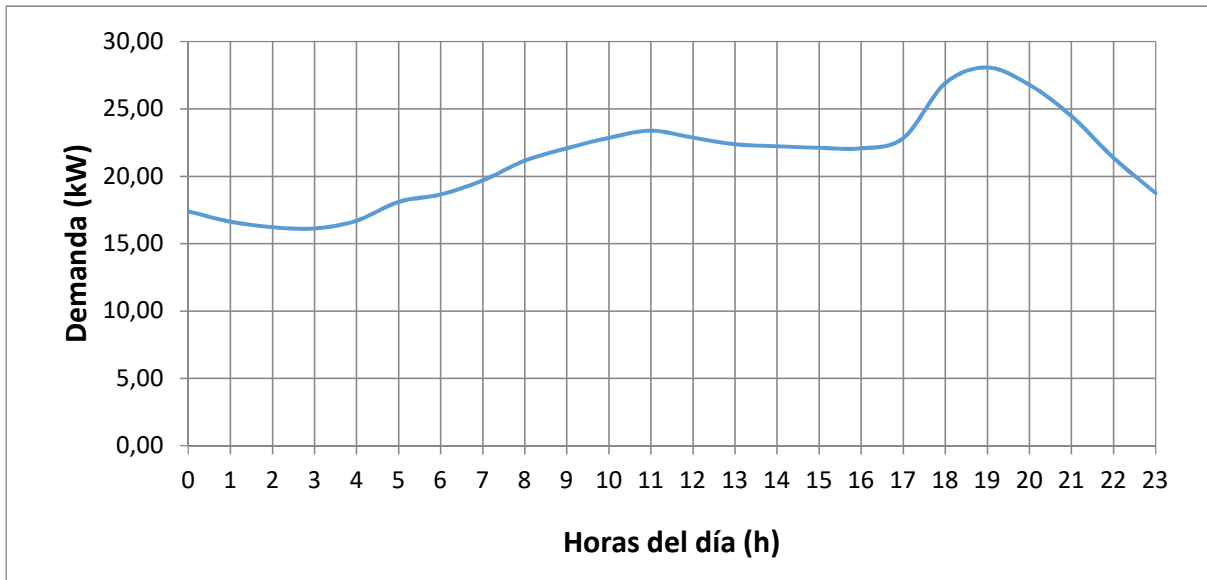


Figura 21. Curva de demanda caserío tomando en cuenta el comportamiento de una casa promedio en el territorio nacional.



Con eficiencia del inversor 90% la potencia máxima necesaria en DC

$$P_{necesaria} = 32,12 \text{ kW DC}$$

El resultado de demanda energética por día de todo el caserío de 10 casas, es de 510000kWh.

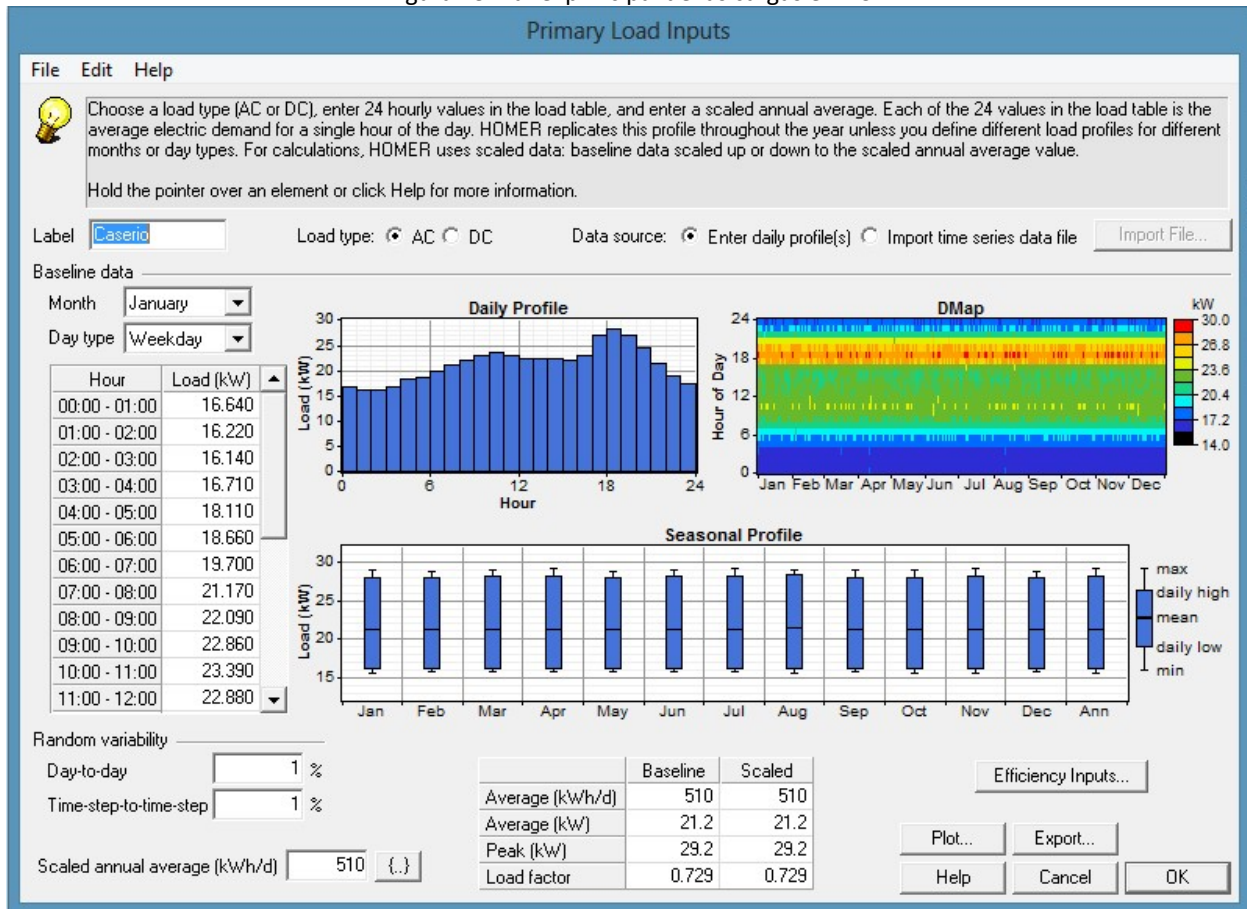
El porcentaje de contribución del sistema de respaldo y del sistema fotovoltaico, dependerán de las condiciones que presenten las diferentes regiones donde se estudiara la implementación

del proyecto, sin embargo todas las iteraciones contarán con participación fundamental del sistema fotovoltaico.

Se supone una base de cálculo para efectos de simulación en Homer, se plantea que la energía requerida que es 510000kWh diariamente, no va a tener variaciones en los años de estudio.

Teniendo en cuenta esta consideración, se inserta el valor de la carga en el software Homer, en la casilla “Scaled Annual Average kWh/dia” que es un promedio anual.

Figura 23. Panel principal de las cargas en AC



3.2. GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO EN CORRIENTE CONTINÚA.

3.2.1. ARREGLO SOLAR FOTOVOLTAICO.

A partir del conocimiento de la demanda, se pueden implementar los diferentes sistemas de generación, solar con una potencia entre 22kW hasta 200kW instalados para suplir la demanda que depende de la radiación solar del lugar y las horas de luz.

Figura 24. Datos del arreglo solar.

The screenshot shows the 'PV Inputs' dialog box with the following sections:

- Costs Table:**

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0.280	215	195	100
- Sizes to consider Table:**

Size (kW)
0.000
22.000
- Properties:**
 - Output current: AC DC
 - Lifetime (years): 25
 - Derating factor (%): 80
 - Slope (degrees): 7
 - Azimuth (degrees W of S): 0
 - Ground reflectance (%): 20
- Advanced:**
 - Tracking system: No Tracking
 - Consider effect of temperature
 - Temperature coeff. of power (%/°C): -0.5
 - Nominal operating cell temp. (°C): 47
 - Efficiency at std. test conditions (%): 13
- Cost Curve Graph:** A line graph showing 'Cost (000 \$)' on the y-axis (0 to 20) and 'Size (kW)' on the x-axis (0 to 25). Two lines are plotted: a red line for 'Capital' and a blue line for 'Replacement'. Both lines show a linear increase in cost with size.

Buttons at the bottom: Help, Cancel, OK.

Fuente: Software Hommer ENergy

Asimismo se introduce el tamaño mínimo del arreglo solar de 22kW seleccionado por cuestiones de envío y precio ya que la empresa de distribución ofrece este precio de panel por

compras mayores a los 22kW instalados, que también es la orden mínima para envíos internacionales. Los años de vida de los paneles dependen del fabricante también el factor de reducción de potencia y los grados de inclinación. [24]

Se determinan de que potencia serán los paneles solares, su valor de compra, su precio de remplazo y costo de mantenimiento, los datos fueron suministrados por CivicSolar, con más de 5 años trabajando en el área de energía solar.

Figura 25. Website de CivicSolar y precio panel p/u

The screenshot shows the CivicSolar website interface. At the top, there is a navigation bar with the CivicSolar logo, user account options (JoseGabriel | MY ACCOUNT | LOG OUT | CONTACT | HELP), and a language selector (Public | SWITCH). Below this is a main menu with categories: PRODUCTS, INSTALLERS, PROJECTS, TECH HELP, and ABOUT US. A search bar is present with the text "Search CivicSolar" and a dropdown for "All Categories" with a "SEARCH" button.

The breadcrumb trail reads: Home > Solar Panels > Perlight Solar PLM-280P-72 280 Watt Solar Panel. The product title is "Perlight Solar PLM-280P-72 280 Watt Solar Panel". There are "View" and "Edit" buttons. A link for "Edit library details" is also visible.

On the left, there is a circular logo and a large image of the solar panel with an "Enlarge" link below it. On the right, a table displays pricing information:

QTY	UNIT PRICE	EXTENDED PRICE	\$/W
10	\$215.04	\$2,150.40	\$0.768

Below the table, there is a "Quantity: 10" input field, an "ADD TO ORDER" button, and a "BUY IT NOW" button. A link for "Get shipping quote" is also present.

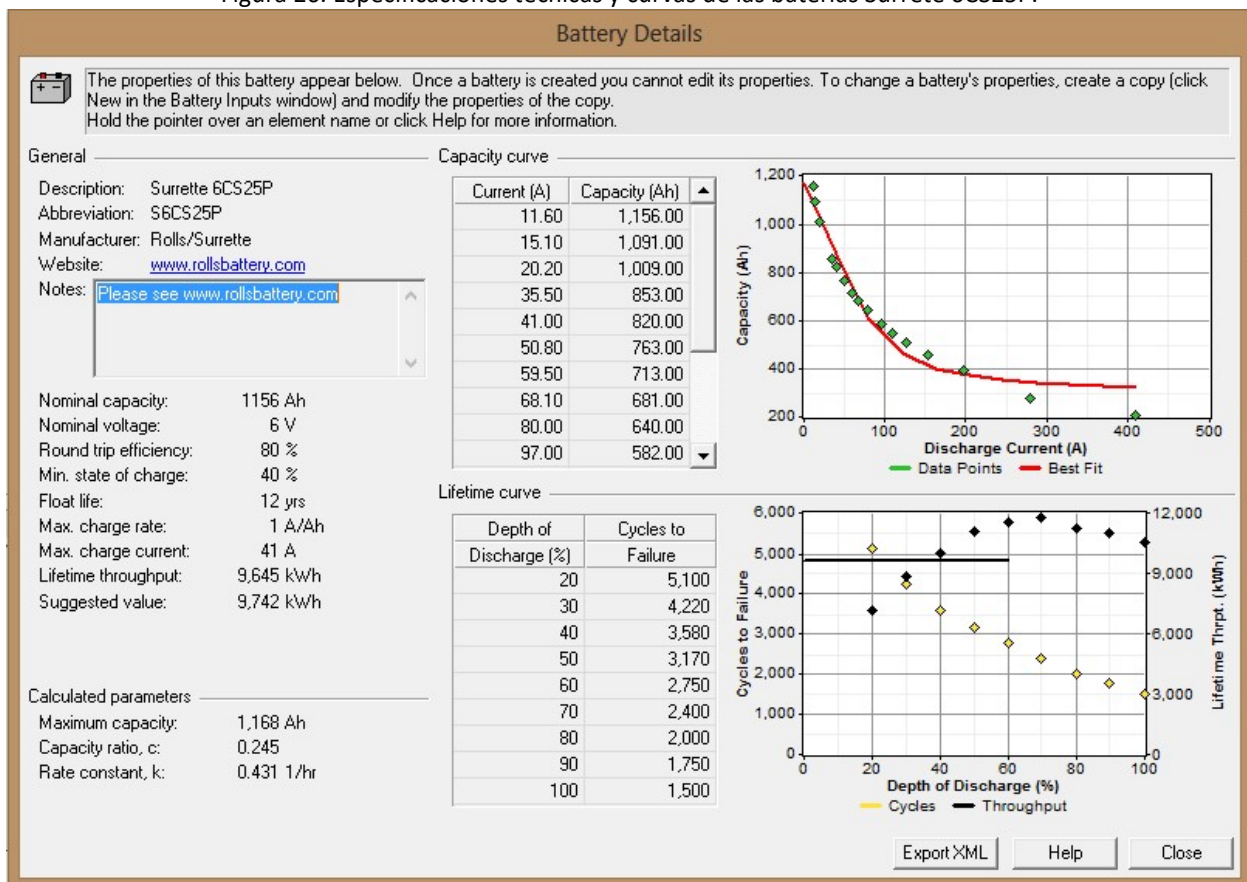
Fuente: www.civicsolar.com

Se escogió el panel “Perlight Solar PLM-280P-72 280 Watt” debido a su gran acogida en el mercado norteamericano, su bajo costo, y su favorable funcionamiento a temperaturas alrededor de 25C, temperatura cercana a la temperatura promedio en todo el territorio nacional, además los paneles policristalino funcionan mejor a altas temperaturas. La información detallada del panel se tomó de su respectiva hoja de datos. [25]

3.2.2. BANCO DE BATERÍAS

Para el banco de baterías se escogieron baterías Surrete 6CS25P de 6V y 1156 Ah, es escogieron debido a su bajo costo, su alta eficiencia, tiempo de vida y tamaño.

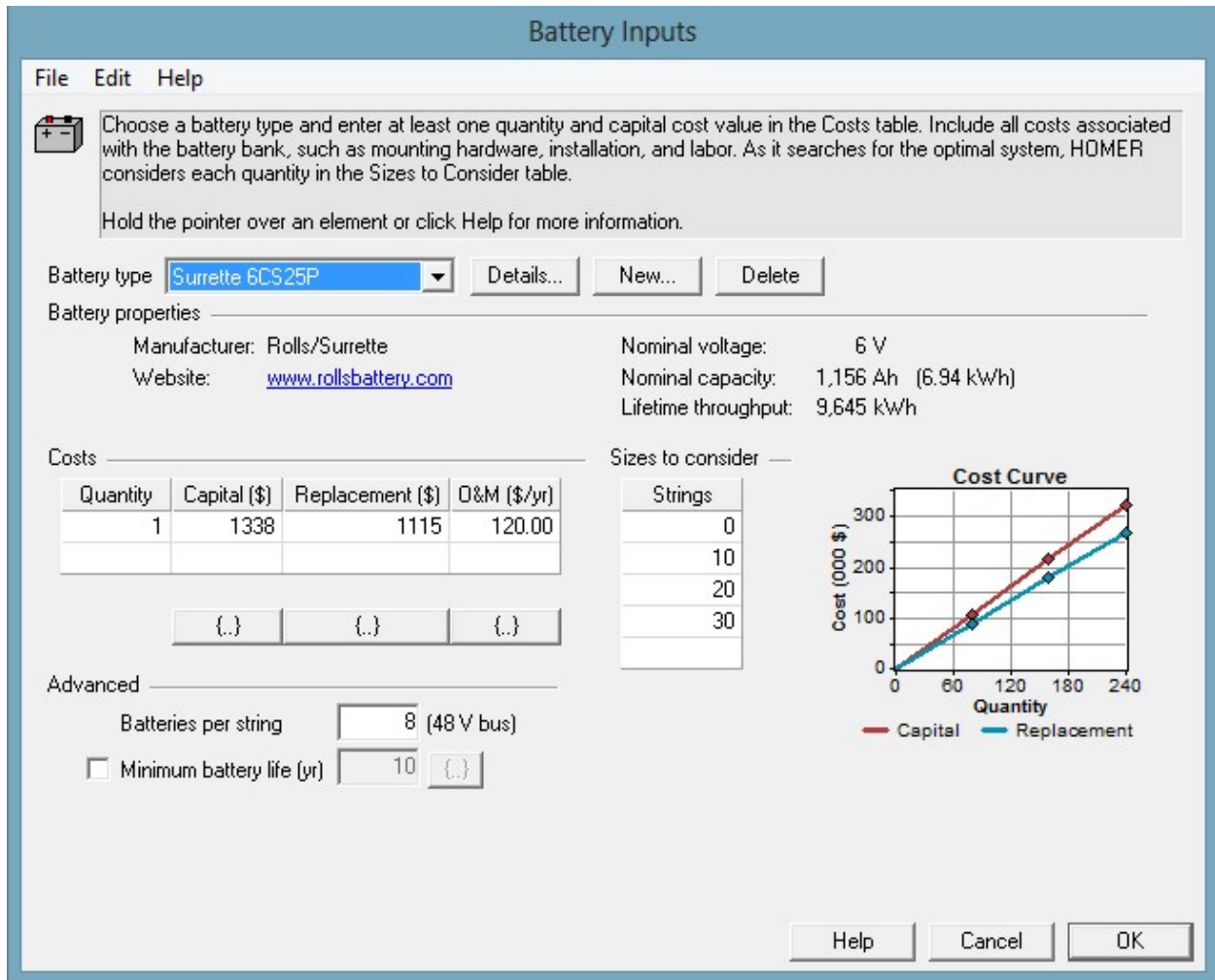
Figura 26. Especificaciones técnicas y curvas de las baterías Surrete 6CS25P.



