

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO- FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

11 de julio

2014

El proyecto resume las implicaciones de la implantación de un sistema autónomo híbrido eólico-fotovoltaico en el contexto de la política energética de Brasil y de los rasgos sociales de las comunidades indígenas, en concreto centrado en la comunidad de Maturuca.

**COMUNIDAD
DE MATURUCA**

Ana Fernández García

Claudia Gutiérrez Escribano

Marta María Madrona Seijas

Carlos Sánchez Smith



ÍNDICE GENERAL

- 1. OBJETIVO..... 6**
- 2. CONTEXTO..... 7**
 - 2.1 Introducción7**
 - 2.2 Política Energética..... 8**
 - 2.2.1 Historia.....8
 - 2.2.2 Política actual.....10
 - 2.2.3 Planificación13
 - 2.2.4 Centrales eléctricas y red eléctrica15
 - 2.3 Problemática del Amazonas..... 23**
 - 2.3.1 Preservar el Amazonas23
 - 2.3.2 Problemas que afrontar24
 - 2.3.3 Políticas de contención.....25
 - 2.3.4 Un paso atrás.....26
 - 2.4 Zonas rurales indígenas 27**
 - 2.4.1 Conflicto indígena.....28
 - 2.4.2 Necesidades energéticas de los pueblos indígenas30
- 3. APOYO GUBERNAMENTAL A SISTEMAS AUTÓNOMOS: PROGRAMA LUZ
PARA TODOS32**
 - 3.1 El programa..... 32**
 - 3.2 Organismos participantes..... 33**
 - 3.3 Acceso al programa 33**
 - 3.4 Sistemas aislados..... 34**
 - 3.5 Caso de Ilha de Lençóis 35**
 - 3.5.1 Localización.....35
 - 3.5.2 Descripción del sistema.....36
 - 3.5.3 Receptividad.....37
- 4. EXPERIENCIAS SIN ÉXITO EN SISTEMAS AISLADOS39**
- 5. ESTUDIO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA44**
 - 5.1 ¿Por qué la región de Roraima?..... 44**
 - 5.2 Tierra indígena Raposa Serra do Sol..... 45**
 - 5.3 Aproximación a la comunidad de Maturuca 47**



6. DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO49

6.1 Recurso 49

6.1.1 Primera aproximación al recurso de Roraima..... 50

6.1.2 Recurso eólico.....52

6.1.3 Recurso solar 54

6.2 Diseño del sistema 56

6.2.1 Configuración 56

6.2.2 Software empleado.....61

6.2.3 Resultados de la simulación..... 62

6.3 Seguridad eléctrica..... 71

6.4 Permisos..... 73

6.5 Mantenimiento..... 78

7. BALANCE ECONÓMICO DEL PROYECTO DE MATURUCA83

7.1 Formas de financiación..... 83

7.1.1 La inversión inicial..... 83

7.1.2 Conta de Consumo de Combustíveis fósseis (CCC-ISOL)..... 84

7.2 Costes del sistema..... 85

7.2.1 Inversión inicial..... 87

7.2.2 Costes de explotación 87

7.3 Escenarios de pago 88

7.3.1 El coste total lo asume la comunidad de Maturuca..... 88

7.3.2 Programa Luz Para Todos 89

7.3.3 Conta de Consumo Combustíveis fósseis..... 89

7.3.4 Diferentes escenarios de configuración 89

8. CONCLUSIÓN..... 91

9. APÉNDICES..... 92

9.1 APÉNDICE I..... 93

9.2 APÉNDICE II 95

9.3 APÉNDICE III 96

9.4 APÉNDICE IV..... 97

9.5 APÉNDICE V 98

9.6 APÉNDICE VI..... 99

9.7 APÉNDICE VII..... 100

9.8 APÉNDICE VIII..... 102

9.9 APÉNDICE IX..... 103

**ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN
RORAIMA, BRASIL
COMUNIDAD DE MATURUCA
Tutor: Oscar Perpiñán**

10. REFERENCIAS	104
11. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	106
12. ÍNDICE DE TABLAS	108

Agradecimientos

Este proyecto no podría haberse realizado sin la ayuda y el apoyo de algunas personas a las que nos gustaría destacar.

En primer lugar agradecemos a nuestro tutor, Oscar Perpiñán, por sus orientaciones, estímulo y correos de última hora. Estos meses habrían sido aún más confusos sin su ayuda. Además, gracias a él, hemos podido contactar con otras dos personas sin las cuales nunca hubiera sido posible este trabajo: Carlos García Paret, quien nos ha introducido en el mundo brasileño, y Ciro Campos de Sousa, nuestro contacto a pie de campo.

Por último, agradecer también a nuestros familiares y amigos que han sabido respetar nuestros días de “inmersión”.

1. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es plantear la electrificación de la comunidad indígena de Maturuca, una pequeña población en la región de Roraima (Brasil) a pocos kilómetros de la frontera con Guyana. Para ello, se estudian los aspectos políticos, económicos y sociales del país y los programas desarrollados por el gobierno para llevar la electricidad a toda su población. Se analizará el caso de las hidroeléctricas que se están construyendo por todo el territorio brasileño y los problemas que pueden acarrear.

Una vez estudiado el contexto general, dado que en ocasiones, la conexión a red más cercana se encuentra a más de 100 km de distancia, se llega la conclusión de que la utilización de sistemas autónomos es la solución para electrificar los pequeños pueblos que existen en el interior del Amazonas.

Existen ya proyectos desarrollados mayoritariamente por ONGs o a través del programa *Luz Para Todos*, que han empleado energía fotovoltaica, eólica o pequeña hidráulica para electrificar comunidades similares. La experiencia en programas previos es fundamental para el éxito de estos proyectos.

El proyecto Cruviana, iniciado por el Instituto Socioambiental [1], el CIR y la UFMA, surgido en el seno de la comunidad indígena, busca la electrificación de la comunidad de Maturuca. El conocimiento de este proyecto, nos resultó sumamente interesante, por tratarse de una idea de los indígenas para adaptarse a sus expectativas de crecimiento y no al revés, y es por ello que se decidió aportar una propuesta técnica para esta comunidad, que consistirá en un sistema híbrido eólico-fotovoltaico. Además, para su desarrollo, contamos con la colaboración de un miembro del Instituto Socioambiental, Ciro Campos, cuya información ha sido clave para conocer de cerca la comunidad de Maturuca.

2. CONTEXTO

2.1 Introducción

Brasil es el quinto país más grande del mundo en extensión, unos 8,5 millones de km², pero presenta una baja densidad poblacional, 23 hab/km². La población brasileña se concentra en su mayor parte en la costa este y sur del país, siendo los núcleos urbanos más grandes Río de Janeiro, São Paulo y Belo Horizonte, dejando las zonas interiores del país con grandes vacíos demográficos.

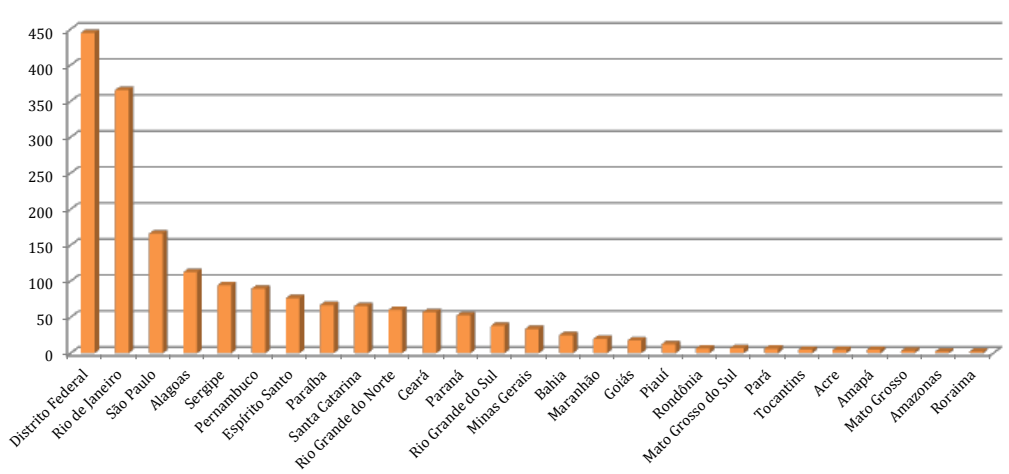


Ilustración 1 Densidad población por regiones. Fuente:EPE, elaboración propia

Desde el punto de vista económico, Brasil se encuentra dentro de los países considerados emergentes, con unas tendencias de crecimiento importantes. A pesar de haber ido manteniendo un ritmo de fuerte crecimiento económico, en 2012 se vio también afectado por la crisis. Aún así, se espera que Brasil crezca en la próxima década mucho más rápido que el promedio mundial [2]. Este crecimiento, se deberá principalmente a la inversión esperada tanto en los sectores de exploración y producción de petróleo como en infraestructuras, inversión que vendrá promovida principalmente por los grandes eventos deportivos que tendrán lugar en el país en los próximos años.

Además, Brasil está dentro del grupo conocido como los BRICS, que enmarca también a Rusia, India, China y Sudáfrica. Todos estos países han cobrado una mayor importancia en los últimos años debido a su peso económico, su población y, sobre todo, a su contribución al crecimiento económico global. Su estabilidad política, además de todas las características anteriores, han hecho de Brasil un lugar de oportunidades para negocios europeos y americanos que buscan diversificar sus actividades y evitar el estancamiento o la recesión en sus mercados nacionales.

Este desarrollo en el que se va a ver envuelto el país, llevará asociada una subida del consumo energético en todos los ámbitos. El sector comercial será el que más impulsará el crecimiento del consumo de energía en Brasil en la próxima década, seguido por el sector residencial y por la industria. [3] Por todo esto, el Ministerio de Minas y Energía tendrá que centrar su política en el crecimiento de la producción energética.

La diversificación de la generación es algo prioritario para todos los agentes económicos del país, ya que la dependencia en la gran hidráulica puede provocar interrupciones en el suministro eléctrico, debido a los periodos de sequías o a los problemas en las largas líneas eléctricas que comunican las presas del interior con los núcleos situados en la costa. A fin de mantener esta economía a la alza, estas interrupciones deben de ser evitadas.

2.2 Política Energética

2.2.1 Historia

En 1970, con la crisis del petróleo, Brasil comienza a introducir cambios en su matriz energética, con la finalidad de diversificar las fuentes de energía participantes y con la idea de disminuir su dependencia externa. La mayoría de las fuentes con las que se abastecía el país eran carbón (48%) y petróleo (38%) del cual, cerca del 85% era importado en 1979.[4]

Con la intención de reducir esta tendencia, se creó un programa de producción de alcohol a partir de caña de azúcar (PROALCOOL) en 1975, que buscaba incentivar la industria del etanol y con ello la diversificación de fuentes.

Además, se intensificó la exploración de la plataforma continental y se aceleró la construcción de infraestructuras hidroeléctricas que actualmente tienen una gran relevancia en la generación de electricidad.

Intensificar el esfuerzo de exploración en el mar continental, a partir de mediados de los años setenta, y estudiar la viabilidad de fuentes sustitutivas del petróleo para controlar la expansión de su demanda, han tenido como resultado la disminución de su participación y la de sus derivados en la oferta interna entre 1980 y 1990, y la reducción de la dependencia externa.

En la década de los noventa, se continuó reduciendo la dependencia y además, se decidió integrar los recursos vecinos mediante la construcción del gasoducto Bolivia-Brasil, terminado en el año 1999, y la línea de transmisión que conecta los sistemas eléctricos argentino y brasileño en el 1995. Esta integración regional ayudó a la diversificación de las fuentes de energía y dio más equilibrio a la matriz brasileña.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

El mercado petrolero se liberalizó en Brasil a partir de 1997. El mayor productor de petróleo del país es la empresa Petrobras, que además es la más grande del país y la única de la industria petrolífera que opera a nivel global. La compañía es de naturaleza semi-pública y con una participación mayoritaria del estado, aunque cuenta con participación extranjera.

A medida que estos cambios han tenido lugar, se han ido reduciendo las necesidades de carbón, y aumentando la importancia de la energía hidráulica. Se produjo también un descenso de la demanda de energías renovables, asociada a la reducción del uso de biomasa de baja calidad para usos térmicos, como la leña y el carbón. El aumento de la participación de los derivados de la caña de azúcar y del gas, y la disminución del peso del petróleo explican la mayor diversificación de la oferta ya en 2007. Esta evolución puede observarse en la gráfica inferior.

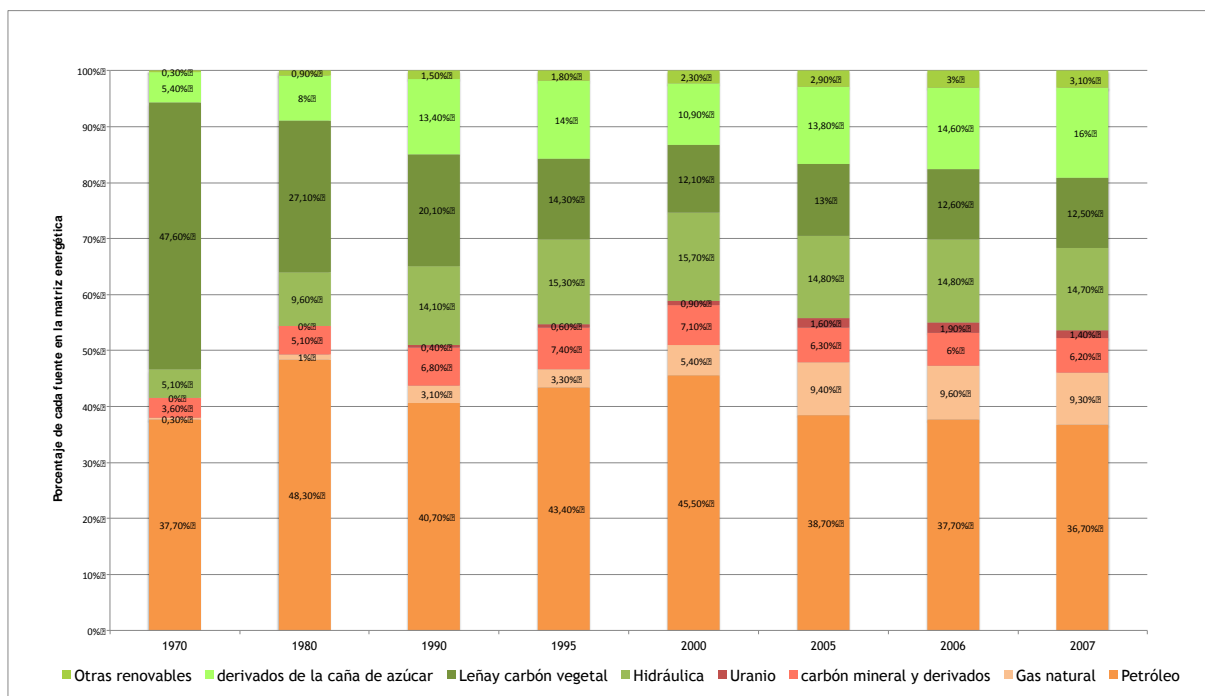


Ilustración 2 Variación del porcentaje por fuente en la matriz energética.

Fuente: Ministerio de Minas de Energía

La evolución temporal del porcentaje de energía renovable frente al de fuentes no renovables, en la matriz energética, también se muestra en el siguiente gráfico:

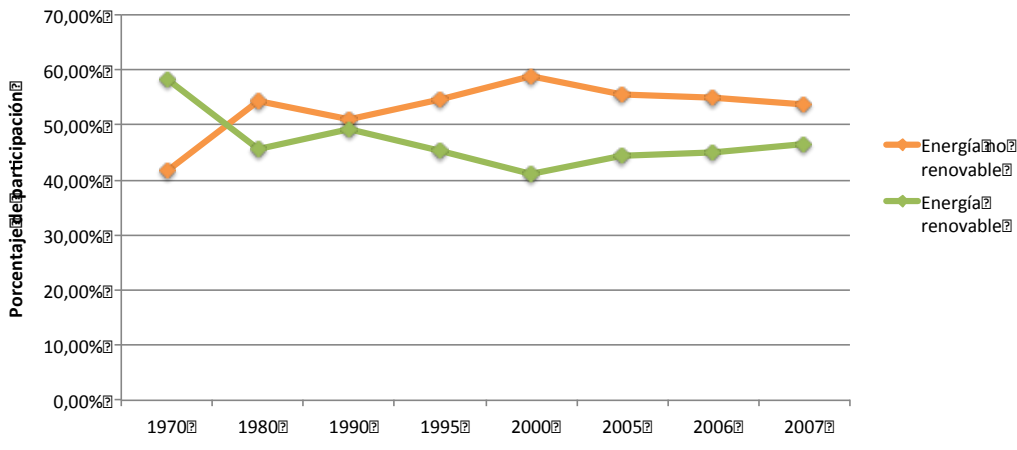


Ilustración 3 Participación renovable vs participación no renovable.
Fuente Ministerio de Minas y Energía

En el 2007, la aportación de energía no renovable era de un 53,6% frente a un 46,4% de generación renovable.[2]

2.2.2 Política actual

La política energética de Brasil tiene como objetivos principales la reducción de la dependencia energética exterior y la diversificación de la matriz de generación eléctrica, evolución que ha ido desarrollándose desde los años setenta a raíz de la crisis del petróleo, como se explicó anteriormente.

La diversificación de la generación de electricidad está motivada por la dependencia de las centrales hidroeléctricas que tiene el país, las cuales proporcionan cerca del 75% de la producción actualmente. Estas centrales, tienen asociadas una estacionalidad que acarrea problemas en el suministro eléctrico en los periodos de sequía. A esto se suma el hecho de que las grandes plantas de generación están alejadas de los núcleos de consumo, y la infraestructura eléctrica es insuficiente en muchos de los casos.

○ MIX ENERGÉTICO

Actualmente, el mix energético de Brasil tiene la estructura que se presenta en la siguiente figura:

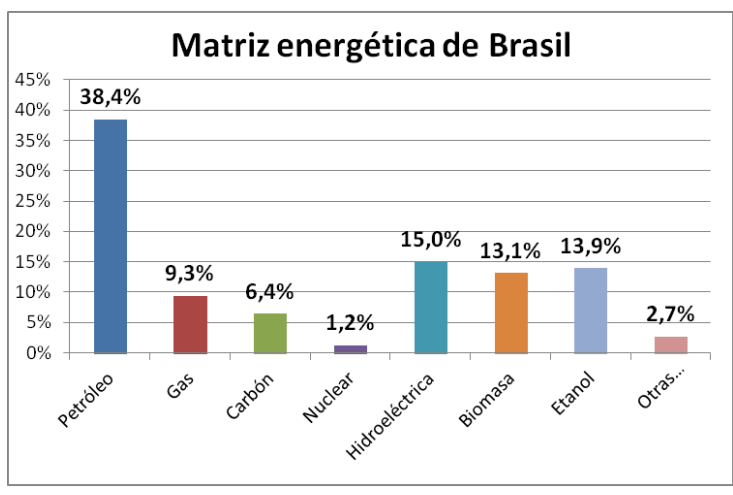


Ilustración 4 Mix energético Brasil.
 Fuente: Ministerio de Minas y Energía

El mayor porcentaje lo tiene el petróleo, seguido del la energía hidráulica que cobrará aún más importancia en el mix eléctrico. En cuanto al etanol, vemos que ocupa un 13,1% del total. Brasil es el primer productor de etanol del mundo y el segundo exportador, gracias al éxito del programa PROALCOOL que lanzó el gobierno en 1975 para incentivar la industria.

En cuanto al porcentaje de renovables, el mix brasileño cuenta con más de un 40%, mientras que la media mundial está alrededor del 19,5%, según fuentes de IEA (International Energy Agency), siendo en Alemania el 24,7%. Esto coloca a Brasil como el país con la matriz energética más renovable del mundo.

Brasil cuenta con unas reservas de 13 billones de barriles de petróleo, según *Oil and Gas Journal*, con lo que se sitúa en segunda posición por detrás de Venezuela en los países productores de petróleo de América del Sur.

En 2012, se produjo una caída en la producción de petróleo y derivados debido en su mayoría a la interrupción de la producción en el yacimiento de Frade al noreste de Río de Janeiro. Esto, llevó al gobierno brasileño a realizar una campaña de 10 años para aumentar la producción a más de 5 millones de barriles para 2021(en 2012 se produjeron 2,7 millones de derivados de petróleo al día). [5]

En términos generales, Brasil ha diversificado su matriz con respecto a los años setenta, basándose principalmente en la producción de etanol con caña de azúcar, la industria petrolera nacional y las centrales hidráulicas.

○ MIX ELÉCTRICO

La electricidad juega un papel importante en el desarrollo industrial de cualquier país, y por tanto en el desarrollo humano. Encontrar una matriz de producción eléctrica sostenible que evite la dependencia exterior es el desafío de todos los países. El crecimiento económico, así como el aumento de calidad de vida de las sociedades, está ligado al crecimiento de la demanda de electricidad, por lo que la su generación se vuelve un tema de especial relevancia para los países emergentes.

El consumo de electricidad en el ámbito residencial, ha evolucionado principalmente como resultado de la combinación de los siguientes efectos: el creciente número de hogares y la evolución en la posesión y uso de equipos electrónicos. Se espera que la tendencia siga aumentando, puesto que el crecimiento económico del país está ligado a una mayor electrificación de la sociedad[2].

Dentro de los objetivos del gobierno, como ya se ha comentado, está la diversificación de su matriz de producción eléctrica, además del incremento de la infraestructura para abastecer una demanda creciente. Se pretende priorizar la producción de electricidad con energías renovables para cubrir el aumento de la demanda. Este compromiso se establece en la Ley nº 12.187 de 29/12/2009 y reglamentado a través del decreto: nº 7.390 de 09/12/2010.

La distribución total de generación eléctrica por fuente está representada en la figura inferior.

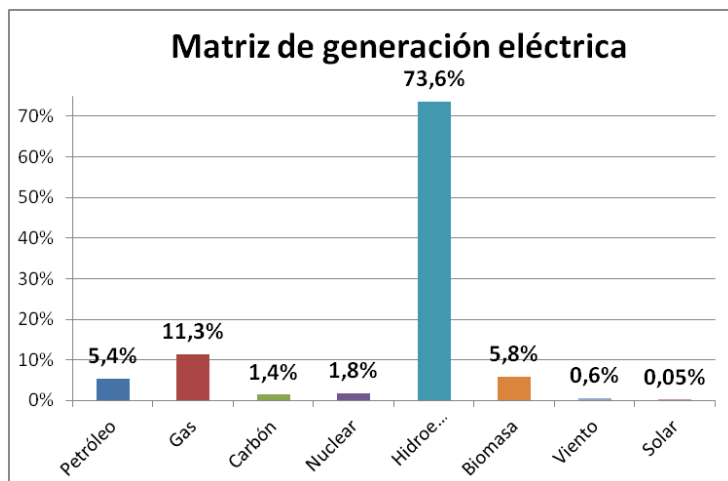


Ilustración 5 Matriz generación eléctrica Brasil (2012)
Fuente: Ministerio de Minas y Energía

Como puede observarse, más del 80% de la electricidad es producida a partir de fuentes renovables. Dentro de ellas, la hidráulica es la fuente mayoritaria.

La contribución de los combustibles fósiles a la generación de electricidad (en 2012 un 16,7%), creció un 5% en 2013 con respecto al año anterior. De este porcentaje, el 14,1% fue producido por autoconsumo, generalmente generadores diesel ligados a las zonas rurales. La mayoría de los lugares asilados no tienen la posibilidad de conectarse a la red, por ello utilizan sistemas de producción eléctrica más comunes, y a su vez poco fiables.

2.2.3 Planificación

Con motivo de llevar a cabo una política energética planificada, se crea el Plan Nacional de Energía 2030 (PNE 2030), elaborado por el Ministerio de Minas y Energía de Brasil, que visualiza un escenario para la demanda y la oferta de energía del país en los próximos 20 años. Con este ejercicio de planificación se entiende que Brasil seguiría encaminándose hacia un mayor uso relativo de sus fuentes de energía propias, al tiempo que se producen modificaciones en la participación relativa de los componentes de su matriz energética. En particular, en el futuro habría una mayor participación de los derivados de la caña de azúcar y del gas [4] y una reducción de la participación de los insumos externos en la oferta energética total, facilitada por la consolidación de la autosuficiencia de petróleo, la pérdida de importancia de la importación de gas, y la reducción del peso relativo de la hidroelectricidad importada en las zonas fronterizas, donde no puede abastecerse con electricidad nacional. Es el caso del estado de Roraima, lugar en el que se centra este proyecto, donde más del 90% de la energía consumida proviene de la central hidroeléctrica de Macágua, en el complejo hidroeléctrico de Guri en Venezuela. [6]

- Proyecciones

Se espera, según las previsiones, que en 2030 haya una reducción de la dependencia del petróleo y sus derivados de un 28% con respecto a los datos de 1970. Las fuentes renovables presentan un aumento de entre 2,9% y 9,1% según el escenario considerado. Además, se observa el aumento de la relevancia de la energía nuclear, que en 2005 apenas tenía importancia. Las nuevas plantas nucleares se llevarán a cabo por la empresa Electronuclear.

A pesar de que existe un gran número de centrales hidráulicas planeadas, la diversificación de la matriz hace que la hidroeléctrica disminuya en porcentaje para la previsión del 2030.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL
COMUNIDAD DE MATURUCA
 Tutor: Oscar Perpiñán

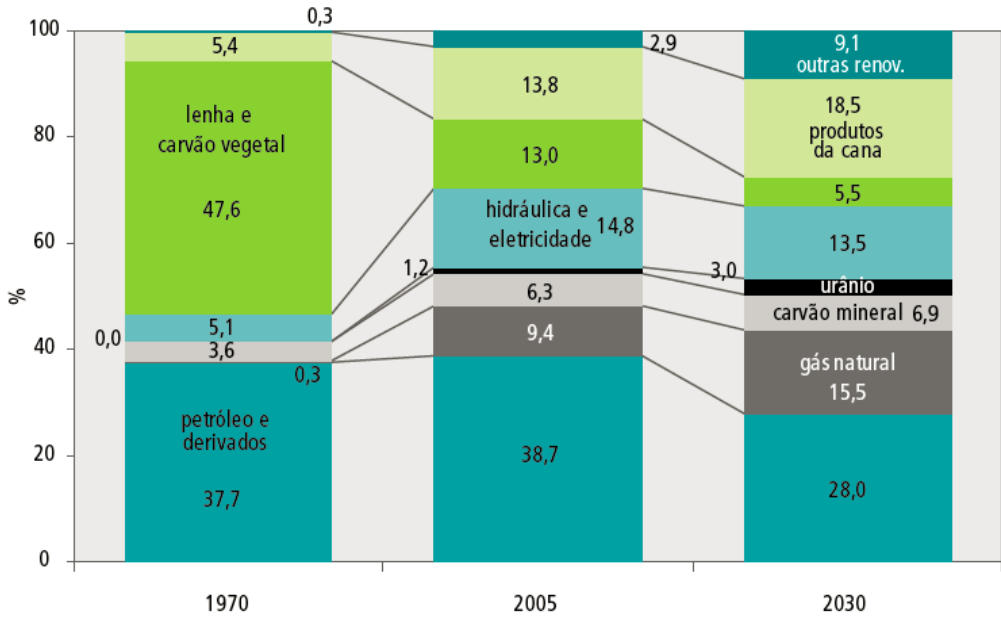


Ilustración 6 Evolución de la estructura de la oferta interna de energía en Brasil. Fuente: PNE

La capacidad total de generación eléctrica instalada en Brasil era de unos 120 GW a principios de 2013, considerando la hidroeléctrica de Itaipu, que pertenece al estado paraguayo, pero que proporciona electricidad al sistema brasileño.

La previsión de crecimiento de la demanda de electricidad en Brasil, se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Previsión de crecimiento de la demanda. Fuente PDE

Año	Residencial	Industrial	Comercial	Otros	Total
2013	121.890 GWh	190.914 GWh	83.230 GWh	70.527 GWh	466.561 GWh
2014	145.528 GWh	219.56 GWh	104.387 GWh	81.335 GWh	550.806 GWh
2022	178.659 GWh	257.397 GWh	138.979 GWh	96.794 GWh	672.008 GWh

Además del desarrollo de las centrales hidroeléctricas, que se tratará con más detalle en el punto siguiente, y que conlleva una planificación de la extensión de la red de transporte, es importante hablar en este sentido del programa PROINFA. Fue creado en 2002 buscando incentivar la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, en concreto: la biomasa, la energía eólica y las pequeñas centrales hidroeléctricas.

La energía fotovoltaica quedó fuera del PROINFA sin existir a priori un motivo aparente, por lo que es la tecnología menos desarrollada en el país. A pesar de esto, se espera un crecimiento de la fotovoltaica, no sólo en sistemas aislados, sino también de grandes plantas para cubrir la demanda de los núcleos de población con mayor densidad de Brasil. En este escenario, se espera

que la energía solar pase de representar 0,5% del mix energético a un 9,26% en el año 2050.[7] A pesar de ello, hasta hoy la fotovoltaica sólo ha tenido la oportunidad de participar una vez en las subastas generales y tan sólo ha tenido lugar una subasta únicamente de fotovoltaica, que tuvo lugar en el estado de Pernambuco en 2013.

Las subastas son el método por el cual para un periodo de 15 a 20 años, una cantidad de energía es adjudicada a las compañías que oferten su generación o suministro al gobierno a menor coste. Como se ha explicado en el párrafo anterior, existen subastas generales y otras específicas para cada tecnología.

2.2.4 Centrales eléctricas y red eléctrica

Introducción. Organización del sistema eléctrico.

El órgano institucional principal, que se encarga de las políticas energéticas, y por ello de las directrices del sector eléctrico, es el Ministerio de Minas y Energía. A partir de él se elaboran los diferentes planes estratégicos del gobierno para el desarrollo del sector. El CNPE, Consejo Nacional de política Energética, se ocupa de forma más directa de elaborar la estrategia en materia de energía del país.

Por otro lado, la regulación y supervisión del sistema eléctrico la lleva a cabo ANEEL, Agencia Nacional de Energía Eléctrica, que se encarga de que el mercado eléctrico desarrolle su actividad, favoreciendo el equilibrio entre todos los agentes.

Dentro del mercado eléctrico, la generación y la comercialización son mercados liberalizados, mientras que el transporte y la distribución son monopolios naturales que son adjudicados mediante subastas.

Es importante destacar el papel del EPE, Empresa de Pesquisa Energética,[3] que presta servicio en la realización de los estudios necesarios en términos energéticos. Esta institución realiza las investigaciones necesarias para la expansión del sistema eléctrico y por tanto, el desarrollo de los diferentes programas gubernamentales, se basa en los resultados obtenidos por esta organización.

Para la operación del sistema eléctrico, existen dos organismos específicos que se encargan de asegurar el buen funcionamiento de la transmisión de electricidad por un lado y de la comercialización en el mercado de la misma. El ONS es el operador del sistema, que será el encargado de gestionar el buen funcionamiento del SIN, Sistema Interconectado Nacional y el CCEE, Cámara de Comercialización de Energía Eléctrica, que hace posible el mercado de electricidad.