Fuente: Software Hommer Energy

Se instalaran 8 filas de baterías ya que es un número adecuado para el funcionamiento correcto del inversor de potencia, lo que nos da unos 48 V en todo el banco.

Figura 27. Pantalla de ingreso de constantes



Fuente: Software Hommer Energy

El precio por unidad de las baterías, el remplazamiento, el costo O&M (Operación y mantenimiento) fue suministrado por la base de datos de CivicSolar realizada con la auditoria de el mismo fabricante Rolls Battery Copany® [26]. Por otro lado el número de baterías por fila se calcula mediante la siguiente relación:

$$\begin{array}{r}
 \text{Demanda diaria del Caserío} \quad 510000 \\
 \text{Watt Hora} \\
 \div \\
 \text{Voltaje del Sistema} \quad 48 \\
 =
 \end{array}$$

Total de AH en el Día	10625
	x
Días de autonomía	1,0
	=
Capacidad de almacenamiento	10625
	÷
Máxima Descarga	50%
	=
Capacidad Requerida de las baterías en Amp Hora	21250
	÷
Factor de reducción por clima frío	99%
	=
Capacidad Total Requerida en Amp Hora	21465
	÷
Amp Hora Batería Seleccionada	1156
	=
Numero de Baterías en Paralelo	19
Voltaje del Sistema	48
	÷
Voltaje nominal de la batería seleccionada	6
	=
Numero de Baterías en Serie	8
	x
Numero de Baterías en Paralelo	19
	=
Número Total de baterías	152



El número de baterías para suplir toda la carga con 1 día de autonomía es 152 baterías, sin embargo, el sistema final podrá contar menos baterías debido a los diferentes sistemas de generación.

Figura 28. Precio al por menor de las baterías Surrette 6V 1156Ah

Surrette 6-CS-25PS 6V 820AH Wet Battery

View Edit

[Edit library details](#)

[Enlarge](#)

QTY	UNIT PRICE	EXTENDED PRICE
1	\$1,337.70	\$1,337.70

Quantity: [ADD TO ORDER](#) [BUY IT NOW](#)

[Get shipping quote](#)

Tomado de www.CivicSolar.com

3.2.3. TURBINA EÓLICA

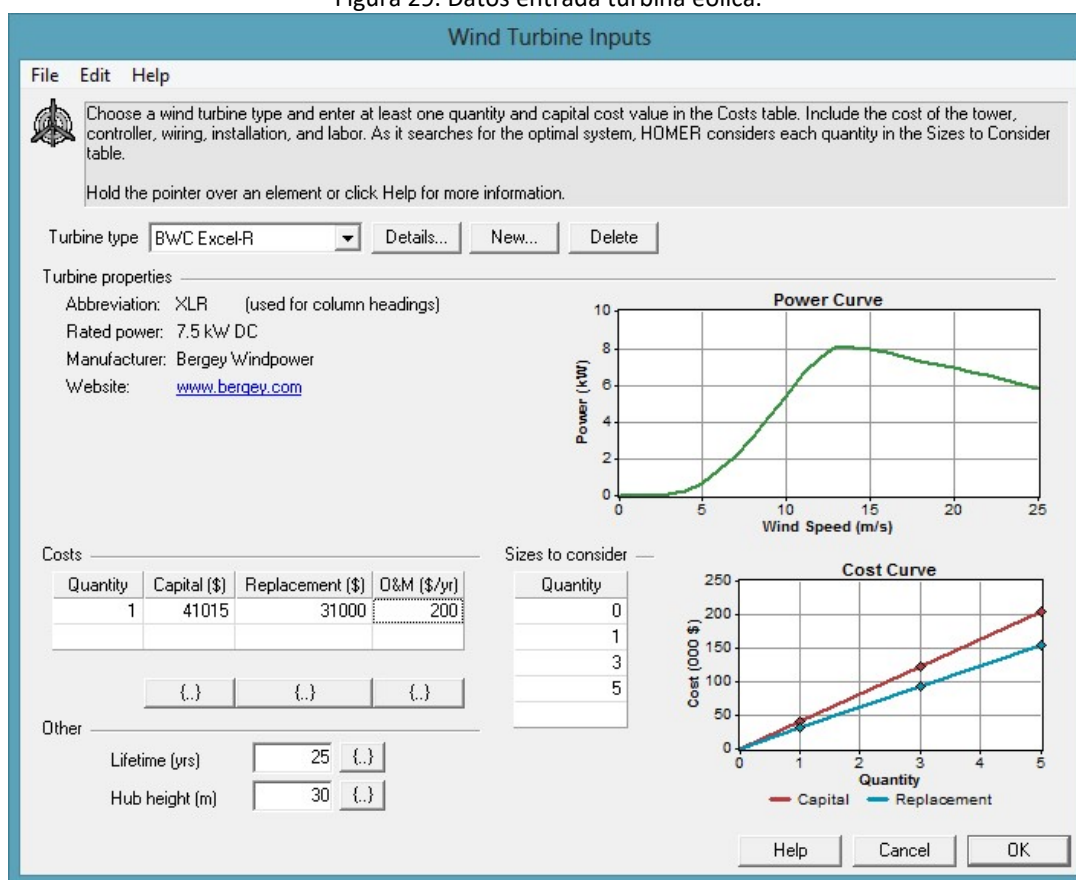
La turbina eólica que se selecciona es de un pequeño tamaño que no necesita altas velocidades de viento para su funcionamiento, ya que en gran parte de las Zonas No Interconectadas de Colombia no se cuenta con una velocidad de viento favorable para la generación eólica.

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO	
Velocidad del viento para puesta en marcha	3.1 m/s (7 mph)
Velocidad de viento de aceleración	3.5 – 4.5 m/s (8 mph)
Velocidad del viento nominal	12.4 m/s (28 mph)
Velocidad de viento de detención	Ninguna
Velocidad de viento de desaceleración	15.7 m/s (35 mph)
Potencia Nominal	7 – 8.5 kW
Velocidad del rotor	0 – 350 RPM
ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Tipo	3 aspas
Diámetro del Rotor	7 m (23 ft)
Peso	463 kgs (1020 lbs)
Control de paso de las aspas	PowerFlex
Protección de aumento de velocidad	AUTOFURL
Rango de temperatura	-40 to 60 C (-40 to 140 F)

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	
Voltaje de salida	48, 120, 220 o 240 VDC
Generador	Alternador de imanes permanentes
Sistema de control de la salida	VCS-10 Controlador de carga

Precio total por la turbina de 48 V, el controlador de carga y la torre de 30m es de 41015 USD. Con toda la información del aerogenerador podemos ingresar los datos en el Software en la opción eólica.

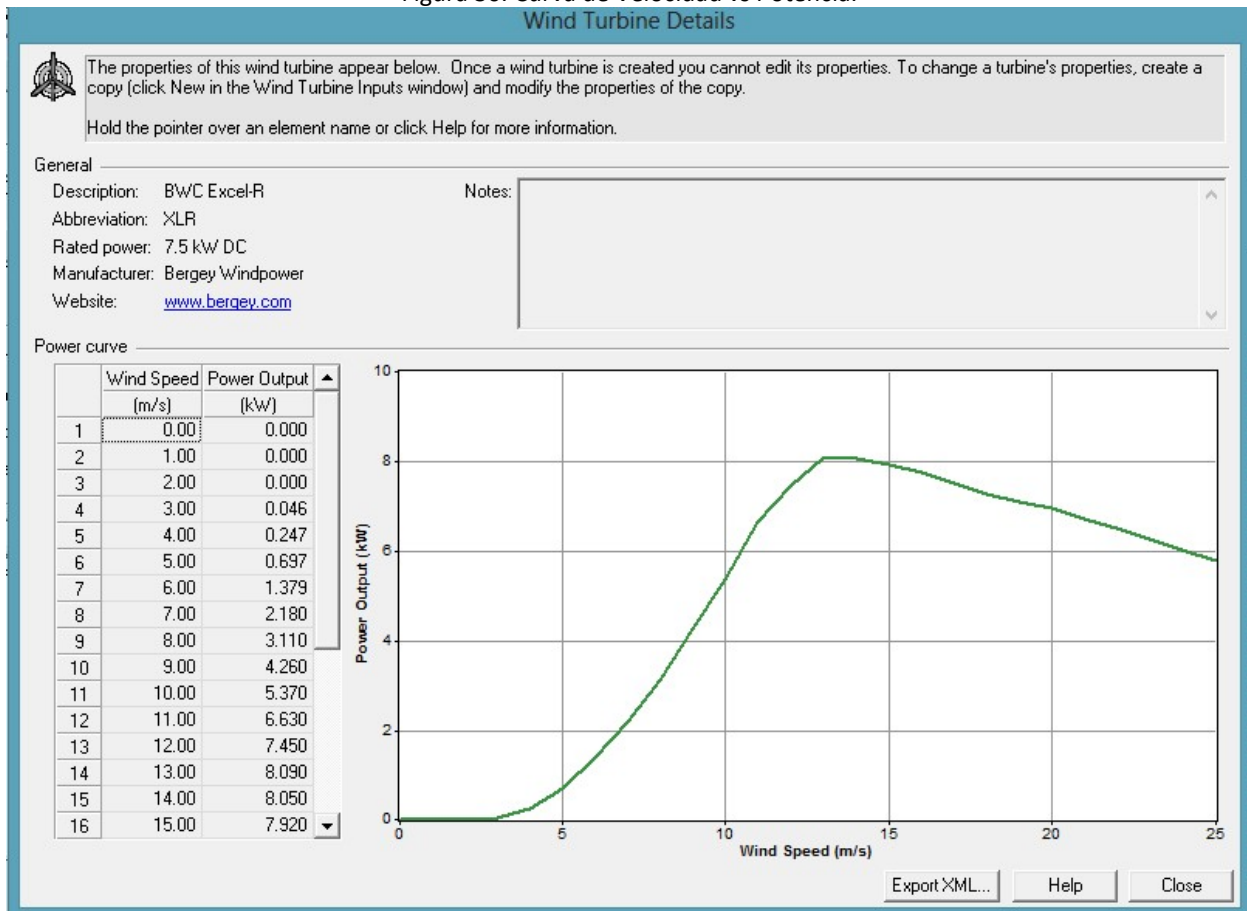
Figura 29. Datos entrada turbina eólica.



Fuente: Hommer Energy Inc Software.

La curva de velocidad nos muestra en que rangos se debe operar el aerogenerador para lograr una potencia requerida, gracias a esto podemos definir las zonas donde se pueden instalar este sistema como respaldo del sistema fotovoltaico.

Figura 30. Curva de Velocidad vs Potencia.



Fuente: Hommer Energy Software.

El Weibull usado en los datos de la energía eólica es el recomendado por el software hommer, que da por defecto un 2 y un rango entre 1.5 y 2.5

3.3. INVERSOR DE POTENCIA.

Teniendo los datos de todos los sistemas que trabajan en corriente continua (CC), se puede elegir el inversor de potencia, que cambiara la potencia de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA), este deberá soportar una potencia de salida de 40 kW para suplir la demanda máxima de la carga del caserío y contar con un rango de voltaje que se adapte al voltaje del sistema en CC.

Para este caso se selecciona un **sunny island 6048-US** de 5750kW de potencia nominal, asimismo este inversor es recomendado para sistemas de 2kW a 200kW Off-Grid (sistema aislado), con baterías como sistema de respaldo. [29]

Tabla 11. Especificaciones técnicas.

<i>Aspecto</i>	<i>Sunny Island 6048-US</i>
Salida en CA (Cargas)	
Voltaje de la red nominal / Rango de voltaje en CA	120V / 105V – 132V
Frecuencia Nominal / Rango de frecuencia	60 Hz / 55 Hz – 65 Hz
Potencia Nominal	5750 W
Corriente nominal / Máxima salida de corriente	48 A / 180 A por aproximada 60ms
Entradas en CA (Red Eléctrica)	
Voltaje nominal de entrada / Rango de Voltaje en CA	120V / 80V – 150V
Frecuencia nominal de entrada / Rango de frecuencia permitido	60 Hz / 54 Hz - 66 Hz
Entrada máxima de corriente en AC / Ajustable	56 A / 0 A ... 56 A
Potencia Máxima de Entrada	6.7 kW
Entrada de Baterías en CC	
Voltaje nominal de entrada / Rango de voltaje en CC	48V / 41V – 63V
Máxima corriente de cargado / Corriente nominal de cargado	130 A / 110 A
Eficiencia	
Máxima eficiencia / CEC eficiencia	96 % / 94 %

3.4. GENERACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA

Los dispositivos que se encuentra en el lado de CA son un generador que se alimenta con gas de síntesis de la gasificación de la Fibra de palma de aceite y una micro-central hidroeléctrica ubicada cerca al sistema hibrido.

3.4.1. MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA

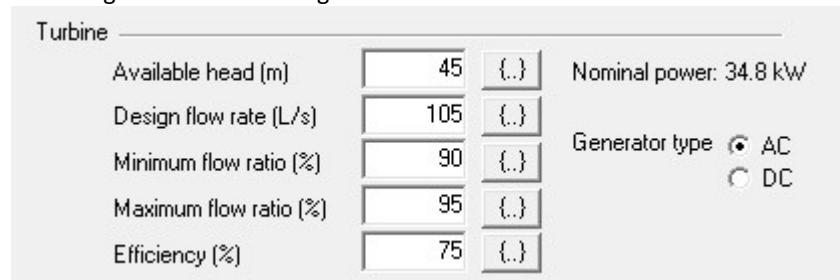
La micro-central contara con un generador hidroeléctrico o turbina XJ38-30SCTF4/6-Z que entregara aproximadamente 35kW de potencia.

Tabla 12. Especificaciones técnicas de la turbina hidráulica.

Turbina Hidráulica		
Ítems	Parámetros	
Modelo	XJ38-30SCTF4/6-Z	
Cabeza Nominal	38 – 45	Metros
Caudal Nominal	90 – 120	Litros/segundos
Potencia	35000	Watts
Eficiencia	75	(%)
Diámetro de la tubería	250 – 300	(mm)
Generador		
Modelo	SF30-4	
Estilo	PMG	
Potencia	35000	Watts
Voltaje	110	Volts
Corriente	75	Amp
Frecuencia	60	Hz
Velocidad del rotor	1500	Rpm
Fase	3-Fases	
Factor de Potencia	1.0	
Altitud	Menor o Igual	3000m
Temperatura	-25 a 60	Celsius

Precio estándar al por menor en el mercado de la turbina es de, **16237 USD** con garantía de 2 años. [11]

Figura 31. Panel de ingreso de valores de la central en Hommer.



Turbine

Available head (m) (.) Nominal power: 34.8 kW

Design flow rate (L/s) (.)

Minimum flow ratio (%) (.) Generator type AC

Maximum flow ratio (%) (.) DC

Efficiency (%) (.)

El precio de toda la central como tal, obras civiles y equipamiento se calcula con la siguiente relación:

$$C_K = 46000 * (Q * H)^{0.35} \quad (\text{€})$$

Q= 0.120 m³/s
H= 45 m

El valor de Ck en euros es de **136779,721** que se convierten en dólares en la presente fecha:

1 euro	1.3246 dólares estadounidenses.
136779,721 euros	181178,418 dólares estadounidenses.

El valor de las obras civiles, turbina, paneles de control, adecuamiento será de 181178 que será el valor total que se ingresara en Hommer con el costo de remplazamiento que es de un 55% del valor total. [20]

Figura 32. Panel de ingreso de datos de la pequeña central hidroeléctrica.

Finalmente los datos de los recursos hídricos dependen de departamento y se ingresarán en el siguiente panel:

Figura 33. Ingreso de datos del recurso hídrico (Río).

Nota: Debido a que no se tienen los valores del caudal mensualmente, se ingresa el valor anualmente.

3.4.2. GENERADOR CON GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE LA GASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE.

Para la simulación en homer, no podemos tener en cuenta el proceso de gasificación, por tal motivo solo podemos ingresar datos del syngas o gas pobre que sale del gasificador, tomando como referencia la literatura [1] esta nos muestra que por cada 4.10Kg de Biomasa (Cuesco de palma) más 2,23 Kg de vapor de agua que ingresamos, podemos tener 3,852Kg de gas que nos genera 2.15kW. [1] [9]

El precio de la adecuación de la biomasa para la gasificación y su transporta se estima a través de estudios anteriores, que se han realizado dando algunos datos de referencia. [30]

El sistema consiste en un generador síncrono impulsado por un motor de interna que se alimenta del Syngas o gas pobre que sale del gasificador de Biomasa downdraft.

Los valores energéticos y de composición del gas proveniente de la gasificación del cuesco de palma los podemos ver planteados en un estudio previamente realizado.

Tabla 13. Datos del gas obtenido a partir de la gasificación del cuesco de palma. [12] [30]

Biomasa Seca	Resultados	Composición Gas (% , bs)				Poder Calorífico inferior (MJ/Nm3)
		CO	CO2	H2	CH4	
Cuesco de palma	García, L	45.24	2.36	51.45	0.95	12.64
	Gómez, A.	17.74	24.73	47.2	10.33	13.44
Cascarilla de Café	García, L	44.80	4.10	50.20	0.90	12.41
	Gómez, A.	44.80	3.84	49.33	2.07	12.93

En la siguiente figura se muestra los costos de instalación y funcionamiento del sistema generador a partir de la Biomasa (palma de aceite) los datos fueron tomados de estudios realizados recientemente en España. [14]

Figura 34. Pantalla de Ingreso de costos de instalación, remplazamiento, operación y mantenimiento del sistema generador a partir de Biomasa.

Costs				Sizes to consider
Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/hr)	Size (kW)
40.000	180000	160000	0.900	0.000
				20.000
				40.000

Se consideran tres datos, cuando no se necesita el generador, 20 kW que sería a media capacidad y a toda su capacidad que serían los 40kW.

El precio de producción y adecuación del syngas fue obtenido de la siguiente relación:

$$PrecioBiomasa = 30 \frac{USD}{Ton} * \frac{Ton}{1000 Kg} = 0.030$$

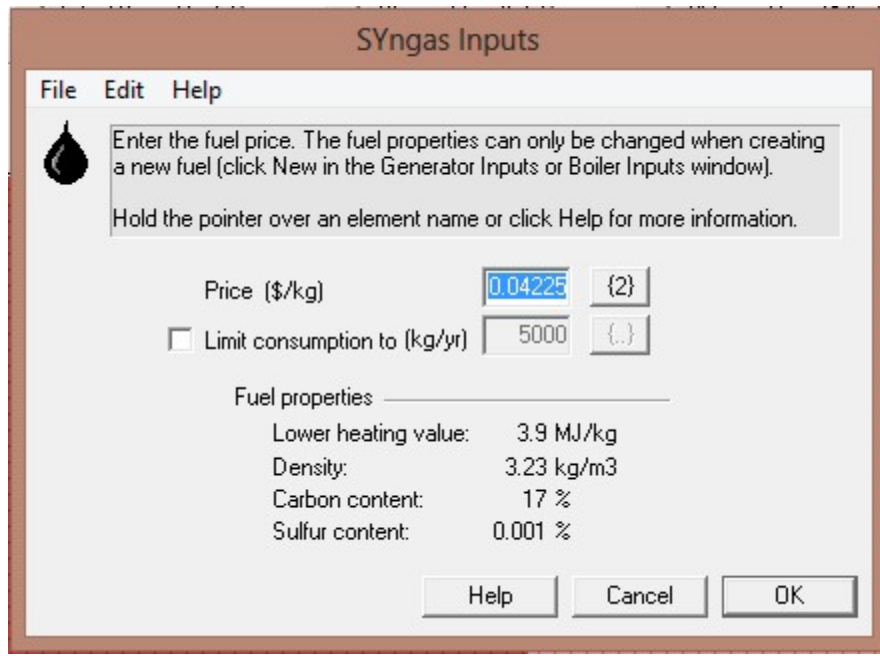
Se requieren 4.10 Kg de Cuesco de Palma para producir 3.852 Kg de syngas o gas pobre que se deberá adecuar por tal motivo se supone un incremento del 50% en el valor. Es decir:

0.939 Kg de Gas	Que equivale a	1 Kg de Biomasa	Cuesta	0.045 USD/Kg
-----------------	----------------	-----------------	--------	--------------

Entonces el precio de 1 Kg de Gas de síntesis a partir de la gasificación de la Biomasa es de 0.04225 USD/Kg

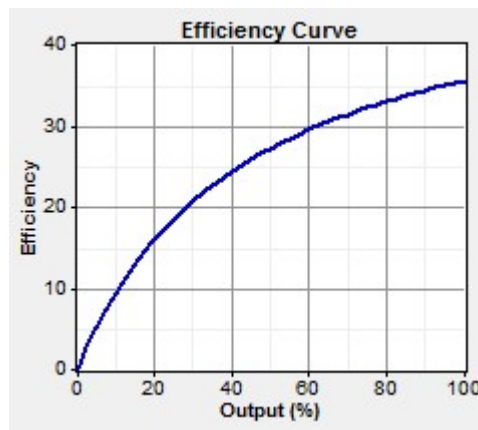
A continuación se muestra en la figura 35. El ingreso del precio por cada kilogramo de gas, sin límite de consumo anual en hommer.

Figura 35. Ingreso del Valor del Gas de Síntesis a Hommer



La curva de eficiencia del syngas fue adaptada a otras curvas que se encuentran en la literatura [12] [14] donde la eficiencia ronda entre el 30% - 40%

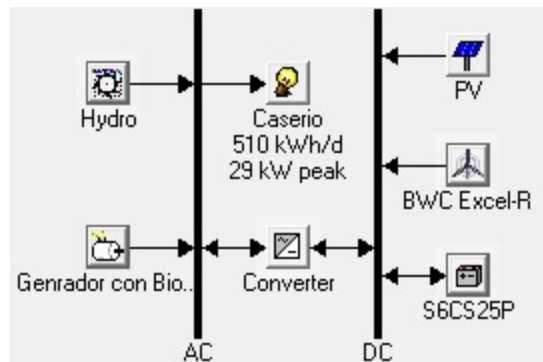
Figura 36. Curva de eficiencia del generador con syngas.



4. RESULTADOS OBTENIDOS POR REGIÓN.

El tablero de sistemas de generación general conto con sistema solar fotovoltaico, sistema eólico, sistema de almacenamiento, sistema de generación hidráulica, sistema de generación con syngas, asimismo con el sistema de conversión de la potencia, todos estos elementos juntos son un híbrido donde se utiliza la gran mayoría de las energías renovables presentes en Colombia.

Figura 37. Panel principal Hommer con todas las tecnologías utilizadas.



Teniendo en cuenta los recursos de cada departamento del territorio nacional Colombia se remueven algunas tecnologías donde no existe el recurso energético para hacerlas útiles.

4.1. RESULTADOS GUAINÍA Y NARIÑO

En el departamento de Guainía no se toma en cuenta la generación a partir de Biomasa debido a que las principales fuentes de palma aceitera están bastante lejos y el costo de transporte sería bastante elevado, haciendo el proceso poco rentable económicamente.

4.1.1. CONDICIONES FAVORABLES.

El primer estudio se hizo en condiciones máximas y/o favorables de todos los recursos energéticos detallados en la tabla 14.

Tabla 14. Valor Máximo recurso energético.

Radiación Solar	Velocidad Viendo	Caudal del Río	Precio unitario producción
-----------------	------------------	----------------	----------------------------

(kWh/m ² /d)	(m/s)	(L/s)	gas (\$/kg)
4.97	5	29300	Ninguno

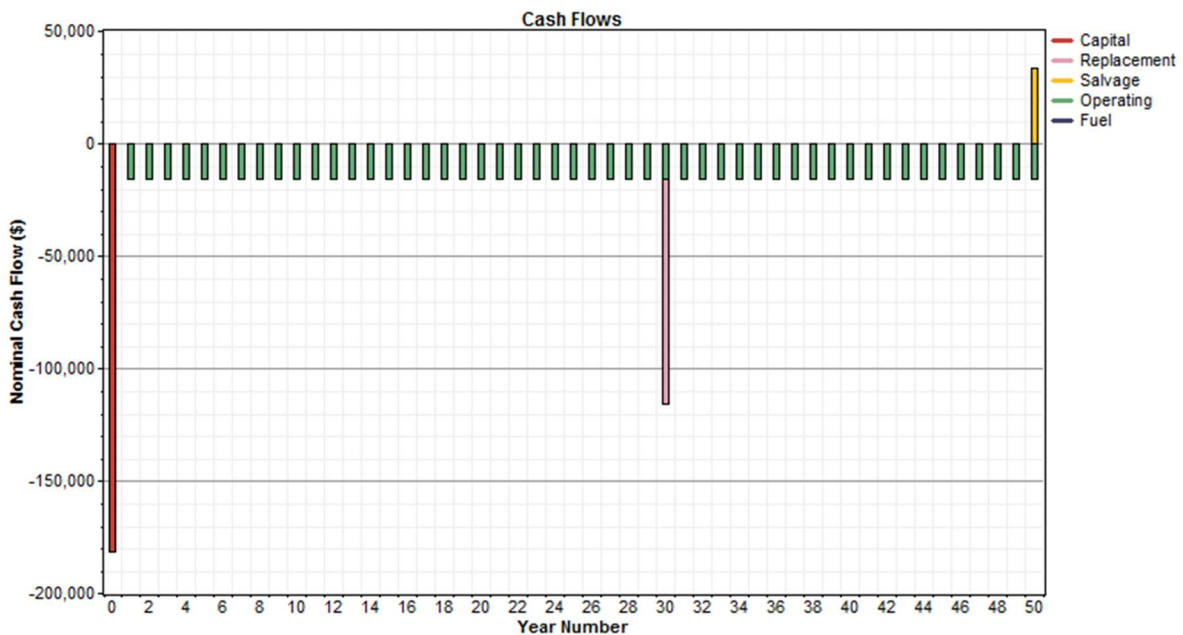
En la Guainía los resultados mostraron que la combinación más económica a condiciones favorables fue valor presente neto de **445817 USD**.

Tabla 15. Costos en condiciones favorables.

Componente	Capital	Remplazamiento	OyM	Combustible	Salvamento	Total
Micro-Central	181178	17411	249038	0	-1810	445817
Sistema	181178	17411	249038	0	-1810	445817

El flujo de efectivo en 50 años presenta una inversión inicial de 160000 USD y un salvamento de 38000 USD aproximadamente.

Figura 38. Flujo de efectivo en 50 años.



A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de micro-central hidroeléctrica donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

Tabla 16. Producción Energética al año por tecnología de generación Guainía y Nariño

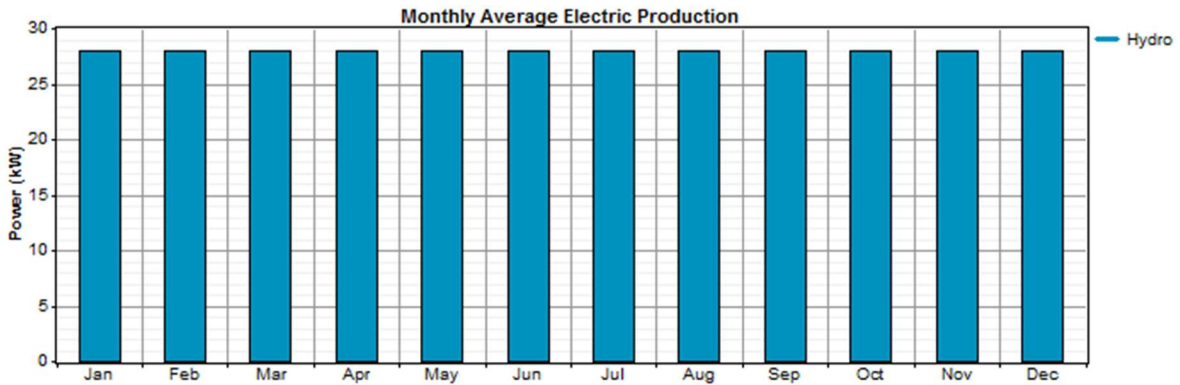
Producción	kWh/año	%
------------	---------	---

Micro-central	245930	100
Total	245930	100

El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 24.3%.

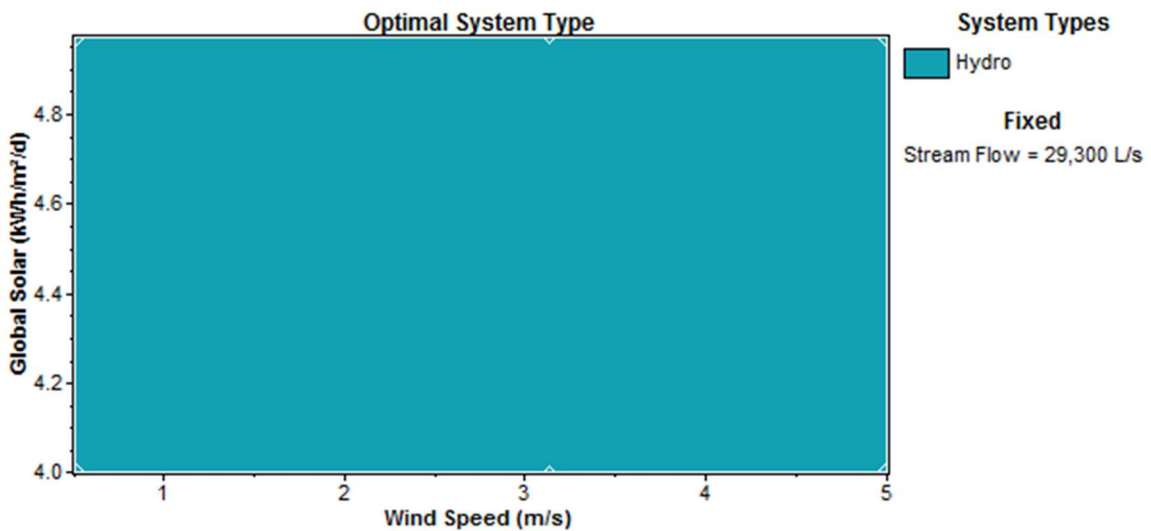
Consumo	Energía Requerida en AC	Energía Producida	Exceso de Energía
kWh/año	186090	245930	59821

Figura 39. Producción promedio de electricidad mensual Guainía y Nariño.



La grafica de sensibilidad que nos muestra la opción de micro-central hidroeléctrica con aerogenerador, Ver Figura 40.

Figura 40. Análisis de sensibilidad Hommer



4.1.2. CONDICIONES DESFAVORABLES.

Tabla 17. Valores mínimos de los recursos energéticos Guainía y Nariño

Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viento (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
4	0.5	3000	Ninguno

La combinación más económica a condiciones desfavorables o mínimas en el departamento de la Guainía fue exactamente la misma que en condiciones favorables ya que el caudal sigue siendo lo suficientemente grande para la turbina poder operar.

4.2. RESULTADOS SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA

San Andrés y Providencia las tecnologías usadas para el estudio de factibilidad de generación eléctrica fueron paneles solares y turbinas eólicas para crear un híbrido independiente del DIESEL, por tal motivo cuenta con sistema de almacenamiento de energía con baterías.

4.2.1. CONDICIONES FAVORABLES DE VIENTO

Tabla 18. Valores máximos de los recursos energéticos San Andres y Prov.

Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viento (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
7	7	ninguno	Ninguno

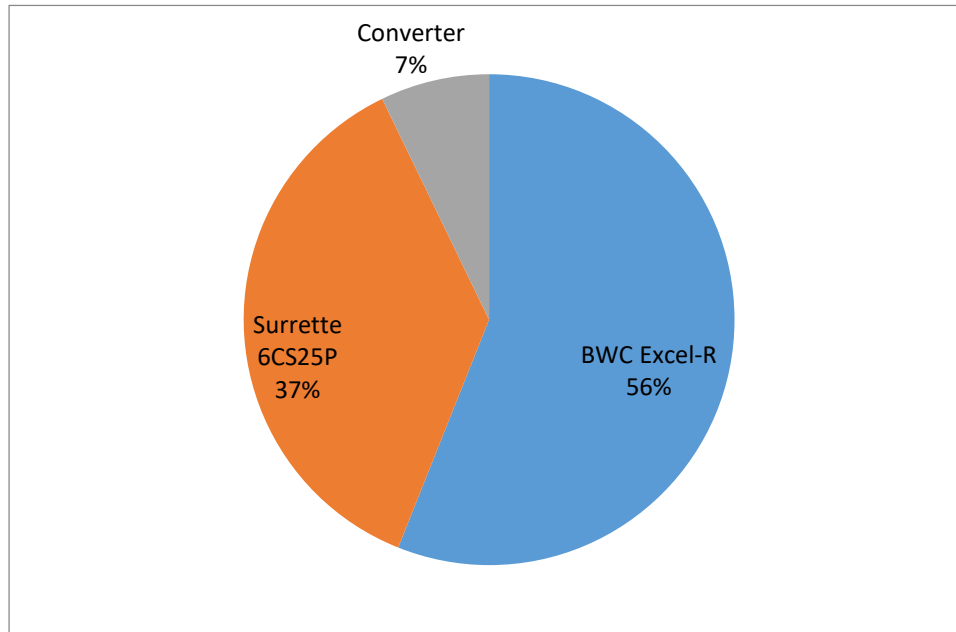
En San Andrés y Providencia los resultados mostraron que la combinación más económica a condiciones favorables fue de un valor presente neto de **916840 USD**.