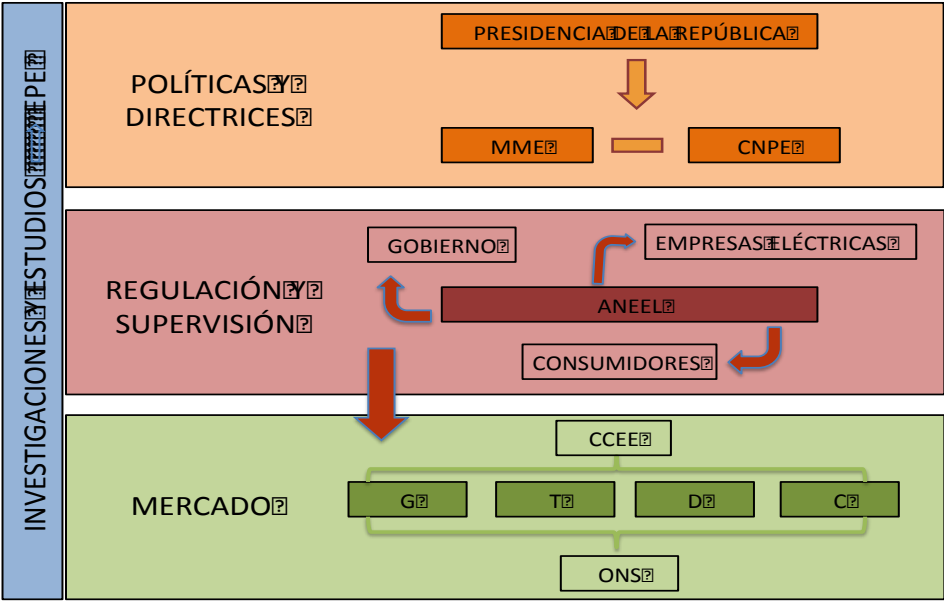


Ilustración 7 Organismos brasileños.
Elaboración propia

Sistema Interconectado de Energía: SIN

La transmisión de energía eléctrica en Brasil, está organizada a partir del SIN: Sistema Interconectado Nacional. Existe una Red Básica de Transmisión de Energía, que une los centros de generación eléctrica con los de consumo a lo largo de todo el país. Se aplican diferentes valores de tensión, en función de las distancias entre la generación y consumo. De esta manera, la Red de Distribución básica tiene valores de tensión comprendidos entre 230kV y 750kV.

En la imagen inferior, se muestra el mapa de las líneas de transmisión y la proyección de las nuevas líneas planeadas para este año.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL
COMUNIDAD DE MATURUCA
 Tutor: Oscar Perpiñán

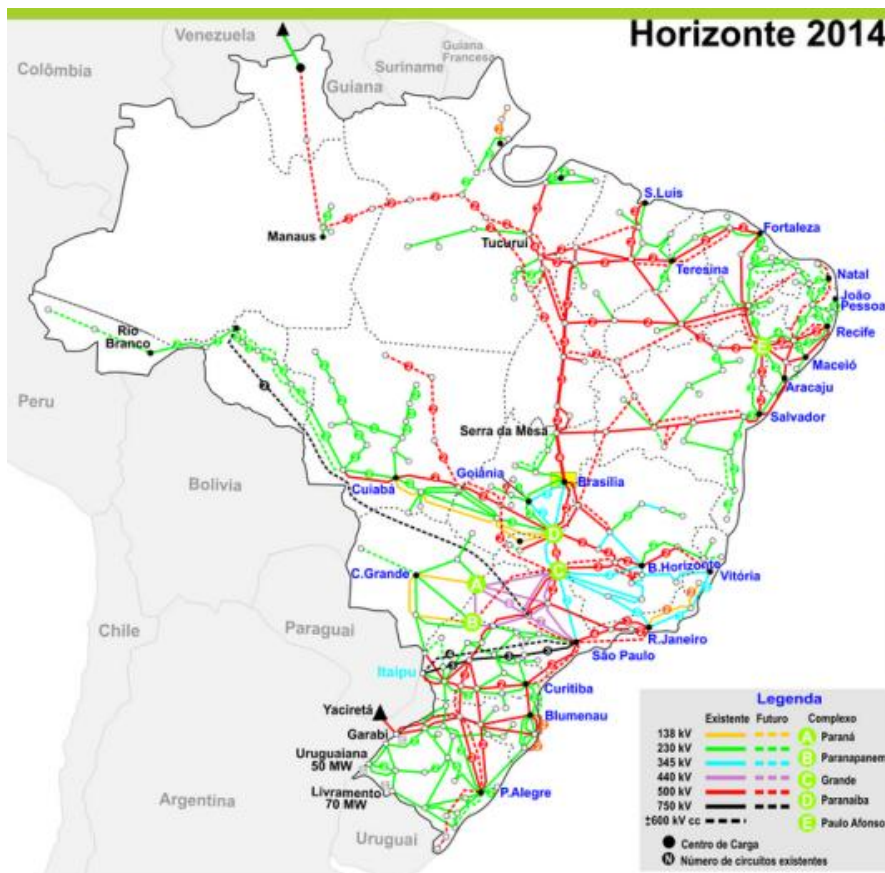


Ilustración 8 Líneas de transmisión. Fuente: EPE

El Sistema Interconectado Nacional se encuentra dividido en distintos subsistemas, correspondientes a las principales regiones del país. De forma natural, el SIN está dividido en dos grandes centros de carga: El Sur- Sudeste/Centro- Oeste y Norte-Nordeste. Estos dos se encuentran ligados mediante una línea de transmisión de 500 kV de una longitud de unos 1300 km.



Ilustración 9 Subsistemas. Elaboración propia.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

Dentro de estos dos grandes centros de consumo, se pueden hacer nuevas divisiones, apareciendo los subsistemas: Sudeste/Centro-Oeste, Sur, Nordeste y Norte.

Los grandes consumidores de electricidad del país se encuentran en la región sur y en la costa noreste. Por otro lado, la generación eléctrica, como ya se explicó anteriormente, proviene en su mayor parte de las grandes presas repartidas en las cuencas de los ríos más importantes del país.

Según ANEEL, un 98% del mercado de electricidad pertenece al sistema interconectado y tan sólo un 2% se debe a sistemas aislados. Éstos últimos se encuentran mayoritariamente en la región norte, en el estado de Amazonas, coincidiendo con el área de mayor valor medioambiental y que consecuentemente, es la de menor densidad poblacional de todo el país.

Para realizar una proyección del consumo de electricidad en el futuro, que servirá para la planificación del sistema de transmisión, el gobierno brasileño tiene en cuenta las previsiones de crecimiento económico, a nivel global pero también a nivel sectorial. De esta manera, y de acuerdo con el Plan Decenal de Generación de Energía, se prevé el siguiente incremento de la **demanda de electricidad** en Brasil, y que llevará asociada la consecuente construcción de infraestructura eléctrica:

Tabla 2 Demanda de energía por subsistema. Fuente EPE

	Subsistema				SIN	Sistemas Aislados	Brasil	
	Norte	Nordeste	Sudeste/Centro-Oeste	Sur				
Año	33575	66664	280626	80411	461276	5284	466560	
2013	44498	79904	330850	93545	548797	2009	550806	GWh
2017	53819	100115	402373	113156	669463	2545	672008	
1022	33575	66664	280626	80411	461276	5284	466560	

El subsistema del Sur, como vemos en la tabla, es el que va a tener una demanda de electricidad mayor, aunque ya en el 2013 era el de mayor consumo. Por otro lado, el mayor crecimiento porcentual de demanda eléctrica se va a dar en el subsistema del Norte.

Tabla 3 Porcentaje de crecimiento por subsistema. Fuente EPE

	Subsistema				SIN	Sistemas Aislados	Brasil	
	Norte	Nordeste	Sudeste/Centro-Oeste	Sur				
Año	8,60%	4,60%	4,20%	3,80%	4,50%	-23,70%	4,20%	
2013	3,90%	4,60%	4%	3,90%	4,10%	4,80%	4,10%	
2017	6,20%	4,60%	4,10%	3,80%	4,30%	-10,60%	4,10%	
1022	8,60%	4,60%	4,20%	3,80%	4,50%	-23,70%	4,20%	

En términos generales el aumento de la carga eléctrica en el SIN se mantiene en una media de crecimiento del 4,2%.

En la tabla queda reflejada la variación de la carga tanto en el SIN como en los sistemas no conectados a la red. Podemos señalar como significativa la variación de los sistemas aislados en el tiempo, ya que en 2013 estos caen un porcentaje de 23%. Por otro lado, se prevé un crecimiento de alrededor del 5% para 2017 y de nuevo una caída del 10% aproximadamente en 2022. Esto se debe a un mayor desarrollo de los sistemas de generación eléctrica aislados que crecen con mayor rapidez que la infraestructura eléctrica de transmisión a la que son conectados posteriormente.

Generación Hidroeléctrica

Puesto que la generación eléctrica del país proviene principalmente de las fuentes hidroeléctricas, puede explicarse con facilidad el sistema de transmisión entendiéndose la localización de las grandes presas hidráulicas.

El sistema Sudeste/Centro-Oeste se compone de todas las presas dentro de la cuenca del río Paraná todas ellas ligadas, con el centro de generación Itaipu que puede considerarse independiente.

La conexión de tres grandes grupos de generación, Manaus, Amapá y Boa Vista al SIN, en la zona norte del país, supone una gran inversión e incremento en la infraestructura de transmisión. Estos sistemas se considerarán como un subsistema que estará conectado en un futuro al del Norte. Para los dos primeros la conexión está prevista a lo largo de 2013 y Boa Vista en 2015. La ubicación de estas presas puede observarse de manera esquemática en la Ilustración 10.[2]

Las interconexiones ligadas a estas centrales, suponen implicaciones importantes para el desarrollo futuro de la política energética del país, ya que abre la vía a posibles conexiones de nuevas hidroeléctricas en el margen izquierdo del Amazonas. El potencial de generación eléctrico a partir de energía hidráulica en la región del Amazonas es muy alto y sólo un pequeño porcentaje está siendo explotado. A pesar de ello, las repercusiones ambientales de la construcción de grandes centrales de generación, podrían causar daños irreparables en la selva amazónica, que durante años ha sufrido la amenaza de la deforestación.

Se suma además la presa de Belo Monte, instalada en el río Xingú en el estado de Pará, que también irá conectada al sistema del Norte en el 2016 y cuya licitación comenzó en el año 2010. Esta presa, con una capacidad instalada de 11000 MW será la tercera más grande del mundo. Según FUNAI[8] podrían existir en la zona, indígenas no contactados, por lo que la construcción de esta presa, podría amenazar no sólo el modo de vida de estos pueblos, sino su salud. A pesar de que las protestas de los habitantes de la zona, en su mayoría indígenas continúan, la construcción de la presa sigue adelante. La presa de Belo Monte, así como las mencionadas anteriormente, forman parte del *Programa de Aceleración del Crecimiento* del gobierno brasileño, iniciado por el

presidente Lula Da Silva en 2007 y que continúa ahora con el gobierno de Dilma Rousseff con el nombre de PAC-2.[9]

Tres centrales hidroeléctricas más, serán conectadas en un futuro cercano al subsistema Sudeste/Centro-Oeste. Estas son las de los ríos Tapajós, Jurena y Teles Pires que serán conectadas a partir de 2015. Al igual que la de Belo Monte, estas presas no están exentas de polémica. Asociaciones ambientalistas e indigenistas se oponen a estas construcciones, que consideran perjudiciales para sus territorios.

En el mapa que se muestra a continuación, pueden verse las diferentes interconexiones entre los subsistemas y la expansión prevista del SIN, en función de la proyección de las centrales hidroeléctricas más importantes.

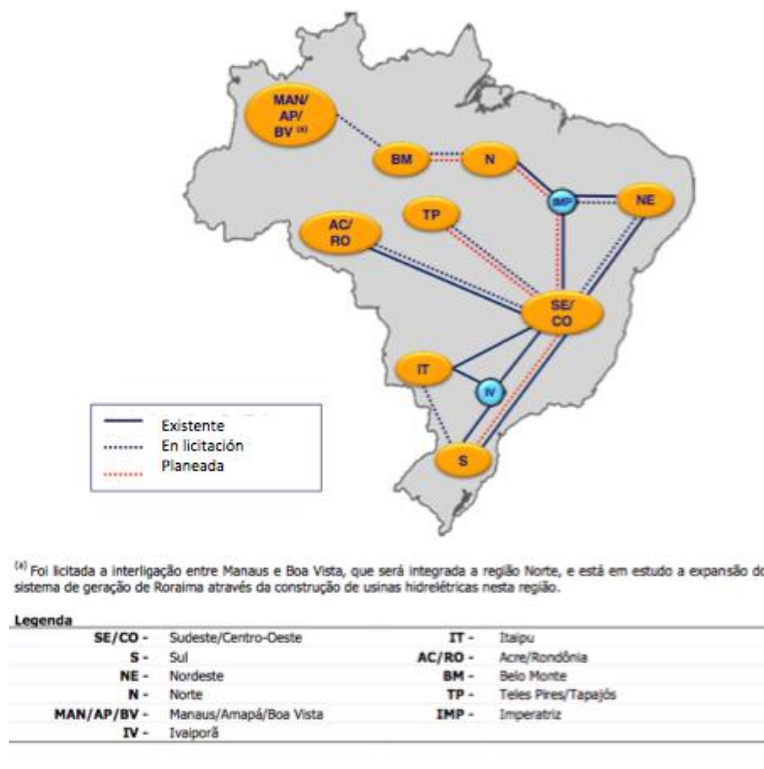


Ilustración 10 Conexiones entre subsistemas

Hidroeléctrica en Roraima

En lo que respecta al estado de Roraima, donde se desarrolla nuestro estudio de electrificación rural, existen varios proyectos importantes por sus implicaciones y que se encuentran cerca de nuestra región:

- Tamanduá. Los estudios para el desarrollo de esta central hidroeléctrica llevan realizándose desde los años setenta, pero aún no se encuentra dentro del cronograma del gobierno. Esta

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

central se encontraría dentro de territorio indígena y los enfrentamientos con las comunidades se han repetido desde entonces.

- Boa Vista. La central hidroeléctrica de Bem Querer, se encuentra planificada dentro del programa PAC-2, y contaría con una capacidad de 700 MW. La conexión de esta central con Manaus supondría la construcción de 700 Km de líneas de transmisión. El principal problema que las asociaciones plantean para esta central hidroeléctrica es que al encontrarse en una región muy llana, el área de inundación es demasiado grande en función a la generación que aportaría.

Proyecciones de centrales hidroeléctricas

La expansión de las grandes centrales de generación eléctrica pasa por el crecimiento de la hidráulica. En el Plan Decenal de Energía, se resumen las proyecciones de potencia instalada para cada fuente, donde la hidroeléctrica es la que adquiere mayor importancia. En el siguiente cuadro, puede verse el porcentaje de plantas planeadas y contratadas de la capacidad de expansión prevista.

Tabla 4 Plantas contratadas y planeadas Fuente: PDE 2011

Fuente	Plantas contratadas y autorizadas	Plantas planeadas
Hidroeléctrica	34,80%	56,70%
PCH-Biomasa-eólica	28,40%	41,10%
Térmica	18,40%	1,10%
Nuclear	5,30%	0,00%
Gas Natural	2,60%	1,10%
Carbón	2%	0%
Petróleo/diesel	8,50%	0%

La potencia hidroeléctrica total instalada en el país es de 77,7 GW. Sin embargo, el potencial de generación eléctrico a partir de energía hidráulica en la región del Amazonas es mucho mayor, 121,6 GW, según el PNE 2030, y sólo un pequeño porcentaje está siendo explotado, alrededor de un 9% según ANEEL[10]. A pesar de ello, las repercusiones ambientales de la construcción de grandes centrales de generación, podrían causar daños irreparables en la selva amazónica, que durante años ha sufrido la amenaza de la deforestación.

Tabla 5 Hidráulica. Capacidad instalada, planeada y potencial de generación. Fuente: PDE 2022

General		Amazonas		
Capacidad de generación eléctrica total	Capacidad de generación centrales hidroeléctricas	Potencial de generación en el Amazonas	Capacidad instalada	Capacidad planeada (2020)
120 GW	77 GW	121 GW	10 GW	44 GW

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

El desarrollo de las redes de transmisión eléctricas está estrechamente ligado a la construcción de las nuevas centrales. En el Plan Decenal 2012-2022 está prevista la construcción de 169 nuevas líneas de transporte, lo que supone alrededor de unos 40.000 km de línea, es decir un crecimiento del 35% en la actual configuración.

El Plan Decenal presenta los resultados de estudios de impacto socioambiental provocado por la expansión de las líneas de transmisión. Este análisis tiene en cuenta el tipo y uso de suelo por el que discurrirán las líneas, el área ocupada, que depende de la tensión de la misma y el interés socioambiental de esta tierra.

Tabla 6 Superficie ocupada por la extensión de nuevas líneas. Fuente: EPE

Tipo y uso del suelo	Área ocupada por la extensión de las nuevas LT (Km ²)					Total
	Amazonia	Mata Atlántica	Caatinga	Pampas	Pantanal	
Vegetación autóctona	450	421	71	17	7	966
Silvicultura	0	7	0	2	0	9
Pasto y agropecuaria	343	231	63	23	1	661
Agricultura	30	80	0	18	0	128
Área Urbana	2	3	0	0	0	5
Otros	22	4	7	2	1	36
Total	847	746	141	62	9	1805

El total de terreno ocupado por la extensión de las nuevas líneas de transmisión asciende a 1805 km², de los cuales, la mayoría son tierras de vegetación autóctona, en un porcentaje del 54%. La mayoría de ellas se encuentran en la región del Amazonas.

Tabla 7 Interferencia de las nuevas líneas de transmisión. Fuente: EPE

Tipo y uso del suelo	Interferencia nuevas LT (Km ²)					Total
	Amazonia	Mata Atlántica	Caatinga	Pampas	Pantanal	
Protección Integral	0,02	0,4	0	1	0	1,42
Uso Sustentable	34	39	7	1	0,04	81,04
Tierra indígena	12	0	0	0	0	12
Asentamiento de Incra	33	2	6	0,3	0,2	41,5
Área prioritaria de conservación de la biodiversidad	308	242	44	22	8	624
Sin información	0	1	1	0	0	2
Total	387,02	284,4	58	24,3	8,24	761,96

La expansión del sistema de transmisión eléctrica es necesaria para fortalecer el SIN y garantizar un suministro fiable a los grandes consumidores de electricidad del país, localizados en la región del Sur y el Nordeste. El crecimiento de estas infraestructuras conlleva la afección de grandes áreas de terreno, así como la necesidad de adaptar, en el mejor de los casos, o construir nuevos accesos para la instalación de las torres y líneas.

Implicaciones de las centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas, a pesar de todas sus ventajas, pueden considerarse poco sostenibles teniendo en cuenta algunos de los problemas que surgen en su instalación.

Más de 1.000.000 de personas se han visto ya afectadas por la construcción de las grandes presas brasileñas y debido a la inundación de más de 34.000km², se han visto obligadas a cambiar su lugar de residencia sin recibir la mayoría de ellas ninguna compensación que al menos les permita tener unas condiciones de vida similares a las que tenían antes de la implantación de la central.

La reducción del caudal de agua de un río, alterando sus patrones de crecimiento, y con ello el movimiento de los peces, pone en peligro la seguridad alimentaria de las comunidades indígenas que normalmente viven en sus alrededores. Conlleva también la inundación de tierras, de cultivos, bosques y casas, y la reubicación forzosa de comunidades enteras. Además, los embalses de las presas son un perfecto caldo de cultivo de transmisores de enfermedades, como los mosquitos de la malaria. Es más, la gran afluencia de personas que se requieren para la construcción de una gran presa, tiene significativas implicaciones para la salud de la población indígena, ya que los trabajadores pueden portar enfermedades totalmente desconocidas y mortales para ellos.[11]

Otro factor agravante, es la falta de participación de los habitantes de la zona en la instalación de una central hidráulica y en la decisión de si finalmente se lleva a cabo. Habitualmente, la construcción de estas centrales es planificada desde el gobierno central sin previa consulta a los habitantes de la región.

La energía hidráulica es una buena alternativa frente a los combustibles fósiles y Brasil tiene muchas características para impulsar su desarrollo. Aún así, sería conveniente plantearse alternativas a esta tecnología, como pudieran ser la fotovoltaica o la eólica, que puedan instalarse fuera de del Amazonas, ralentizando la deforestación y evitando la construcción de más presas, líneas eléctricas y carreteras, que suponen un gran impacto en la cuenca amazónica.

2.3 Problemática del Amazonas

2.3.1 Preservar el Amazonas

El Amazonas, es una selva tropical repartida entre nueve países latinoamericanos de la que Brasil posee más del 50%. Con casi seis millones de kilómetros cuadrados, se le considera el pulmón verde de La Tierra, ya que mantiene el equilibrio climático absorbiendo alrededor del 10% de las

emisiones de CO₂ del planeta y liberando el 20% del oxígeno que necesitamos los seres humanos y animales para la supervivencia.

Asimismo, existe otra razón por la que región amazónica es tan importante y tiene que ver con su abundante biodiversidad, ya que es la porción del planeta que posee la mayor reserva biológica. Podemos encontrar cerca del 30% de todas las especies terrestres del la Tierra, lo que convierte a Brasil en el país con mayor biodiversidad del mundo. Existen más de 50.000 especies de plantas conocidas, 1.700 especies de aves y entre 500 y 700 tipos diferentes de anfibios, mamíferos y reptiles.

El clima mundial está muy vinculado a este gran bosque y se cree que debido a la desertificación y la deforestación acelerada, podría incentivar el cambio climático.

Todos los científicos están de acuerdo al afirmar que es de suma importancia encontrar las políticas adecuadas para la conservación del Amazonas, debido a la biodiversidad que comentábamos anteriormente y el papel crucial que tiene en el equilibrio de nuestro clima.

2.3.2 Problemas que afrontar

La región del Amazonas es una gran reserva de recursos naturales que durante siglos han sido explotados por el ser humano para su supervivencia. Pero la sobreexplotación de cualquier recurso lleva a su agotamiento prematuro y evitar que esto ocurra con el bosque del Amazonas es prioritario no sólo para el país, sino para todos los demás, por las implicaciones medioambientales que acarrea.

Las maderas tropicales están siendo taladas desde hace tiempo a un ritmo desmesurado, ya que por sus cualidades son ideales para muebles de alta calidad o instrumentos musicales. El problema reside en que hace unos años el bosque era capaz de regenerarse gracias al desarrollo de las semillas de la vegetación nativa de alrededor, pero a día de hoy, en muchos casos es tal la intervención del hombre que la selva es incapaz de recuperarse, viéndose afectado su mecanismo natural y por ello su equilibrio. [12]

Un factor importante en la problemática del Amazonas reside en el avance de la agricultura y, sobre todo, de la ganadería. Esto se debe a que Brasil se ha convertido en el mayor exportador de carne de ternera del mundo, a la vez que su demanda crece desorbitadamente. Esto está provocando el aumento de los incendios para abrir claros que serán dedicados a la ganadería. Los sistemas extensivos de baja productividad, con alrededor de un animal por hectárea de pastizal, son el tipo de ganadería que predomina en el Amazonas.

A esto hay que sumarle que Brasil es el segundo país exportador de soja del mundo. Los productores de soja se apoderan habitualmente de los pastos del ganado para el cultivo y obligan a los pastores a introducirse en la selva en busca de un nuevo lugar para sus reses. Así es como la frontera natural retrocede.

No hay que olvidar tampoco los incendios que se dan en la selva durante la estación seca y que no sólo aumentan la emisión de CO₂ a la atmósfera, sino que influyen en el calentamiento global de la Tierra e interrumpen la formación de nubes de lluvia, provocando un aumento del tiempo de estancia de los aerosoles, de gran impacto para la salud.[12]

Por último, la empresa petrolera brasileña Petrobras ha iniciado las exploraciones en busca de hidrocarburos en una de las zonas más recónditas de la Amazonia, ya que la existencia de petróleo está prácticamente asegurada, poniendo en serio peligro a varios pueblos indígenas aislados. [11]

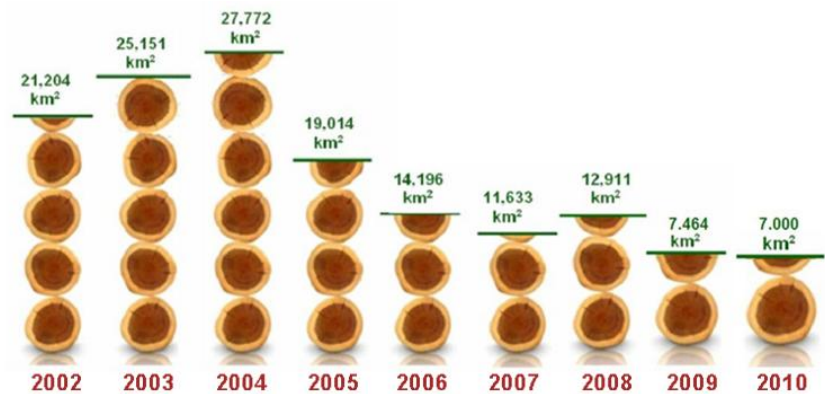


Ilustración 11 Superficie deforestada en los últimos años

2.3.3 Políticas de contención

El gobierno brasileño, desde comienzos de este siglo, se ha venido percatando de los problemas que puede acarrear el retroceso de la selva amazónica, por lo que se han ido implementando varias políticas de conservación de estas tierras.

Éstas, unidas a la caída de los precios agrícolas que desalentaron la tala de árboles para expansión de tierras dedicadas a la agricultura, lograron que la deforestación experimentara un importante retroceso en el período comprendido entre el año 2005 y el 2010.

La primera política de recuperación fue el lanzamiento del Plan de Prevención y Control de la deforestación en la Amazonia Legal (PPCDam) en el 2004. Además, la movilización de algunas organizaciones clave como el Instituto Nacional de la Investigación Espacial (INPE) o la policía Federal y Rodoviaria facilitó la implementación de los procedimientos necesarios para la

monitorización forestal mediante sensores remotos. Esto fue posible gracias a la fundación del Sistema de Detección de la Deforestación en Tiempo Real (DETER). Además se creó el centro para la monitorización medioambiental (CEMAM) en el Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales (IBAMA).

El INPE y el IBAMA colaboraron en la elaboración y distribución de mapas digitales georeferenciados que actualizaban los cambios más recientes en la cobertura forestal de las zonas más críticas. A la par que se gestionaban todas las políticas del PPCDam, se crearon áreas protegidas lo que provocó una expansión del suelo protegido y el reconocimiento de los territorios indígenas.

En el 2008, se firma el decreto presidencial 6321 que sienta las bases legales para catalogar los municipios con elevadas tasas de deforestación y de esta manera intentar tomar las medidas necesarias en cada caso. Se priorizaron treinta y seis municipios que fueron sometidos a un seguimiento más riguroso de las actividades irregulares. Además se agilizaron las directivas relacionadas con los trámites burocráticos para acelerar la investigación de infracciones medioambientales.[13]

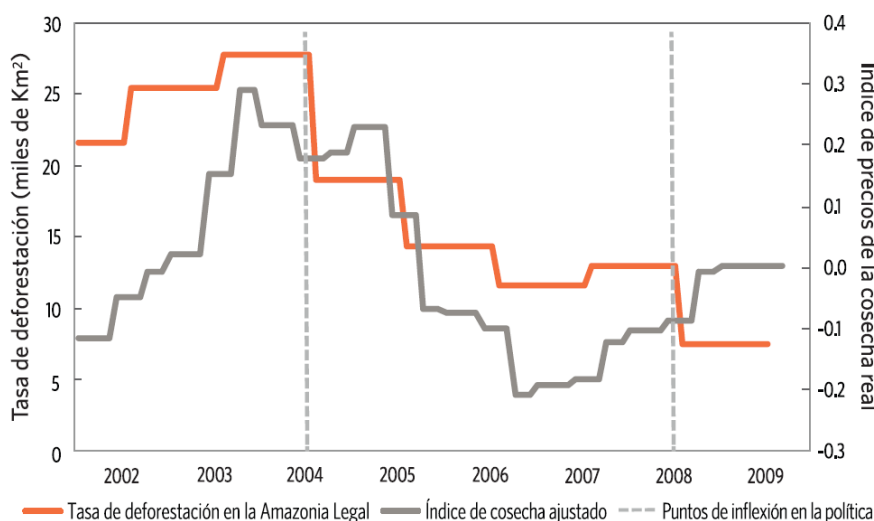


Ilustración 12 Deforestación y tendencias según las políticas aplicadas

2.3.4 Un paso atrás

En abril de 2012 se aprobó el último código forestal nacional. El código estableció como primera medida que las actividades agrícolas iniciadas en APPs (áreas de preservación permanentes), hasta el 2008 incluido, pudieran continuar llevándose a cabo. Debemos saber que las APPs, son áreas protegidas cubiertas o no por vegetación nativa, que tienen como función conservar los recursos hídricos, el paisaje, proteger la fauna y la flora y asegurar el bienestar de las

poblaciones de la zona. Son áreas naturales intocables, con límites muy rígidos de explotación, por lo que ONGs y ecologistas en seguida manifestaron su descontento por esta ley que favorece a los agricultores.[14]

También se reduce la protección de las zonas de rivera en las APPs. Previamente, en los ríos de menos de 5 metros, había que preservar una franja de 30 metros de ancho a casa lado. Con el código esa anchura se reduce a la mitad y no se establecen reglas para ríos más anchos.

Además, el código también permite que las áreas de reserva que habían estado protegidas desde el lanzamiento del PPCDAm, pasaran a ser reducidas de un 80 a un 50%.

Por todo esto, se piensa que el lanzamiento del código tiene parte de la culpa de que la deforestación brasileña aumentara un 28% durante el 2013, tras llevar cuatro años consecutivos a la baja ya que con él, se han expandido las áreas agrícolas, se ha especulado con el terreno y se han llevado a cabo grandes proyectos de infraestructura como la hidroeléctrica de Belo Monte.[14]

La pérdida de selvas naturales, como hemos visto en todos los puntos anteriores, es un factor que contribuye muchísimo a las emisiones globales. Brasil, está considerado entre los cinco países que más gases de efecto invernadero emiten, y no es por las altas emisiones de combustibles fósiles, sino por la deforestación de sus bosques.

2.4 Zonas rurales indígenas

Durante el siglo XX se ha ido incrementando tanto la cantidad como el tamaño de las ciudades de Brasil, así como el número de personas que viven en estas áreas urbanas en relación a los espacios rurales. Según el Banco Mundial, un 15% de la población a fecha de 2012 vive en áreas rurales[15].

Esta población, se podría dividir en dos grupos diferenciados: la sociedad nacional emergente y la población indígena.

El sistema de relaciones territoriales y políticas entre las nuevas sociedades en formación y las sociedades preexistentes en la región, siempre ha estado caracterizado por conflictos: la expansión de unas y la subordinación de otras. Se trata de una frontera racial, de identidad cultural y lingüística difícil de encajar.

Es importante tener en cuenta que cuando se habla de pueblos indígenas se trata de una gran diversidad de entidades sociales en distintas situaciones que hablan sus propias lenguas y conservan sus propias tradiciones y modos de vida.

2.4.1 Conflicto indígena

Brasil se trataba de un país habitado por indígenas hasta la conquista e invasión en el año 1500 por tropas portuguesas. La población originaria estaba compuesta por diversos grupos étnicos, que tras la colonización y el avance de la explotación económica masiva han ido viendo sus territorios reducidos al mínimo, siendo expulsados a manos del gobierno o de grandes industrias ganaderas, mineras, madereras, productores de arroz, cazadores, o centrales hidroeléctricas...que han tenido interés económico en la zona y les han expulsado mediante el uso de la violencia e intimidación.

Los bosques del Amazonas, por ejemplo, forman parte del hábitat de muchos pueblos indígenas. Alrededor de 150 millones de personas dependen de la supervivencia de estos bosques y ríos. Sin embargo, muchos de estos pueblos son desalojados aunque vivan en esos territorios desde tiempos inmemoriales. Casi nunca se les da el derecho de intervenir en las decisiones, y con la destrucción, se quedan sin hogar.

Además de las muertes en estos enfrentamientos, el contacto con los colonos y trabajadores europeos supone para los pueblos indígenas una amenaza, ya que son especialmente vulnerables a epidemias debido a su aislamiento.

Todo esto ha llevado a los pueblos indígenas a unirse en la lucha por preservar sus territorios ancestrales, protegiendo así su cultura, lengua y tradición. Este movimiento se inició al noreste del estado brasileño, en Roraima. El procedimiento administrativo de demarcación de tierras indígenas se inició a través la FUNAI (Fundação Nacional do Índio), principalmente durante la década de 1980. El objetivo es preservar estos espacios territoriales dentro de los cuales los pueblos indígenas pueden organizar con relativa independencia su vida social y cultural y pueden mantener en cierta medida sus propias instituciones políticas.

A través del Consejo Indígena de Roraima y Rainforest Foundation US, el territorio de Raposa Serra do Sol fue el primero en realizar una petición al Consejo Interamericano de Derechos Humanos en 2004, y consiguieron que en 2009, la Corte Suprema de Brasil reconociera este territorio como indígena, obligando al resto de asentamientos a marcharse[16], convirtiéndose así en ejemplo de lucha por su fuerza y determinación.

El Territorio Indígena (TI) es reconocido a través de requisitos técnicos y legales, según los términos de la Constitución Federal de 1988 y el Estatuto del Indio (Ley 6.001/73). Según el párrafo primero del artículo 231 de la Constitución Federal, el territorio indígena es un tipo específico de propiedad, de naturaleza original y colectiva, que no debe confundirse con el concepto de derecho civil de la propiedad privada. En él es indispensable la conservación de los recursos naturales necesarios para su bienestar y el desarrollo de sus actividades productivas, y su reproducción física y cultural, según sus usos, costumbres y tradiciones.[8] Se basa en el principio de que los indios son

los primeros y naturales señores de la tierra, y esto es la fuente primaria de su derecho que es anterior a cualquier otro. [17] La Tierra Indígena debe ser identificada, reconocida, demarcada y homologada. Se les reconoce a los indígenas la posesión permanente y el usufructo de las riquezas del suelo, y de los ríos y lagos existentes.

La política de organización territorial del Gobierno Federal, mediante incentivos fiscales, políticas específicas y fondos exclusivos para las tierras indígenas destinados a conservación territorial y medioambiental, educación, asistencia técnica agrícola... está destinada para que los municipios estén en mejores condiciones de cumplir con sus responsabilidades. Sin embargo, contribuye también a la protección del medioambiente, la biodiversidad, y el cambio climático global ya que supone una preservación del entorno para proteger los modos de vida tradicionales de los indios.[8]

Con todas las medidas tomadas, Brasil tiene actualmente alrededor de 600 tierras indígenas, 227 pueblos con un total de aproximadamente 480000 personas. Estas tierras representan el 13% del territorio nacional, 1.1 millones de km². [8]

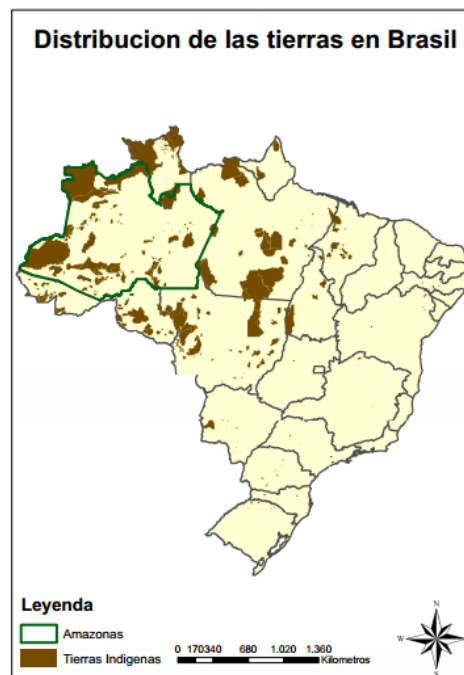


Ilustración 13 Distribución de Tierras Indígenas en Brasil

La mayoría de las áreas indígenas (un 98%) están situadas en la llamada Amazonia Legal (región norte, y centro-oeste del país), que abarca los municipios de Tocantins, Mato Grosso, Maranhão, Roraima, Rondônia, Pará, Amapá, Amazonas y Acre. Casi el 27% del territorio amazónico está ocupado por tierras indígenas (111 millones de hectáreas). Sin embargo, sólo acoge al 42% de la población aborígen de todo el país.[1] Los territorios restantes, un 2%, se extienden por las regiones Noreste, Sudeste, Sur y el estado de Mato Grosso do Sul.

Desde 1991, el Censo Demográfico recolecta todos estos datos sobre la población indígena. El censo del año 2000 mostró un crecimiento muy por encima de lo esperado, pero dado que no se recogieron más datos específicos, se desconoce la razón del aumento de 294 mil a 734 mil personas (dato que no se puede deber a natalidad, mortandad o migración). En el censo demográfico de 2010, ya se incluyeron más preguntas como la localización del domicilio: dentro o fuera de los declarados territorios indígenas (TI). El resultado fue que un 64% viven en áreas rurales, y de ellos, un 58% en tierras indígenas (TI) reconocidas.[18]

La región brasileña con mayor población indígena es el norte (342000), seguida del nordeste (232000).

Sin embargo, la deuda histórica de devolución a los pueblos indígenas de su territorio dista mucho de ser saldada aún. De las 1045 tierras contabilizadas por las ONGs, sólo el 34% estaban regularizadas a finales de 2012. La presión del agronegocio y las infraestructuras hidroeléctricas ha hecho que el pasado año sólo se regularizaran 7 territorios.[1]

Existen además grupos de indígenas llamados aislados o no contactados. Estos pueblos nunca han tenido trato con la FUNAI ni la sociedad nacional. En general, evitan el contacto, y viven en las zonas de la Amazonía, el norte de Minas Gerais, el parque indígena de Araguaia o en parques nacionales. Las informaciones sobre ellos son escasas, se conoce de su existencia a través de otros grupos indígenas o investigadores, que narran encuentros fortuitos o informaciones de terceros. La FUNAI tiene un organismo encargado de protegerles, la Coordenação Geral de Índios Isolados e Recém Contatados (CGIIRC), que ha confirmado la existencia de 28 grupos de este tipo, pero no se sabe a ciencia cierta cuántos pueden ser ni qué lenguas hablan. [17]

2.4.2 Necesidades energéticas de los pueblos indígenas

Las comunidades indígenas viven de sus tierras: practican la agricultura (caña de azúcar y soja), caza y pesca. Además, están a cargo de su salud y educación, y están cada vez más interesados en adquirir bienes como la televisión, radio, DVD, teléfono... Buscan desarrollar su economía mediante la venta de carne de ganado, pescado, venta de ropa o productos de arcilla.[6]

Estas poblaciones indígenas se encuentran generalmente en áreas aisladas a las que las líneas eléctricas nacionales no tienen acceso. Por lo que se sabe, emplean pequeños generadores diesel para satisfacer sus necesidades energéticas. Estos sistemas pueden ser administrados por el propio dueño, o por las comunidades, y normalmente estarán encendidos solamente durante algunas horas al día. [6] Además, algunas comunidades aisladas disponen de generación mediante placas fotovoltaicas para abastecer escuelas y puestos de salud, gracias al programa *Luz Para Todos*, cuyo funcionamiento detallaremos en el apartado 3.

El gobierno central tiene planteado un amplio sistema de generación eléctrica y abastecimiento de la población basado en grandes centrales hidráulicas, y térmicas en menor medida, cuyas redes de distribución deben ser instaladas por todos los municipios. La ejecución de las obras de instalación de las líneas de transmisión y subestaciones necesarias, es responsabilidad del gobierno federal en colaboración con la Compañía Eléctrica.

Sin embargo, estos proyectos de grandes presas, en lugar de ser una ayuda para los pueblos indígenas, se construyen sin su consentimiento libre, previo e informado, y resulta en la destrucción de sus tierras. La creación de una presa conlleva la reducción del caudal de agua de un río, alterando sus patrones de crecimiento, y con ello el movimiento de los peces, poniendo en peligro la seguridad alimentaria de las comunidades. Conlleva también la inundación de una tierra, de cultivos, bosques y casas, y la reubicación forzosa de comunidades enteras. Además, los embalses de las presas son un perfecto caldo de cultivo de transmisores de enfermedades, como los mosquitos de la malaria. Es más, la gran afluencia de personas que se requieren para la construcción de una gran presa, tiene significativas implicaciones para la salud de la población indígena, ya que los trabajadores pueden portar enfermedades totalmente desconocidas y mortales para los indígenas.[19]

Los pueblos indígenas tienen, en general, mayor dificultad para dar a conocer sus preocupaciones y derechos. En ocasiones, no existen datos precisos sobre las poblaciones indígenas, lo que hace difícil para los constructores realizar las evaluaciones de impacto ambiental de las centrales hidráulicas, obviando la multitud de formas en que estos pueblos usan su entorno y cómo dependen de él. En otros casos, dado que las indemnizaciones sólo se otorgan a quienes tienen el título de propiedad legal sobre la tierra, y dado que el gobierno no reconoce el derecho de propiedad territorial a algunos pueblos indígenas, resulta fácil para las empresas internacionales operar en territorio indígena con impunidad. [19]

Por todo ello, existe una tendencia generalizada dentro de los pueblos aborígenes, de oposición ante cualquier proyecto de electrificación que venga de la mano del gobierno federal, debido a la trayectoria histórica de invasiones y subordinación. Es aquí donde se abre un amplio horizonte de implantación de sistemas aislados de electrificación que las comunidades acogerán libremente y de manera colaborativa, ya que realmente promueven su crecimiento y desarrollo, siempre que se tengan en cuenta sus costumbres, usos y necesidades, tanto a la hora del diseño como de la implantación. [19]

3. APOYO GUBERNAMENTAL A SISTEMAS AUTÓNOMOS: PROGRAMA LUZ PARA TODOS

3.1 El programa

El gobierno federal lanzó en 2003 el desafío de acabar con la exclusión eléctrica en el país. El programa *Luz para todos* surgió con la meta de llevar energía eléctrica de manera gratuita a más de 10 millones de personas en el medio rural.

El programa está coordinado por el Ministerio de Minas y Energía, operado por Electrobrás y ejecutado por las compañías eléctricas y otras cooperativas en colaboración con los gobiernos estatales.

El mapa de la exclusión eléctrica en el país, revela que los hogares sin acceso a la energía son los de salarios más bajos. Alrededor del 90% tiene ingresos inferiores a tres salarios mínimos.

La llegada de la electricidad pretende facilitar la integración de los programas sociales del gobierno, y con ellos, servicios sanitarios, educación, abastecimiento de agua y saneamiento.

A pesar de los fondos reservados para este fin, gracias al Censo de 2010, el IGBE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)[18] se percató de que aún existían muchas familias principalmente del Norte y el Nordeste sin poder acceder a electricidad.

Es por esto, que se instituyó una nueva fase del programa para el periodo 2011-2014 que se centra en los ciudadanos considerados en los planes de “Plano Brasil Sem Miséria” y en “Programa Territórios da Cidadania” en los que se incluye la población extremadamente pobre, poblaciones indígenas, asentamientos afectados por la reforma agraria y regiones perjudicadas por la construcción de centrales hidroeléctricas. (Decreto 7520 del 8 Julio de 2011) Para atender a todas estas comunidades, el gobierno destinó recursos de los fondos provenientes de la Cuenta de Desarrollo Energético (CDE) y de la Reserva Global de Reversión.

3.2 Organismos participantes

Para garantizar el funcionamiento del programa, varios organismos están participando de la siguiente manera:

- Comité Directivo Nacional (CGN): formado por el Ministerio de Minas y Energía, Electrobrás y sus filiales, ANEEL y los coordinadores regionales. Se encargan de coordinar, supervisar y controlar las acciones del programa en todo el país.
- Comité de Gestión de Estado (CGE): Integrado por el Ministerio de Minas y Energía, las distribuidoras de electricidad, gobiernos estatales, municipios y los representantes de la sociedad. Supervisa de cerca el desarrollo del proyecto y el cumplimiento de las metas establecidas.
- Electrobras: pone en funcionamiento el programa y es el responsable de los contratos con las compañías eléctricas además de encargarse de supervisar las obras.
- ANEEL: Tiene la responsabilidad de regular el sector eléctrico y supervisar el cumplimiento de los objetivos del programa.

3.3 Acceso al programa

El habitante de las zonas rurales que no tenga electricidad y que cumpla los requisitos del programa deberá ir a registrarse a su distribuidor correspondiente según el catastro.

Como se ha dicho previamente, el programa se centra actualmente en atender la demanda de las familias contempladas en el “Plano Brasil sem Miséria” y en el “Programa Territórios da Cidadania”, comunidades afectadas por la construcción de centrales hidráulicas, escuelas públicas, puestos de salud y pozos comunitarios, comunidades especiales como las minorías raciales...

Este programa, contempla atender la demanda de toda esta población a través de una de las siguientes alternativas:

- Extensión de la red
- Sistemas con generación descentralizada
- Sistemas de generación individual

3.4 Sistemas aislados

Uno de los grandes desafíos del programa es servir a las comunidades aisladas, especialmente las ubicadas en la Amazonia. Para esto, el Ministerio de Minas y Energía ha elaborado el “Manual de Projetos Especiais” (Manual de Proyectos Especiales) para atender a las regiones remotas y de difícil acceso. Establece los criterios técnicos y financieros para ser utilizados en estos casos con el uso de fuentes alternativas de electricidad.

Los proyectos especiales son aquellos que se refieren a proyectos de electrificación rural en los que las redes de conexión están a gran distancia de los núcleos a electrificar. Además, estos asentamientos son de difícil acceso para el transporte de materiales y equipos y suelen tener por lo general baja densidad de población. De esta manera, se hace imperativa la generación de energía descentralizada, priorizando la utilización de fuentes renovables de energía compatibles con la realidad local y mitigando el impacto ambiental.

Dentro de las opciones tecnológicas, se consideran los sistemas de generación descentralizada de mini y micro centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, fotovoltaica, eólica, sistemas híbridos o el uso de nuevas tecnologías como los postes de resina reforzado con fibra de vidrio o los cables especiales para su uso bajo el agua.

Los recursos necesarios para los costos directos de la inversión inicial (adquisición de materiales, equipos, mano de obra...), será 100% en forma de subvención económica.

El consumo de electricidad, por otra parte, se abona mediante una cuota mensual que variará en función de la demanda y de la renta mínima familiar.

Luz para todos, incluye una ayuda económica especial para comunidades indígenas. Esta ayuda, también llamada tarifa social, consiste en que las familias indígenas con un ingreso familiar menor o igual a la mitad del salario mínimo, tendrán derecho a un descuento del 100% hasta un límite de consumo de 50kWh/mes (Artículo 2, sección 4 de la ley 12.212/10). Para obtener este descuento, deben estar inscritos en el Registro Único de Programas Sociales del Gobierno Federal (CadÚnico) y el coste lo sostendrá la Cuenta de Desarrollo Energético (CDE).

3.5 Caso de Ilha de Lençóis

En el marco del programa gubernamental Luz Para Todos, la UFMA (Universidade Federal do Maranhão) desarrolló, a través del núcleo de Energías Alternativas, un programa de generación eléctrica con un sistema híbrido eólico-fotovoltaico en Ilha de Lençóis (Cururupu) en 2008.

Este proyecto suponía abastecer con energía eléctrica al municipio durante 24h al día mediante energías renovables provenientes del viento y el sol.

3.5.1 Localización

Ilha dos Lençóis es una Isla del archipiélago de Maiaú en el municipio de Cururupu que se encuentra situada al noreste del país, en la región de Maranhão. El viaje desde el continente en barco dura cerca de 8h.

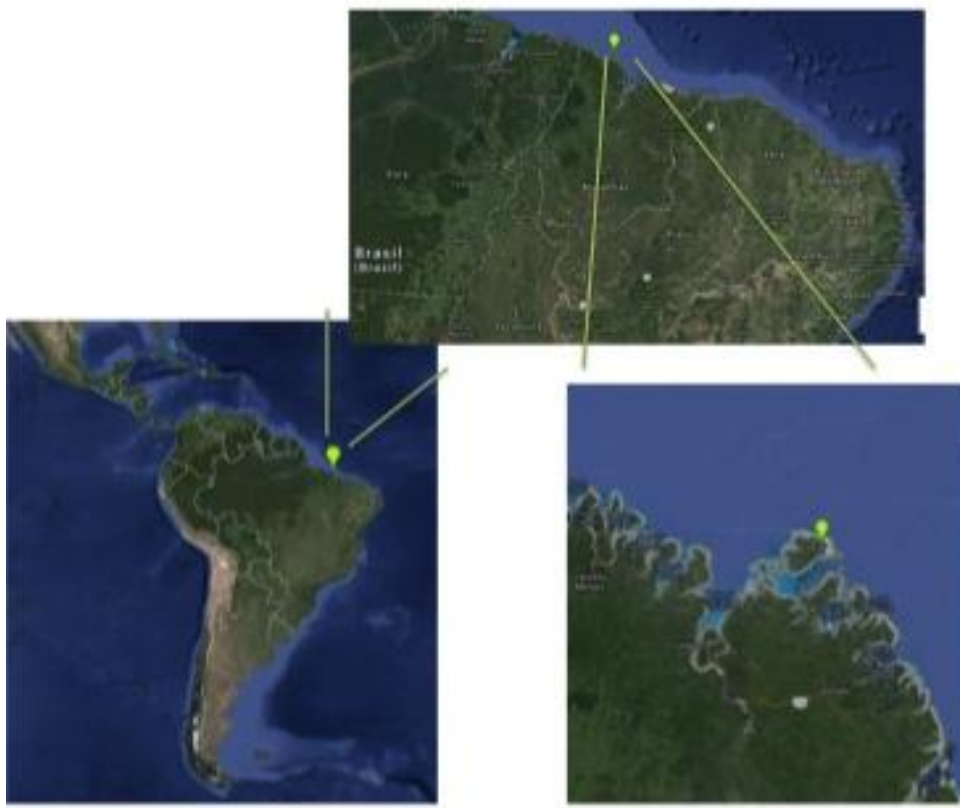


Ilustración 14 Situación Ihla dos Lençóis

La isla es una extensión de dunas. En ella residen alrededor de 90 familias, en residencias de madera principalmente, y cuya principal actividad es la pesca. El hecho de que las dunas puedan

desplazarse, hace que los habitantes de la isla, tengan que trasladar sus residencias de tanto en cuanto, para evitar que sean cubiertas por la arena. [20]

Esta Isla forma parte de un litoral de alto valor ecológico, en concreto de la RESEX: Reserva Extrativista de Cururupu, lo que suponía ciertas restricciones a la hora de construir. [20] Como ejemplo, la construcción de una fábrica de hielo para facilitar la conservación del pescado, que económicamente hubiera supuesto un empuje para la población, tuvo que ser excluida del proyecto.

3.5.2 Descripción del sistema

El sistema de generación eléctrica está diseñado de manera que la demanda de la población pueda verse suplida en su mayor parte con energía eólica y fotovoltaica. Además, se dispone de un generador diesel que será capaz de abastecer el consumo eléctrico en caso de que no pueda proporcionarse mediante las fuentes renovables.

La comunidad cuenta, como se dijo anteriormente, con 90 familias cuya actividad principal es la pesca. Además, disponen de un pequeño centro de salud, una escuela y algunos comercios.

Para abastecer la electricidad de esta pequeña comunidad, el sistema híbrido cuenta con:

- 3 turbinas eólicas de 7,5 kW de 30 m de altura.
- Un generador fotovoltaico de potencia 21 kWp.
- 120 baterías de 150Ah.
- Un generador diésel de 53 kVA.

Este sistema ha permitido que más del 95% de la electricidad que necesita la comunidad sea suplida con fuentes renovables.

El diseño del sistema podemos observarlo en el siguiente esquema:

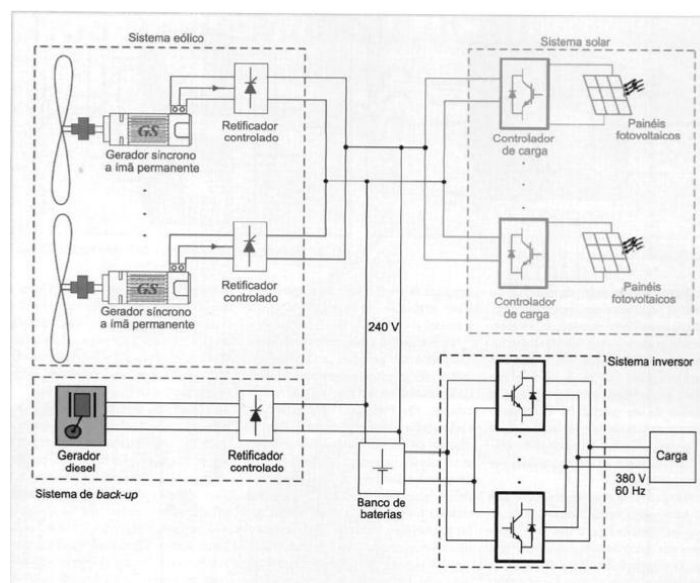


Ilustración 15 Diseño sistema Ilha dos Lençóis.
Fuente: BONAN et al.(2009) ed. MORALES (2011)[21]

Esta instalación cuenta con un bus de corriente continua al que se encuentran unidos los diferentes componentes del sistema. Los aerogeneradores, tienen un rectificador para poder unirse al bus, y lo mismo el generador diésel. En el caso del generador fotovoltaico, es necesario un regulador de carga. El banco de baterías se une directamente al bus de continua y a partir de él, hay una salida hacia el inversor, que transforma la corriente en alterna a 380 V para suplir a las cargas.

3.5.3 Receptividad

El proyecto híbrido eólico-fotovoltaico en la isla no fue el primer contacto con la electricidad de la comunidad, que ya en 1998 tuvieron acceso a un generador diésel que les permitía tener luz durante la noche a algunas de las residencias.

El proyecto de Ilha dos Lençóis se había pensado en un principio para Ilha do Caojal, en el municipio de San Luis, pero la instalación fue rechazada por la comunidad. Finalmente, se escogió Ilha de Lençóis para ubicar el proyecto, aunque esto trajo también algunos problemas, debido a que la isla pertenece a RESEX, como se dijo anteriormente, lo que suponía cambios en la infraestructura y las exigencias socioambientales. [20]

A pesar de los problemas acontecidos por el cambio de ubicación, Ilha de Lençóis presentaba cuatro factores fundamentales que motivaban el desarrollo del proyecto en este lugar:

- La distancia para poder conectar la isla con la red en el continente era demasiado larga.
- La renta de la población es baja y el potencial económico reprimido.
- Es una región con fuertes vientos y potencial de recurso solar.
- Existía un interés de la comunidad para tener electricidad durante 24h al día.

Estos puntos han sido la clave del éxito del proyecto. Actualmente, el sistema sigue en operación y es ejemplo de muchos otros proyectos que intentan llevarse a cabo en otras partes del país.

Como dato, cabe destacar la tendencia positiva en el crecimiento de población en la comunidad. Muchas familias que se habían marchado al continente antes de la instalación del sistema, regresaron con la llegada de la electricidad, lo que supuso un incremento en el número de habitantes.



Ilustración 16 Vivienda Ihla dos Lençóis

4. EXPERIENCIAS SIN ÉXITO EN SISTEMAS AISLADOS

La introducción de nuevas tecnologías para la producción de electricidad en comunidades rurales aisladas es una tarea compleja que envuelve gran cantidad de problemas. Involucra a diferentes poblaciones con una amplia variedad geográfica, política, social y cultural que producen como resultado modelos conceptuales y operativos diferentes. Por todo ello, no existe una solución única y ningún modelo es aplicable a todos los lugares.

Como consecuencia, los resultados obtenidos de la implantación de los proyectos de electrificación rural, son de lo más diversos, y dependen en gran medida de cómo la comunidad se adapta a la nueva tecnología. Cuanto más novedoso es el sistema para la comunidad, más probabilidad de rechazo existe: la falta de apoyo por parte de la misma puede provocar que el proyecto sea abandonado. Sin embargo, éste puede ser aceptado si su implantación no produce cambios sustanciales en la estructura comunitaria.

Como hemos dicho anteriormente, todos estos proyectos tienen sus peculiaridades y no podemos olvidarnos de ello, pero sí comparten ciertas características comunes, e incidir en la problemática del pasado puede ayudarnos a no cometer ciertos errores en el futuro.

Por ello, hemos decidido hacer una pequeña recopilación de problemas que han tenido proyectos similares de electrificación rural, haciendo un seguimiento desde el momento en el que se decide apostar por la implantación, hasta años después, ya que en muchas ocasiones con el paso del tiempo las instalaciones han quedado en el olvido.

Existen una serie de proyectos llevados a cabo en Brasil y que van a ser comentados a lo largo de este capítulo, por lo que se hace una pequeña descripción de los mismos a continuación [22]:

- El programa ECOWATT fue iniciado en 1997 como la primera experiencia comercial fotovoltaica. Este programa trató de abastecer con energía fotovoltaica los municipios de Cananéia, Iguape e Iporanga, localizados en el Valle do Ribeira en Brasil.
- Copel proporciona energía eléctrica en el territorio de Paraná en Brasil y desde el año 1996 ha creado el Programa LIG-LUZ Solar Rural. Las primeras aplicaciones de este programa fueron crear instalaciones solares en sistemas aislados en Lagamar.
- AEDENAT destaca por la difusión de la tecnología fotovoltaica en el municipio de Cananéia, con el apoyo de la Cooperación Española, que permitió el desarrollo de la tecnología fotovoltaica en un proyecto de electrificación rural en Brasil, en la región de Lagamar.

Además, también se hablará de otros proyectos son llevados a cabo no sólo en Brasil, sino en otros lugares del mundo.

A continuación se explican los puntos más controvertidos de esos proyectos.

- Aproximación cultural a la comunidad

Para llevar a cabo un proyecto de electrificación rural es fundamental conocer la comunidad en profundidad. Es necesario conocer la cultura local, la historia de la región, sus valores, sus hábitos energéticos y cómo la nueva forma de energía puede adaptarse a las necesidades de la zona.

En general, debido en gran parte a la falta de tiempo, existe una falta de comprensión de la cultura local de las comunidades y su relación con el territorio, utilizando el sistema de valores del propio evaluador y no teniendo en cuenta los del usuario.

El tamaño apropiado del sistema es crítico, debe adaptarse a las necesidades de la comunidad, no debe ser excesivamente restringido ni de gran tamaño, evitando de ésta forma gastos innecesarios.

- Dimensionado y diseño de baterías

Uno de los componentes más problemáticos de los sistemas aislados es la acumulación. Las baterías llegan a constituir la parte más cara del sistema debido al número de reemplazos que hay que realizar a lo largo de la vida del proyecto. Su duración varía mucho dependiendo de la instalación, pero su vida útil está entre 1 y 5 años. Ésta, depende principalmente de la calidad original de la batería y del uso que se le dé. Uno de los problemas generales es que en muchos lugares se han utilizado baterías de coches no diseñadas para este tipo de sistemas, provocando el deterioro de las mismas.

Se ha encontrado en muchos proyectos que los fallos de las baterías vienen dados por no tener en cuenta las instrucciones de primera carga. Esto es muy importante ya que las baterías vienen de fábrica con capacidades iniciales bajas y sus placas de plomo no están formadas del todo. La falta de formación de estas placas puede ser compensada con unos ciclos correctos de carga, que en numerosas ocasiones no se tienen en cuenta a la hora de hacer la instalación.

En otras ocasiones, los problemas detectados vienen dados por faltas de mantenimiento y malos diseños del sistema que provocan que la vida útil de las baterías se reduzca. En el proyecto Ecowatt, el principal problema fue un sobredimensionamiento del sistema y fallos en el regulador, que provocaron cargas inadecuadas y excesivas de las baterías.

Pero no sólo el proyecto Ecowatt tuvo problemas. En el proyecto AEDENAT se descubrió que las baterías estaban descargadas y defectuosas, en parte probablemente a una incorrecta primera carga. Por todo esto, es importante realizar un análisis de calidad que podría haber ahorrado muchos problemas.

En el caso del programa de electrificación que llevo a cabo COPEL (Companhia Paranaense de Electricidad), se cambió de un sistema comunitario de baterías a un sistema domiciliario por problemas en el consumo debido a un mal dimensionado. Lo positivo de este sistema, es que al contrario que en otros, las baterías están cerca y no hay que distribuir la energía eléctrica desde un punto de generación hasta la zona de consumo, evitando así caídas de tensión y fallos en el sistema por la larga distancia del cableado.

- Distribución de la energía

La equidad en la distribución de la energía es un elemento fundamental para el funcionamiento del sistema en electrificación rural. Todos los usuarios deben tener el mismo acceso a la energía, no pudiendo haber interesados sin acceso a la electricidad y otros con un consumo excesivo. Se ha visto en muchos proyectos que existen problemas jerárquicos en la organización y/o estructura comunitaria. Los técnicos encargados de la gestión eléctrica se acaban convirtiendo en jefes que regulan quien tiene o no acceso a la misma. [23] A modo de evitar estos comportamientos, conviene que la gestión se lleve a cabo por toda la comunidad. Esto se puede lograr mediante programas de enseñanza de mantenimiento. Otra opción interesante realizada en diversos proyectos, y que ha tenido buenos resultados, es hacer de la construcción del sistema un proceso participativo, y posteriormente realizar visitas periódicas por parte de los técnicos encargados de la construcción o diseño del proyecto.

- Entendimiento del sistema por parte de la comunidad

El entendimiento del sistema por parte de la comunidad es esencial para que éste sea aceptado. En muchos casos se piensa que las fuentes de energía no renovables son mucho más fiables, pero se ha demostrado lo contrario en sistemas con un buen funcionamiento, como en el Caso de la Ilha de Lençóis, explicado en el apartado 0 de este proyecto.

Es conveniente introducir la tecnología poco a poco respetando la instalada con anterioridad en la comunidad y hacer ver a los usuarios del sistema que la nueva tecnología es más apropiada. [23] Para ello es importante una campaña de formación para hacer entender el funcionamiento del sistema. Se han visto proyectos en los que no se comprendían ciertos aspectos técnicos, por ejemplo, las luces que indican el nivel de carga de las baterías, eran un sistema complicado de entender por gente que nunca ha tenido acceso a la electricidad. [24]

Un ejemplo a seguir es el llevado a cabo por AEDENAT cuyo programa puede considerarse como una experiencia participativa en el entorno de la electrificación rural. El calendario de actividades de AEDENAT se desarrollo durante más de nueve meses, incluyendo la adquisición, control de calidad y el equipo de transporte; instalaciones en las escuelas y hogares; el establecimiento de asociaciones de vecinos; y la formación de los técnicos usuarios del lugar. El equipo de este proyecto se diferencia de otros en que tuvo en cuenta una serie de estrategias que no se han tenido en otros proyectos y que contó con un equipo multidisciplinar.

En cambio, en el caso del proyecto Ecowatt, mencionado anteriormente, el proceso de participación y formación fue muy escaso, dando lugar al fracaso del sistema. Hubo una falta de formación técnica a los participantes ya que también hubo escasez de un equipo técnico formador. A día de hoy, el sistema instalado sólo se mantiene funcionando en una comunidad llamada Marujá. En todos los demás lugares donde Ecowatt desarrolló proyectos se han observado fracasos debido a estos problemas.

Otros proyectos llevados a cabo En Brasil por el Grupo de Estudios y Desarrollo Energía Alternativa (GEDAE) y la Universidad Federal de Pará, se han ocupado de la instalación de seis sistemas híbridos, de los cuales, tres fracasaron debido fundamentalmente a malas prácticas llevadas a cabo en el mantenimiento, a la falta de experiencia técnica y a la poca participación de los municipios locales.

- **Calidad de los equipos**

La utilización de equipos de calidad es otro aspecto fundamental a tener en cuenta. Con ánimo de ahorrar dinero, muchas veces se compran equipos de calidad dudosa, lo que a la larga va a provocar fallos en el sistema y una mayor inversión. Por ejemplo, es el caso de los módulos fotovoltaicos, que aunque a priori son la parte menos conflictiva, pueden generar problemas de degradación en los sistemas de protección.[24]

- **El regulador**

Un componente esencial a tener en cuenta es el regulador. En proyectos como el de Ecowatt en Brasil, el regulador hacía que las baterías se cargaran de manera inadecuada provocando su muerte prematura. En otras instalaciones llevadas a cabo en México, los reguladores fallaron porque se producían desconexiones provocadas por las caídas de tensión y no existía un interruptor que permitiese reconectar el sistema. En otros proyectos llevados a cabo por GEDAE, se describen grandes problemas con el regulador en las comunidades de Tamaruteua, Praia Grande y Caxiuanã. [25] En general, los problemas más frecuentes han sido la falta de adaptabilidad entre el regulador y las baterías provocando así cargas excesivas o falta de carga en las mismas, disminuyendo su vida útil. Para evitar estos problemas en general es fundamental llevar a cabo un análisis de calidad y comprobar que el regulador va a satisfacer las necesidades del sistema sin dañarlo.