Tabla 19. Valor presente neto de sistema híbrido en San Andrés y Prov en condiciones favorables

Componente	Capital	Remplazamiento	O&M (\$)	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
BWC Excel-R	410150	72230	31524	0	0	513903
Surette	107040	82750	151314	0	-4035	337068

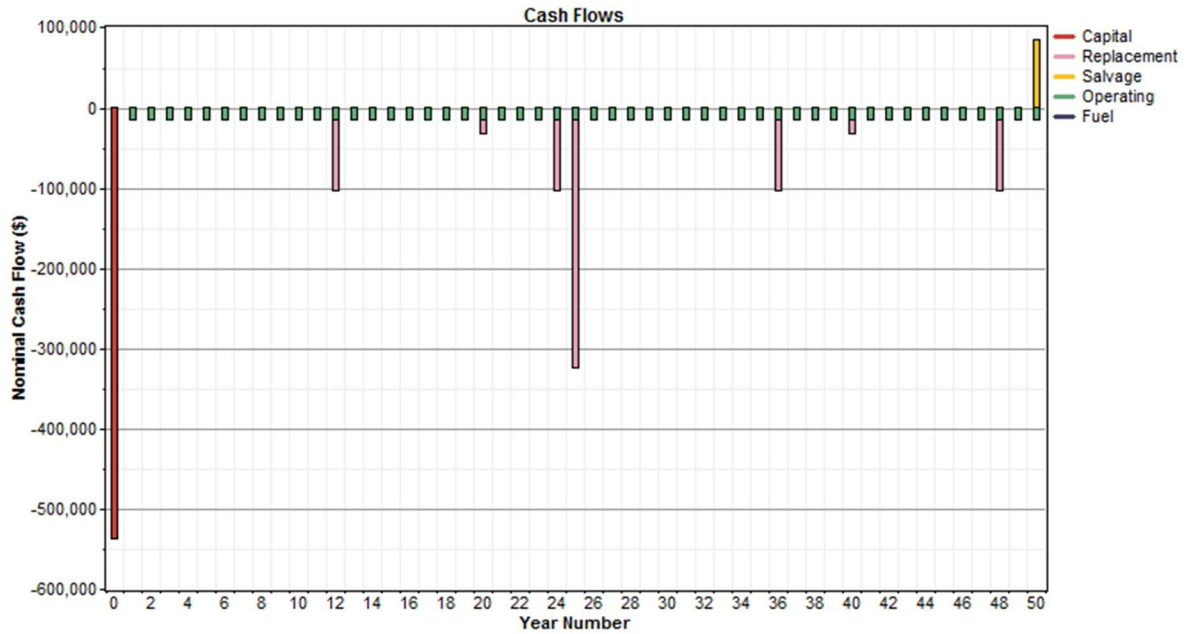
6CS25P						
Inversor	18968	7758	39657	0	-515	65868
Sistema	536158	162738	222495	0	-4550	916840

Figura 41. Representación porcentual de costo por tecnología.



El flujo de efectivo en 50 años presenta una inversión inicial de 540000 USD y un salvamento de 95000 USD aproximadamente.

Figura 42. Flujo efectivo San Andrés y Providencia condiciones favorables.



A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de un híbrido entre turbinas eólicas y paneles solares donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

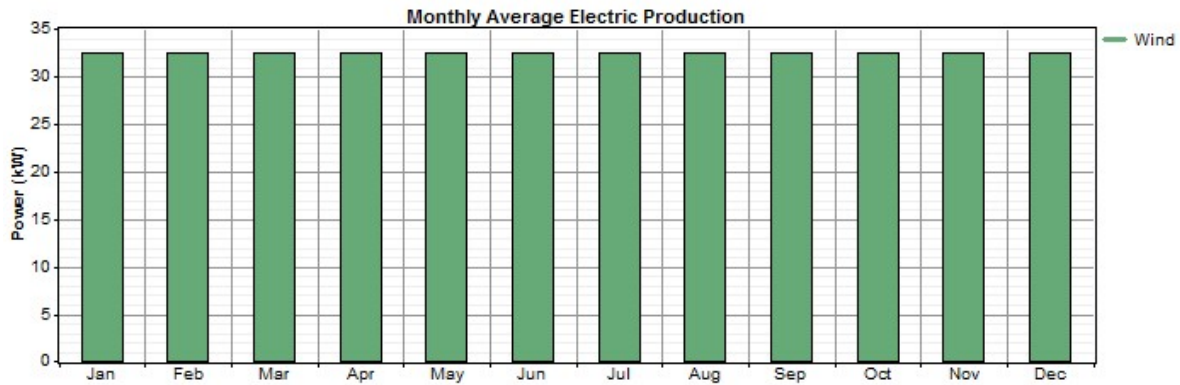
Tabla 20. Generación Eléctrica San Andrés Providencia condiciones favorables.

Producción	kWh/año	%
Turbinas Eólicas	283,871	100
Total	283,871	100

El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 31.4%.

Consumo	kWh/año	Energía Producida	Exceso de Energía
Carga primaria en AC	185150	283871	98721

Figura 43. Producción de energía mensual a partir de turbinas eólicas



4.2.2. CONDICIONES DESFAVORABLES DE VIENTO.

Tabla 21. Condiciones máximas del recurso energético

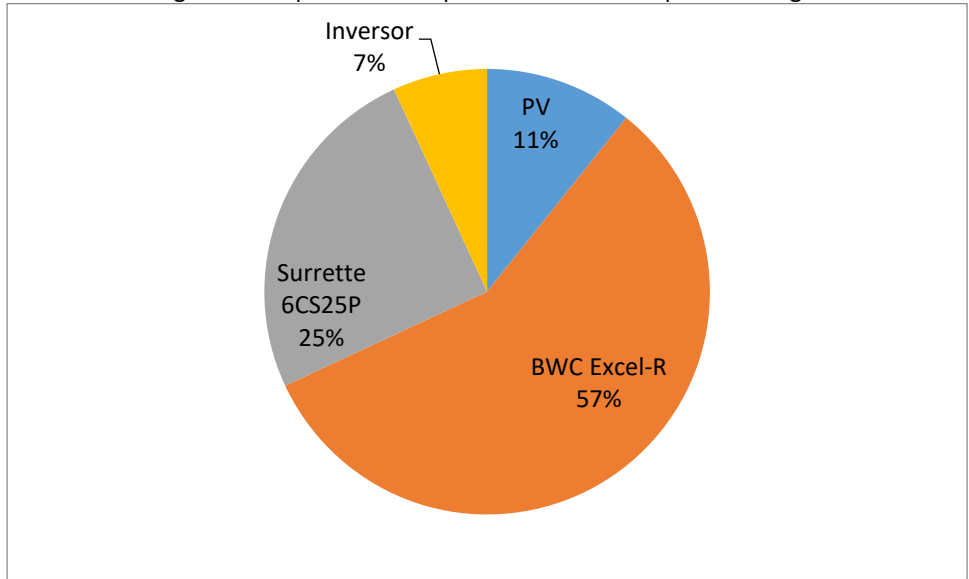
Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viento (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
7	5	ninguno	Ninguno

En San Andrés y Providencia los resultados mostraron que la combinación más económica a condiciones desfavorables de viento fue valor presente neto de **916840 USD** y es la representada en la figura 44.

Tabla 22. Valor presente neto de sistema híbrido en San Andrés y Prov en condiciones desfavorables

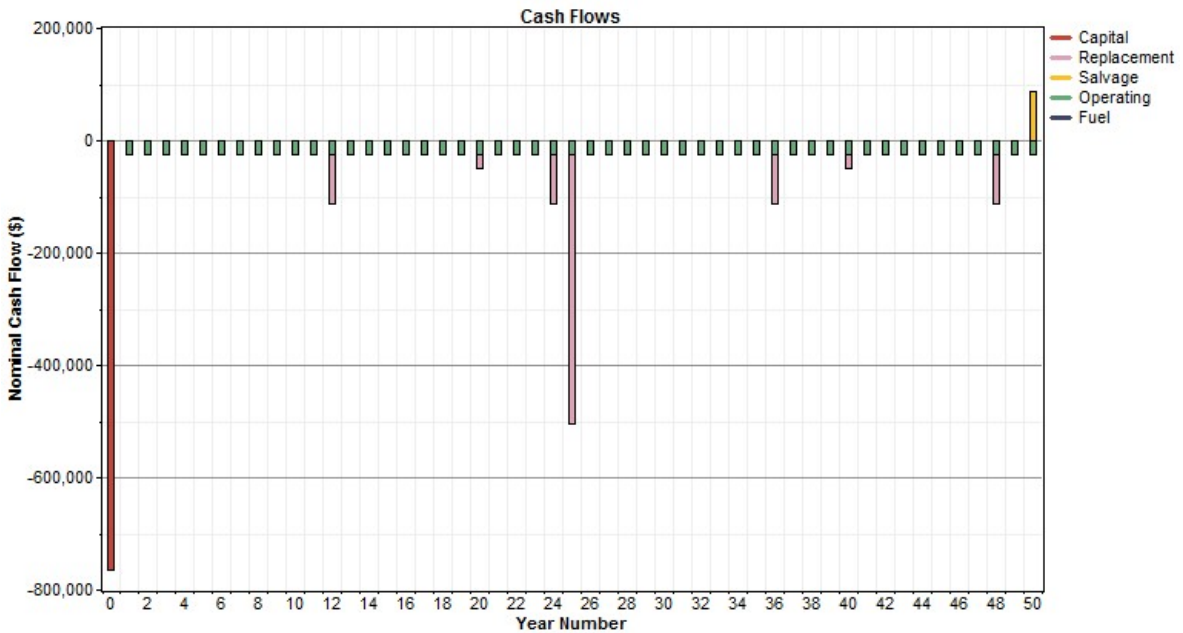
Componente	Capital (\$)	Reemplazamiento (\$)	O&M (\$)	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
PV	16893	357	123843	0	0	144306
BWC Excel-R	615225	108345	47286	0	0	770855
Surrette 6CS25P	107040	82750	151314	0	-4035	337068
Inversor	26552	10860	55545	0	-721	92237
Sistema	76571	205525	377988	0	-4756	134446

Figura 44. Representación porcentual de costo por tecnología



El flujo de efectivo en 50 años presenta una inversión inicial de 750000 USD y un salvamento de 95000 USD aproximadamente.

Figura 45. Flujo efectivo San Andrés y Providencia condiciones favorables.

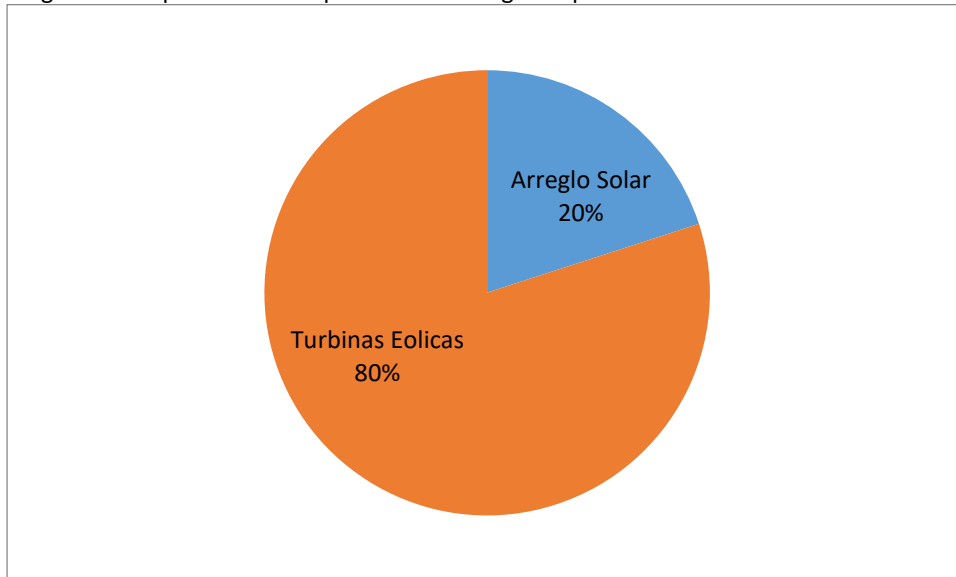


A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de un híbrido entre turbinas eólicas y paneles solares donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

Tabla 23. Generación Eléctrica San Andrés Providencia condiciones desfavorables.

Producción	kWh/año	%
Arreglo Solar	40,15	20
Turbinas Eólicas	162,867	80
Total	203,018	100

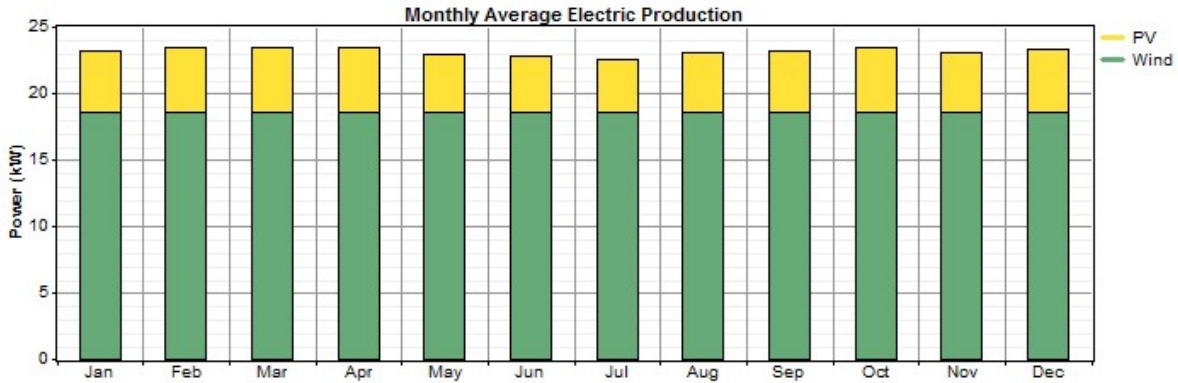
Figura 46. Repartición de la producción energética por año condiciones desfavorables.



El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 2%.

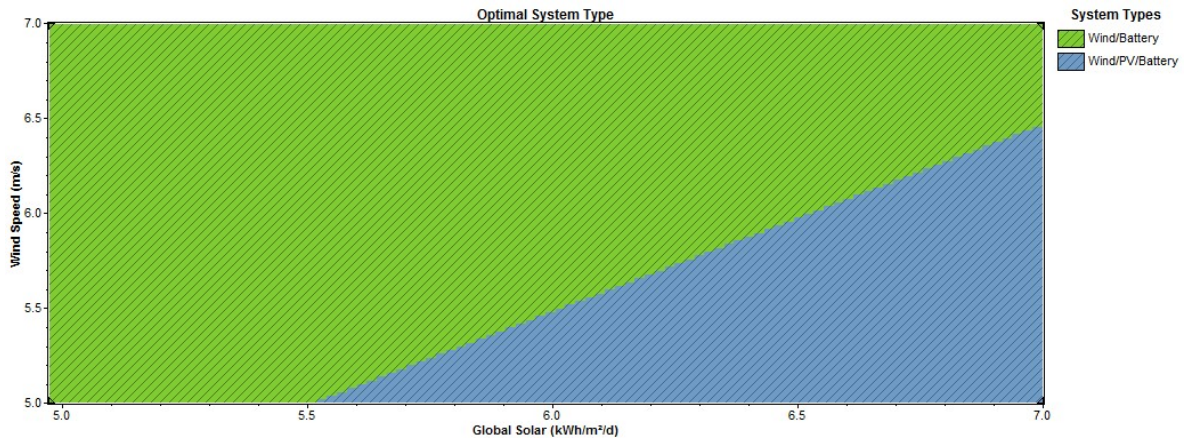
Consumo	kWh/año	Energía Producida	Exceso de Energía
Carga primaria en AC	185150	203018	17868

Figura 47. Producción de energía mensual a partir de turbinas eólicas y paneles solares a condiciones desfavorables.



4.2.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este caso el análisis de sensibilidad nos muestra que la mejor opción en este caso es el híbrido entre paneles solares y turbinas eólicas más baterías para cubrir toda la demanda sin depender de generados diésel u otro tipo de sistema de generación.



4.3. RESULTADOS BOLÍVAR

En Nariño se cuenta con todos los recursos energéticos en estudio, debido a su favorable posición geográfica cuenta con buenas cualidades para todos los tipos de tecnologías. En esta región el caudal varía en gran cantidad entre el máximo y el mínimo, en algunos casos el caudal

mínimo es despreciable para generación hidráulica, por tal motivo el factor diferenciador en el departamento es el caudal del río San Jorge.

4.3.1. CONDICIONES FAVORABLES DE CAUDAL.

Tabla 48. Valor Máximo recurso energético en condiciones favorables de caudal.

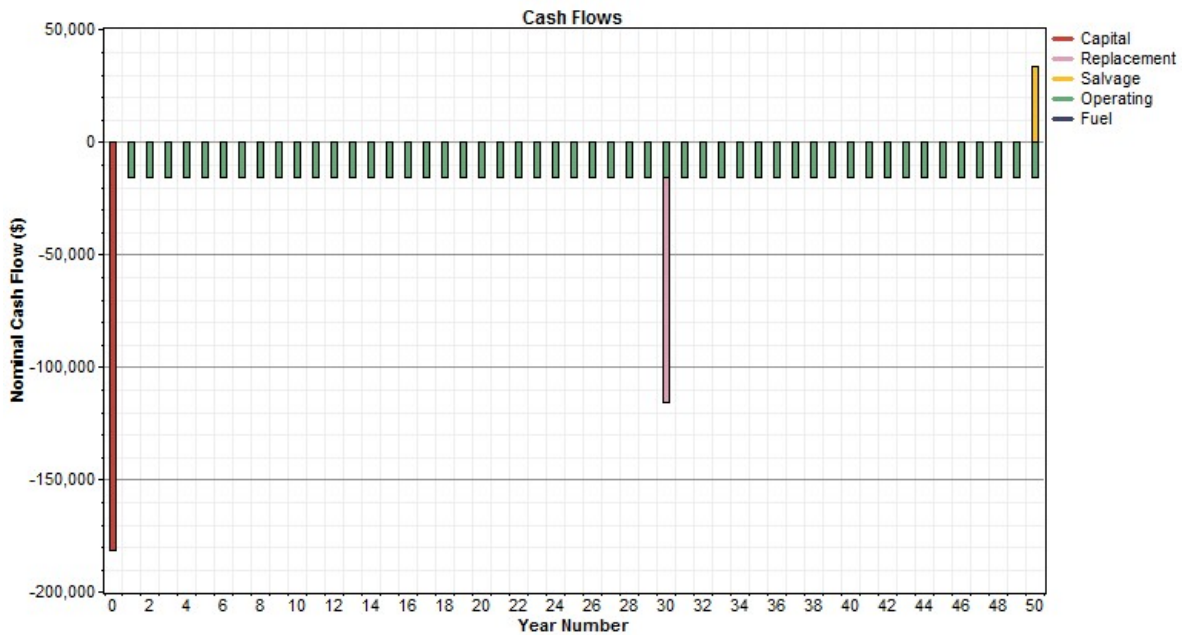
Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viento (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
7	7	697000	0.04221

Teniendo el caudal máximo del río la mejor solución es la micro-central hidroeléctrica, con una inversión inicial de 445817 USD.

Tabla 24. Valor presente neto.

Componente	Capital (\$)	Reemplazamiento (\$)	O&M (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
Hydro	181,178	0	249,038	-1,883	445,817
Sistema	181,178	0	249,038	-1,883	445,817

Figura 49. Flujo de efectivo en 50 años de la micro-central.



Una inversión de 110000 USD y en 50 años un salvamento de 35000 USD

A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de micro-central hidroeléctrica donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

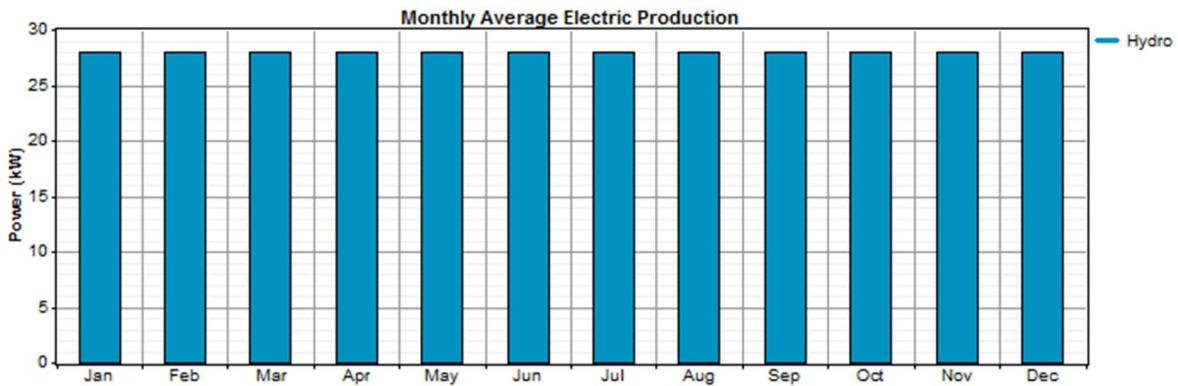
Tabla 25. Producción Energética al año por tecnología de generación

Producción	kWh/año	%
Micro-central	245930	100
Total	245930	100

El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 24.3%.

Consumo	Energía Requerida en AC	Energía Producida	Exceso de Energía
kWh/año	186090	245930	59821

Figura 50. Producción promedio de electricidad mensual.



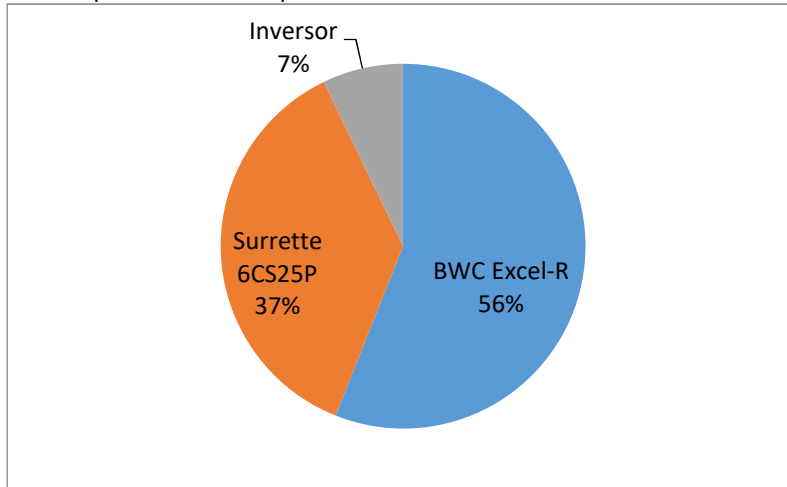
4.3.2. CONDICIONES DESFAVORABLES DE CAUDAL.

Tabla 26. Valor presente neto departamento Bolívar condiciones desfavorables de caudal.

Componente	Capital (\$)	Reemplazamiento (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
BWC Excel-R	410150	72230	31524	0	0	513903
Surette 6CS25P	107040	82750	151314	0	-4035	337068
Inversor	18968	7758	39657	0	-515	65868

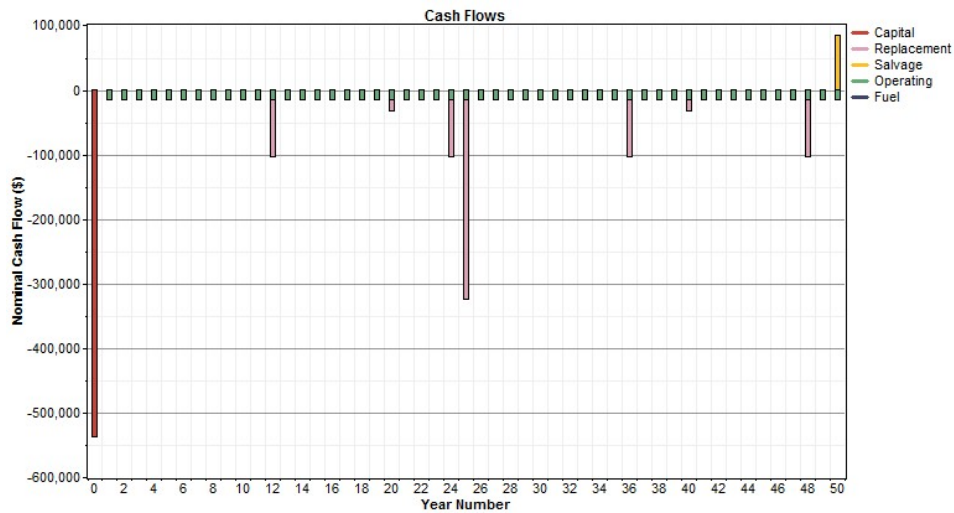
Sistema	536158	162738	222495	0	-4550	916840
---------	--------	--------	--------	---	-------	--------

Figura 51. Valor presente neto departamento Bolívar condiciones desfavorables de caudal



Una inversión de 540000 USD y en 50 años un salvamento de 95 USD para el sistema de energía eólica.

Figura 52. Flujo de efectivo Bolívar



A condiciones desfavorables de caudal la mejor combinación es el de turbinas eólicas la producción energética se reparte de la siguiente manera:

Tabla 27. Generación Eléctrica San Andrés Providencia condiciones favorables.

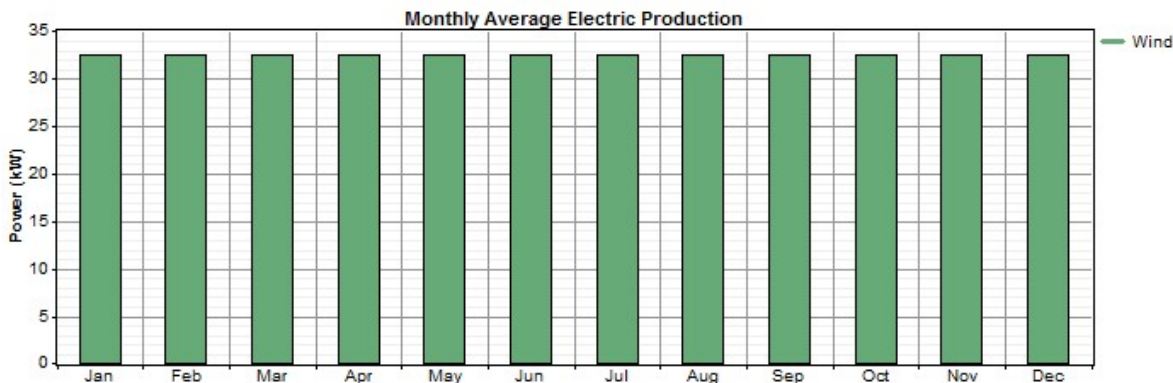
Producción	kWh/año	%
Turbinas Eólicas	283,871	100

Total	283,871	100
-------	---------	-----

El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 31.4%.

Consumo	kWh/año	Energía Producida	Exceso de Energía
Carga primaria en AC	185150	283871	98721

Figura 53. Producción de energía mensual a partir de turbinas eólicas



4.3.3. CONDICIONES DESFAVORABLES DE VIENTO Y CAUDAL

En Bolívar se presenta un tercer caso que es en los meses finales del año cuando no hay buen viento y el caudal de la fuente hídrica puede ser muy escaso, en este caso se presenta la Biomasa y los paneles solares como las solución adecuada a la situación, haciendo de este híbrido una solución a largo plazo.

Tabla 28. Condiciones desfavorables de viento y caudal en Bolívar

Radiación Solar	Velocidad Viendo	Caudal del Río	Precio unitario producción
-----------------	------------------	----------------	----------------------------

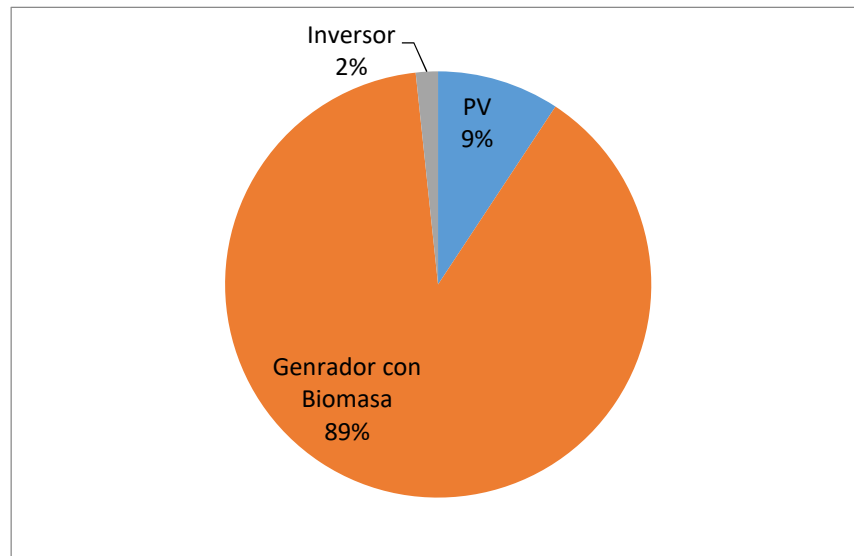
(kWh/m ² /d)	(m/s)	(L/s)	gas (\$/kg)
7	4	24 (Despreciable)	0.04221

Los precios por tecnología se aprecian en la siguiente tabla y figura.

Tabla 29. Precios de las tecnologías de generación

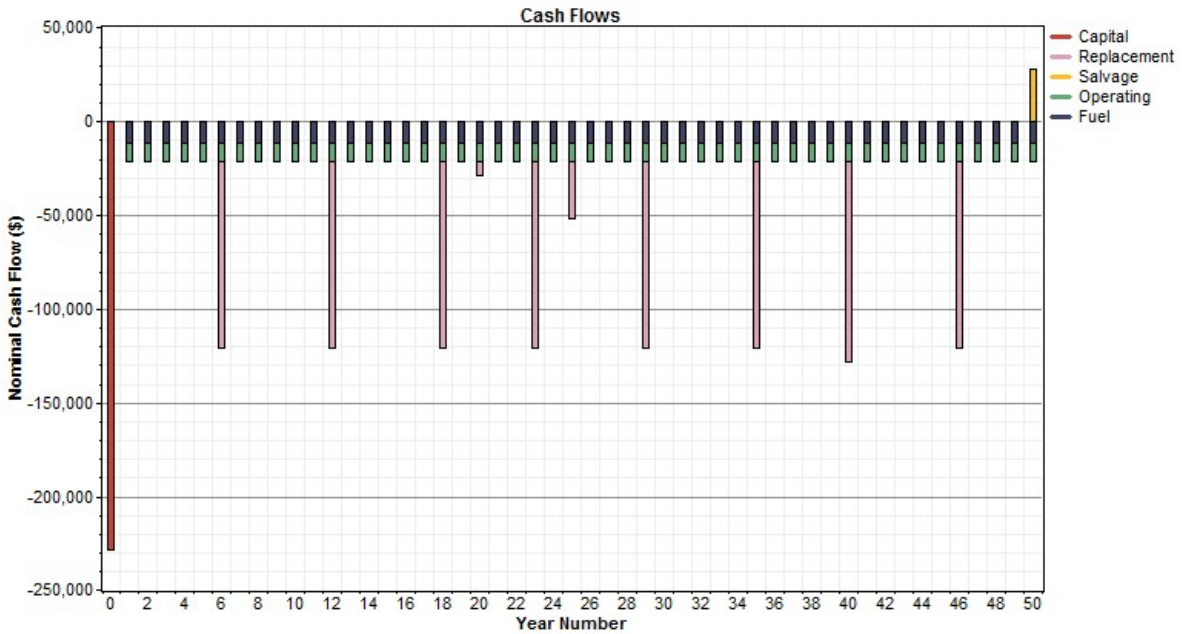
Componente	Capital (\$)	Reemplazamiento (\$)	O&M (\$)	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
PV	16893	357	123843	0	0	144306
Generador con Biomasa	180000	900298	124267	182725	-4343	1382946
Inversor	7592	3105	15825	0	-206	26316
Sistema	204,485	906,973	263,935	182,725	-4549	1553569

Figura 52. Repartición del valor presente neto por tecnologías de generación.



Una inversión de 225000 USD y en 50 años un salvamento de 35000 USD

Figura 53. Flujo de efectivo en 50 años del sistema híbrido condiciones desfavorables Bolívar.



La mejor combinación Solar-Biomasa donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

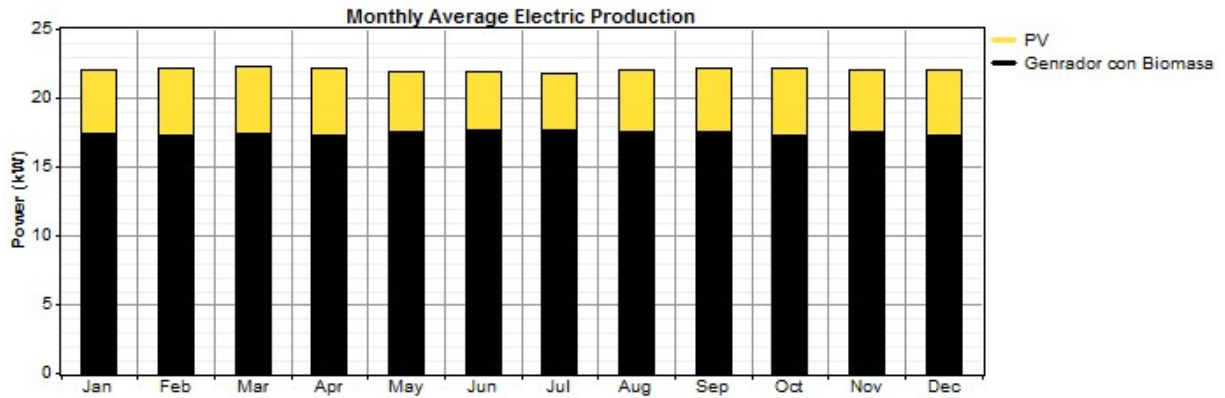
Tabla 30. Producción Energética al año por tecnología de generación en condiciones desfavorables Bolívar

Producción	kWh/año	%
Arreglo Solar	40,15	21
Generador con Biomasa	153,263	79
Total	193,413	100

El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 2.86%.