- **Reemplazo de los componentes**

La falta de acceso a equipos de repuesto es un problema, ya que la tecnología puede no estar desarrollada en el lugar, imposibilitando su reemplazo. En el proyecto de Ecowatt se instalaron unas luminarias que no estaban disponibles en el mercado regional, lo que provocó problemas de estabilidad dentro de éste. Esto puede ser aplicado a cualquier proyecto y a cualquier

componente, por lo que hay que asegurarse en el diseño de que exista la posibilidad de reemplazo de los equipos en el lugar donde se va a llevar a cabo el sistema.

- Colaboración con organizaciones locales

Como es evidente, tanto el grado de conocimiento como la involucración en el proyecto por parte de la comunidad son fundamentales para el éxito del mismo. Así, la colaboración con instituciones locales y especializadas para trabajar con la tecnología empleada, tienen más probabilidades de garantizar la sostenibilidad del proyecto, mientras que organizaciones temporales tienen una baja probabilidad de lograr este objetivo.

Por otro lado, tener un soporte externo que proporcione ayudas a la comunidad es de gran ayuda. Se ha demostrado que en el caso de que una población asuma la carga de la propiedad del sistema, puede implicar una gran posibilidad de fallo debido a las dificultades. En cambio, si la propiedad es de una institución pública que es capaz de mantenerla financieramente, la probabilidad de éxito aumenta considerablemente.

Se han detectado también aspectos negativos en los procesos administrativos que regulan las subvenciones, ya que no dan tiempo para realizar el estudio previo de la comunidad, siendo motivo de fracaso de muchos proyectos.

A lo largo de este capítulo, se han citado la mayoría de los problemas encontrados en las comunidades donde se han llevado a cabo proyectos de electrificación rural. Se pretende que sirva de guía para evitar errores en nuestro sistema teniendo una visión general de la problemática.

5. ESTUDIO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA

5.1 ¿Por qué la región de Roraima?

De acuerdo con el Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, la mayor parte del potencial eólico del país está en la región de Roraima, en concreto en la región de Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS). Esta zona presenta los vientos más fuertes del país en diciembre, enero y febrero. El Atlas Solarimétrico Brasileiro también señala periodos de gran irradiación media diaria en esta región.

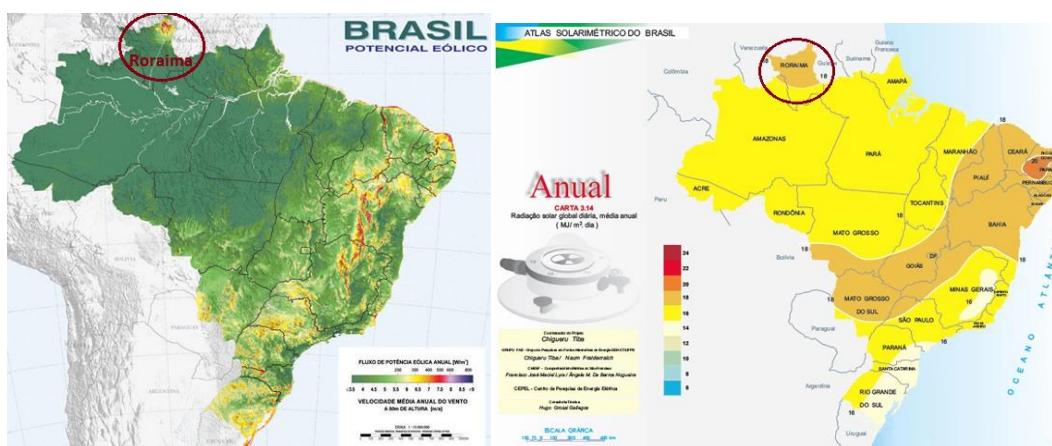


Ilustración 17 Potencial eólico y solar de Roraima

Este área se encuentra a gran distancia de las líneas de transmisión eléctrica del país [26], por lo que el programa federal Luz Para Todos ya ha presentado un proyecto al Ministerio de Minas y Energía proponiendo presas hidráulicas en dos de los ríos que atraviesan la TIRSS, incluyendo la zona de Andorinha, lugar sagrado de culto para estos pueblos. [27]

Teniendo en cuenta este debate sobre la instalación de centrales hidráulicas dentro y fuera de las áreas indígenas, y el gran potencial eólico y solar del país, surge la necesidad de demostrar al gobierno federal y estatal que es posible diversificar la generación de energía. Con este objetivo de sensibilización e impulsión de la inversión en energía eólica y fotovoltaica, en la Tierra Indígena Raposa Serra do Sol, el Instituto Socioambiental (ISA) ha llevado a cabo un proyecto en colaboración con la Universidade Federal do Maranhão (UFMA) y el Conselho Indígena de Roraima (CIR).

El objetivo de este proyecto es estudiar la implantación de un sistema de electrificación rural autónoma mediante generación eólica y fotovoltaica en las comunidades de Maturuca, Tamanduá y Pedra Branca, pudiendo demostrar su éxito a largo plazo, de forma que se subvencionen futuros proyectos de energías renovables en la región.

El proyecto se llama Cruviana y se basa en un proyecto semejante que se instaló en una villa de pescadores en el litoral, Ilha de Lençóis (explicado en el apartado 3.5). Los propios indígenas se interesaron por este proyecto, donde la energía consumida a lo largo de todo el año, proviene en un 93% del sol o el viento, y que mediante el conjunto adecuado de turbinas eólicas, paneles solares, baterías, y motor diesel proporciona a las familias la energía eléctrica demandada 24 horas.[27]

Sin embargo, también tienen ciertas dudas, les preocupa el posible precio de la energía para tener suministro 24h, las alteraciones en las rutinas de la comunidad, el ruido de los generadores eólicos, el impacto de las obras, o el riesgo para la fauna avícola de la zona, por lo que está previsto un análisis del riesgo social y medioambiental del proyecto. [28]

En Febrero de 2013, se instalaron las tres torres meteorológicas para la medición del potencial del viento y de la radiación solar en Maturuca, Tamanduá y Pedra Branca. Los sensores se conectaron a un centro de datos, y cada mes se descargaron y enviaron a la Universidade Federal do Maranhão (UFMA) para su análisis. Los propios indios se han integrado en el proyecto y son los que lo llevan a cabo. Un grupo de 18 investigadores indígenas se ha recorrido la región haciendo estudios cartográficos y cuestionarios casa por casa sobre la demanda energética. El Centro de Energías Alternativas del UFMA se encarga de procesar estos datos para estimar la cantidad de energía que deberá ser generada para abastecer a todas las familias y sus necesidades productivas.[26] Los investigadores indígenas también están encargados de realizar el mantenimiento de las torres, para lo que se les ha formado adecuadamente.

Este proyecto nos ha parecido sumamente interesante por tratarse de una idea que nace en el seno de la comunidad indígena, desde sus necesidades, con el objetivo de satisfacer sus demandas eléctricas y expectativas de crecimiento y no al revés, y es por ello que centraremos nuestro proyecto técnico en el desarrollo de un sistema de abastecimiento eléctrico autónomo y mediante fuentes eólicas y fotovoltaicas en la comunidad de Maturuca, en la Tierra Indígena Raposa Serra do Sol.

5.2 Tierra indígena Raposa Serra do Sol

Uno de los territorios indígenas más grande del país lo constituye la llamada Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS), que está situada en el noreste del estado de Roraima, al norte de Brasil. Con 17430 km² de superficie y 1000 km de perímetro, consta de zona de sabana, bosques, ríos y cascadas, donde viven unos 46000 indígenas, pertenecientes a los grupos Ingarikó, Macuxis, Patamona, Taurepang y Wapixanas.

Este territorio incluye los municipios de Normandía, Pacaraima y Uiramutã entre los ríos Tacutu, Maú, Surumu, Miang y la frontera con Venezuela. La capital de Roraima es Boa Vista, y es dónde vive el 63% de la población de la región, y donde se consume el 89% de la energía. [6]

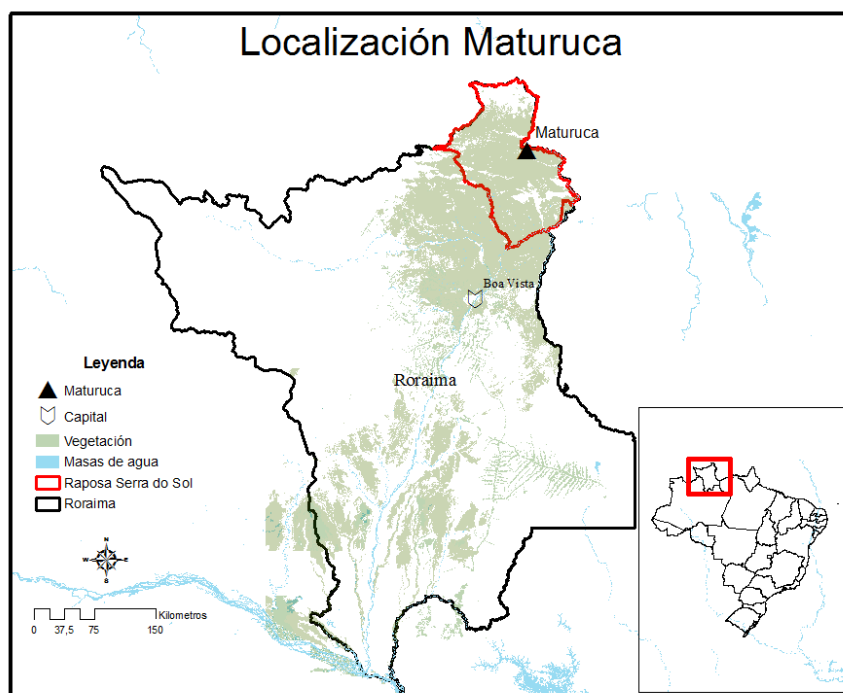


Ilustración 18 Tierra Indígena Raposa Serra do Sol

La Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS) presenta zonas de pasto y de bosque, y en su interior está representado prácticamente todo el gradiente altitudinal de Roraima, desde zonas con 60 m en Río Branco hasta el Monte Roraima con altitud superior a 2800 m. Se trata de la zona menos lluviosa del país, con una precipitación es inferior a 1100 mm en la sierra, y menos de 10 días de lluvia al año. [6]

La heterogeneidad de hábitats que presentan estas tierras, hacen especialmente interesante la conservación de sus recursos hídricos y la biodiversidad. Esta región constituye una de las áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en la Amazonía y se inserta en el ala norte del Proyecto Corredores Ecológicos.

Los sectores productivos que más influyen son los poderes públicos, el comercio, y la actividad agropecuaria, siendo el sector primario en el que se basan las expectativas de crecimiento: en el monocultivo de gran escala, y la exportación de productos cárnicos. Esto se ve reflejado en las expectativas de crecimiento de la demanda energética para los próximos años, según el SEPLAN-RR.

En toda la región de Roraima, el 90% de la energía consumida es generada por la central hidroeléctrica de Guri, Venezuela. La generación mediante energía solar está presente en cerca de 35 sistemas con el objetivo de abastecer escuelas y puestos de salud, de forma puntual, en algunas comunidades aisladas del interior.

5.3 Aproximación a la comunidad de Maturuca

Maturuca está ubicada en la región das Serras, municipio de Uiramutã. El municipio de Uiramutã tiene un área de 8066 km² y una población estimada de 6111 habitantes, de los que un 98% son indígenas. En ella vive la comunidad indígena Ingarikó.

Maturuca es una población de unas 500 personas, organizadas en 90 familias.



Ilustración 19 Imágenes de Maturuca

El pueblo indígena de Maturuca está interesado en las cuestiones relacionadas con su situación territorial, la salud, la alimentación, la educación. Muchas comunidades están a cargo de sus propios proyectos de salud y educación, y desde dentro han creado sus propias organizaciones para defender sus derechos y llevar a cabo sus proyectos. La mujer tiene un gran protagonismo en la vida de la comunidad y participa en las asambleas y decisiones. En general los asuntos que surgen son debatidas en reuniones en los centros regionales, dependiendo de su trascendencia pasan a la Asamblea Regional das Serras, en casos importantes, también son sometidos a la Assembleia Geral dos Povos Indígenas de Roraima.

Los indígenas de Maturuca dependen de los recursos que les proporcionan sus tierras para sobrevivir: practican la agricultura, cazan, pescan, pero también realizan algún otro tipo de trabajos: el tratamiento de la madera, la elaboración de harina de yuca, el tejido de ropa, trabajos con arcilla...

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

Actualmente, emplean generadores diesel para satisfacer su demanda, pero esta oferta energética de tan solo unas horas al día les es insuficiente. Máxime cuando estiman un incremento de sus necesidades eléctricas. Según una encuesta de la Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) las sociedades indígenas están cada vez más interesadas en adquirir bienes como televisión, radio, DVD... Maturuca no es menos, y además, sabemos que están interesados en la refrigeración de carnes y pescados de cara a incrementar el comercio y exportación, y potenciar el desarrollo de todas sus actividades productivas. De esta forma esperan retener a las generaciones más jóvenes en el poblado, evitando su migración a urbes más grandes.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

6.1 Recurso

Para poder diseñar un sistema híbrido de generación de electricidad con energías renovables, es importante considerar el recurso solar y eólico. Los sistemas híbridos con energías renovables, constituyen una opción eficiente para los sistemas aislados, además de un ahorro de combustible, ya que normalmente, son abastecidos por un generador diesel. Conocer el recurso del que disponemos, nos permitirá diseñar un sistema eficiente.

A pesar de que conocer el potencial de nuestra área de estudio es importante, el recurso en los sistemas aislados no es tan esencial como en las plantas de generación eléctrica para venta de electricidad y conectados a red, donde el cálculo de la generación es esencial para la gestión de la red y la retribución y por lo tanto, el conocimiento del recurso debe ser más preciso. En nuestro caso, nos aseguraremos de la existencia de recurso eólico y solar suficiente para instalar el sistema.

No existen estaciones meteorológicas cercanas a Maturuca que puedan ser utilizadas como estaciones de referencia para obtener datos de viento y radiación. La más cercana se encuentra en Boa Vista, que está a unos 200 km de la población. El gobierno brasileño instaló recientemente una red de estaciones meteorológicas de superficie en el Amazonas y dos en el estado de Roraima, pero ninguna de ellas es referencia para nuestro caso.

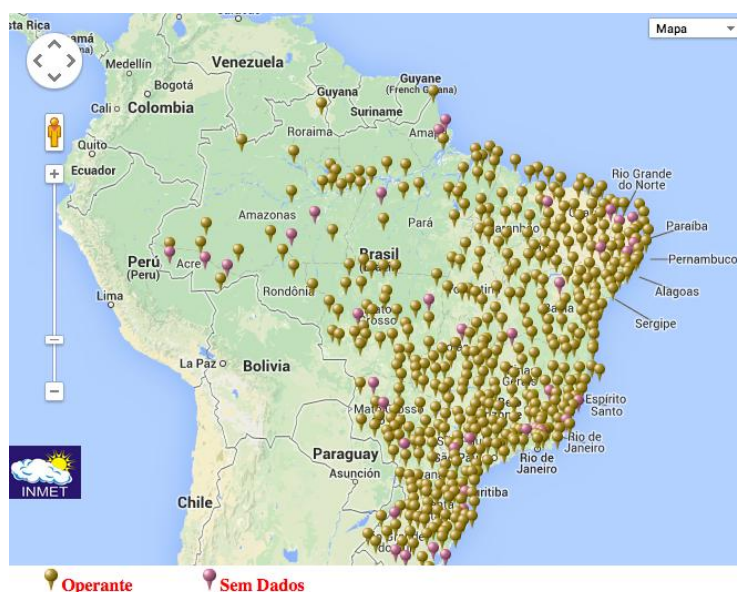


Ilustración 20 Estaciones meteorológicas. Fuente: INMET

La comunidad de Maturuca, movida por su intención de instalar un sistema aislado de generación eléctrica basado en renovables, instaló, con la ayuda del Instituto Socioambiental de Brasil, tres torres meteorológicas en las comunidades de Maturuca, Pedra Branca y Tamandúá, desde Abril de 2013, obteniéndose los primeros resultados para Marzo de 2014.

6.1.1 Primera aproximación al recurso de Roraima

Para poder conocer en primera aproximación el recurso disponible en el país, tanto eólico como solar, existen varios documentos o atlas, que muestran el recurso a rasgos generales.

El Atlas de Recurso eólico de Brasil, se elaboró mediante un software de modelos de viento en superficie, MesoMap. Este sistema simula, a partir de una serie de datos entre los años 1989 y 1999, la dinámica atmosférica y los regímenes de viento de Brasil, teniendo en cuenta las características geográficas de cada zona. Los resultados se muestran para una altura de 50m y una resolución de 1km por 1km.[29]

En el mapa de la figura se muestran los resultados del Atlas, donde podemos observar en una escala de colores, los valores de la velocidad media anual del viento, así como la potencia media anual en W/m^2 .



Ilustración 21 Velocidad media del viento

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

Las zonas con un mayor recurso eólico del país están en el noreste y en el sur, además de en una pequeña región en el norte, precisamente en Roraima, donde se desarrolla nuestro proyecto.

En cuanto a la dirección del viento, también existe un mapa de las direcciones predominantes para cada región del país. En nuestro caso, esto no es tan relevante, puesto que los aerogeneradores son de pequeña potencia.

El Atlas de Energía Solar, se encuentra dentro del Proyecto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assesment),[30] que financió Naciones Unidas a través de PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Este documento se elaboró a partir de los datos de 10 años de un satélite estacionario, y fueron validados por los datos correspondientes a diversas estaciones meteorológicas.

En la imagen se muestra una media anual de la radiación global en el plano horizontal.

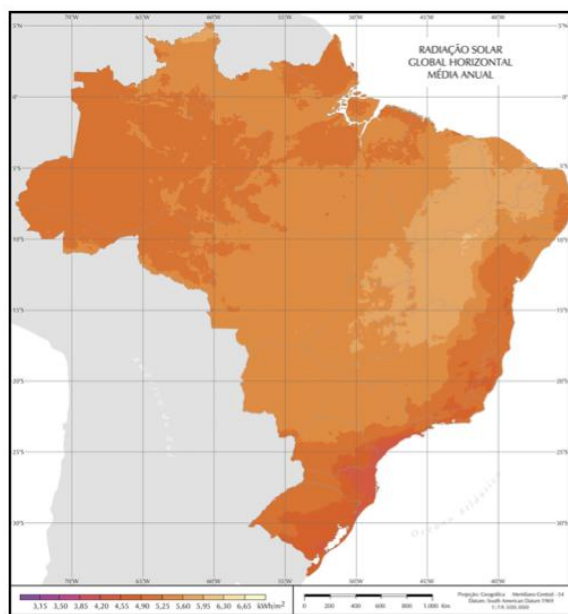


Ilustración 22 Radiación global en el plano horizontal

En el caso del recurso solar, las zonas con un mayor potencial se encuentran en el este del país, con una media en la región de Roraima de 5,5 KWh/m².

6.1.2 Recurso eólico

Datos de viento de la torre meteorológica de Maturuca:

Tabla 8 Datos torre meteorológica de Maturuca

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
V(m/s)	6,4	5,5	5,3	5	4,5	5,2	5,8	5,8	7	7,8	8	8,3

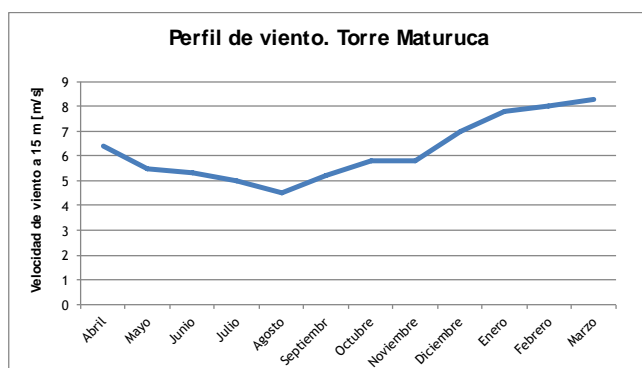


Ilustración 23 Datos de viento torre meteorológica

Los datos de viento han sido tomados a una altura de 15m. Puesto que los aerogeneradores serán instalados a 24 m de altura, conviene hacer una extrapolación del recurso.

Teniendo en cuenta la ley de Hellman de la variación de la velocidad del viento con la altura, obtenemos esta serie:

Tabla 9 Datos de viento a 24 m.

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
V(m/s)	7,13	6,13	5,91	5,57	5,01	5,79	6,46	6,46	7,80	8,69	8,91	9,25

En la siguiente gráfica se observa la diferencia:

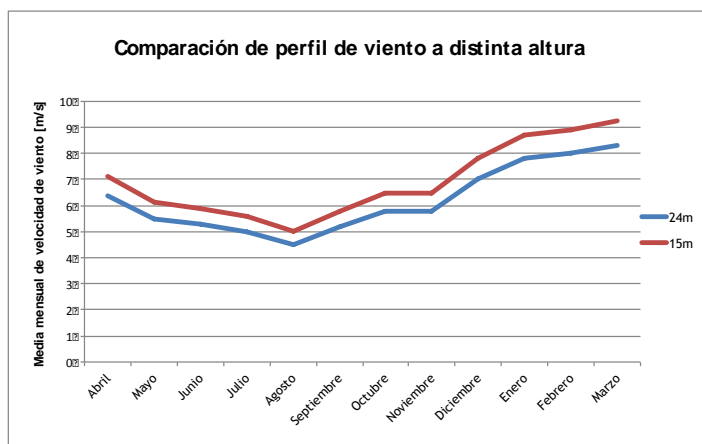


Ilustración 24 Comparación de perfil de viento a distinta altura

Los datos han sido proporcionados por *Ciro Campos da Souza*, responsable del proyecto que está llevando a cabo el Instituto Socioambiental en las comunidades antes citadas.

Existen varias fuentes de incertidumbre en la estimación de recurso eólico en una región:

- En primer lugar, existe una incertidumbre asociada a la medida del viento, que viene del error propio de los anemómetros y sensores de medida. El error típico a un anemómetro de calidad está entre un 1% y un 2%.
- Existe una incertidumbre en la representatividad a largo plazo de la serie de viento. Esto es debido a que no se dispone de una estación de referencia con series de 15 o más años que podamos considerar como viento a largo plazo. Por otro lado, la estación de referencia no siempre está en el lugar del emplazamiento, por lo que se tiene una serie temporal más corta que habrá que correlacionar con ésta. Por lo tanto, aparecen dos fuentes de incertidumbres vinculadas al ajuste a largo plazo:
 - Debida al número de años disponibles en la estación de referencia, que en nuestro caso es un único año de medidas lo que supone una serie temporal demasiado corta.
 - Representatividad del periodo considerado como largo plazo. No tenemos una estación meteorológica cerca de Maturuca que pueda ser considerada para hacer la correlación.
- Existe una incertidumbre en la modelización del viento en emplazamiento, por extrapolación vertical y por extrapolación horizontal. En nuestro caso, únicamente se hará

una extrapolación vertical para conocer el viento a la altura del buje, pero no será necesaria la horizontal.

- También se tiene en cuenta una incertidumbre por la variabilidad anual del viento, con un valor de 6% por defecto, a no ser que se cuente con una serie de datos lo suficientemente larga como para hacer un estudio estadístico.
- De igual manera, puede existir una variabilidad a largo plazo entre 10-20 años que se puede considerar del 2%.

Considerando cada una de estas fuentes de incertidumbre estadísticamente independientes, se podría calcular la incertidumbre total asociada a las medidas de viento.

Dadas las limitaciones de nuestra serie temporal, no se ha calculado la incertidumbre total.

6.1.3 Recurso solar

Para la obtención del recurso solar, al igual que para los datos de viento, tenemos medidas de un año de la torre meteorológica.

Tabla 10 Datos solares torre meteorológica

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
kWh/m ²	5,14	4,86	5,4	5,64	5,53	6,40	6,25	5,46	5,06	5,31	5,06	6,03

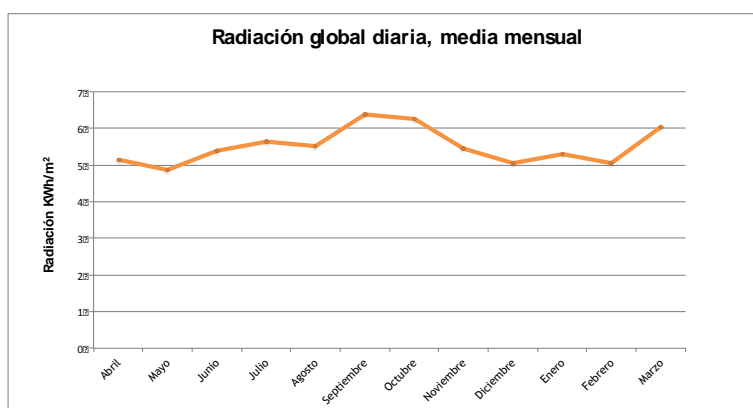


Ilustración 25 Radiación global, media mensual

Se observa que la radiación es mayor durante los meses de agosto y noviembre.

Con el objetivo de tener unos datos para conocer una aproximación previa al perfil de radiación, hemos obtenido una serie temporal a partir de bases de datos de satélite. Con ello, se han obtenido unos perfiles de radiación que se muestran en la siguiente gráfica como comparativa con los medidos en la torre meteorológica.

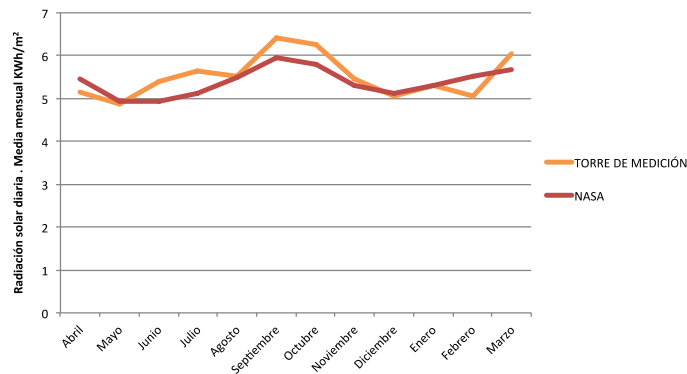


Ilustración 26 Comparativa de radiación solar medida y datos satelitales

De la misma manera que con el recurso eólico, se podría calcular un porcentaje de incertidumbre en los datos de radiación solar.

En este caso, se han analizado los valores que aporta el Atlas solar brasileño de radiación para la variabilidad interanual y la variabilidad estacional del recurso:

- La variabilidad interanual, según el atlas de recurso, es de 0,6 kWh/m² en la región del Norte. Esto supone una variación, entre 5,2 kWh/m² y 5,9 kWh/m², sabiendo que la media es de 5,5 kWh/m². Por ello, se tiene una variabilidad interanual de 5,45% con respecto a la media.
- Para la variabilidad estacional, se ha tomado el valor máximo, correspondiente a la estación de otoño. Esta variabilidad corresponde a 0,4 kWh/m², es decir, 3,63% con respecto a la media.
- Además serán necesarias las incertidumbres asociadas a los aparatos de medida, de la misma manera que en el caso eólico.
- Existe incertidumbre asociada con la representatividad de la serie temporal a largo plazo.

En general, la variabilidad en el recurso para los sistemas autónomos de electrificación rural con características sociales, como el caso que nos ocupa, no es tan importante como otras incertidumbres a la hora del diseño del sistema.

Como veremos en el siguiente punto, la sensibilidad en la elección de la configuración del sistema híbrido es mayor para otros parámetros, sobre todo, a la incertidumbre en las cargas. Puesto que el consumo es una previsión a futuro del desarrollo de la comunidad, el consecuente incremento implícito de energía necesaria, afecta más a la configuración que la posible incertidumbre en la medida del recurso.

6.2 Diseño del sistema

6.2.1 Configuración

Dado el importante recurso solar y principalmente eólico, se ha optado por una instalación híbrida en la que convivirán placas fotovoltaicas y turbinas minieólicas. Este sistema renovable, estará apoyado por un grupo electrógeno para cubrir las necesidades eléctricas en los momentos en los que la producción renovable no llegue a lo requerido por la comunidad.

Actualmente, existe un grupo electrógeno en Maturuca que es el encargado de proporcionar la electricidad solicitada por la comunidad. El consumo de diésel asciende a 25000 litros anuales. La idea del proyecto, es la implantación de fuentes renovables para que los nativos puedan permitirse crecer social y económicamente sin que se dispare el consumo de combustible del generador.

Los criterios que hemos seguido para una configuración óptima del sistema son los siguientes:

- Mínimo consumo de combustible
 - Mínimo coste de inversión y operación
 - Baterías. Debido a otras experiencias en electrificación rural, se consideran un elemento crítico de la instalación, por lo que hemos intentado mantenerlas en su rango óptimo de operación.
 - Mínimo exceso de electricidad
 - Mínimo porcentaje de demanda no satisfecha.
 - Producción renovable por encima del 90%
- Cargas

Tal y como explicamos en el apartado de aproximación a la comunidad, Maturuca tiene unas expectativas de desarrollo productivo que los llevará a aumentar su demanda eléctrica, triplicando la actual.

Existen dos perfiles de consumo asociados a la comunidad. Unas cargas serán de carácter residencial y las otras de carácter comunitario. Estas últimas estarán en general relacionadas con la producción aunque también se incluye la energía necesaria para otros ámbitos como el centro de salud o el colegio. Las curvas asociadas a estos consumos serán distintas y se han calculado en base al conocimiento de la forma de vida de la propia comunidad, resultando los siguientes perfiles:

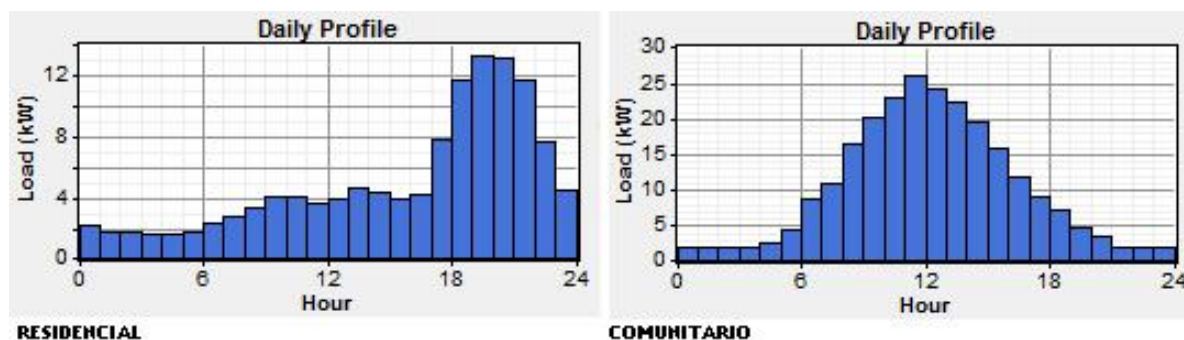


Ilustración 27 Curva de demanda de energía

La curva del perfil diario residencial se ha obtenido partiendo de la que teníamos de una pequeña población en Senegal que comparte horarios con nuestra comunidad. Posteriormente, se ha modificado mínimamente para adaptarla a los hábitos concretos de Maturuca. Estos datos, nos han sido proporcionados por nuestra persona de contacto en el Instituto Socioambiental.

Para sacar la curva del perfil comunitario que en su mayoría está relacionada con actividades productivas, partimos de una curva tipo de perfil industrial. Además, tuvimos que adelantar la curva una hora ya que debido a la radiación sabemos que comienzan sus labores diarias alrededor de las 5 de la mañana.

A continuación, se pueden observar los consumos futuros para los dos perfiles de consumo. Las cargas residenciales están calculadas por familia. Maturuca cuenta con una población de 500 personas divididas en 90 familias. Para información detallada de los consumos mensuales remitirse al APÉNDICE I.