Consumo	Energía Requerida en AC	Energía Producida	Exceso de Energía
kWh/año	186150	193413	5532

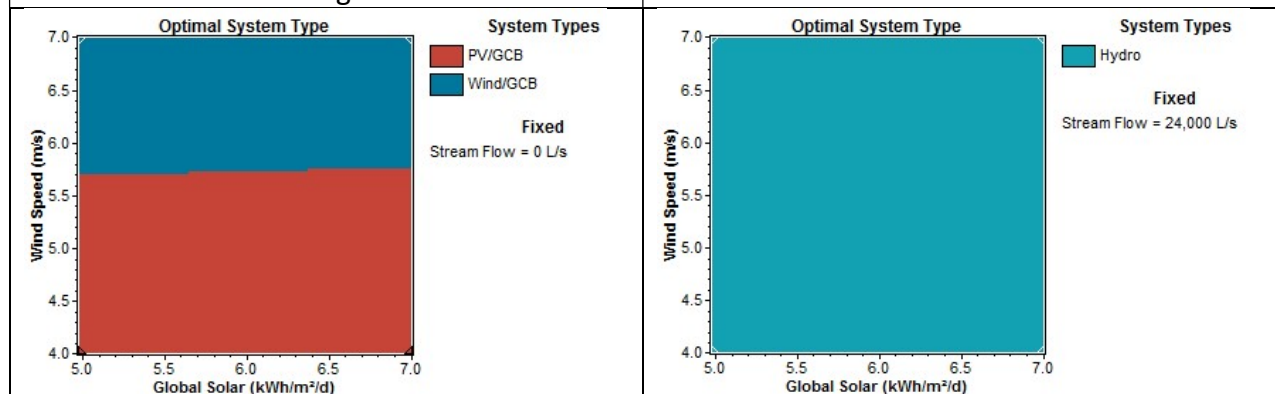
Figura 54. Producción promedio de electricidad mensual.



4.3.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con caudal despreciable se muestran las opciones de paneles con generador y turbina eólica con generados, dependiendo de la calidad del recurso energético.

Con caudal de 24000 L/s la mejor opción es la hidroeléctrica debido a su menor cantidad de inversión inicial y costos de operación.



4.4. RESULTADOS CHOCÓ

Chocó cuenta con una excelente velocidad del viento en algunos meses del año, su radiación solar no es muy propicia para paneles solares, sin embargo se tomaron encuentra todas las tecnologías previamente estudiadas para realizar las iteraciones con excepción de la micro-central hidroeléctrica.

4.4.1. CONDICIONES FAVORABLES DE VIENTO.

Tabla 31. Valores Máximos en condiciones favorables Chocó.

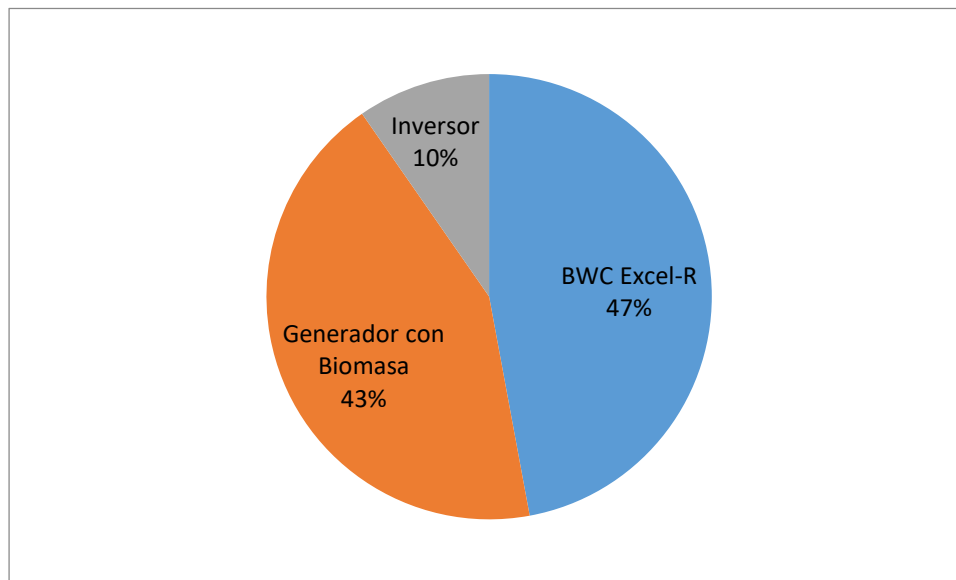
Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viento (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
4.5	9	Ninguno	0.04221

Cuando las condiciones climáticas presentan una velocidad del viento de más de 9 m/s en el norte del departamento del Choco, se presenta un híbrido entre Generador-Turbina Eólica.

Tabla 32. Valor presente neto Chocó.

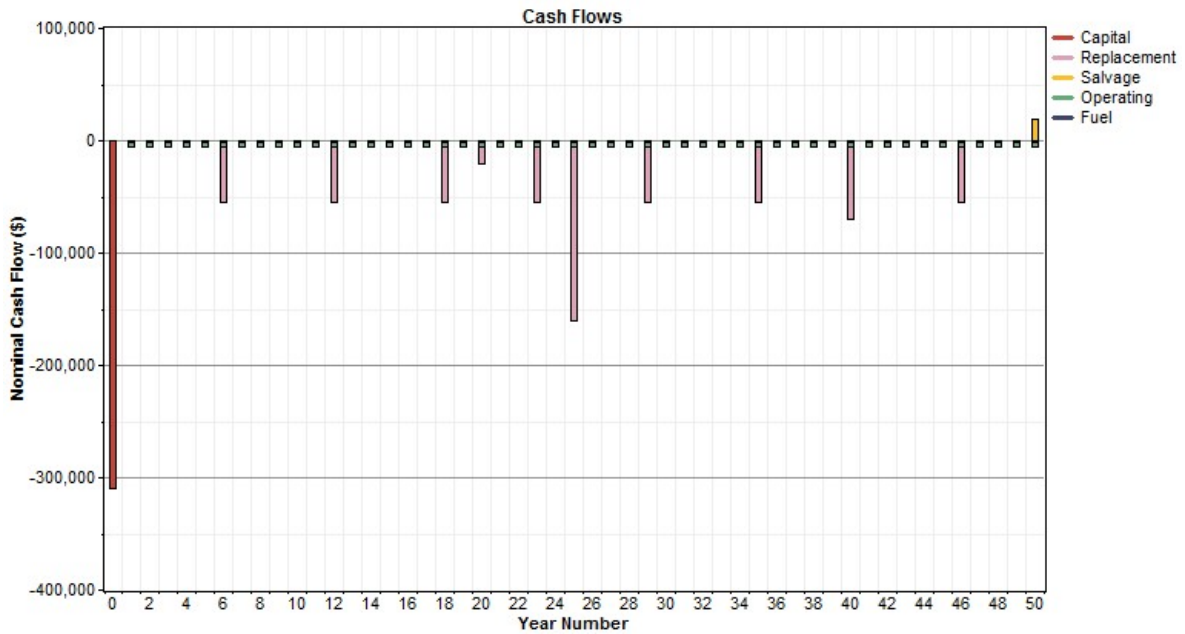
Componente	Capital (\$)	Remplazamiento (\$)	O&M (\$)	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
BWC Excel-R	205075	36115	15762	0	0	256952
Generador con Biomasa	90000	117863	6213	22537	-651	235962
Inversor	15176	6207	31713	0	-412	52684
Sistema	310251	160185	53688	22537	-1063	545598

Figura 55. Representación porcentual del costo por tecnología



Una inversión de 310000 USD y en 50 años un salvamento de 35000 USD

Figura 56. Flujo de efectivo en 50 años del sistema híbrido.

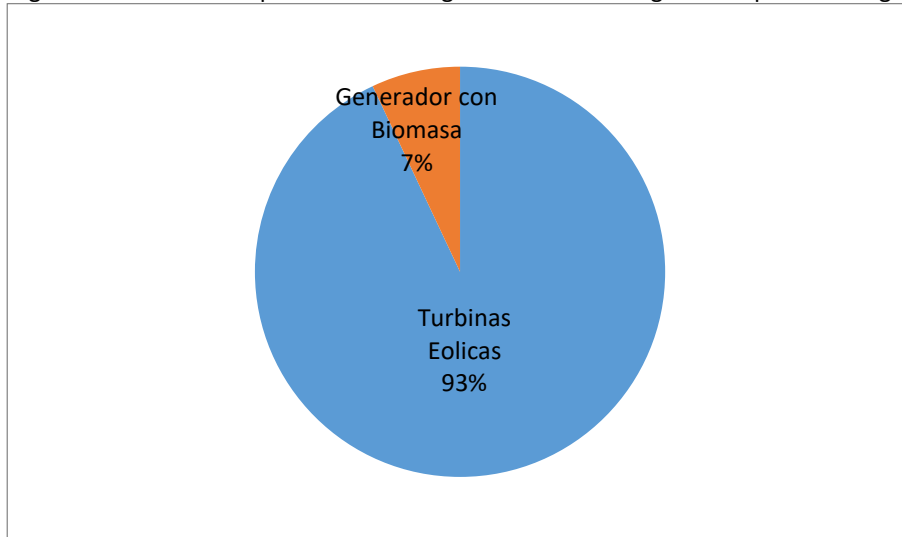


A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de micro-central hidroeléctrica donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

Tabla 33. Producción de energía anual por tecnología de generación

Producción	kWh/año	%
Turbinas Eólicas	258995	93
Generador con Biomasa	18903	7
Total	277898	100

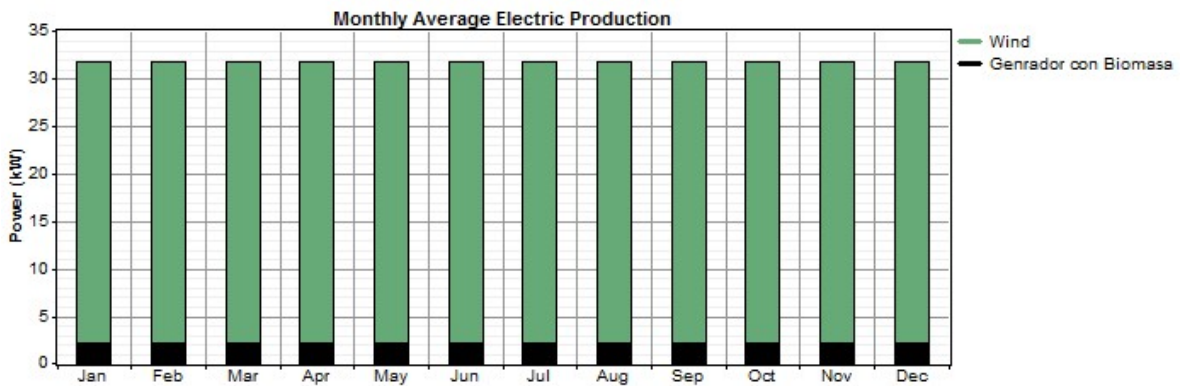
Figura 57. Distribución porcentual de la generación de energía anual por tecnología



El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 24.3%.

Consumo	kWh/año	Energía Producida	Exceso de Energía
Carga primaria en AC	185150	277898	82963

Figura 58. Producción promedio de electricidad mensual Choco.



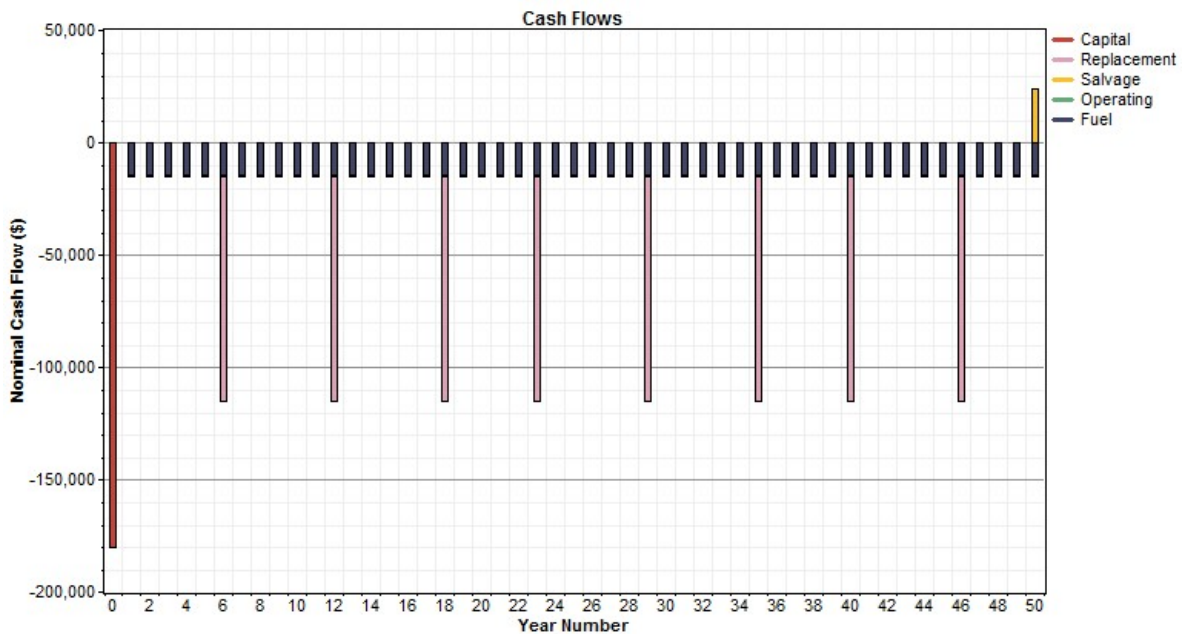
4.4.2. CONDICIONES DESFAVORABLES DE VIENTO

Componente	Capital (\$)	Remplazamiento (\$)	O&M (\$)	Biomasa (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
Generador con Biomasa	180000	235726	12427	221934	-1303	648784
Sistema	180000	235726	12427	221934	-1303	648784

Cuando el recurso de viento no es lo suficiente propicio para la turbina eólica, el software nos muestra como sistema propicio el uso de un generador de Biomasa ya que es fácil de conseguir en el departamento del Chocó.

Con una inversión de 180000 USD y en 50 años un salvamento de 25000 USD la gráfica de flujo de efectivo se muestra a continuación.

Figura 59. Flujo de efectivo en 50 años del sistema híbrido.



A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de un generador con Biomasa donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

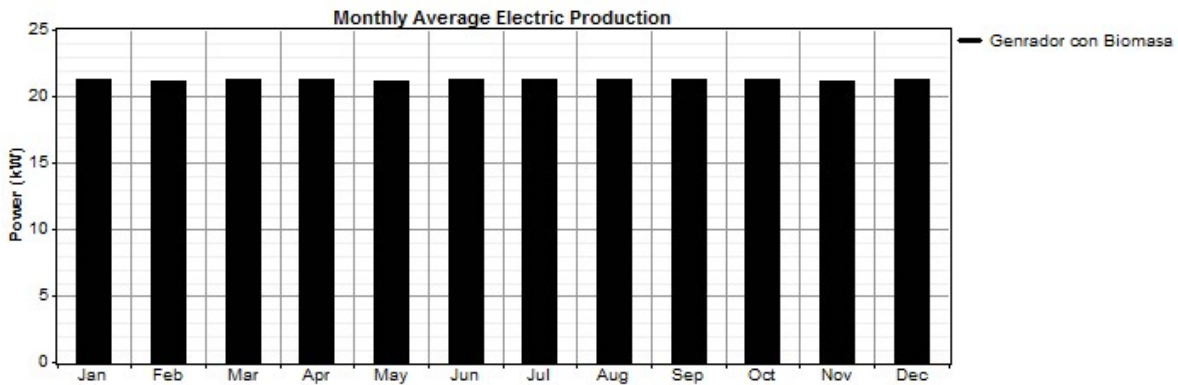
Tabla 34. Producción de energía anual por tecnología de generación

Producción	kWh/año	%
Generador con Biomasa	186,15	100
Total	186,15	100

El consumo máximo fue igual a la producción de energía donde no hay algún exceso de energía

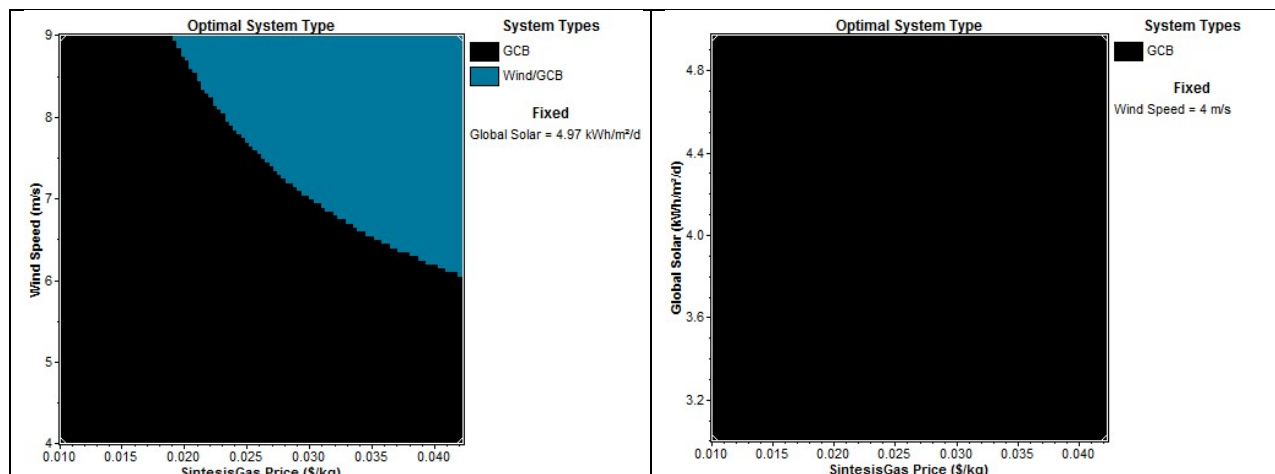
Consumo	kWh/año	Energía Producida	Exceso de Energía
Carga primaria en AC	185150	185150	0

Figura 60. Producción promedio de electricidad mensual.