- CONSUMO RESIDENCIAL DIARIO PREVISTO: 331kWh
- CONSUMO COMUNITARIO DIARIO PREVISTO: 60,96 kWh

Actualmente las cargas existentes en las viviendas se reducen a la iluminación, un ventilador y una pequeña nevera para mantener los alimentos. Éstas equivalen a un consumo diario

de 222,75 kWh. El consumo comunitario ascenderá a 16,41kWh. Estos datos pueden observarse más detalladamente en el APÉNDICE II.

La demanda eléctrica residencial actual es un 66,2% del consumo esperado a futuro, mientras que el consumo comunitario a día de hoy es únicamente un 26,9% de lo que desean tener con el paso de los años.

- Grupo electrógeno

Como hemos mencionado previamente, el consumo de combustible con la demanda actual asciende a 25000 litros anuales. Esto se debe a que a pesar de que los consumos son bastante limitados la eficiencia del generador es muy baja. Es por ello que se ha tomado la decisión de reemplazarlo por el modelo D1703-M de la marca Cummins de 10 kW de potencia. Actualmente el litro de gasóleo lo adquieren a 1,35€/litro.

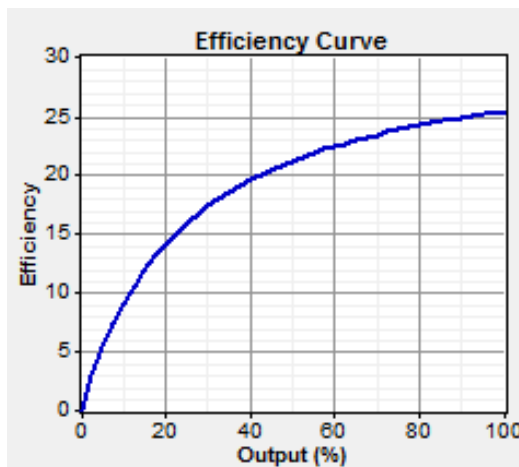


Ilustración 28 Eficiencia del grupo electrógeno

- Inversor

La potencia del inversor viene fijada por la potencia pico que requieren las cargas.

Como podemos apreciar en el APÉNDICE III , la potencia máxima esperada es de 37,53 kW. Considerando un 20% de variabilidad de un día a otro y un 15% de variabilidad entre horas nuestra potencia pico es de 51,79 kW.

Hemos decidido emplear los inversores de la marca Ingeteam, concretamente el modelo Ingecon Hybrid MS, un inversor trifásico que lleva integrado el control y regulación de todo el sistema, de 60kW de potencia. El precio de cada inversor ronda los 300\$ por kW y su mantenimiento alrededor de 100\$ anuales. Las características técnicas del inversor podrán consultarse en el APÉNDICE VII al final del documento.

- Fracción renovable

A continuación explicaremos los equipos empleados para la producción de energía a partir del recurso solar y de viento.

En un sistema rural como el nuestro, se hace complicado saber desde un primer momento qué cantidad de paneles y de turbinas es conveniente instalar en nuestro proyecto. Es por ello que primeramente hemos hecho un estudio de proyectos de electrificación rural y así conseguimos tener en mente unos órdenes de magnitud.

El generador fotovoltaico consistirá en una instalación de suelo, orientada al sur y con una inclinación de 15°. Finalmente nos decantamos por el panel de 250W. Teniendo en cuenta nuestra situación, la radiación, la población y los consumos esperados, tras las primeras estimaciones podemos decir que se de 400 paneles. En el siguiente punto se expondrá cuál es la configuración final elegida y las razones que nos han llevado a tomar esa decisión.

Se ha resuelto hacerle el encargo a la empresa KYOCERA, que es aquella que se encarga de aprovisionar los módulos al 70% de los proyectos de electrificación rural del país. Con esta decisión, pretendemos abaratar los costes del transporte de los paneles y facilitamos la reposición de los mismos en el caso de que sea necesario cambiarlos.

El precio estimado es de 300\$ por panel. El coste de mantenimiento se considera nulo ya que las labores de conservación de las placas como se explicará más adelante, se limitan a la limpieza de los mismas y en el caso de que alguno falle será obligado realizar directamente el replazo del mismo.

En el documento anexo podemos localizar la ficha técnica del panel KD250.

Para el aprovechamiento del recurso eólico finalmente nos hemos decantado por la turbina Bergey de 10 kW. Con la información que disponemos, sabemos que se instalarán entre dos y cuatro turbinas para abastecer nuestra carga. El precio por unidad ronda los 40000\$. Consideramos que el mantenimiento de los aerogeneradores rondará en torno a los 500\$/unidad anuales. Podemos ver a continuación su curva de potencia.

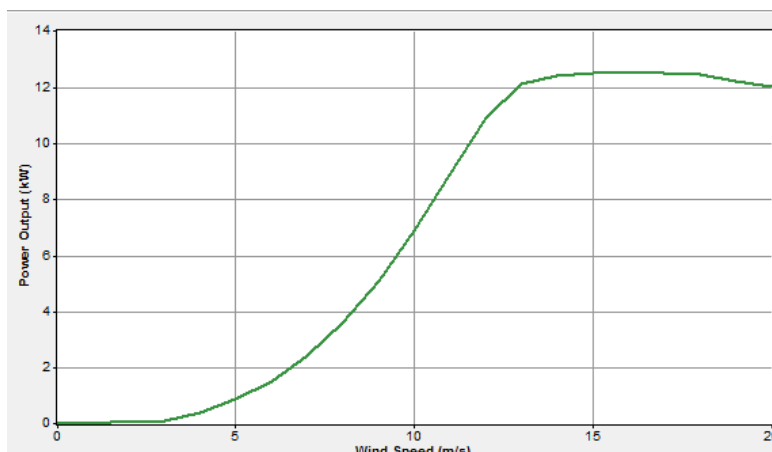


Ilustración 29 Curva de potencia Bergey 10

En la tabla siguiente tenemos descritas las principales características de nuestra turbina.

Specifications.

- Reference Rated Power: 10 kW
- AWEA Rated Power: 8.9 kW at 25 mph
- AWEA Rated Annual Energy: 13,800 kWh at 11 mph average
- AWEA Rated Sound Level: 42.9 dBA
- Cut-in Wind Speed: 5 mph
- Cut-out Wind Speed: none
- Peak Power: 12.6 kW at 28 mph
- Max. Design Wind Speed: 134 mph
- Design Operating Life: 30-50 years.
- Turbine Rotor Diameter: 23 ft

Ilustración 30 Características técnicas de la turbina

- **Baterías**

El cálculo de baterías es si no la parte fundamental del proyecto, por lo menos una de las más importantes. Esto se debe a que el mayor número de fallos de la instalación se produce en este componente por lo que es primordial reducir el número de baterías al máximo.

Además hay que priorizar la conexión en serie y limitar la conexión de baterías en paralelo para evitar una aceleración en la degradación de las mismas.

Dada la envergadura de nuestra instalación y teniendo en cuenta que se trata de un sistema aislado, hemos decidido trabajar con baterías de 2500 Ah. Finalmente se ha optado por recurrir al fabricante Hawker como suministrador.

Seguidamente se presenta el esquema unifilar en el que se pueden ver cada uno de los componentes que hemos explicado anteriormente.

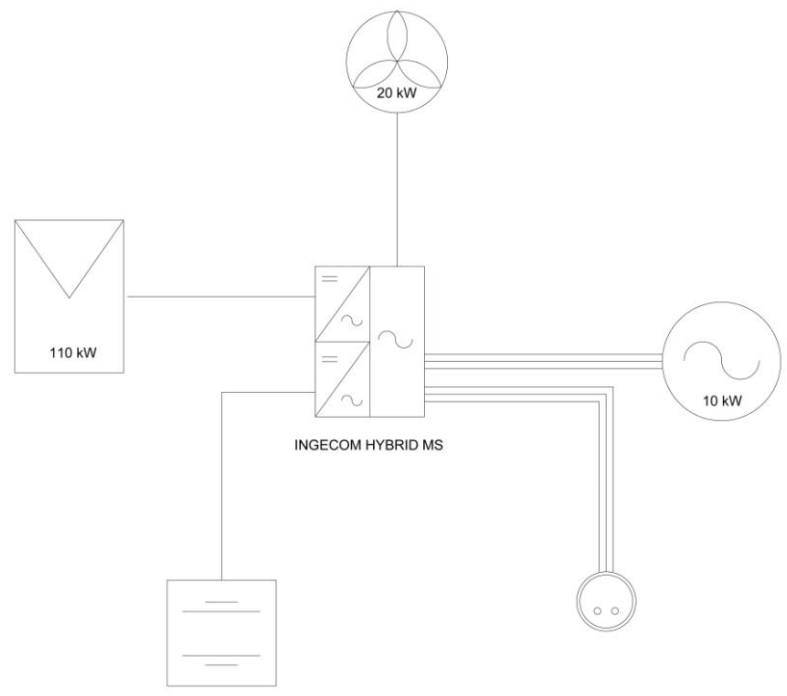


Ilustración 31 Esquema unifilar

6.2.2 Software empleado

Para diseñar este tipo de sistemas, se hace imprescindible el empleo de un software como HOMER que sirve como ayuda en las iteraciones que hay que realizar para dar con la configuración óptima.

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) fue desarrollado por NREL. Es una herramienta muy útil para determinar el menor costo de la energía generada a comunidades aisladas. Este costo, lo saca a partir de simulaciones de cada hora del funcionamiento de todos los equipos, analizando los costos del ciclo de vida útil de cada uno de ellos.

El primer paso que hay que hacer, es establecer los componentes del sistema híbrido que queremos instalar (paneles fotovoltaicos, grupo electrógeno...) e introducir en el sistema las características técnicas y precios de cada uno de ellos. También es necesaria una evaluación y caracterización de los recursos y establecer un patrón de consumo energético.

Una vez introducidos los datos, el programa calcula automáticamente cada una de las alternativas a instalar ordenándolas de menor a mayor teniendo en cuenta el precio de la instalación (Inversión+ costes de O&M+ costes de remplazo).

6.2.3 Resultados de la simulación

No existe una única solución técnica para el aumento de cargas que se prevé para los próximos años. Es por ello, por lo que finalmente hemos decidido estudiar el comportamiento de varias alternativas.

Técnicamente, lo óptimo sería dimensionar un sistema que fuese adaptándose en el tiempo a las necesidades eléctricas, añadiendo módulos fotovoltaicos para cubrir la demanda que fuera necesaria. Sin embargo, debido a que la financiación de este tipo de proyectos es un asunto crítico, consideramos que la mejor opción es realizar una única instalación, ya que las posibilidades de poder conseguir una futura subvención son dudosas.

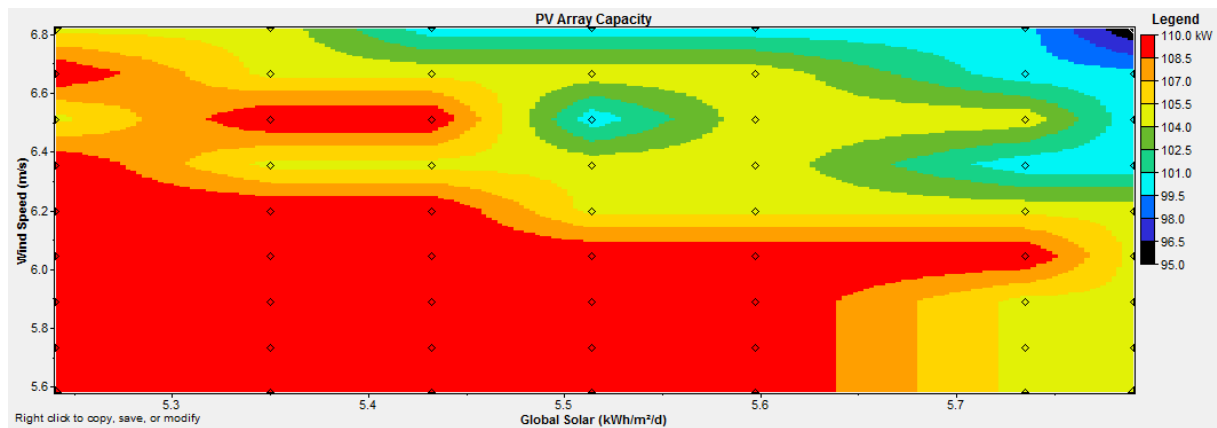
En un primer momento, tomamos como óptima la configuración de la tabla inferior. Era de las que mejor se comportaba frente a la variabilidad de cargas y recurso y cumplía todos los requisitos que le pedíamos al sistema desde un principio como la alta fracción renovable o un consumo mínimo de combustible.

PV(kW)	Bergey 10 kW	Generador diésel (kW)	Baterías	Fracción Renovable	Diésel (l)
95	3	10	Np=1 Ns=120	0,98	1477

Producción	kWh/año	%
Paneles fotovoltaicos	141601	64
Turbinas eólicas	74390	34
Generador diesel	3603	2
TOTAL	219593	100
Consumo	kWh/año	%
Carga primaria	142585	100
TOTAL	142585	100
Exceso de energía	56235	25,6
Carga no proporcionada	633	0,4

A través del ISA, las últimas noticias del proyecto Cruviana indican que la comunidad indígena tiene la intención de, como se verá en el punto de financiación, hacerse cargo de todos los gastos del sistema en el caso de que sea posible razón por la que se comenzó a pensar en la posibilidad de abaratar costes instalando únicamente dos turbinas eólicas en lugar de tres.

Teniendo en cuenta este factor, se analizaron distintas configuraciones de potencia solar fijando 20 kW eólicos.



Si tenemos en cuenta la fluctuación del recurso, se puede apreciar claramente cómo la mejor opción para la variación de radiación y viento que manejamos es la de 110 kW fotovoltaicos, alternativa que desarrollaremos más detenidamente a continuación.

Tabla 11 Configuración desarrollada

PV(kW)	Bergey 10 kW	Generador diésel (kW)	Baterías	Fracción Renovable	Diésel (l)
110	2	10	$N_p=1$ $N_s=120$	0,98	1455

Seguidamente, tenemos una tabla en la que se aprecia la producción de cada una de las tecnologías. Además como podemos observar, en ocasiones las cargas y las baterías no llegan a consumir/almacenar toda la producción instantánea y será necesario que el control abra el circuito.

Tabla 12 Producción por tecnología

Producción	kWh/año	%
Paneles fotovoltaicos	163959	76
Turbinas eólicas	49593	23
Generador diesel	3550	2
TOTAL	217102	100
Consumo	kWh/año	%
Carga primaria	142585	100
TOTAL	142585	100
Exceso de energía	51543	23,7
Carga no proporcionada	480	0,3

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL
COMUNIDAD DE MATURUCA
Tutor: Oscar Perpiñán

Consideramos que un exceso de electricidad como el que vemos en la tabla anterior es alto pero hay que sacrificar esa energía si queremos cubrir un alto porcentaje de los picos de consumo.

En el gráfico siguiente, se puede ver con profundidad la producción total de las energías solar y eólica a lo largo del año y la potencia que tiene que entregar el diésel para cubrir las necesidades energéticas de la comunidad cuando existe indisponibilidad de recurso renovable.

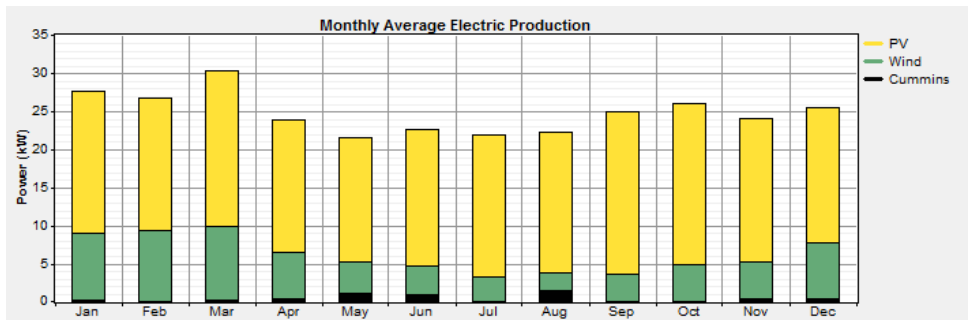


Ilustración 32 Producción de cada tecnología

FOTOVOLTAICA

En la tabla inferior, encontramos varios datos técnicos que nos ayudan a comprender cómo están trabajando los paneles.

Tabla 13 Funcionamiento de la tecnología fotovoltaica

	VALOR	UNIDAD
CAPACIDAD NOMINAL	110,00	kW
POTENCIA MEDIA	18,7	kW
PRODUCCIÓN MEDIA	449	kWh/día
FACTOR DE CAPACIDAD	17,0	%
PRODUCCIÓN TOTAL	163959	kWh/año
POTENCIA MÍNIMA	0	kW
POTENCIA MÁXIMA	91,2	kW
PENETRACIÓN FOTOVOLTAICA	115	%
HORAS DE OPERACIÓN	4380	Horas/año
COSTE NIVELADO DE LA ENERGÍA	0,0716	\$/kWh

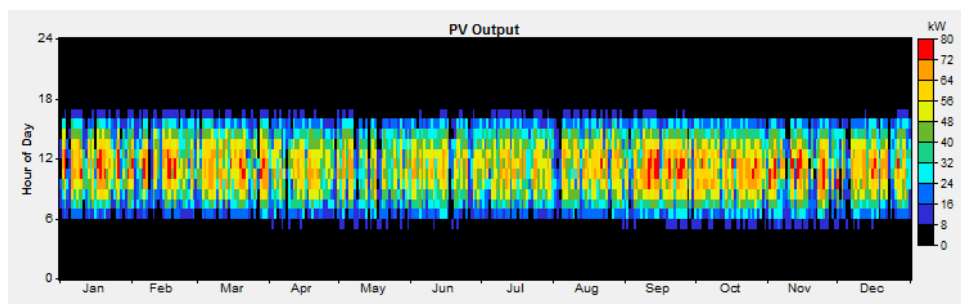


Ilustración 33 Funcionamiento de las placas fotovoltaicas

En la gráfica anterior podemos observar la potencia entregada por los paneles a lo largo del día y del año. Como podemos apreciar, lógicamente los paneles funcionarán sobre todo en las horas centrales del día. Es también reseñable la poca variación que existe de una estación a otra que tiene que ver con la proximidad de nuestra comunidad al ecuador.

A partir de los datos obtenidos de la ficha técnica del panel fotovoltaico y del inversor, hemos calculado la configuración final de los paneles.

Tabla 14 Características técnicas módulo e inversor

G*	1000 W/m ²	V_{mpp}*	29,8 V
T_a*	25 °C	I_{mpp}*	8,39 A
TONC	47°C	I_{sc}*	9,09 A
V_{mpp}	[150,700]	V_{oc}*	36,9 V
I_{max}	260 A	P_{mpp}*	250 W
P_{nom}	60 kW	Coef T^a	-0,36 %/°C
Células en serie		60	

CONFIGURACIÓN FINAL

N_s	N_p	N_t	P (kW)	FDI
23	19	437	109,25	1,214

EÓLICA

Se ha estudiado igual que para la tecnología fotovoltaica el comportamiento de los aerogeneradores.

Tabla 15 Funcionamiento de los aerogeneradores

	VALOR	UNIDAD
CAPACIDAD NOMINAL	20,00	kW
POTENCIA MEDIA	5	kW
FACTOR DE CAPACIDAD ⁽¹⁾	28,3	%
PRODUCCIÓN TOTAL	49593	kWh/año
POTENCIA MÍNIMA	0	kW
POTENCIA MÁXIMA ⁽²⁾	22,9	kW
PENETRACIÓN EÓLICA	34,7	%
HORAS DE OPERACIÓN	8745	Horas/año
COSTE NIVELADO DE LA ENERGÍA	0,175	\$/kWh

⁽¹⁾El factor de capacidad viene determinado con la potencia nominal de la máquina, no la máxima.

⁽²⁾ No es de extrañar que la potencia máxima de las turbinas superen los 20 kW. Como podemos observar en la ficha técnica de los aerogeneradores, aunque la potencia nominal de cada turbina es de 10 kW su potencia pico es de 12,6kW.

En la gráfica siguiente, podemos ver claramente el funcionamiento de las turbinas y cómo durante los primeros meses del año, debido al mayor recurso eólico es el momento en el que se funciona a potencia superior.

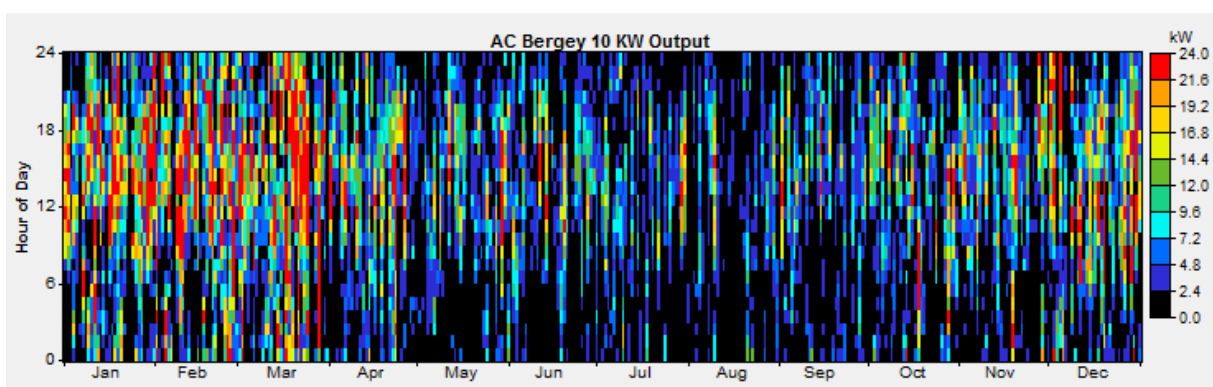


Ilustración 34 Actividad de las turbinas

GENERADOR DIESEL

A continuación, podemos ver las características de operación del grupo electrógeno así como el coste de generación.

Tabla 16 Funcionamiento del grupo diésel

	VALOR	UNIDAD
HORAS DE OPERACIÓN	399	Horas
Nº DE ARRANQUES	16	Arranq/año
VIDA OPERACIONAL	37,6	Años
FACTOR DE CAPACIDAD	4,05	%
PRECIO FIJO GENERACIÓN	4,75	\$/hora
COSTE MARGINAL DE ENERGÍA	0,432	\$/kWh
PRODUCCIÓN	3550	kWh/año
POTENCIA MEDIA	8,90	kW
POTENCIA MÍNIMA	3	kW
POTENCIA MÁXIMA	10	kW
CONSUMO DIESEL	1455	l/año
	0,410	l/kWh
EFICIENCIA	24,8	%

En la próxima figura podemos apreciar cómo el grupo electrógeno se pone en funcionamiento en los momentos en los que se minimiza la producción de energía eólica. Podemos ver que suele ponerse en marcha en los meses centrales del año y mayoritariamente en horas en las que no luce el sol. Esto es, porque es el momento en el que no hay recurso solar cuando se dan los consumos más altos, ya que las familias se encuentran en sus viviendas y están en funcionamiento muchas de las cargas residenciales.

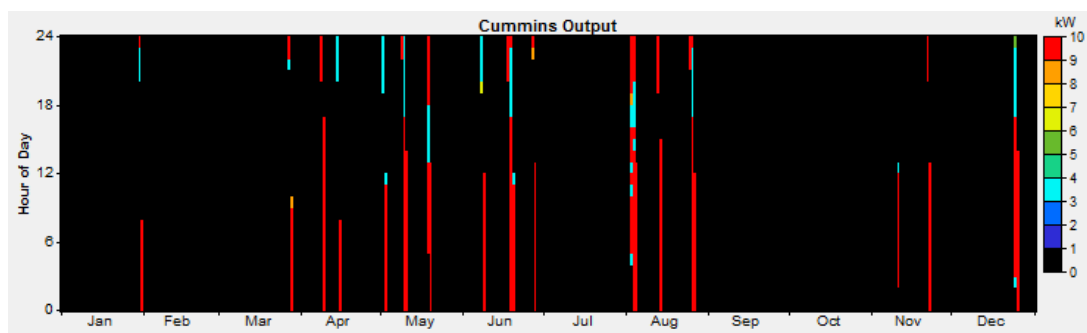


Ilustración 35 Funcionamiento del grupo electrógeno

Detallamos también las emisiones de gases que son esperables debido al funcionamiento de nuestro grupo.

Tabla 17 Emisiones de gases contaminantes

CONTAMINANTE	EMISIONES (kg/año)
CO ₂	3832
CO	9,46
Inquemados	1,05
Particulas	0,713
SO ₂	7,69
NOx	84,4

BATERÍAS

Nos parece muy importante resaltar que como se puede ver en la imagen inferior, nuestras baterías se mantienen en torno a un 50% del tiempo por encima del 80% de carga. Esta situación permite alargar la vida de las baterías por encima de lo esperado.

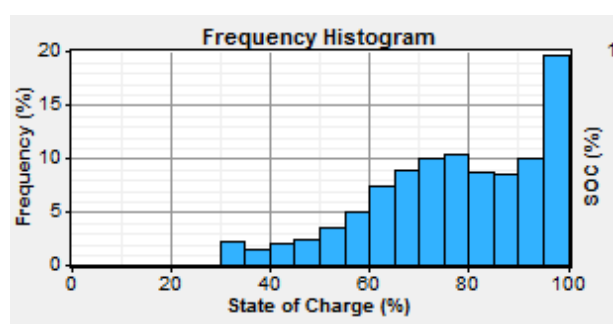


Ilustración 36 Porcentaje de carga de la batería

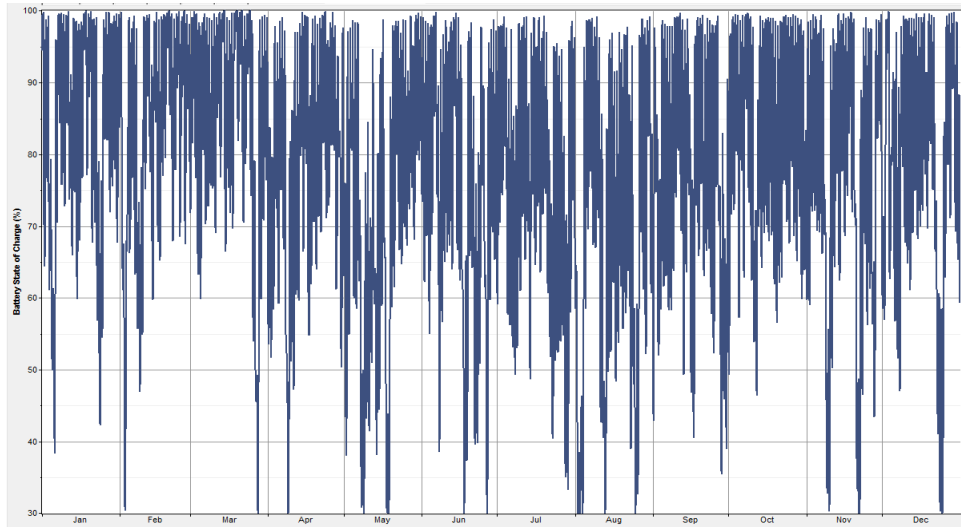


Ilustración 37 Carga y descarga de la batería (año)

En la figura anterior, podemos observar que durante los meses de verano las baterías tienen muchos más ciclos de carga y descarga. Esto se debe, a que es en esa época cuando el recurso eólico es menor por lo que es necesario recurrir durante la noche a las baterías que se han recargado durante las horas de luz gracias a los paneles solares.

En la siguiente ilustración se ve el estado de carga de la batería a lo largo del día y para cada época del año.

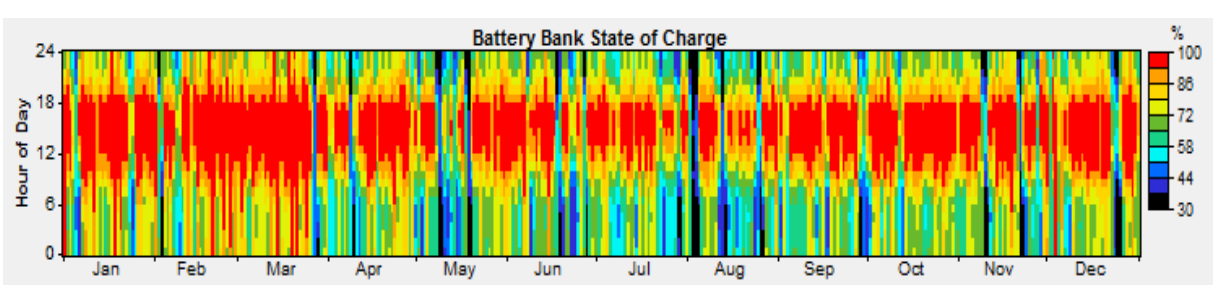


Ilustración 38 Funcionamiento de las baterías

Podemos apreciar como hay una tendencia general a que la batería se encuentre a carga completa en las horas centrales del día. Eso se debe a que la producción de energía renovable a esas horas está a alto rendimiento, pero a su vez, las familias se encuentran dedicadas a las labores productivas que requieren menor demanda de energía que las cargas residenciales.

INVERSOR

Por último, en la Tabla 18 se puede ver el comportamiento del inversor/ regulador.

Tabla 18 Funcionamiento del inversor

	INVERSOR	RECTIFICADOR	UNIDAD
CAPACIDAD	60,0	60,0	Horas
POTENCIA MEDIA	11,2	0,5	kW
POTENCIA MÍNIMA	0	0	kW
POTENCIA MÁXIMA	60	23,3	kW
FACTOR DE CAPACIDAD	18,6	0,9	%
HORAS DE OPERACIÓN	7345	920	Horas
ENERGÍA DE ENTRADA	108671	5345	kWh/año
ENERGÍA DE SALIDA	97804	4544	kWh/año

El inversor, es el encargado de conectar los paneles fotovoltaicos y las baterías (CC) con las cargas (CA). El rectificador, se encargará de conectar el grupo electrógeno y las turbinas eólicas con los puntos de consumo. Además el INGECON HYBRID MS, será capaz de gestionar la regulación de carga del acumulador. Hay que destacar su importancia como elemento de seguridad para éste, evitando las descargas profundas cuando la tensión de la batería baje de cierto umbral, “voltaje de desconexión de carga” y también su sobrecarga. La incorporación de todos los elementos de control en un mismo equipo, simplifica la operación. El Ingecon Hybrid MS, es el equivalente a un bus de corriente alterna, al que se incorporan todos los elementos de la instalación una vez que se transforma la parte del sistema que está en continua. De allí, la corriente trifásica es transportada hasta el consumo. De esta manera, garantiza el equilibrio entre generación, consumo y acumulación, y administra la entrada del grupo electrógeno cuando es necesario.

Podemos ver en la ilustración inferior que el inversor trabaja al llegar la tarde ya que es cuando existe mayor demanda eléctrica, la producción solar es muy baja y las baterías entran en funcionamiento. El rectificador, se pone en marcha principalmente en las primeras horas del día en las que se suministrará la demanda eléctrica a través de generación eólica.

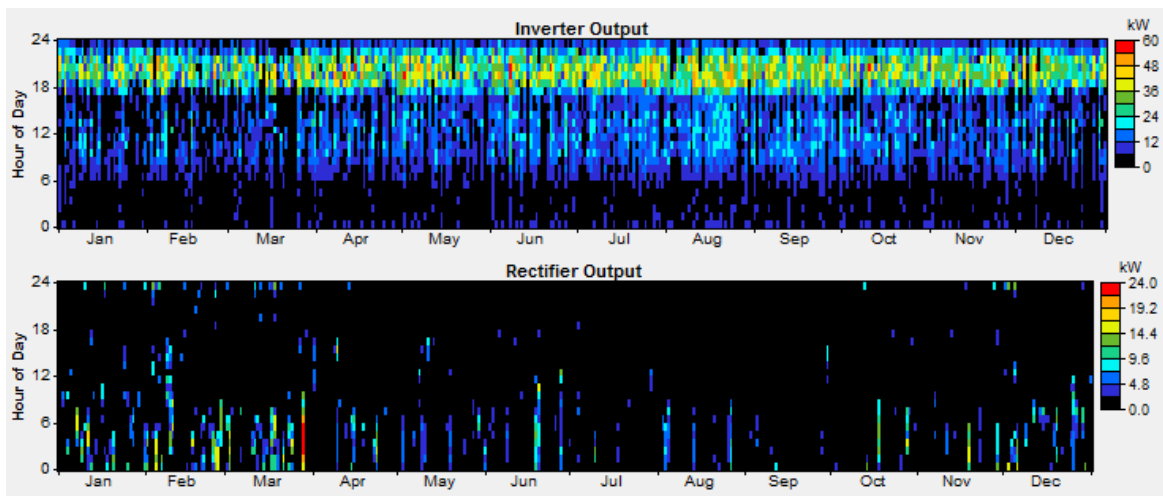


Ilustración 39 Funcionamiento del inversor/regulador

6.3 Seguridad eléctrica

En cualquier instalación de generación eléctrica son necesarias ciertas medidas de seguridad que disminuyan el riesgo eléctrico para las para las personas y protejan los equipos de situaciones indeseadas que puedan dañarlos.[31]

La conexión a tierra en la parte de continua será IT, mientras que la conexión en la parte de alterna será TT.

La conexión IT implica un aislamiento de todas las partes activas respecto a tierra y que todas las masas estén directamente conectadas a tierra.

Protección para las personas:

El efecto que la corriente eléctrica tiene sobre el cuerpo humano, dependerá de varios factores, entre ellos su intensidad y duración. A su vez, la intensidad que puede circular por el cuerpo humano dependerá de la tensión de contacto y la resistencia, que además está directamente relacionada con el estado físico, la piel o la sudoración de la persona en cuestión.

Para corriente continua se fija una corriente máxima admisible de 100 mA y para la corriente alterna de 30 mA.

Considerando un esquema de conexión a tierra IT, un contacto indirecto (contacto con partes conductivas expuestas debido a un fallo de aislamiento) no puede cerrar el circuito, en esta situación no existe corriente de fuga, y la persona no está expuesta a la tensión de contacto. En cambio, sí son necesarias protecciones para el esquema TT.

En cuanto a los contactos directos (contacto con las partes activas), la ITC-BT-24 dentro del reglamento de baja tensión en España, recoge las protecciones necesarias para un esquema de tierra IT en la zona del generador fotovoltaico y las del esquema TT encontradas a partir del inversor.

- Aislamiento de partes activas
 - Configuración flotante del generador (configuración IT) y utilización de componentes de clase II
 - Cableado con aislamiento de protección
 - Aislamiento galvánico AC-DC

- Sistema de detección de aislamiento

En esta parte se añaden las medidas necesarias para comprobar el buen funcionamiento del aislamiento del sistema.

- Puesta a tierra

Hay que remarcar la necesidad de interconectar todos los elementos de puesta a tierra del sistema, de tal manera que las masas accesibles por una persona estén conectadas a una superficie equipotencial.

Protección para equipos:

DC:

Para la protección frente a cortocircuitos se incluirán fusibles, cuyo portafusibles asociado servirá como elemento seccionador.

Existen varistores que protegen frente a sobretensiones en equipos electrónicos incluidos en el inversor Ingecon Hybrid MS.

Será necesario también instalar un seccionador del banco de baterías, por recomendación del fabricante del inversor.

La intensidad nominal de los fusibles vendrá dada por:

$$I_n \geq 1,25 \times I_{sc}$$

AC:

Será necesaria la protección mediante interruptores magnetotérmicos que probablemente estén incluidos en el inversor. Habría que incluir un magnetotérmico general manual.

Para proteger de las derivaciones en el circuito de corriente alterna, será obligatorio instalar un interruptor diferencial con la sensibilidad adecuada.

Entre las turbinas eólicas y el inversor, será necesario un fusible, por recomendación del fabricante. Además, se incluirán varistores al principio y final de la conexión entre turbinas e inversor Ingecon Hybrid, para evitar sobretensiones ocasionadas por tormentas magnéticas. Aún así, el Ingecon lleva sus propias protecciones frente a descargas atmosféricas.

Todos estos requisitos de seguridad, se basan en la experiencia recogida en la “Norma Técnica Universal para sistemas fotovoltaicos domésticos” y en el “Borrador de estándar técnico para sistemas PV autónomos con inversores”, aplicando las medidas necesarias asegurar el buen funcionamiento del sistema, así como preservar la integridad de las personas.

6.4 Permisos

El medio ambiente, es un sistema que puede ser alterado con facilidad. Por ello es necesario un riguroso control y unas medidas legales contundentes que eviten que las actividades potencialmente dañinas se lleven a cabo en espacios naturales de alta sensibilidad. En Brasil, la concesión de licencias es el proceso que evita que estas actividades alteren de forma negativa el entorno natural.

La oficina responsable de la aplicación de la concesión de licencias en el ámbito federal en Brasil, es el IBAMA (Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables). Este organismo opera principalmente en la concesión de licencias a grandes proyectos de infraestructura, que involucran impactos en más de un estado, y las actividades de la industria del petróleo y gas en la plataforma continental.

Las licencias ambientales, son una obligación legal previa a la instalación de cualquier actividad que sea potencialmente contaminante o degradante para el entorno en el que se sitúa. Uno de los rasgos más significativos del proceso de obtención de las licencias, es la participación social en la toma de decisiones a través de la realización de audiencias públicas. Las Agencias Estatales de Medio Ambiente y el IBAMA serán los encargados de hacer cumplir, como partes integrantes de SISNAMA (Sistema Nacional Ambiental), que este proceso se lleve a cabo.

Como instrumento de prevención, la concesión de licencias es esencial para garantizar la preservación de la calidad ambiental, concepto amplio que cubre aspectos que van desde temas de

salud pública hasta la conservación de la biodiversidad o el desarrollo económico. De este modo, la licencia ambiental es un proceso legal de fundamental importancia, ya que permite identificar los efectos ambientales y cómo pueden ser controlados.

Como se mencionó previamente, generalmente es el IBAMA el encargado de conceder las licencias ambientales, pero en el caso de que el proyecto esté planeado en tierras indígenas, será el FUNAI (Fundação Nacional do Índio) el encargado de aprobar o no la licencia ambiental y por consiguiente en decidir la paralización o el arranque del proyecto.

Este órgano, tiene como función la de manifestar las actividades que puedan afectar a los pueblos indígenas de la tierra, tanto ambientales como culturales. Con esta organización se garantiza la protección del medio ambiente de las Tierras Indígenas, estableciendo directrices y analizando los estudios de los impactos sobre las personas y sobre estos territorios, asegurando la participación de comunidades indígenas en todo el proceso de obtención de licencias.

FUNAI, marca como obligación la elaboración de un estudio de impacto ambiental para la obtención de las mismas. El EIA debe contener varios documentos técnicos entre los que se incluirá un plano de emplazamiento del proyecto, una descripción de la región en la que se va a situar y una evaluación de todos sus posibles impactos sobre el medio ambiente y sobre las personas que viven allí.[32]

Una vez que la Evaluación de Impacto Ambiental está lista, los técnicos de la FUNAI harán un informe técnico, en el que se registrarán sus dudas y su decisión sobre si finalmente aceptan o no la propuesta.

Como se comentó con anterioridad, cualquier proyecto está sometido a un proceso de participación pública. En este caso, el FUNAI se encarga de realizar audiencias públicas cuyo objetivo es explicar a la población los impactos ambientales presentados en el EIA y contestar las preguntas que puedan surgir. En este proceso de participación, es importante destacar que aunque el proyecto no afecte a una comunidad en concreto, esta es libre de acudir, informarse y opinar sobre el mismo. La legislación también garantiza que las comunidades indígenas afectadas por el área de influencia del proyecto sean escuchadas.

En el caso de FUNAI, una vez aprobado el EIA, esta organización despliega una serie de técnicos para controlar los impactos negativos y maximizar los impactos positivos identificados. De esta forma, se elabora el PBA (Plan Básico Ambiental) donde se detallan las acciones que deben llevarse a cabo para cada impacto detectado.

Una vez realizado todo este proceso, se procede a la obtención de las licencias ambientales. Todas las licencias tienen una fecha de caducidad y deben ser renovadas cada cierto tiempo. Para su renovación, se realizan informes de aspectos técnicos del proyecto y encuestas a

las comunidades indígenas que expresarán su opinión sobre la instalación. Existen diferentes tipos de licencias:

- Licencia previa LP: Informa de si la actividad propuesta se puede llevar a cabo en el lugar, desde el punto de vista medioambiental y además, hace responsable al constructor de prevenir y controlar los impactos ambientales descritos en la EIA. Con esta licencia no está permitido comenzar las obras.
- Licencia de instalación LI: Una vez demostrado que se cumple con la licencia previa, se consigue esta licencia que permite que los trabajos se inicien. Para obtener esta licencia será necesario presentar el PBA.
- Licencia de funcionamiento LO: Una vez finalizada la obra, se pide la licencia de funcionamiento que permite la puesta en marcha del proyecto.

Con las exigencias del FUNAI que se han descrito anteriormente, se va a realizar una pequeña introducción a lo que sería una evaluación de impacto ambiental de nuestro proyecto, identificando y describiendo los principales impactos previsibles por la construcción y operación de nuestra actividad.

Cualquier evaluación de impacto ambiental, lleva consigo una descripción del territorio. La de nuestro emplazamiento y su entorno, se encuentra en el apartado 5 del trabajo donde se hace una aproximación al lugar. Además es necesario conocer el medio en el que se va a instalar nuestro proyecto por lo que se ha realizado un mapa de unidades ambientales en el que se pueden observar los distintos bosques nacionales, parques naturales y estaciones ecológicas, así como las vegetaciones predominantes en la zona.

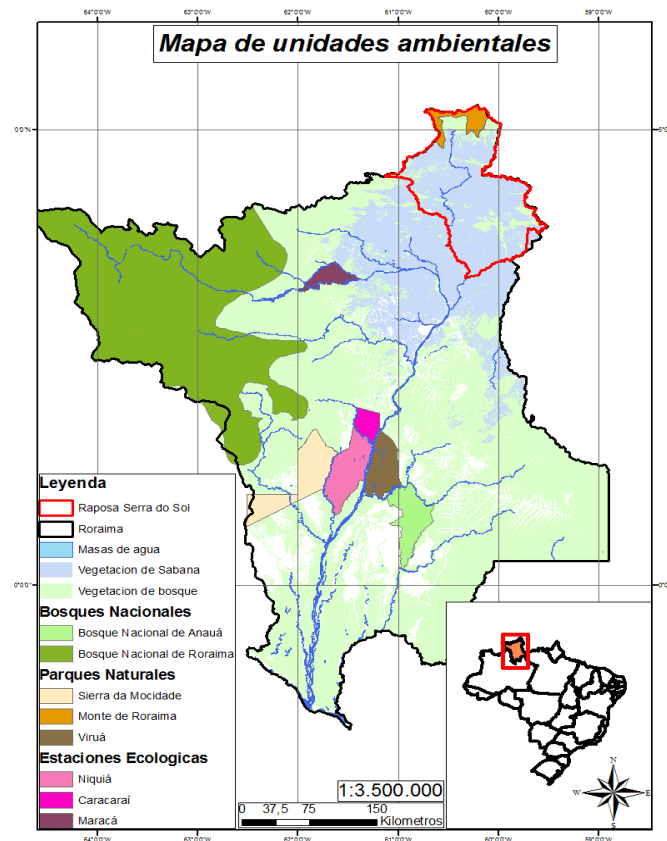


Ilustración 40 Mapa de unidades ambientales

Como se observa en el mapa, nuestra actividad no se desarrolla en ningún lugar protegido ambientalmente, aunque si cabe destacar un lugar cercano situado al norte del municipio que es el Monte de Roraima. Raposa Serra do sol, la región en la que nos encontramos, es un área protegida por el FUNAI y declarada tierra ancestral indígena, por lo que será obligado solicitar todos los permisos explicados previamente.

Entre los impactos esperables por nuestro proyecto se destacan los siguientes:

- Impactos sobre la topografía: Producidos por la acción de la excavación puntual para el enterramiento del cableado y por la pequeña cimentación de los 2 aerogeneradores.
- Impactos sobre el aire: Producidos por las partículas en suspensión producto del tránsito de vehículos para el transporte de material.
- Impactos sobre la fauna y la flora: Producidos por el tránsito de vehículos y ruidos generados, además del desbroce generado para la instalación de equipos y posible ampliación de pistas para el acceso a la zona. A pesar de estos impactos, la diversidad de fauna de la zona no se verá apenas afectada en su hábitat porque el proyecto no será nada agresivo con el ecosistema y en cuanto a las aves, como las turbinas minieólicas son de pequeño tamaño no van a producir daños.

- Alteración paisajística: Distorsiones paisajísticas producidas por la instalación de paneles fotovoltaicos y turbinas minieólicas, así como la generación de residuos y desechos de la obra que si no son tratados con precaución pueden alterar el medio.
- Impactos sobre el ambiente social y la salud: Por lo general, los impactos serán positivos ya que con la dotación de electricidad se va a permitir mejorar las condiciones de vida generales de la comunidad. Hay que resaltar, que se están introduciendo en la población cambios que han sido solicitados por los propios indígenas y por ende, existe una aceptabilidad plena del proyecto.

Para reducir los impactos mencionados, se van a tomar una serie de medidas descritas a continuación:

- Para minimizar los impactos sobre la topografía y sobre la fauna y la flora, se va a restringir el paso de vehículos a pistas habilitadas para el tránsito.
- Por otro lado, para reducir el impacto en el aire, se van a humedecer las pistas para evitar que el tránsito de vehículos levante polvo y se generen demasiadas partículas en suspensión que puedan provocar daños a la comunidad.
- Para disminuir los impactos en el paisaje, se van a disponer recipientes para la deposición de residuos evitando así la contaminación del lugar y la nefasta imagen que pueden provocar estos desechos.
- En relación a las baterías, se va a cumplir la resolución del CONAMA, número 401, de 4 de noviembre de 2008. Esta ley, nos da una serie de directrices para evitar daños en el medio ambiente por la utilización de estos componentes y cómo deben ser tratados una vez alcancen la condición de residuo. Para poder instalar las baterías, es necesario que se cumplan unos requisitos que vienen detallados en el artículo 7 de esta ley. En él, se especifica las cantidades máximas de contenidos en metal que pueden tener los acumuladores.

A modo de resumen, nuestro proyecto apenas va a generar impactos negativos y sin embargo, los impactos positivos que se originarán van a ser muchos ya que se va a instalar un sistema renovable que está solicitando la propia comunidad y que es respetuoso con el medio ambiente.

6.5 Mantenimiento

Una de las tareas fundamentales en una instalación como la nuestra es el mantenimiento.

De la correcta construcción de una estructura para este mantenimiento, dependerá el fracaso o el éxito del proyecto. No sólo porque el suministro energético permanente está en juego, si no porque si no, se corre el riesgo de que la instalación caiga en desuso.

Además, el mantenimiento de un sistema híbrido como éste, constituido por fuentes eólica y solar, presenta dos problemas esenciales. Uno de ellos, es la especialización necesaria del técnico que se encargará de esta tarea. El otro, la distancia entre la comunidad de Maturuca y el núcleo urbano más cercano.

Por ello, es imprescindible capacitar a los propios indígenas para que se encarguen del mantenimiento del proyecto. Se está firmando un acuerdo con la Escola Técnica Federal de Educação, Ciência y Tecnología de Roraima que se ocupará de dar la formación correspondiente a los jefes de la tribu. Éstos, serán los encargados de expandir lo aprendido entre el resto de la comunidad.

Ilustración 41 Lecciones de mantenimiento



Todas las personas que reciban estas lecciones sobre electricidad, tendrán la habilidad de hacer las reparaciones correspondientes, hacer colecta de datos, realizar la lectura de los aparatos y administrar las herramientas y las piezas de reposición que sean necesarias.

Además del acuerdo realizado con la Escola Técnica Federal, se está trabajando en la creación del Programa Agente Indígena de Energía. El objetivo de este programa, es formar durante este primer año a 20 electricistas entre la gente de la comunidad y que este grupo esté encargada en un futuro de educar a otras poblaciones indígenas en temas relacionados con gestión eficiente de la energía y con prevención de riesgos en la manipulación de la instalación eléctrica.

Además, se prevé dotar a la población de varias cajas de herramientas provistas de destornilladores, alicates, grapas y conectores para realizar empalmes, bridas o rollos de cinta aislante.

Creemos necesario realizar visitas de inspección cuya frecuencia se irá disminuyendo con el paso del tiempo, en las que se revisará tanto el correcto funcionamiento de los sistemas como su aceptación por los usuarios.

La idea, es seguir atentamente la evolución de las aplicaciones que utilizan los indígenas, de las modificaciones que puedan ir realizando en la instalación, y de las necesidades que los mismos usuarios expresen para conseguir que el sistema se integre completamente en la comunidad. Además, esto puede servirnos como ejemplo para futuros proyectos similares.

A continuación, hemos hecho un pequeño análisis de las tareas que se deben llevar a cabo para cada tecnología de forma que se eviten el mayor número de fallos posible.

Paneles solares

Se realizará una instalación solar de suelo ya que las cubiertas de las viviendas del poblado no tienen la suficiente resistencia como para que su estructura soporte el peso de las placas. Alrededor de nuestra instalación, se colocará una valla que servirá como barrera de personas ajenas a la instalación y de animales salvajes.

Deberá mantenerse en buen estado el sistema de drenaje ya que la acumulación de piedras o vegetación podría propiciar inundaciones que pueden llegar a afectar a la cimentación.

Hay que asegurarse desde un principio de que no existen sombras puntuales porque bajará la producción eléctrica y además se favorece la aparición de puntos calientes deteriorando los módulos. Además, habrá que limpiar la vegetación que crezca alrededor para evitar el mismo fenómeno.

Se tendrá que realizar periódicamente una inspección visual de los paneles y realizar la limpieza de la superficie, ya que las pérdidas asociadas por suciedad pueden superar el 20%.

Los inversores con protección IP20, estarán alojados en una caseta aislada de los agentes meteorológicos externos situada junto al generador. Esta caseta, dispondrá de unos conductos de expulsión de aire para reducir todo lo posible la temperatura de operación.

En las cajas de conexión deberá confirmarse todos los años que todos los cables están debidamente apretados, ya que una conexión deficiente incrementará las pérdidas del cableado y el riesgo de incendio.

Habrà que realizar una inspección visual de los cableados eléctricos para evitar falsos contactos. [33]

Aerogenerador

A diferencia de los paneles solares en este caso estamos tratando con máquinas en movimiento por lo que será necesario una inspección más exhaustiva que en el caso anterior que veremos más detallada a continuación.

El primer punto a revisar en la instalación de un pequeño aerogenerador, es el estado de las torres principalmente la tornillería de unión entre las diferentes partes y el propio aerogenerador.

Además, cada seis meses y a ser posible durante los cambios de estación, se recomienda controlar la turbina. Habrá que revisar y reapretar la tornillería y ante la falta de un tornillo, encargarse de remplazarlo con la mayor brevedad posible para evitar daños mayores.

También estarán entre sus funciones comprobar el cableado eléctrico, el frenado automático y vigilar el estado de las hélices. Las hélices de fibra de carbono, llevan en el borde de ataque una cinta protectora de poliuretano abrasivo que preserva a las palas de la erosión alargando su vida útil.

También tendrán que encargarse de mantener los equipos en el mejor estado posible y quitar obstrucciones que haya en las rendijas de ventilación.

El aerogenerador lleva instalados amortiguadores hidráulicos que permiten el frenado rápido por inclinación y su vuelta a una posición normal lenta, evitando de este modo golpes bruscos. El amortiguador tiene una pequeña holgura al principio de su retroceso pero si se da el caso de que esa holgura es mayor que la mitad del recorrido, tendrán que sustituir los amortiguadores por unos nuevos.

Baterías

Las baterías, es el equipo más delicado y el que más problemas suele dar en estos sistemas. De su deterioro se derivan consecuencias en el coste y la fiabilidad de la instalación y este envejecimiento puede retrasarse considerablemente si se detectan y se corrigen a tiempo algunos problemas.

La corrosión de los bornes es un proceso favorecido por la humedad del aire y los vertidos del electrolito. Pueden producirse depósitos de carácter tóxico que además disminuyen la vida útil de la batería. Es por ello que deberán revisarse con frecuencia, someterles a una buena limpieza y protegerlos con una capa de vaselina.

Será primordial controlar el nivel del electrolito por lo que es conveniente instalar baterías con caja translúcida para facilitar la comprobación de la altura del líquido.

Para realizar este mantenimiento es necesaria también la capacitación ya que habrá que llevar a cabo algunos pasos primordiales para garantizar la seguridad tanto de la persona como de la instalación. Como claro ejemplo de los pasos a seguir, es que siempre que vaya a trabajarse con el banco de baterías es indispensable la desconexión previa de los generadores.

Como última consideración, se aconseja realizar el mantenimiento de las baterías semestralmente.[34]

Grupo electrógeno

Existirá una persona que se ocupará de controlar el nivel de gasóleo y de rellenar el depósito de combustible cuando sea necesario.

Además habrá que controlar el nivel de aceite y se respetarán los intervalos de tiempo recomendados para realizar el cambio de aceite y sustituir el filtro. De la misma manera habrá que llevar a cabo el cambio del filtro de combustible cuando sea necesario. Estas operaciones deben de realizarse con el motor parado y en frío.

El filtro del aire debe sustituirse cuando el indicador así lo indique teniendo en cuenta que el grado de suciedad del filtro, depende de la concentración del polvo en el aire y del tamaño elegido por lo que no existen unos tiempos exactos sino que será preciso definirlos para nuestro caso en particular.

**ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN
RORAIMA, BRASIL**
COMUNIDAD DE MATURUCA
Tutor: Oscar Perpiñán

No hay que olvidar realizar la comprobación y tensar las correas en caso de que sea necesario su ajuste y rellenar el sistema de refrigeración siempre con un refrigerante que proteja contra la corrosión interna y la congelación.

7. BALANCE ECONÓMICO DEL PROYECTO DE MATURUCA

Uno de los puntos críticos del proyecto de electrificación híbrido eólico-fotovoltaico de Maturuca, es el poder adquisitivo de la comunidad. Esto deberá tenerse en cuenta a la hora de plantear el balance económico del sistema y diseñar las tarifas que deben pagar las familias por este nuevo sistema de abastecimiento eléctrico.

Este proyecto no están sujetos únicamente a rentabilidad económica, sino que el objetivo principal del sistema es alcanzar un beneficio social, de desarrollo e independencia para la comunidad.

El beneficio económico, vendría dado en forma de ahorro, bien para la comunidad o bien para el organismo vinculado al desarrollo del proyecto, ya que la cuota para el pago del sistema debería ser inferior a la que hasta el momento pagaba el pueblo indígena por el antiguo sistema de generación eléctrica.

7.1 Formas de financiación

Se han barajado diversas opciones de cara al pago del sistema. Por una parte, y dado que el desarrollo del sistema lo ha propuesto la comunidad, se lo plantean como inversión propia de desarrollo. Sin embargo, sería deseable conseguir financiación a fondo perdido, en forma de donaciones o subvenciones, para costear la instalación o la operación durante la vida útil del sistema.

7.1.1 La inversión inicial

La inversión inicial es el desembolso de mayor volumen, puede ser costeada mediante la implicación de organismos multilaterales, de programas del propio gobierno dedicados a desarrollo social, o de inversores privados. En cualquier caso, se estaría hablando de fondos no reembolsables destinados a proyectos de carácter social que contribuyan al desarrollo de una determinada zona.

Entre ellos, podrían ser relevantes para el proyecto de Maturuca:

- El BNDES (*O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social* de Brasil), es una empresa federal vinculada al Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior Brasileño. Tiene varias líneas de apoyo financiero a empresas que contribuyan al desarrollo económico del país, pero también destina parte de sus beneficios a proyectos de carácter social que contribuyan al desarrollo socioambiental de diferentes áreas.

- El BID (Banco Interamericano de Desarrollo), a través de los fondos del FONIM (Fondo Multilateral de Inversiones), es el organismo multilateral que se encarga de apoyar financieramente a América Latina y el Caribe con el fin de reducir la pobreza y desarrollarse de manera sostenible. Proporcionan donaciones a instituciones sin ánimo de lucro para el desarrollo de proyectos innovadores y sostenibles a largo plazo y potencialmente replicables en otros sectores o países. Alrededor de 65% de los recursos del FOMIN son no reembolsables.
- El FINEP (*A Financiadora de Estudos e Projetos*) es una empresa vinculada al Ministério da Ciência e Tecnologia Brasileiro. Concede financiamiento reembolsable y no reembolsable en áreas de ciencia, tecnología e innovación, a empresas públicas y privadas, en todas sus áreas. Las propuestas de financiación deben ser presentadas en respuesta a convocatorias públicas.
- El programa más importante, y que se desarrolló en el punto 3, es el programa **Luz Para Todos**, que por sus características y requisitos, encontramos es la opción más adecuada a la que acogernos con nuestro proyecto. La electrificación de Maturuca, se englobaría dentro de los denominados “Proyectos especiales”, ya que se encuentra a mucha distancia de la red, y es necesario el diseño de un sistema aislado. En este tipo de proyectos se prioriza la generación con fuentes renovables, como es nuestro caso. El programa proporciona el pago total de la inversión inicial del proyecto debida a equipos y montaje, lo que supone un porcentaje muy elevado del presupuesto total. Una vez finalizado el proyecto, el gobierno estatal se encargará de la distribución de la electricidad y el mantenimiento de la instalación, gracias unas tarifas prefijadas que pagan las comunidades con carácter mensual. Las familias indígenas inscritas en el Catastro Único, y que tengan una renta familiar per cápita menor o igual a medio salario mínimo, tendrán un descuento del 100% en esta tarifa hasta un consumo máximo de 50kWh/mes.
- Considerar una **financiación a través de una entidad privada**, de forma que la comunidad asuma el pago de los costes del sistema, llevaría intrínsecas unas implicaciones de independencia que harían de ella la opción más aconsejable. A pesar de que supone que la población de Maturuca tiene que asumir los costes, los indígenas serían más partícipes del proyecto. Las empresas privadas podrían verse interesadas en financiar este tipo de proyectos cara a su visibilidad y agendas de responsabilidad social corporativa.

7.1.2 Conta de Consumo de Combustíveis fósseis (CCC-ISOL)

El consumo de combustible del grupo electrógeno diésel suele representar también una cantidad elevada de dinero. Desde 1993, según la *Conta de Consumo de Combustíveis fósseis (CCC)*, mediante el art. 8 de la Ley 8631, de 4 de Marzo de 1993, las compañías distribuidoras de energía extienden a sus clientes los costes prorrateados de los combustibles fósiles para la generación eléctrica en sistemas aislados, con el fin de promover el suministro de energía y unos precios

razonables en las regiones más remotas del país, dado que estos sistemas no pueden obtener suministro eléctrico dentro de principios puramente comerciales.

Dicho esto, desde el punto de vista de las compañías energéticas, reducir significativamente los costes a subvencionar parece el objetivo natural siguiente: es necesario adoptar medidas para reducir el consumo de combustibles fósiles en sistemas aislados. Por ello, la Ley 9.648/1998 estableció un mecanismo para la transferencia de recursos de CCC-ISOL (*Conta de Consumo de Combustíveis* de los sistemas aislados) de forma que se fomenten las explotaciones de generación de electricidad a partir de hidráulica, eólica, solar, biomasa y gas natural.

La CCC-ISOL reembolsará el importe equivalente a la diferencia entre coste total de la generación de energía para cumplir con la demanda, y el coste promedio de esa energía, considerado en *Ambiente de Contratação Regulada*, y calculado mensualmente.

La CCC-ISOL estaba establecido que durase hasta 2013, y en el 2002 el período fue ampliado hasta el año 2022. La idea era mantener el subsidio de la CCC tanto tiempo como fuera necesario hasta que estos sistemas puedan ser incorporados en el Sistema Interconectado Nacional, y pasen a operar sobre una base competitiva. Sin embargo, todo esto está bajo revisión actualmente y se plantea un futuro incierto para estas subvenciones.

7.2 Costes del sistema

El objetivo del proyecto es impulsar el crecimiento de la comunidad de Maturuca, teniendo en cuenta que aspiran a aumentar su demanda eléctrica un 300% en los próximos 10 años, como se explica en el apartado 6.

La demanda eléctrica de las actividades dedicadas a la propia subsistencia familiar y la de las actividades comunitarias, se encuentra detallada en el apartado 6.

En la tabla siguiente se muestran los consumos actuales y previstos:

	Demanda actual (kWh/día)	Demanda futura (kWh/día)	Demanda futura (kWh/mes)
Consumo familiar	223	331	9930
Consumo comunitario	16	61	1830

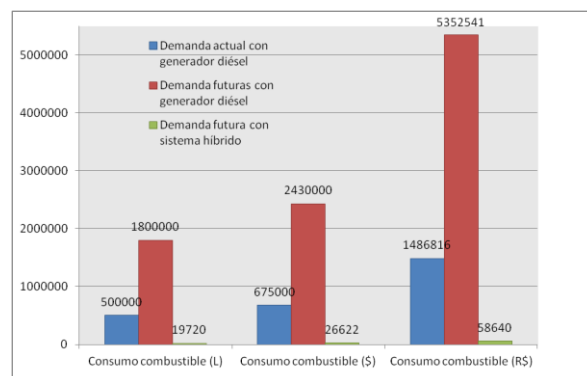
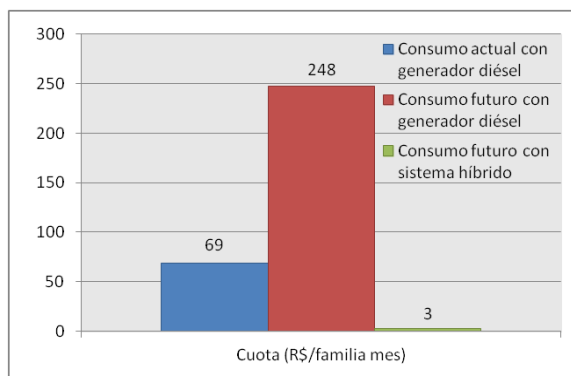
La demanda actual la satisfacen mediante un grupo electrógeno que funciona únicamente algunas horas al día, con un alto consumo en combustible diesel. Con el aumento previsto de la

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

demanda eléctrica, este sistema de generación supondría gastos económicos excesivos. La implantación del sistema de electrificación aislada híbrida eólica-fotovoltaica, significará que este consumo se verá reducido sustancialmente.

En los siguientes gráficos se puede apreciar las diferencias en cuanto al diesel, según los distintos escenarios de demanda, y la cuota que debería abonar mensualmente cada familia para hacer frente a los gastos de combustible durante un período de 20 años.



Se puede observar que la instalación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico supone un ahorro significativo en los fondos que deben ser aportados para el combustible.

7.2.1 Inversión inicial

Aunque hemos estudiado otras configuraciones, consideramos el sistema con 110 kW de potencia de fotovoltaica, 2 turbinas eólicas de 10kW, y un generador diesel de 10kW, como el más robusto y el que más se adapta a las necesidades de la comunidad. A continuación, detallaremos el balance económico de esta distribución.

La inversión inicial de la instalación del sistema híbrido aislado se compone de: coste y transporte de los equipos, obra civil y mano de obra, líneas eléctricas, y gestión de documentación y permisos. Los precios de los equipos se observan desglosados en la siguiente tabla:

EQUIPOS	Unidades	Potencia Unitaria (kW)	Precio unitario(\$/kW)	Precio Total(\$)
Generador diésel Cummins	1	10	1000	10000
Turbinas eólicas Bergey	2	10	4000	80000
Panel FV Kyocera	440	0,25	1200	132000
Baterías Hawker 2500Ah	120	-	1000(\$/batería)	120000
Inversor Ingecon Hybrid MS	1	60	300	18000
				360 000 \$

El resto de costes de instalación, transporte, obra civil y mano de obra, los hemos calculado a partir de la *Tesis 'Electrificación de zonas rurales aisladas' de Lucía Arraiza Bermúdez-Cañete* por la *Universidad Pontifica de Comillas*. [35] Hemos hecho un cálculo de costes por Watio instalado, según sus informaciones, y extrapolado a nuestra instalación, dando lugar a un total de **535 000\$**.