4.4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con una velocidad del viento de más de 6m/s el sistema eólico puede ser una opción viable para la generación de energía eléctrica, teniendo el generador diésel como sistema de respaldo.	Con precio de 0.0422 pesos por kg de biomasa el generador de biodiesel seria la principal fuente de energía en la región del Chocó que cuenta con gran cantidad del recurso energético.
---	---



4.5. RESULTADOS ARAUCA

El departamento de Arauca cuenta con una de las mejores radiaciones en Colombia por ende se presentan los paneles solares como solución a la energética al lado del generador de Biomasa, las turbinas eólicas y la micro-central.

4.5.1. RESULTADOS FAVORABLES DE SOL

El recurso energético que definió el análisis de sensibilidad será la radiación solar ya que depende de esta el uso o no de paneles solares.

Tabla 35. Resultados favorables de sol en Arauca.

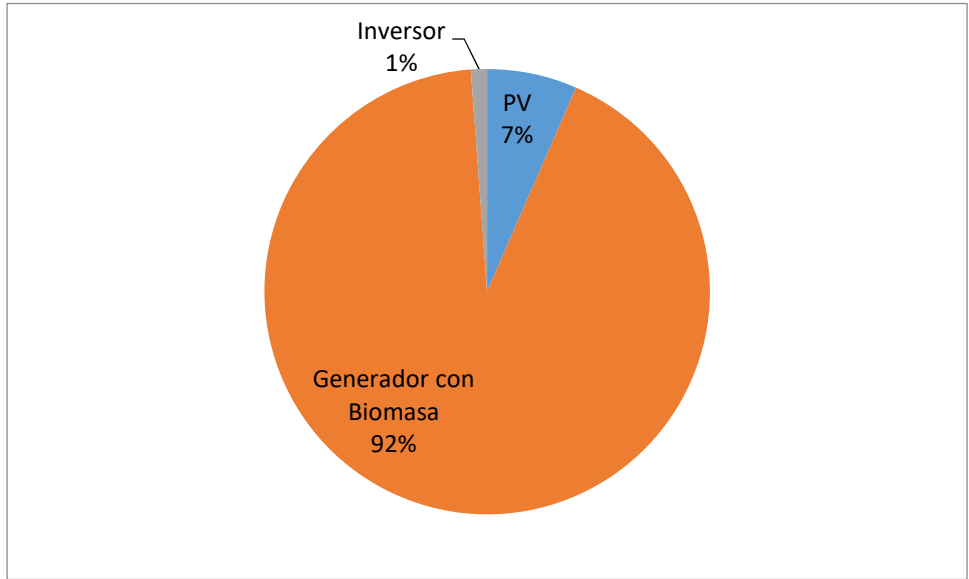
Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viendo (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
7	4	Despreciable	1

Teniendo un caudal del río Arauca despreciable para la generación eléctrica es el arreglo solar y el generador de biomasa el mejor híbrido energético, con una inversión inicial de 4510364 USD.

Tabla 36. Valor presente neto de Arauca.

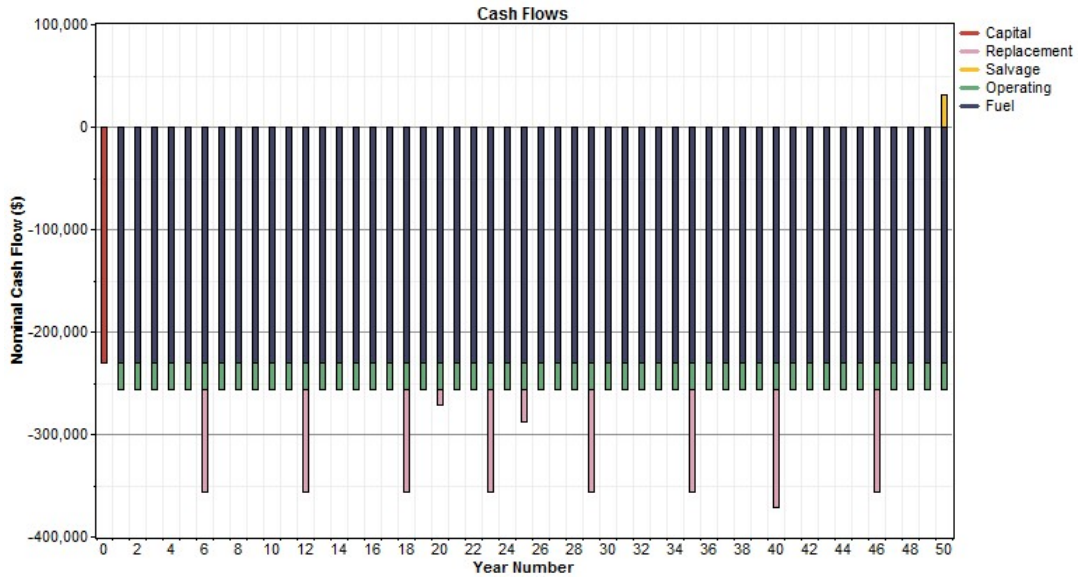
Componente	Capital (\$)	Reemplazamiento (\$)	O&M (\$)	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
PV	34554	7302	253316	0	0	295171
Generador con Biomasa	180000	235726	124267	3623819	-1303	4162509
Inversor	15176	6207	31713	0	-412	52684
Sistema	229730	249235	409295	3623819	-1715	4510364

Figura 61. Representación porcentual del costo por tecnología



Una inversión de 230000 USD y en 50 años un salvamento de 35 USD, con altos valores reemplazamiento y funcionamiento.

Figura 62. Flujo de efectivo híbrido en Arauca.

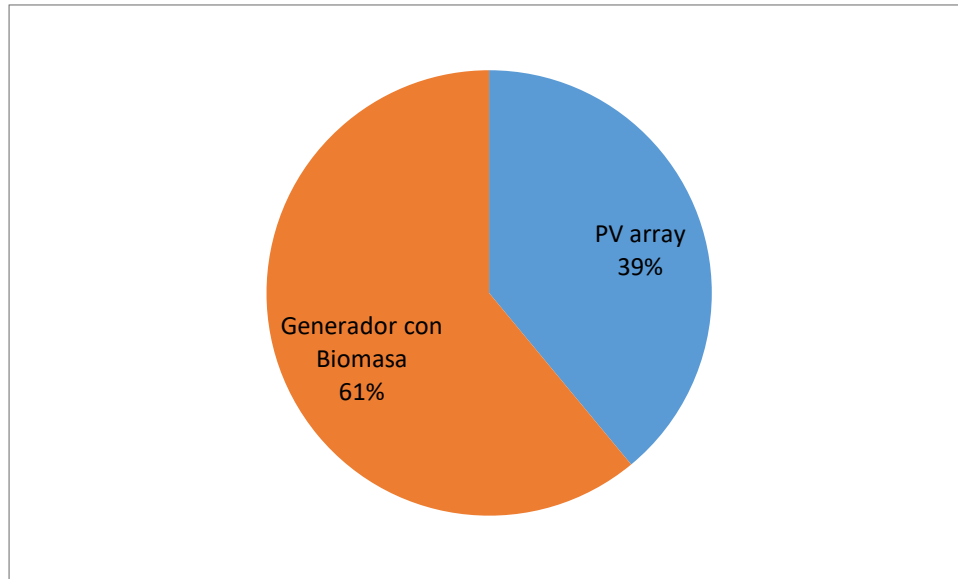


A condiciones favorables de sol la mejor combinación es el uso de paneles solares y generador con biomasa donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

Tabla 37. Cantidad generada por tecnología.

Producción	kWh/año	%
Arreglo solar	83,586	39
Generador con Biomasa	128,295	61
Total	211,881	100

Figura 63. Cantidad generada porcentual por tecnología.

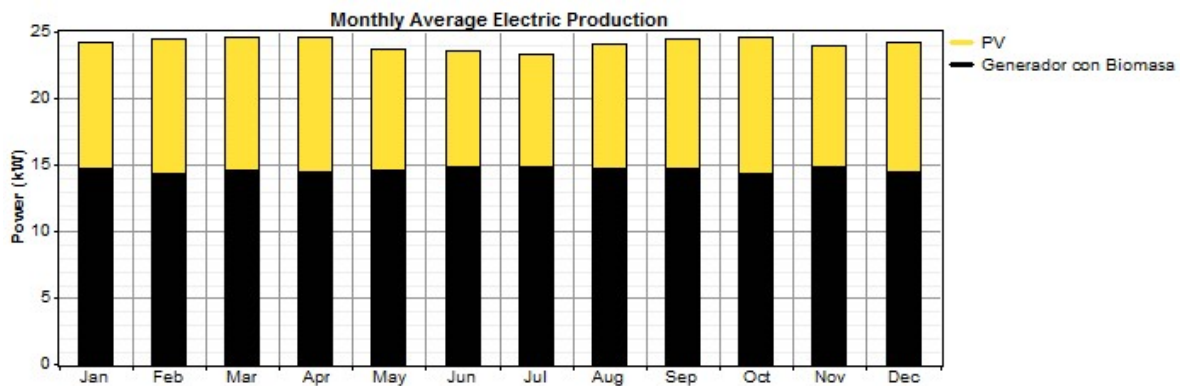


El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 10%.

Tabla 38. Producción de energía en condiciones favorables Arauca.

Consumo	kWh/año	Energía Producida	Exceso de Energía
Carga primaria en AC	185150	211881	22685

Figura 64. Producción promedio de electricidad mensual Arauca.



4.5.2. RESULTADOS DESFAVORABLES DE SOL.

Tabla 39. Resultados favorables de sol en Arauca.

Radiación Solar (kWh/m ² /d)	Velocidad Viendo (m/s)	Caudal del Río (L/s)	Precio unitario producción gas (\$/kg)
4.97	1	800000	1

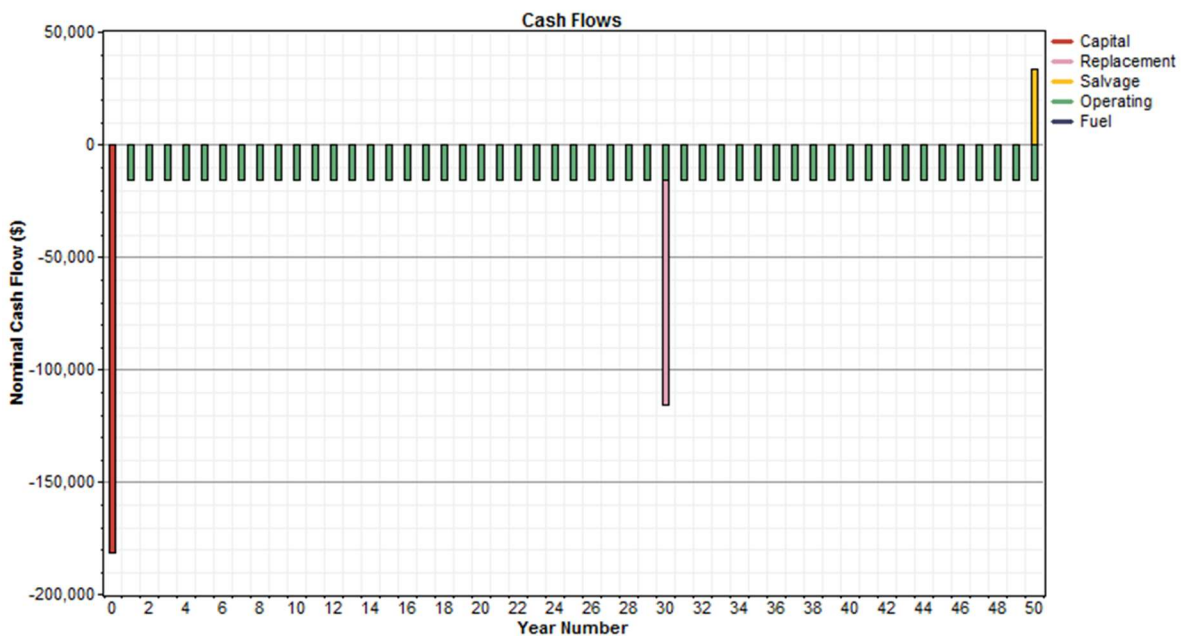
En la Guainía los resultados mostraron que la combinación más económica a condiciones favorables fue valor presente neto de 445817 USD.

Tabla 40. Costos en condiciones desfavorables de sol.

Componente	Capital	Reemplazamiento	OyM	Combustible	Salvamento	Total
Micro-Central	181178	17411	249038	0	-1810	445817
Sistema	181178	17411	249038	0	-1810	445817

El flujo de efectivo en 50 años presenta una inversión inicial de 160000 USD y un salvamento de 38000 USD aproximadamente.

Figura 65. Flujo de efectivo en 50 años.



A condiciones favorables la mejor combinación es el uso de micro-central hidroeléctrica donde la producción energética se reparte de la siguiente manera:

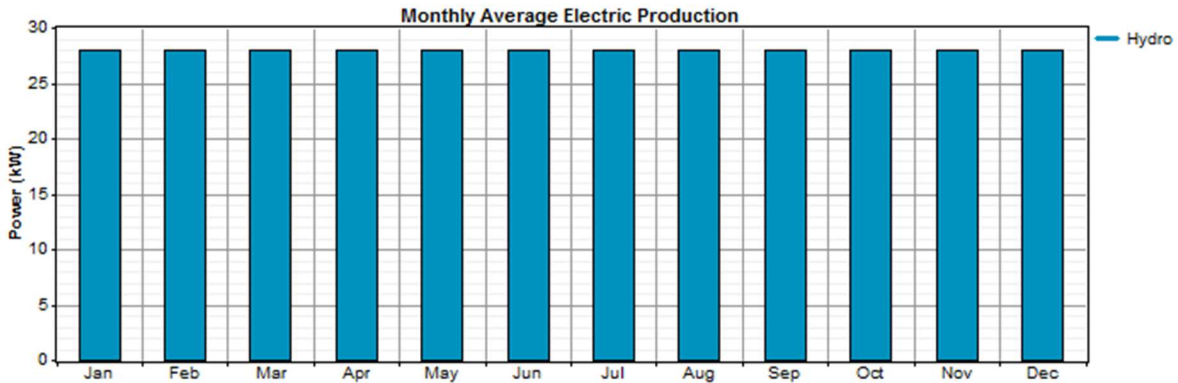
Tabla 36. Producción Energética al año por tecnología de generación

Producción	kWh/año	%
Micro-central	245930	100
Total	245930	100

El consumo máximo fue menor a la producción de energía lo que genera un exceso de energía del 24.3%.

Consumo	Energía Requerida en AC	Energía Producida	Exceso de Energía
kWh/año	186090	245930	59821

Figura 66. Producción promedio de electricidad mensual.

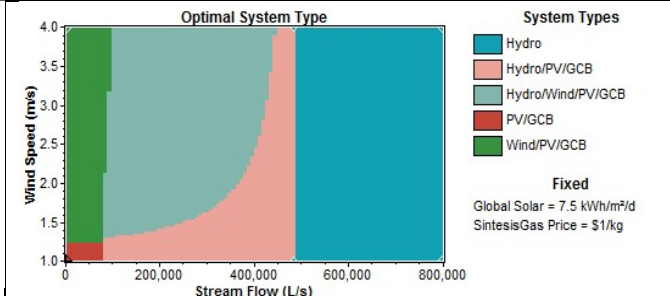
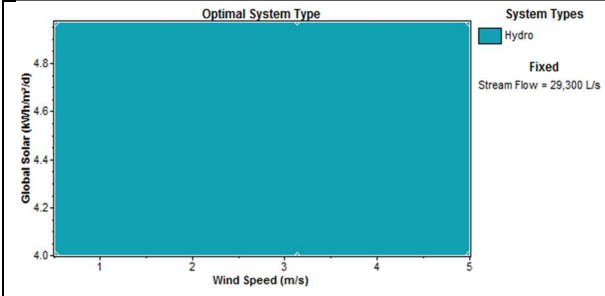


4.5.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

La grafica de sensibilidad que nos muestra la opción de micro-central hidroeléctrica por una parte y un hibrido generador-solar cuando la radiación solar es propicia para la generación eléctrica, Ver Grafica 67.

Grafica 67. Análisis de sensibilidad Hommer Arauca.

<p>Cuando el caudal del recurso hídrico es mayor a 500000 litros/s la mejor solución más económica y eficiente será la construcción de una micro-central eléctrica.</p>	<p>Cuando la radicación solar es favorable y el recurso hídrico no es propicio para la generación, se presentan los siguientes tipos de hibrido para suplir la demanda energética.</p>
---	--



5. RESUMEN DE RESULTADOS

Después de las iteraciones realizadas y los análisis de sensibilidad hechos por el software se tabulan las mejores opciones de híbridos para generar los 29kW pico en el caserío ubicado en una ZNI, Las diferentes opciones de generación que resultaron ser las más económica y energéticamente favorables son:

- Baterías - Turbinas Eólicas
- Baterías - Turbinas Eólicas - Paneles Solares
- Paneles Solares - Generador Biomasa
- Micro-Central
- Turbinas Eólicas - Generador Biomasa

En la siguiente tabla se aprecian las diferentes opciones de híbridos que resultaron favorables en cada zona del país, algunas de zonas son más flexibles y cuentan hasta con tres opciones de híbridos posibles para instalar.