Por tanto, sumando todos los costes, la inversión inicial en el año 0 para la instalación del sistema será de **895 000 \$**.

7.2.2 Costes de explotación

Los gastos de explotación incluyen los costes de operación y mantenimiento del sistema, que son gastos fijos al año, además del reemplazo de los equipos y el consumo de combustible.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	PRECIO UNITARIO (\$/año)
Generador diesel	120
Generador fotovoltaico	0
Generador eólico	500
Baterías Hawker 2500Ah	20
Inversor Ingecon Hybrid MS	100
TOTAL	740

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



Consideramos que será necesario cambiar las baterías cada 6 años, el inversor tras 15 años de funcionamiento. En la siguiente tabla figuran los costes de reemplazo de cada equipo:

REEMPLAZO DE EQUIPOS	POTENCIA (kW)	PRECIO UNITARIO (\$/kW)	PRECIO TOTAL (\$)
Generador diesel	10	1000	10000
Generador fotovoltaico	110	1200	132000
Generador eólico	20	2700	54000
Baterías Hawker 2500Ah	-	1000	120000
Inversor Ingecon Hybrid MS	60	300	18000

Por lo que, el **coste total** del sistema híbrido eólico-fotovoltaico incluyendo: la inversión, los costes de explotación, y el combustible (**1445 L/año**), durante sus esperados 20 años de vida, asciende a **1 326 809 \$**.

	\$	R\$	R\$/familia
Inversión inicial	895 000	1 971 409	21 905
Costes de explotación	431 809	951 142	10568
Coste total del sistema donde su vida útil	1 326 809	2 922 551	32 473

7.3 Escenarios de pago

Se van a considerar las diferentes posibilidades para asumir estos costes.

7.3.1 El coste total lo asume la comunidad de Maturuca

Los indígenas pagan la inversión inicial, y se encargan de la distribución, mantenimiento y reemplazo de equipos. Esto supone para la población los siguientes costes:

Inversión inicial	21 905 R\$/familia
Coste de explotación	44 R\$/familia·mes

Se podría estudiar la financiación privada en caso de que los costes sean excesivos para las familias, o la participación en los programas de organismos internacionales mencionados anteriormente como el FINEP, el BID...

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



7.3.2 Programa Luz Para Todos

El programa Luz Para Todos financia la inversión inicial, y posteriormente el gobierno estatal se encarga de la distribución de la energía, el mantenimiento, y el reemplazo de equipos, cobrando una cuota mensual. Como en este sistema se está tratando con familias indígenas, el programa *Luz Para Todos* considera un descuento del 100% en esta tarifa hasta un consumo máximo de 50kWh/mes por familia. Teniendo esto en cuenta,

El coste que deberán pagar las familias ascendería a:

Cuota O&M	0,18 R\$/kWh·familia·mes
Demanda mensual	11760 kWh/mes
Demanda mensual por familia	131 kWh/familia·mes
Cuota final mensual	23,5 R\$/familia

De este modo, en conceptos de operación y mantenimiento, las familias, después de 20 años habrán abonado aproximadamente 508 032 R\$, lo que supone un 53% del coste real de explotación.

7.3.3 Conta de Consumo Combustíveis fósseis

La Conta de Consumo de Combustíveis fósseis, subvenciona actualmente 69 R\$/familia·mes para la comunidad de Maturuca, en concepto del combustible consumido. Con el nuevo sistema híbrido, y sus demandas futuras de energía, pasaría a abonar 3 R\$/familia·mes, ya que el consumo de diesel será mucho menor. Sin embargo, y como ya hemos mencionado, la continuidad de este sistema de subvenciones parece dudosa.

7.3.4 Diferentes escenarios de configuración

A modo de comparativa, se resumen en la siguiente tabla los costes que supondrían las diferentes configuraciones del sistema que hemos estudiado:

	110 kW fotovoltaicos 20 kW eólicos	95 kW fotovoltaicos 30 kW eólicos
Inversión inicial (R\$)	1 971 409	2 019 868
Inversión inicial (R\$/familia)	21905	22 443
Coste explotación (R\$/familia·mes)	44	43
Coste total sistema (R\$)	2 922 551	2 952 594

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAÍCO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



Se observa la diferencia de costes entre ambos sistemas, sobre todo en la inversión inicial. Además, el factor determinante para la elección, como ya explicó en el apartado técnico, será la robustez del sistema.

En cualquier caso, el coste del sistema supondrá un gran ahorro frente a seguir con generadores diesel, siendo el aspecto más crítico conseguir la financiación. La opción más atractiva sería entrar a formar parte del Programa *Luz Para Todos*.

8. CONCLUSIÓN

A partir del análisis de la política energética y de la sociedad indígena brasileña, se ha abordado el problema de la electrificación en zonas rurales poco accesibles, concluyendo que uno de los puntos más importantes en estos proyectos es alcanzar el consenso con la comunidad, respetando sus modos de vida, y favoreciendo un desarrollo sostenible de su sociedad.

En este sentido, el proyecto Cruviana es un ejemplo a seguir en la implantación de sistemas aislados de electrificación, donde las comunidades acogen libremente y de manera colaborativa la iniciativa, ya que realmente promueve su crecimiento y desarrollo, y tiene en consideración sus costumbres, usos y necesidades tanto a la hora del diseño como de la implantación.

Abarcando las posibles soluciones técnicas a la iniciativa de electrificación que propone la comunidad de Maturuca, se han seleccionado distintas configuraciones del sistema híbrido. Compilando distintos criterios que incluyen desde la disminución del uso de combustible, maximizar la fracción renovable participante en la generación o el coste del sistema, como los más significativos, se han presentado las opciones más factibles.

Una vez desarrollado un proyecto técnico que consideramos se adapta a la vida de la comunidad de Maturuca, encontramos en la financiación el punto crítico de la propuesta. El ISA se encuentra actualmente en la fase de búsqueda, barajando pasar a formar parte del programa *Luz para Todos*, aunque considerando otras posibles alternativas.

Parece razonable considerar la opción de que la implantación del sistema sea asumido en su totalidad por los habitantes de Maturuca, ya que dentro del contexto de desarrollo sostenible que plantean estas comunidades, se encuentra la independencia de organismos externos y los posibles conflictos que esto conlleva. Es por ello que aunque desde un punto de vista económico no parezca la opción más viable, sea necesario tenerlo en consideración.

Los sistemas híbridos de generación eléctrica con energías renovables, suponen una buena opción para la electrificación rural de zonas aisladas. El proyecto de Maturuca, al igual que el de Ilha de Lençois, demuestran que son una alternativa a los sistemas tradicionales.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO- FOTOVOLTAÍCO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



9. APÉNDICES

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



9.1 APÉNDICE I

Item	Descripción de la carga	Qtd.	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Horas de uso/día	Consumo kWh/día	Días/Mes	Consumo Mensual kWh
1	Luz del salón	1	15	15	5,00	0,075	30,0	2,250
2	Luz de la cocina	1	15	15	4,00	0,060	30,0	1,800
3	Luz de áreas comunes (pasillo, etc.)	1	11	11	4,00	0,044	30,0	1,320
4	Luz para 02 habitaciones	2	15	30	4,00	0,120	30,0	3,600
5	Luz del baño	1	15	15	1,00	0,015	30,0	0,450
6	Licuada	1	215	215	0,25	0,054	15,0	0,806
7	TV en color 20"	1	74	74	6,00	0,444	30,0	13,320
8	Antena parabólica (receptor)	1	10	10	6,00	0,060	30,0	1,800
9	Aparato DVD o similar	1	15	15	2,00	0,030	8,0	0,240
10	Aparato de sonido	1	110	110	3,00	0,330	20,0	6,600
11	Ordenador	1	63	63	6,00	0,378	30,0	11,340
12	Ventilador	1	72	72	8,00	0,576	30,0	17,280
13	Máquina de coser	1	85	85	2,00	0,170	22,0	3,740
15	Nevera de 380 litros o congelador	1	300	300	24,00	1,585	30,0	47,550
TOTAL				1.030				112,096

Tabla 19 Previsión de demanda familiar futura detallada

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

Item	Descripción de la carga	Qtd.	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Horas de uso/día	Consumo kWh/día	Días/Mes	Consumo Mensual kWh
1	Luz – Caseta del grupo electrógeno	1	15	15	5,00	0,075	30,0	2,250
	Luz - pozo artesano	1	15	15	5,00	0,075	30,0	2,250
	Luz - Oficina	4	15	60	5,00	0,300	30,0	9,000
	Luz - Taller	3	15	45	5,00	0,225	30,0	6,750
	Luz - Tienda	3	15	45	5,00	0,225	30,0	6,750
	Luz - Escritorio	1	15	15	5,00	0,075	30,0	2,250
	Luz – Sala común	8	15	120	5,00	0,600	30,0	18,000
	Luz - Comedor	4	15	60	5,00	0,300	30,0	9,000
	Luz - Casa de Apoyo	3	15	45	5,00	0,225	30,0	6,750
	Luz - Depósito	2	15	30	5,00	0,150	30,0	4,500
	Luz - Cocina Comunitaria	2	15	30	5,00	0,150	30,0	4,500
	Luz - Corte y confección	3	15	45	5,00	0,225	30,0	6,750
	Luz - Carnicería	4	15	60	5,00	0,300	30,0	9,000
	Luz - Colegio	8	15	120	5,00	0,600	30,0	18,000
	Luz – Puesto de salud	6	15	90	5,00	0,450	30,0	13,500
2	Bomba agua de 1/2 cv	20	480	9.600	0,50	4,800	30,0	144,000
3	Moedor de mandioca 900-1000kg/h (3cv)	6	2.760	16.560	2,00	33,120	10,0	331,200
4	Maquina forrageira para 200 a 400 kg/h	8	980	7.840	2,00	15,680	30,0	470,400
5	Congelador	3	300	900	24,00	4,755	30,0	142,650
6	Nevera 380 litros	3	300	900	24,00	4,755	30,0	142,650
7	Máquina de coser	4	85	340	2,00	0,680	22,0	14,960
8	Ordenador	3	63	189	8,00	1,512	30,0	45,360
9	Aparato de sonido	1	110	110	3,00	0,330	20,0	6,600
10	TV en color - 20"	1	74	74	10,00	0,740	30,0	22,200
11	Aparato DVD o similar	1	15	15	2,00	0,030	8,0	0,240
12	Máquina artesanado madera	2	1.500	3.000	2,00	6,000	20,0	120,000
13	Embaladora (vacuno)	2	370	740	2,00	1,480	10,0	14,800
14	Fotocopiadora	1	2.000	2.000	1,00	2,000	30,0	60,000
15	maq.remendo quente (taller)	1	400	400	2,00	0,800	30,0	24,000
16	Compresor (taller)	1	370	370	4,00	1,480	30,0	44,400
17	Radial (taller)	1	2.200	2.200	1,00	2,200	30,0	66,000
18	Cortadora de carne	1	1.000	1.000	2,00	2,000	30,0	60,000
TOTAL				47.033				1.828,710

Tabla 20 Previsión de demanda comunitaria futura detallada

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



9.2 APÉNDICE II

Item	Descripción de la carga	Qtd.	Potencia Unitaria (W)	Consumo kWh/día	Días/Mes	Consumo Mensual kWh
1	Luces (z. de estancia)	5	15	0,270	30	8,10
2	Luces (z. de paso)	1	11	0,044	30	1,32
3	Ventilador	1	72	0,576	30	17,28
4	Nevera	1	300	1,585	30	47,55
Total (por familia)				74,25		
CONSUMO DIARIO TOTAL				222,75		

Tabla 21 Carga residencial actual

Item	Descripción de la carga	Qtd.	Potencia Unitaria (W)	Consumo kWh/día	Días/Mes	Consumo Mensual kWh
1	Luces	28	15	2,100	30	63,00
2	Bomba de agua	20	480	4,800	30	144,00
3	Congelador	3	300	4,755	30	142,65
4	Nevera	3	300	4,755	30	142,65
CONSUMO MENSUAL				492,30		
CONSUMO DIARIO				16,41		

Tabla 22 Carga comunitaria actual

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



9.3 APÉNDICE III

HORAS	RESID.	COMUN.	TOTAL
0	5,96	0,5	6,47
1	4,62	0,5	5,13
2	4,62	0,5	5,13
3	4,29	0,5	4,79
4	4,29	0,5	4,79
5	4,62	1,09	5,71
6	6,29	2,2	8,5
7	7,6	2,74	10,35
8	9,27	4,13	13,41
9	10,91	5,05	15,97
10	10,91	5,77	16,69
11	9,93	6,71	16,64
12	10,58	6,02	16,61
13	12,58	5,6	18,19
14	11,92	4,86	16,78
15	10,58	3,98	14,56
16	1160	2,95	14,55
17	21,17	2,26	23,43
18	31,79	1,76	33,55
19	36,41	1,13	37,53
20	35,75	0,88	36,63
21	32,11	0,5	32,62
22	20,84	0,5	21,349
23	12,25	0,5	12,758

Tabla 23 Potencia máxima diaria

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



9.4 APÉNDICE IV

VELOC. VIENTO (m/s)	POTENCIA (kW)
3	0,1
4	0,4
5	0,85
6	1,51
7	2,4
8	3,6
9	5,07
10	6,86
11	8,86
12	10,88
13	12,09
14	12,39
15	12,49
16	12,55
17	12,5
18	12,44
19	12,21
20	11,99

Tabla 24 Curva potencia Bergey 10

9.5 APÉNDICE V

Cálculo de la configuración de los paneles fotovoltaicos

a) CÉLULAS EN SERIE

$$V_{mpp}=[150,700]$$

$$Voc(Tc) = Voc^* + (Tc - Tc^*) (dVoc/dTc) \quad (G=1000 \text{ W/m}^2 \quad Ta=25^\circ\text{C})$$

$$Tc = Ta + G^* ((TONC - 20) / 800) = 58,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$dVoc/dTc = -0,13284$$

$$Voc(Tc) = 32,416 \text{ V}$$

$$V_{mpp} = Voc V_{mpp}^* / Voc^*$$

$$V_{mpp} = 26,17 \text{ V}$$

$$V_{mpp}=[150,700]$$

$$Ns \text{ MIN} = 150 / 26,17 \text{ V} = 5,73 \text{ -----} > 6$$

$$Ns \text{ MÁX} = 700 / 26,17 \text{ V} = 26,74 \text{ -----} > 26$$

b) CÉLULAS EN PARALELO

$$Np \text{ max} = I_{max} / I_{sc}^*$$

$$Np \text{ MÁX} = 180 / 9,09 \text{ V} = 19,80 \text{ -----} > 19$$

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



9.6 APÉNDICE VI

Specification sheet



Diesel generator set D1703-M series engine

10–15 kW
EPA emissions



Description

Cummins Power Generation commercial generator sets are fully integrated power generation systems providing optimum performance, reliability and versatility for stationary standby and prime power applications.

Features

Kubota heavy-duty engine - Rugged 4-cycle, liquid-cooled, industrial diesel delivers reliable power, low emissions and fast response to load changes.

Alternator - Several alternator sizes offer selectable motor starting capability with low reactance 2/3 pitch windings, low waveform distortion with non-linear loads and fault clearing short-circuit capability.

Control system - The PowerCommand® 1.1 electronic control is standard equipment and provides total genset system integration including automatic remote starting/stopping, precise frequency and voltage regulation, alarm and status message display, output metering, auto-shutdown at fault detection and NFPA 110 Level 1 compliance.

Cooling system - Standard integral set-mounted radiator system, designed and tested for rated ambient temperatures, simplifies facility design requirements for rejected heat.

Enclosures - Optional weather protective and sound attenuated enclosures are available.

Fuel Tanks - Dual wall sub-base fuel tanks are also available.

NFPA - The genset accepts full rated load in a single step in accordance with NFPA 110 for Level 1 systems.

Generator set specifications

Governor regulation class	
Voltage regulation, no load to full load	± 1%
Random voltage variation	± 1%
Frequency regulation	Isochronous
Random frequency variation	± 0.25%
Radio frequency emissions compliance	

Engine specifications

Bore	87.0 mm (3.43 in)
Stroke	92.4 mm (3.64 in)
Displacement	1.65 litres (100.5 in ³)
Configuration	Cast iron, in-line, 3 cylinder
Battery capacity	350 amps minimum at ambient temperature of -18 °C to 0 °C (0 °F to 32 °F)
Battery charging alternator	40 amps
Starting voltage	12 volt, negative ground
Fuel system	Indirect injection: low or ultra low sulfur, number 2 diesel fuel
Fuel filter	Single element, spin-on fuel filter with water separator
Air cleaner type	Dry replaceable element
Lube oil filter type(s)	Spin-on, full flow
Standard cooling system	High ambient radiator

Alternator specifications

Design	Brushless, 4 pole, drip proof, revolving field
Stator	2/3 pitch
Rotor	Single bearing, flexible discs
Insulation system	Class H
Standard temperature rise	125 °C standby at 40 °C ambient
Exciter type	Torque match (shunt)
Phase rotation	A (U), B (V), C (W)
Alternator cooling	Direct drive centrifugal blower fan
AC waveform total harmonic distortion	< 7% no load to full linear load, < 3% for any single harmonic
Telephone influence factor (TIF)	< 40 per NEMA MG1-22.43
Telephone harmonic factor (THF)	< 3

Available voltages

60 Hz Three phase line-neutral/line-line	60 Hz Single phase line-neutral/line-line
<ul style="list-style-type: none"> • 120/208 • 120/240 Delta • 139/240 • 220/380 • 240/416 • 277/480 • 347/600 	<ul style="list-style-type: none"> • 120/240

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

9.7 APÉNDICE VII

Ingecon® Hybrid MS

Los inversores trifásicos Ingecon® Hybrid MS tienen un novedoso sistema modular que reduce el tiempo de fabricación y de montaje.

La flexibilidad de este nuevo sistema facilita la adaptación del equipo a los requerimientos particulares de cada instalación, además de permitir una futura ampliación.

Cada instalación podrá estar compuesta por un máximo de 4 módulos cargadores de baterías, 4 módulos inversores, 4 módulos fotovoltaicos y 4 módulos aerogeneradores.

Los módulos aerogeneradores y los fotovoltaicos disponen cada uno de 3 entradas que pueden ser conectadas en paralelo.

Cada entrada fotovoltaica dispone de un algoritmo avanzado de búsqueda del punto de máxima potencia (MPPT) que permite obtener el máximo rendimiento del campo fotovoltaico.

La entrada de energía eólica está diseñada para una fácil conexión en alterna de los aerogeneradores, ya sean síncronos ó asíncronos.

La monitorización, control y configuración de los parámetros del equipo puede realizarse localmente con su display y teclado frontales o, de forma remota, mediante el software Ingecon® Hybrid Monitor.

Garantía de 5 años ampliable hasta 25 años.



Protecciones

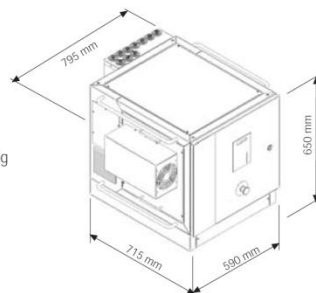
Protecciones eléctricas integradas contra sobretensiones transitorias leves mediante varistores y contra fallo de aislamiento en el campo fotovoltaico.

Protecciones contra cortocircuitos y sobrecargas a la salida.

Protecciones ante descargas atmosféricas.

Dimensiones y peso

Ingecon® Hybrid MS: 120 kg
(cada módulo)



Accesorios opcionales

Programa data logger Ingecon® Hybrid Monitor sobre PC para visualización y registro de datos, elaboración de gráficos, parametrización y creación de hojas MSEXcel®.

Comunicación entre inversores por tarjeta RS-485, fibra óptica, inalámbrica o Ethernet.

Módem para comunicación remota GSM/GPRS.

Tarjeta de entradas analógicas para la lectura de variables meteorológicas como irradiación, velocidad del viento y temperatura.

Transformador de aislamiento galvánico.

Interruptor manual de desconexión.

Posibilidad de entrada adicional para un generador eólico.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

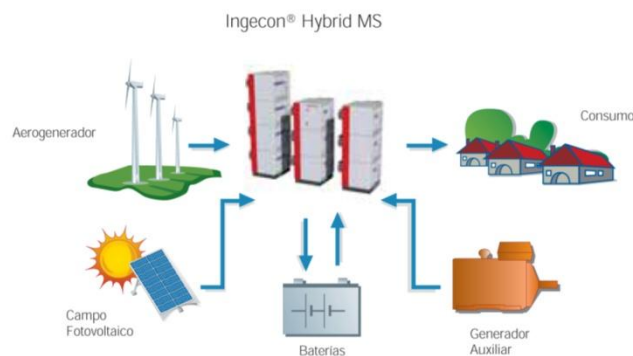
Características técnicas

Ingecon® Hybrid MS	1 Módulo	2 Módulos	3 Módulos	4 Módulos **
Módulo fotovoltaico				
Número de entradas	3	6	9	12
Potencia	3 x 15 kW	6 x 15 kW	9 x 15 kW	12 x 15 kW
Rango de tensión	150 - 700 Vdc	150 - 700 Vdc	150 - 700 Vdc	150 - 700 Vdc
Máxima corriente por cada entrada	30 A	30 A	30 A	30 A
Módulo aerogenerador				
Número de entradas	3	6	9	12
Potencia	3 x 15 kW	6 x 15 kW	9 x 15 kW	12 x 15 kW
Rango de tensión de línea	70 - 495 Vac	70 - 495 Vac	70 - 495 Vac	70 - 495 Vac
Corriente máxima de línea por cada entrada	24 A	24 A	24 A	24 A
Módulo cargador de baterías				
Potencia	30 kW	60 kW	90 kW	120 kW
Tensión de entrada	240 - 500 Vdc	240 - 500 Vdc	240 - 500 Vdc	240 - 500 Vdc
Máxima corriente	100 A	200 A	300 A	400 A
Entrada Fotovoltaica *				
Potencia nominal	1 x 15 kW	1 x 15 kW	1 x 15 kW	1 x 15 kW
Rango de tensión	150 - 700 Vdc	150 - 700 Vdc	150 - 700 Vdc	150 - 700 Vdc
Máxima corriente	30 A	30 A	30 A	30 A
Módulo inversor				
Potencia nominal	30 kVA	60 kW	90 kW	120 kW
Tensión de salida	380 - 430 Vac (neutro accesible)	380 - 430 Vac (neutro accesible)	380 - 430 Vac (neutro accesible)	380 - 430 Vac (neutro accesible)
Frecuencia de salida	50 - 60 Hz	50 - 60 Hz	50 - 60 Hz	50 - 60 Hz
THD	<4%	<4%	<4%	<4%
Coseno Phi	de -1 a 1	de -1 a 1	de -1 a 1	de -1 a 1
Rendimiento				
Eficiencia	<96%			
Datos generales				
Temperatura funcionamiento	-10°C a +45°C			
Grado de protección	IP 20			
Referencias normativas	Marcado CE			

* Solo el primer módulo cargador de baterías tiene una entrada adicional de campo fotovoltaico

** Máximo número de módulos

Esquema de conexión



ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

9.8 APÉNDICE VIII

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Tipo de módulo PV	KD145GH-4FU KD145GH-4YU	KD195GH-4FU KD195GH-4YU	KD220GH-4FU KD220GH-4YU	KD245GH-4FB2 KD245GH-4YB2	KD250GH-4FB2 KD250GH-4YB2	KD255GH-4FB2 KD255GH-4YB2
A 1000 W/m² (STC)⁽¹⁾						
Potencia nominal P [W]	145	195	220	245	250	255
Tensión máxima del sistema [V]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tensión de máxima potencia [V]	17,9	23,6	26,6	29,8	29,8	30,4
Corriente de máxima potencia [A]	8,11	8,27	8,28	8,23	8,39	8,39
Tensión de circuito abierto [V]	22,3	29,5	33,2	36,9	36,9	37,6
Corriente de cortocircuito [A]	8,78	9,05	8,98	8,91	9,09	9,09
Nivel de eficiencia [%]	14,4	14,7	14,8	14,8	15,1	15,4
A 800 W/m² (NOCT)⁽²⁾						
Potencia nominal P [W]	104	140	158	176	180	184
Tensión de máxima potencia [V]	16,1	21,3	24,0	26,8	26,8	27,4
Corriente de máxima potencia [A]	6,46	6,58	6,63	6,58	6,72	6,72
Tensión de circuito abierto [V]	20,4	27,0	30,4	33,7	33,7	34,4
Corriente de cortocircuito [A]	7,11	7,33	7,27	7,21	7,36	7,36
NOCT [°C]	45	45	45	45	45	45
Tolerancia de potencia [%]	+5/-5	+5/-5	+5/-3	+5/-3	+5/-3	+5/-3
Resistencia a la corriente inversa I _g [A]	15	15	15	15	15	15
Protección máx. del string [A]	15	15	15	15	15	15
Coefficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto [%/K]	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
Coefficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito [%/K]	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Coefficiente de temperatura a P _{max} [%/K]	-0,46	-0,46	-0,46	-0,46	-0,46	-0,46
Reducción del nivel de eficacia de 1000 W/m ² a 200 W/m ² [%]	4,9	5,0	6,0	6,6	6,7	6,3
MEDIDAS						
Longitud [mm]	1500 (±2,5)	1338 (±2,5)	1500 (±2,5)	1662 (±2,5)	1662 (±2,5)	1662 (±2,5)
Ancho [mm]	668 (±2,5)	990 (±2,5)	990 (±2,5)	990 (±2,5)	990 (±2,5)	990 (±2,5)
Altura/incl. caja de contacto [mm]	46	46	46	46	46	46
Peso [kg]	12,5	16	18	20	20	20
Cable [mm]	(+)1010/(-)840	(+)1030/(-)840	(+)1100/(-)900	(+)1190/(-)960	(+)1190/(-)960	(+)1190/(-)960
Tipo de conexión	PV-03 (SMK)	PV-03 (SMK)	PV-03 (SMK)	PV-03 (SMK)	PV-03 (SMK)	PV-03 (SMK)
Caja de contacto [mm]	123 × 91,6 × 16	123 × 91,6 × 16	123 × 91,6 × 16	123 × 91,6 × 16	123 × 91,6 × 16	123 × 91,6 × 16
Número de diodos bypass	2	3	3	3	3	3
Código IP	IP65 / IP67	IP65 / IP67	IP65 / IP67	IP65 / IP67	IP65 / IP67	IP65 / IP67
CÉLULAS						
Cantidad por módulo	36	48	54	60	60	60
Tecnología celular	polycristalina	polycristalina	polycristalina	polycristalina	polycristalina	polycristalina
Tamaño celular (cuadrado) [mm]	156 × 156	156 × 156	156 × 156	156 × 156	156 × 156	156 × 156
Conexión de células	3 busbar	3 busbar	3 busbar	3 busbar	3 busbar	3 busbar
DATOS GENERALES						
Garantía de rendimiento	10 ⁽³⁾ / 25 años ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 25 años ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 25 años ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 25 años ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 25 años ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 25 años ⁽⁴⁾
Garantía	10 años ⁽⁵⁾	10 años ⁽⁵⁾	10 años ⁽⁵⁾	10 años ⁽⁵⁾	10 años ⁽⁵⁾	10 años ⁽⁵⁾

(1) Los índices eléctricos son válidos en condiciones de prueba estándar (STC): Irradiación de 1000 W/m², masa de aire AM 1,5 y temperatura celular de 25 °C.

(2) Los índices bajo temperatura operativa nominal de las células (NOCT): Irradiación de 800 W/m², masa de aire AM 1,5, velocidad del viento de 1 m/s y temperatura ambiente de 20 °C.

(3) 10 años el 90% de la potencia mínima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC)

(4) 25 años el 80% de la potencia mínima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC)

(5) En el caso de países dentro de Europa

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

9.9 APÉNDICE IX

HAWKER OPzS

APPLICATION

Hawker OPzS batteries are long life industrial products designed for capacitive discharge over longer periods.

The most important features are a high tolerance to cycling and a long life standby parallel operation.

They are used as reserve power supply in telecommunication systems, in industrial applications and in secure power supply systems.

CONSTRUCTION

Positive Electrode	Tubular plate with Hawker selenium alloy (Sb-content: 1.6%)
Negative Electrode	Grid plate, pasted hard lead grid
Separation	Microporous separator, combined with corrugated separator
Casing Material	Styrene-acrylonitrile (SAN), impact resistant, transparent
Electrolyte	Dilute sulphuric acid d = 1.24 kg/l
Terminal Design	Leakproof safety pole with M10 solid brass insert
Connectors	Solid copper insulated, bolt-on type
Charging	Float charge voltage: 2.23V per cell at 20°C (68°)

INSTALLATION

All standard types of installation are permissible.

For use in earthquake zones special approved stands are available.

FEATURES

- 2V single cells
- Economic operation in capacity use over several hours
- Leakproof Hawker safety pole, proven in operation
- Hawker safety vent plug with flame arrestor, optional: ceramic vent plug
- 3 year service interval (when operated correctly)
- Long service life even with cyclic load



Type	Voltage	Capacity C ₁₀ to 1.80 Vpc	Length	Width	Height	Weight
			mm	mm	mm	kg
4 OPzS200	2	200	103	206	389	17.2
5 OPzS250	2	250	124	206	389	20.8
6 OPzS300	2	300	145	206	389	24.3
5 OPzS350	2	350	124	206	508	26.9
6 OPzS420	2	420	145	206	508	31.5
7 OPzS490	2	490	166	206	508	36.1
6 OPzS600	2	600	145	206	687	44.8
8 OPzS800	2	800	191	210	687	61.3
10 OPzS1000	2	1000	233	210	687	74.6
12 OPzS1200	2	1200	275	210	687	88.0
12 OPzS1500	2	1530	275	210	829	114.3
15 OPzS 1875	2	1920	275	210	837	145.0
16 OPzS2000	2	2040	399	214	813	151.5
20 OPzS2500	2	2560	487	212	813	193.0
24 OPzS3000	2	3070	576	212	813	234.5

C₁₀ Capacity data is calculated at 20°C (68°F)

Type	Voltage	Capacity C ₈ to 1.75 Vpc	Length	Width	Height	Weight
			ins	ins	ins	lbs
4 OPzS200	2	204	4.1	8.1	15.3	37.9
5 OPzS250	2	255	4.9	8.1	15.3	45.9
6 OPzS300	2	306	5.7	8.1	15.3	53.6
5 OPzS350	2	356	4.9	8.1	20.0	59.3
6 OPzS420	2	426	5.7	8.1	20.0	69.4
7 OPzS490	2	498	6.5	8.1	20.0	79.6
6 OPzS600	2	613	5.7	8.1	27.1	98.8
8 OPzS800	2	816	7.5	8.3	27.1	135.1
10 OPzS1000	2	1024	9.2	8.3	27.1	164.5
12 OPzS1200	2	1216	10.8	8.3	27.1	194.0
12 OPzS1500	2	1560	10.8	8.3	32.6	252.0
15 OPzS1875	2	1952	10.8	8.3	33.0	319.7
16 OPzS2000	2	2072	15.7	8.4	32.0	334.0
20 OPzS2500	2	2600	19.2	8.4	32.0	425.5
24 OPzS3000	2	3120	22.7	8.4	32.0	517.0

C₈ Capacity data is calculated at 25°C (77°F)

10. REFERENCIAS

1. ISA. *Instituto Socioambiental (ISA)*. Available from: www.socioambiental.org.
2. Energia, M.d.M.y., *Plano Decenal de Expansao de Energia 2022*. 2013.
3. Energética, E.d.P., *Demanda de energia elétrica-10 anos*. 2012: Rio de Janeiro.
4. Energia, M.d.M.e. and E.d.P. Energética, *Plano Nacional de Energia 2030*, M.d.m.e. energia, Editor. 2007. p. 324.
5. EIA. *EIA-Brazil-Overview*. 2013 [cited 2014 30/06/2014]; <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=BR>].
6. Campos, C., *Demandas e potencialidades para o aproveitamento de energia limpa de origem eólica nas comunidades indígenas de Roraima. Relatório final*. 2009, Instituto Socioambiental.
7. Lind, H.-G. and P. Gouveia, *Photovoltaic Market Brazil*. 2012. p. 28.
8. (FUNAI), F.N.d.Í. *Fundação Nacional do índio*. Available from: www.funai.gov.br.
9. *Programa de Aceleração do Crescimento*. Available from: <http://www.pac.gov.br/>.
10. ANEEL, *Energía hidráulica*.
11. International, S. *Survival International*. Available from: www.survival.es/indigenas.
12. Britaldo Soares-Filho, L., M. Bowman Lima, and L. Viana, *Desafios para una agricultura con bajas emisiones de carbono y conservación forestal en Brasil* Febrero 2012, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
13. Assunção, J., *A Queda do Desmatamento na Amazônia Brasileira: Preços ou Políticas?* 2012.
14. *GlobalVoices Brazil: New Forestry Code= The right to deforestation?*
15. (IBGE), I.B.d.G.e.E., *Atlas do Censo Demográfico 2010*.
16. US, R.F. *Rainforest Foundation US*. Available from: www.rainforestfoundation.org.
17. ISA. *Povos Indígenas no Brasil*. Available from: <http://pib.socioambiental.org/>.
18. Estatística, I.B.d.G.e. *O Brasil Indígena*. Available from: <http://indigenas.ibge.gov.br/>.
19. *Presos del desarrollo. Pueblos indígenas y presas hidroeléctricas*. Survival International.
20. Seifer, P.G., *Gestão de projetos de microssistemas de geração e distribuição de energia elétrica: procurando seu sucesso e sustentabilidade*. 2012.
21. Bonan, G., *Controle e operação de um sistema híbrido de geração de energía eléctrica a partir de fontes renováveis*. 2009.
22. Serpa, P.M.N., *Electrificação Fotovoltaica em Comunidades Caiçaras e seus Impactos Socioculturais*, in *Instituto de Electrotécnica y Energia*. 2001, Universidade de São Paulo: São Paulo. p. 291.
23. Navarrete, L., *Proyecto de electrificación rural fotovoltaica y de bombeo fotovoltaico de agua en garf Hussein (Egipto): lecciones aprendidas y buenas prácticas*. 2010, Instituto de Energía Solar.
24. Lorenzo, E., *In the field. Realities of some PV*, in *RenewableENERGYWorld*. 2000.
25. Blasques, L.C.M., *Pv-wind-diesel hybrid system of tamaruteua: acquired experiences, comparisons with similar systems and contributions for future development*. GEDAE, Universidade Federal do Pará.
26. *Povos indígenas da Raposa Serra do Sol estudam a força dos ventos para geração de energia*. Dezembro 2013.
27. Serva, L., *Energia Renovável é aposta de índios de RR*, in *Folha de São Paulo*. Junho 2014. p. 6.
28. *Conheça os novos resultados do estudo do vento e do sol na Terra Indígena Raposa Serra do Sol*. Março 2014.