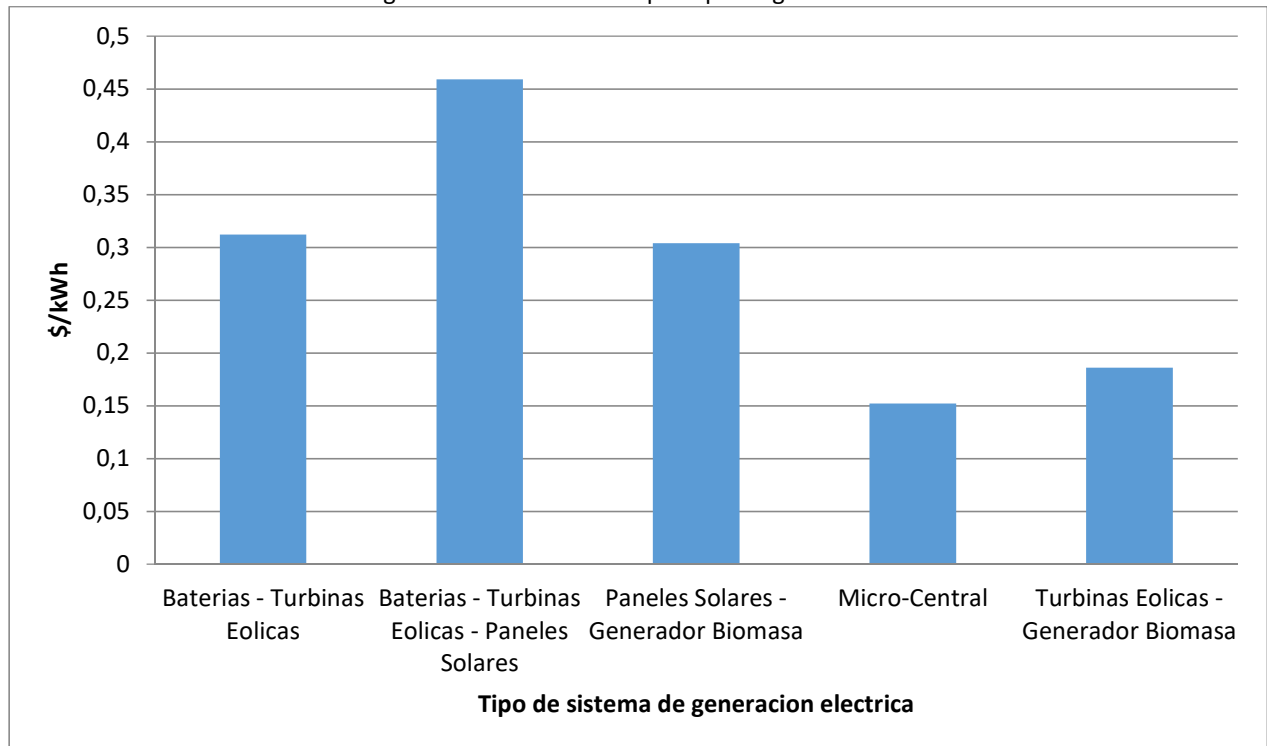
Tabla 37. Resultados generales de los híbridos posibles para la generación eléctrica.

Región	Condiciones	Tipo de híbrido	Inversión Inicial	Salvamento (50 Años)	Producción de energía (kW/año)	Impacto ambiental	Riesgo de desenergización	Precio \$/kWh	Costo de Operación (\$/año)
San Andrés y Providencia	Opción 1.	Baterías - Turbinas Eólicas	\$ 536.158,00	-\$ 4.550,00	283871	Bajo	Alto	0,312	24152
	Opción 2.	Baterías - Turbinas Eólicas - Paneles Solares	\$ 765.710,00	-\$ 4.756,00	203018	Bajo	Bajo	0,459	36719
Arauca	Opción 1.	Paneles Solares - Generador Biomasa	\$ 229.730,00	-\$ 1.715,00	211881	Bajo	Bajo	0,304	43574
	Opción 2.	Micro-Central	\$ 181.178,00	-\$ 1.810,00	245930	Medio	Alto	0,152	16790
Nariño y Guainía	Opción 1.	Micro-Central	\$ 181.178,00	-\$ 1.810,00	245930	Medio	Bajo	0,152	16790
Bolívar	Opción 1.	Micro-Central	\$ 181.178,00	-\$ 1.810,00	245930	Medio	Alto	0,152	16790

	Opción 2.	Baterías - Turbinas Eólicas	\$ 536.158,00	-\$ 4.550,00	283871	Bajo	Alto	0,312	24152
	Opción 3.	Paneles Solares - Generador Biomasa	\$ 229.730,00	-\$ 1.715,00	211881	Bajo	Bajo	0,304	43574
Choco	Opción 1.	Turbinas Eólicas - Generador Biomasa	\$ 310.251,00	-\$ 1.063,00	277898	Bajo	Bajo	0,186	14931
	Opción 2.	Micro-Central	\$ 181.178,00	-\$ 1.810,00	245930	Medio	Alto	0,152	16790

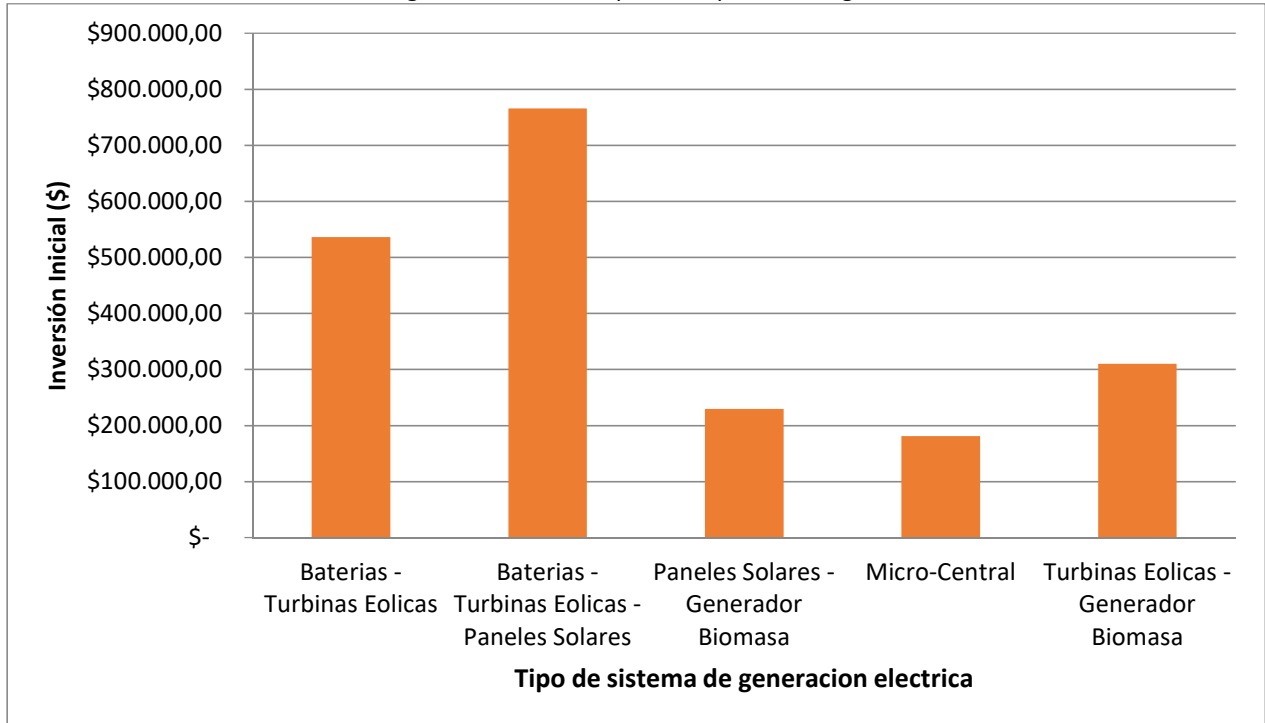
La siguiente figura presenta una comparativa de costos del kilowatt hora producido por cada híbrido estudiado anteriormente, donde la micro-central y las turbinas eólicas-generados biomasa son las opciones más económicas para el usuario final.

Figura 68. Precio del kWh por tipo de generación.



En la figura 69. Se muestra un comparativo del costo de inversión inicial que esta alrededor de los 200.000 a los 800.000 dólares por cada hibrido estudiado, este valor representa instalar todo el equipamiento previamente estudiado, sin tener en cuenta el valor humano pero este debería ser el mismo en todas las zonas del país por ende no afectaría el comparativo de precios.

Figura 69. Costo de operación por tecnología



CONCLUSIONES

1. La geotermia en Colombia todavía está en proceso de estudio, sin embargo cuenta con un potencial explotable y sus principales fuentes están favorablemente ubicadas cerca a muchas zonas no interconectadas del país.
2. La biomasa es el recurso energético con mejor prospectiva en los siguientes años, por su precio, facilidad de adquisición y bajo factor de emisiones.

3. Las zonas interconectadas del país cuentan con una alta demanda que debe ser satisfecha con otras alternativas diferentes a la generación con Diesel, por su costo, emisiones y desaprovechamiento de otros recursos más favorables.
4. En los departamentos de la Guainía y Caquetá se es poco propicio el uso de paneles solares y turbinas eólicas debido a la pobre calidad de los recursos, asimismo el generador con gas tampoco es rentable.
5. Los departamentos que cuentan con grandes ríos tendrán una gran ventaja ya que las hidroeléctricas son mucho más económicas que los otros sistemas de generación eléctrica.
6. El viento en caso todas las zonas no interconectadas es poco favorable (menor a 5 m/s) lo que hace muy difícil la implementación de la turbinas eólicas, sobre todo en el sur del país.
7. San Andrés es un caso bastante específico donde la energía solar es una posibilidad bastante atractiva ya que cuenta con una radiación constante y lo suficientemente potente para la implementación de paneles como fuente primaria de generación energética para la isla.
8. En el estudio no varía la generación de mensual de electricidad a partir de energía eólica porque no se ingresaron datos de velocidad de viento mensuales, sino anuales.
9. En Bolívar se considera que la mejor combinación de sistemas de generación eléctrica es el solar-biomasa, debido a que el caudal y el viento son 2 recursos muy variables en el tiempo que pueden dejar sin abastecimiento a las zonas no interconectadas allí posicionadas.

10. La opción más económica para generación eléctrica a pequeña escala es la micro-central hidroeléctrica debido al costo del kilowatt 0.152, sin embargo tiene un alto riesgo de desabastecimiento de energía y un mediano impacto ambiental.
11. El híbrido sistema eólico-generado con biomasa presento una gran favorabilidad en regiones con vientos mayores a los 8m/s y cuenten con cultivos de palma de aceite, por ende el precio del kWh es bastante económico.
12. Para casos aislados como San Andrés y Providencia, el estudio arrojo que la mejor solución es un híbrido paneles solares, turbinas eólicas y sistema de almacenamiento, creando así un sistema robusto, con un precio del kWh bastante competitivo.
13. En lugares donde el viento sea mayor a 7m/s y sea constante este valor en todo el año como en el norte del Chocó el híbrido Turbinas Eólicas y baterías es la opción más propicia para generación eléctrica.
14. Los departamentos de Colombia donde la instalación de un arreglo solar fotovoltaico es propicia son Arauca, San Andrés y Bolívar según este estudio.
15. Los departamentos de Colombia donde la instalación de un arreglo solar no es propicia son Caquetá, Chocó, Guainía y Nariño, debido a su baja radiación solar en todas las temporadas climáticas.
16. El híbrido Paneles Solares-Generador de biomasa presento un bajo costo de instalación sin embargo el precio de operación es alto, por tal motivo no presentaba el mejor precio de kilowatt por hora.
17. Todos los resultados presentaron un aceptable y/o buen precio del kilowatt hora lo que los hace mucho más competitivos económicamente que tener que instalar largas líneas de alto voltaje de la red eléctrica para suplir esas zonas.

18. En Colombia la mejor opción para realizar un sistema solar fotovoltaico es a pequeña escala, a gran escala no se cuenta con la mejor radiación solar en gran parte del país.

REFERENCIAS

[1] Fernández, L. E. (2011). *Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de Biomasa en un reactor de lecho fijo*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad Ingeniería.

[2] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), (2003). Bases conceptuales para la regulación de la prestación del servicio de electricidad en las zonas no interconectadas. En *Documento CREG-073* (p. 98). Bogotá: autor.

[3] Decreto 257 (2004, 29 de enero). Estructura orgánica del IPSE. *Diario Oficial* (44.663).

[4] Departamento Nacional de Planeación DNP, 1999. Plan Colombia. Sector de Energía. Bogotá.

[5] Rodríguez, H. y F. González, 2000. *Opciones para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia*. Editora Guadalupe. Bogotá – Colombia, 2000.

[6] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, “Alternativas de Energía”, Bogotá, Colombia, 1999.

[7] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para ZNI, IPSE., “Presentación oficial”, Bogotá, Colombia, 2007.

- [8] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, U. 2009. *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bogotá.
- [9] Ingrid Johana Miranda Caicedo, O. L. . *Aprovechamiento del potencial energetico de la biomasa residual obtenida en Colombia*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. 2009
- [10] Javier Antonio Guacaneme Moreno, C. L. (2007). *Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas*. Bogota: REVISTA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.
- [11] Micro Hydro Power. (1 de 5 de 2013). *Micro Hydro Power*. Obtenido de <http://www.micro-hydro-power.com>
- [12] Gómez, Ad.: *Investigación del Proceso de Gasificación de Biomasa en un Gasificador en Paralelo*. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Grado, 2002
- [13] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGETICA, *Plan indicativo de expansión de cobertura del servicio de energía eléctrica*. Unidad de planeación minero energética.
- [14] D. Yecid Alfonso Muñoz, *Optimización de recursos energéticos en zonas aisladas mediante estrategias de suministro y consumo*. Valencia, España. Universidad politécnica de valencia, Tesis Doctoral, Marzo 2012.
- [15] Juan Camilo Restrepo López, *Aporte de caudales de los ríos baudó, san juan, patía y mira a la cuenca pacífica colombiana*. Nariño, Colombia, Grupo de Modelado Integral de Zona Costera con Énfasis en Riesgos Ambientales Marinos y Procesos Costeros, Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP), Mayo 2006.

[16] Gustavo Silva León, *La cuenca del río Orinoco visión hidrográfica y balance hídrico*. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 46 (1) 2005, 75-108. Mayo 2004.

[17] Comisión Mixta De Cooperación Amazónica Colombo – Brasileña, *Plan Modelo para el Desarrollo Integrado del Eje Tabatinga-Apaporis*, Secretaria Ejecutiva Para Asuntos Económicos Y Sociales, Washington, D.C 2001.

[18] Gobernación de Córdoba. 2012, Geografía de Córdoba-Río San Jorge. En internet: <http://www.cordoba.gov.co/cordoba/geografia.html>

[19] German Poveda, *La Hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna*. Revista Acad. Colombia Ciencias, 2004.

[20] Diana Marcela Zafra, Julian E. Guerrero, Sebastián Rivas, *Diseño por simulación de un sistema híbrido de generación eléctrica hídrico-eólico-fotovoltaico para RIOSUCIO, CHOCÓ usando Homer software*. Bucaramanga, Colombia, 2012.

[21] Unidad De Planeación Minero Energética, *Mapas de radiación global sobre una superficie plana*. Bogotá, Colombia, 2009

[22] Unidad De Planeación Minero Energética. *Atlas de viento y Energía Eólica en Colombia*. Bogotá, Colombia 2009.

[23] Academia Colombiana De Ciencias Exactas, FÍSICAS Y NATURALES (ACCEFYN), Factores de emisión de los combustibles colombianos. Bogotá, Colombia, Julio 2013

[24] CIVICSOLAR, *Price Catalog for Perlight cells*. San Francisco, California, Estados Unidos, Enero 2013.

[25] Perlight Solar, *PLM P-72 Series Datasheet*. El Segundo, California, Estados Unidos, Diciembre 2012.

[26] Surrete Battery Company Limited, *Surette 6-CS-25PS 6V 820AH Wet Battery Spec Sheet*. Nova Scotia, Canada, Abril 2010.

[27] BERGEY WINDPOWER CO. *Retail Price List*. Norman, Oklahoma, Estados Unidos, Enero 2011.

[28] BERGEY WINDPOWER CO. *BWC EXCEL Windpower generator owner's manual and part list*. Norman, Oklahoma 73069, Estados Unidos.

[29] SMA America, LLC. 2012, *Sunny Island 4548-uS / 6048-uS datasheet*, Estados Unidos.

[30] Fuentes, M, 2009. *El Uso De La Biomasa Para Electrificación De Zonas Rurales En Argentina*. Buenos Aires, Argentina, Instituto de Geografía.

[31] Hornblower Hybrid; *How power moves us*, San Francisco, California, Estados Unidos, 2008; <http://www.alcatrazcruises.com/website/documents/hybrid/Hybrid-Diagram.pdf>

[32] Basic Information, applications and SMA solutions; *Solar Stand-Alone Power and Backup Power Supply*, Ntrama, Ruanda, 2009; <http://files.sma.de/dl/10040/INSELVERSOR-AEN101410.pdf>