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



29. Amarante, O.A.C.d., *Atlas Do Potencial Eolico Brasileiro*. 2001.
30. Pereira, E.B., *Atlas Brasileiro De Energia Solar*. 2006.
31. Lamigueiro, O.P., *Energía Solar Fotovoltaica*. 2013.
32. Figueiredo, C., *Licenciamiento ambiental e comunidades indigenas*. 2011, FUNAI: Brasil. p. 28.
33. PVCROPS, *Buenas y malas prácticas. Manual para mejorar la calidad y reducir el coste de los sistemas fotovoltaicos*, S. IES-UPM, CLSENEs, Acciona Energía, APERE, Ingeteam, Editor. Noviembre 2013.
34. Lorenzo, E. and E. Caamaño, *Cuaderno fotográfico de electrificación rural fotovoltaica*. Octubre 1999, Instituto de energía solar.
35. Bermudez-Cañete, L.A., *Electrificación de zonas rurales aisladas*, U.P.d. Comillas, Editor. 2008.

11. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Densidad población por regiones. Fuente:EPE, elaboración propia.....	7
Ilustración 2 Variación del porcentaje por fuente en la matriz energética.	9
Ilustración 3 Participación renovable vs participación no renovable.	10
Ilustración 4 Mix energético Brasil.	11
Ilustración 5 Matriz generación eléctrica Brasil (2012)	12
Ilustración 6 Evolución de la estructura de la oferta interna de energía en Brasil. Fuente: PNE	14
Ilustración 7 Organismos brasileños.	16
Ilustración 8 Líneas de transmisión. Fuente: EPE	17
Ilustración 9 Subsistemas	17
Ilustración 10 Conexiones entre subsistemas	20
Ilustración 11 Superficie deforestada en los últimos años	25
Ilustración 12 Deforestación y tendencias según las políticas aplicadas	26
Ilustración 13 Distribución de Tierras Indígenas en Brasil	29
Ilustración 14 Situación Ihla dos Lençóis	35
Ilustración 15 Diseño sistema Ihla dos Lençóis.	37
Ilustración 16 Vivienda Ihla dos Lençóis	38
Ilustración 17 Potencial eólico y solar de Roraima	44
Ilustración 18 Tierra Indígena Raposa Serra do Sol	46
Ilustración 19 Imágenes de Maturuca	47
Ilustración 20 Estaciones meteorológicas. Fuente: INMET	49
Ilustración 21 Velocidad media del viento	50
Ilustración 22 Radiación global en el plano horizontal	51
Ilustración 23 Datos de viento torre meteorológica	52
Ilustración 24 Comparación de perfil de viento a distinta altura	53
Ilustración 25 Perfil de viento. Barras de error	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 26 Radiación global, media mensual	54
Ilustración 27 Comparativa de radiación solar medida y datos satelitales	55
Ilustración 28 Curva de demanda de energía	57
Ilustración 29 Eficiencia del grupo electrógeno	58
Ilustración 30 Curva de potencia Bergey 10	60
Ilustración 31 Características técnicas de la turbina	60
Ilustración 32 Esquema unifilar	61
Ilustración 33 Relación entre cargas y potencia fotovoltaica óptima	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 34 Relación entre variación de cargas y potencia eólica óptima	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 35 Relación entre variación de recurso y potencia fotovoltaica óptima ...	¡Error! Marcador no definido.



ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

Ilustración 36 Relación entre variación de recurso y potencia eólica óptima ¡Error!

Marcador no definido.

Ilustración 37 Producción de cada tecnología	64
Ilustración 38 Funcionamiento de las placas fotovoltaicas	65
Ilustración 39 Actividad de las turbinas	66
Ilustración 40 Funcionamiento del grupo electrógeno	67
Ilustración 41 Porcentaje de carga de la batería	68
Ilustración 42 Carga y descarga de la batería (año)	69
Ilustración 43 Funcionamiento de las baterías	69
Ilustración 44 Funcionamiento del inversor/regulador	71
Ilustración 45 Mapa de unidades ambientales	76
Ilustración 46 Lecciones de mantenimiento	78

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTÁICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán



12. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Demanda de energía por subsistema. Fuente EPE	18
Tabla 2 Porcentaje de crecimiento por subsistema. Fuente EPE	18
Tabla 3 Plantas contratadas y planeadas Fuente: PDE 2011.....	21
Tabla 4 Hidráulica. Capacidad instalada, planeada y potencial de generación	21
Tabla 5 Superficie ocupada por la extensión de nuevas líneas. Fuente: EPE	22
Tabla 6 Interferencia de las nuevas líneas de transmisión. Fuente: EPE	22
Tabla 7 Datos torre meteorológica de Maturuca	52
Tabla 8 Datos solares torre meteorológica.....	54
Tabla 9 Carga residencial actual	95
Tabla 10 Carga comunitaria actual.....	95
Tabla 11 Potencia máxima diaria.....	96
Tabla 12 Curva potencia Bergey 10	97
Tabla 13 Configuración desarrollada.....	63
Tabla 14 Producción por tecnología	63
Tabla 15 Funcionamiento de la tecnología fotovoltaica	64
Tabla 16 Características técnicas módulo e inversor	65
Tabla 17 Funcionamiento de los aerogeneradores	66
Tabla 18 Funcionamiento del grupo diésel.....	67
Tabla 19 Emisiones de gases contaminantes.....	68
Tabla 20 Funcionamiento del inversor	70
Tabla 21 Demanda actual y prevista	¡Error! Marcador no definido.



ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO- FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

11 de julio

2014

Implicaciones de la implantación de un sistema autónomo híbrido eólico-fotovoltaico en el contexto de la política energética de Brasil y de los rasgos sociales de las comunidades indígenas, en concreto centrado en la comunidad de Maturuca.

**COMUNIDAD DE
MATURUCA**

Ana Fernández García
Claudia Gutiérrez Escribano
Marta María Madrona Seijas
Carlos Sánchez Smith

ÍNDICE GENERAL

1. OBJETIVO	3
2. CONTEXTO.....	4
2.1 Brasil	4
2.2 Política Energética	4
2.2.1 Mix energético	5
2.2.2 Mix eléctrico	5
2.2.3 Planificación	6
2.3 Hidroeléctricas.....	7
2.4 Implicaciones medioambientales y sociales de las hidroeléctricas.....	8
3. Zonas rurales indígenas.....	8
3.1 Conflicto indígena	8
3.2 Necesidades energéticas de los pueblos indígenas	9
4. Programa Luz Para Todos	10
4.1 Objetivo del programa	10
4.2 Sistemas aislados	10
5. Descripción de la comunidad de Maturuca	11
6. Proyecto técnico	12
6.1 Recurso	12
6.2 Dimensionado	13
6.2.1 Cargas	13
6.2.2 Diseño	14
6.2.3 Sistema.....	15
6.2.4 Generación:	16
7. Balance económico del proyecto de Maturuca	16
7.1 Formas de financiación	17
7.1.1 La inversión inicial	17
7.1.2 Combustible	17
7.2 Costes del sistema.....	18
8. Conclusiones	20

1. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es plantear la electrificación de la comunidad indígena de Maturuca, una pequeña población en la región de Roraima (Brasil) a pocos kilómetros de la frontera con Guyana. Para ello, se estudian los aspectos políticos, económicos y sociales del país y los programas desarrollados por el gobierno para llevar la electricidad a toda su población. Se analizará el caso de las hidroeléctricas que se están construyendo por todo el territorio brasileño y los problemas que pueden acarrear.

Una vez estudiado el contexto general, dado que en ocasiones, la conexión a red más cercana se encuentra a más de 100 km de distancia, se llega la conclusión de que la utilización de sistemas autónomos es la solución para electrificar los pequeños pueblos que existen en el interior del Amazonas.

Existen ya proyectos desarrollados mayoritariamente por ONGs o a través del programa *Luz Para Todos*, que han empleado energía fotovoltaica, eólica o pequeña hidráulica para electrificar comunidades similares. La experiencia en programas previos es fundamental para el éxito de estos proyectos.

El proyecto Cruviana, iniciado por el Instituto Socioambiental [1], el CIR y la UFMA, surgido en el seno de la comunidad indígena, busca la electrificación de la comunidad de Maturuca. El conocimiento de este proyecto, nos resultó sumamente interesante, por tratarse de una idea de los indígenas para adaptarse a sus expectativas de crecimiento y no al revés, y es por ello que se decidió aportar una propuesta técnica para esta comunidad, que consistirá en un sistema híbrido eólico-fotovoltaico. Además, para su desarrollo, contamos con la colaboración de un miembro del Instituto Socioambiental, Ciro Campos, cuya información ha sido clave para conocer de cerca la comunidad de Maturuca.

2. CONTEXTO

2.1 Brasil

Brasil es el quinto país más grande del mundo en extensión, unos 8,5 millones de km², y también en población, pero presenta una baja densidad poblacional 23 hab/km². La población brasileña se concentra en su mayor parte en la costa este y sur del país, siendo los núcleos urbanos más grandes Río de Janeiro, São Paulo y Belo Horizonte, dejando las zonas interiores del país con grandes vacíos demográficos.

Desde el punto de vista económico, Brasil se encuentra dentro de los países considerados emergentes, con unas tendencias de crecimiento importantes. A pesar de haber ido manteniendo un ritmo de fuerte crecimiento económico, en 2012 se vio también afectado por la crisis. Aún así, se espera que Brasil crezca en la próxima década mucho más rápido que el promedio mundial.

Este desarrollo en el que se verá envuelto el país, llevará asociada una subida del consumo energético en todos los ámbitos, por ello, el Ministerio de Minas y Energía tendrá que centrar su política en el crecimiento de la producción eléctrica.

A pesar de las cifras, que plantean un panorama de progresión económica en todo el país, Brasil es uno de los países con mayor desigualdad del mundo. Según el índice Gini (utilizado para evaluar la desigualdad social), estudiado en un informe de CEPAL se muestra en el tercer puesto de los países menos equitativos de América Latina.[2]

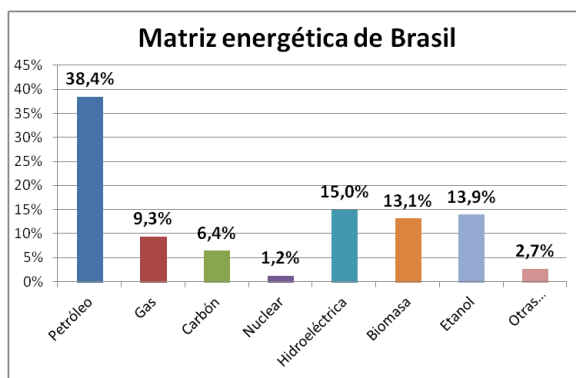
2.2 Política Energética

La política energética de Brasil tiene como objetivos principales la reducción de la dependencia energética exterior y la diversificación de la matriz de generación eléctrica, evolución que ha ido desarrollándose desde los años setenta a raíz de la crisis del petróleo.

La diversificación de la generación de electricidad está motivada por la dependencia de las centrales hidroeléctricas que tiene el país, las cuales proporcionan cerca del 75% de la producción actualmente. Estas centrales tienen asociadas una estacionalidad que acarrea problemas en el suministro eléctrico en los periodos de sequía. A esto se suma el hecho de que las grandes plantas de generación están alejadas de los núcleos de consumo, y la infraestructura eléctrica es insuficiente en muchos de los casos.

2.2.1 Mix energético

La distribución energética de la matriz brasileña está representada en la figura inferior:



Fuente: Datos Ministerio de Energía y Minas, elaboración propia

El mayor porcentaje lo tiene el petróleo, seguido del la energía hidráulica que cobrará aún más importancia en el mix eléctrico. En cuanto al etanol, vemos que ocupa un 13,1% del total. Brasil es el primer productor de etanol del mundo y el segundo exportador, gracias al éxito del programa PROALCOOL que lanzó el gobierno en 1975 para incentivar la industria del etanol.

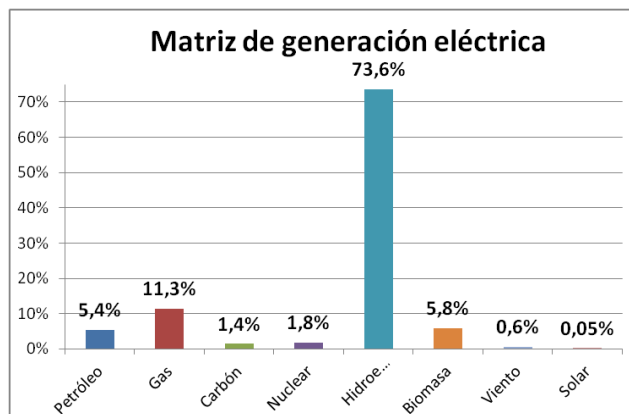
En cuanto al porcentaje de renovables, el mix brasileño cuenta con más de un 40%, mientras que la media mundial está alrededor del 19,5%, según fuentes de IEA (International Energy Agency), siendo en Alemania el 24,7%. Esto coloca a Brasil como el país con la matriz energética más renovable del mundo.

2.2.2 Mix eléctrico

La electricidad juega un papel importante en el desarrollo industrial de cualquier país, y por tanto en el desarrollo humano. Encontrar una matriz de producción eléctrica sostenible que evite la dependencia exterior es el desafío de todos los países. El crecimiento económico, así como el aumento de calidad de vida de las sociedades, está ligado al crecimiento de la demanda de electricidad, por lo que su generación se vuelve un tema de especial relevancia para los países emergentes.

La generación eléctrica de Brasil proviene principalmente de las centrales hidráulicas y cuenta con una capacidad total instalada de unos 120 MW a principios de 2013, considerando la hidroeléctrica de Itaipu, que pertenece al estado paraguayo, pero que proporciona electricidad al sistema brasileño.

La distribución total de generación eléctrica por fuente está representada en la figura inferior.



Fuente: Datos Ministerio Energía y Minas. Elaboración propia

Como puede observarse, más del 80% de la electricidad es producida a partir de fuentes renovables. Dentro de ellas, la hidráulica es la fuente mayoritaria.

De la contribución de los combustibles fósiles a la generación de electricidad, alrededor de un 14% fue producida por autoconsumo, y normalmente por generadores diesel ligados a las zonas rurales.

2.2.3 Planificación

Con el objetivo de llevar a cabo una política energética planificada, se crea el Plan Nacional de Energía 2030 (PNE 2030) [3], elaborado por el Ministerio de Minas y Energía de Brasil, que visualiza un escenario para la demanda y la oferta de energía del país en los próximos 20 años.

En el Plan Decenal de Energía[4], se resumen las proyecciones de potencia instalada para cada fuente, donde la hidroeléctrica es la que adquiere mayor importancia.

La previsión de crecimiento de la demanda de electricidad en Brasil, se muestra en la tabla siguiente:

Año	Residencial	Industrial	Comercial	Otros	Total
2013	121,890 GWh	190,914 GWh	83,230 GWh	70,527 GWh	466,561 GWh
2014	145,528 GWh	219,556 GWh	104,387 GWh	81,335 GWh	550,806 GWh
2022	178,659 GWh	257,397 GWh	138,979 GWh	96,794 GWh	672,008 GWh

Fuente: Plan Decenal de Energía (2012-2022)

La expansión de las grandes centrales de generación eléctrica pasa por el crecimiento de la hidráulica.

Además del crecimiento de las centrales hidroeléctricas, que se tratará con más detalle en el punto siguiente, y que conlleva una planificación de la extensión de la red de transporte, es

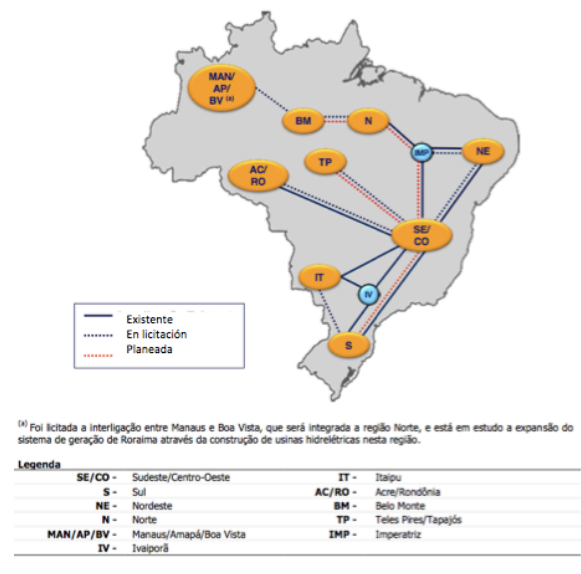
importante hablar en este sentido del programa PROINFA. Fue creado en 2002 buscando incentivar la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, en concreto: la biomasa, la energía eólica y las pequeñas centrales hidroeléctricas. La energía fotovoltaica quedó fuera del PROINFA, sin existir a priori un motivo aparente, por lo que es la tecnología menos desarrollada.

2.3 Hidroeléctricas

Puesto que la generación eléctrica del país proviene principalmente de las fuentes hidroeléctricas, puede explicarse con facilidad el sistema de transmisión entendiéndose la localización de las grandes presas hidráulicas.

La potencia hidroeléctrica total instalada en el país es de 77,7 GW. Sin embargo, el potencial de generación eléctrico a partir de energía hidráulica en la región del Amazonas es mucho mayor, 12,16 GW, según el PNE 2030, y sólo un pequeño porcentaje está siendo explotado, alrededor de un 9% según ANEEL[5]. A pesar de ello, las repercusiones ambientales de la construcción de grandes centrales de generación, podrían causar daños irreparables en la selva amazónica, que durante años ha sufrido la amenaza de la deforestación.

En el siguiente mapa, se pueden observar los núcleos de generación hidroeléctrica más importantes del país y las líneas de interconexión entre ellas. Algunas están aún proyectadas, pero las interconexiones ligadas a estas centrales, suponen implicaciones importantes para el desarrollo futuro de la política energética del país, ya que abre la vía a posibles conexiones de nuevas hidroeléctricas en regiones aún sin explotar, como en la zona que corresponde al margen izquierdo del Amazonas.



Fuente: EPE [6]

2.4 Implicaciones medioambientales y sociales de las hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas, a pesar de todas sus ventajas, pueden considerarse poco sostenibles teniendo en cuenta algunos de los problemas que surgen en su instalación.

La reducción del caudal de agua de un río, alterando sus patrones de crecimiento, y con ello el movimiento de los peces, pone en peligro la seguridad alimentaria de estas comunidades. Conlleva también la inundación de una tierra, de cultivos, bosques y casas, y la reubicación forzosa de comunidades enteras. Además, los embalses de las presas son un perfecto caldo de cultivo de transmisores de enfermedades, como los mosquitos de la malaria. Es más, la gran afluencia de personas que se requieren para la construcción de una gran presa, tiene significativas implicaciones para la salud de la población indígena, ya que los trabajadores pueden portar enfermedades totalmente desconocidas y mortales para los indígenas.[7]

Uno de los principales inconvenientes de las grandes hidráulicas a nivel social, esta relacionado con las poblaciones rurales y especialmente con los indígenas, ya que muchos de los núcleos de generación están cerca de sus territorios. Debido a la forma de vida de estas comunidades, basada principalmente en el trabajo de sus tierras, la construcción de las centrales trae problemas directos en sus hábitos de vida.

3. Zonas rurales indígenas

Durante el siglo XX se ha ido incrementando tanto el número como el tamaño de las ciudades de Brasil, así como el número de personas que viven en estas áreas urbanas en relación a los espacios rurales. Según el Banco Mundial, un 15% de la población a fecha de 2012 vive en áreas rurales[8]. Se podría distinguir entre dos grupos diferenciados en la población rural brasileña: la sociedad nacional emergente y la población indígena.

El sistema de relaciones territoriales y políticas entre las nuevas sociedades en formación y las sociedades preexistentes en la región, siempre ha estado caracterizado por conflictos: la expansión de unas y la subordinación de otras. Se trata de una frontera racial, de identidad cultural y lingüística difícil de encajar.

3.1 Conflicto indígena

Brasil se trataba de un país habitado por indígenas hasta la conquista e invasión en el año 1500 por tropas portuguesas. La población originaria indígena estaba compuesta por diversos grupos étnicos, que tras la colonización y el avance de la explotación económica masiva han ido viendo sus territorios reducidos al mínimo, siendo expulsados a manos del gobierno o de grandes industrias ganaderas, mineras, madereras, productores de arroz, cazadores, o centrales hidroeléctricas...que

han tenido interés económico en la zona y les han expulsado mediante el uso de la violencia e intimidación.[9]

Además de las muertes en estos enfrentamientos, el contacto con los colonos y trabajadores europeos supone para los pueblos indígenas una amenaza, ya que son especialmente vulnerables a epidemias debido a su aislamiento.

Todo esto ha llevado a los pueblos indígenas a unirse en la lucha por preservar sus territorios ancestrales, protegiendo así su cultura, lengua y tradición. Este movimiento se inició al noreste del estado brasileño, en Roraima. El procedimiento administrativo de demarcación de tierras indígenas se inició a través la FUNAI (Fundação Nacional do Índio), principalmente durante la década de 1980. [10]El objetivo es preservar estos espacios territoriales dentro de los cuales los pueblos indígenas pueden organizar con relativa independencia su vida social y cultural y pueden mantener en cierta medida sus propias instituciones políticas.

El Territorio Indígena (TI) es reconocido a través de requisitos técnicos y legales, según los términos de la Constitución Federal de 1988 y el Estatuto del Indio (Ley 6.001/73). Es un tipo específico de propiedad, de naturaleza original y colectiva, que no debe confundirse con el concepto de derecho civil de la propiedad privada. Se basa en el principio de que los indios son los primeros y naturales señores de la tierra, y esto es la fuente primaria de su derecho que es anterior a cualquier otro. [9]

Brasil tiene actualmente alrededor de 600 tierras indígenas, 227 pueblos con un total de aproximadamente 480000 personas. Estas tierras representan el 13% del territorio nacional, 1,1 millones de km². [10]

3.2 Necesidades energéticas de los pueblos indígenas

Las comunidades indígenas viven de sus tierras: practican la agricultura (caña de azúcar y soja), caza y pesca. Además, están a cargo de su salud y educación, y están cada vez más interesados en adquirir bienes como la televisión, radio, DVD, teléfono... Están interesados en desarrollar su economía mediante la venta de carne de ganado, pescado o tejido y venta de ropa o productos de arcilla. [11]

Estas poblaciones indígenas se encuentran generalmente en áreas aisladas a las que las líneas eléctricas nacionales no tienen acceso. Por lo que se sabe, lo más común es emplear pequeños generadores diesel para satisfacer sus necesidades energéticas y normalmente estarán encendidos solamente durante algunas horas al día. [11]

El gobierno central, plantea el desarrollo del sistema eléctrico a partir de la expansión del parque de generación hidroeléctrico, lo que supone el crecimiento asociado de las redes de distribución. Los pueblos indígenas tienen, en general, mayor dificultad para dar a conocer sus

preocupaciones y derechos. En ocasiones, no existen datos precisos sobre las poblaciones indígenas, lo que hace difícil realizar las evaluaciones de impacto ambiental, obviando la multitud de formas en que los pueblos indígenas usan su entorno y cómo dependen de él. En otros casos, dado que las indemnizaciones sólo se otorgan a quienes tienen el título de propiedad legal sobre la tierra y dado que el gobierno no reconoce el derecho de propiedad territorial a algunos pueblos indígenas, resulta fácil para las empresas internacionales operar en territorio indígena con impunidad. [12]

Por todo ello, existe una tendencia generalizada dentro de los pueblos indígenas de oposición ante cualquier proyecto de electrificación que venga de la mano del gobierno federal, debido a la trayectoria histórica de invasiones y subordinación.

4. Programa Luz Para Todos

4.1 Objetivo del programa

En el año 2003 el gobierno federal lanza el programa *Luz para Todos* con el objetivo de “acabar con la exclusión eléctrica en el país, llevando la electricidad de forma gratuita a más de 10 millones de personas en el medio rural”. Este programa es coordinado por el Ministerio de Minas y Energía, operado por Electrobras y ejecutado por las compañías eléctricas y otras cooperativas en colaboración con los gobiernos estatales.[13]

El mapa de exclusión eléctrica, revela que cerca del 90% de los hogares con ingresos inferiores a tres salarios mínimos no tienen acceso a la energía y durante la ejecución del programa se encontraron aun más familias con necesidades eléctricas.

A partir de 2011 se inició una nueva fase del programa para el periodo 2011-2014 que se centra en los ciudadanos considerados en los planes de “Plano Brasil Sem Miséria” y en “Programa Territórios da Cidadania” en los que se incluye la población extremadamente pobre, poblaciones indígenas, asentamientos afectados por la reforma agraria y regiones afectadas por la construcción de centrales hidroeléctricas. En este programa se contempla atender la demanda de las poblaciones a través de extensiones de red, sistemas de generación descentralizados o sistemas de generación individuales.

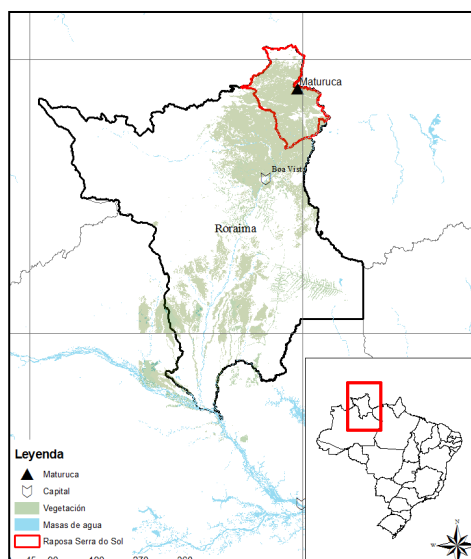
4.2 Sistemas aislados

En relación a los sistemas aislados, el Ministerio de Minas y Energía ha elaborado el “Manual de Projetos Especiais” (Manual de Proyectos Especiales) con el objetivo de atender a las regiones remotas y de difícil acceso. Este hecho está ligado a que uno de los grandes retos del programa es dar electricidad a comunidades aisladas, especialmente las ubicadas en la zona norte del país, en la región del Amazonas. Estos proyectos especiales se refieren a proyectos de electrificación rural en los que las redes eléctricas se encuentran a grandes distancias.

Los asentamientos indígenas, generalmente están mal comunicados y tienen baja densidad de población, haciendo necesaria la producción de electricidad de forma descentralizada y siendo conveniente dar prioridad a las energías renovables. Entre las opciones tecnológicas que plantea el programa destacan la minihidráulica, las centrales térmicas, la fotovoltaica, la eólica y los sistemas híbridos, donde la propuesta para cada caso será diferente.

5. Descripción de la comunidad de Maturuca

Maturuca está ubicada en el municipio de Uiramutã, perteneciente a la Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS), situada en el estado de Roraima, al norte de Brasil.



Localización de Maturuca

La llamada Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS) es uno de los territorios indígenas más grande del país. En este territorio viven unos 46000 indios, pertenecientes a los grupos Ingarikó, Macuxis, Patamona, Taurepang y Wapixanas, e incluye los municipios de Normandía, Pacaraima y Uiramutã entre los ríos Tacutu, Maú, Surumu, Miang y la frontera con Venezuela.

De acuerdo con el Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, la mayor parte del potencial eólico de Brasil está en la región de Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS). El Atlas Solarimétrico Brasileiro también señala periodos de gran irradiación media diaria en esta región.

Maturuca es una población de unas 500 personas, organizadas en 90 familias del grupo indígena Ingarikó. Los indígenas de Maturuca dependen de los recursos de la tierra: practican la agricultura, cazan, pescan, pero también realizan otro tipo de trabajos: el tratamiento de la madera, la elaboración de harina de yuca, el tejido de ropa, trabajos con arcilla...

Actualmente, emplean generadores diesel para satisfacer su demanda, pero esta oferta energética de tan solo unas horas al día les es insuficiente. La comunidad de Maturuca está interesada en potenciar el desarrollo de sus actividades productivas de forma que eviten la migración de las generaciones más jóvenes a las grandes urbes. Por ello, están interesados en adquirir grandes neveras para la conservación de carnes y pescados para su comercialización. Además, quieren que los habitantes más jóvenes puedan disfrutar de beneficios gubernamentales como la donación de ordenadores a las escuelas, pero que en la actualidad no pueden permitirse por falta de recurso eléctrico.

Dado que el área de Tierra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS) se encuentra a gran distancia de las líneas de transmisión eléctricas del país, el programa federal Luz Para Todos ha presentado al Ministerio de Minas y Energía el proyecto de construcción de presas hidráulicas en dos de los ríos que atraviesan la TIRSS, incluyendo la zona de Andorinha, lugar sagrado de culto para estos pueblos.

Teniendo en cuenta este debate sobre la instalación de centrales hidráulicas dentro y fuera de las áreas indígenas, desarrollado en el apartado 2.3 *Hidroeléctricas*, el Instituto Socioambiental (ISA) ha llevado a cabo un proyecto en la TIRSS en colaboración con la Universidade Federal do Maranhão (UFMA) y el Conselho Indígena de Roraima (CIR), con el objetivo de demostrar al gobierno federal y estatal que es posible diversificar la generación de energía dado el gran potencial eólico y solar del país.

Este proyecto, denominado Cruviana, pretende implantar un sistema de electrificación rural autónoma mediante generación eólica y fotovoltaica en las comunidades de Maturuca, Pedra Branca y Tamanduá. Los propios indígenas están interesados en llevar a cabo este proyecto. Por ello, se han involucrado en la instalación y mantenimiento de las torres meteorológicas para el estudio del recurso.

6. Proyecto técnico

6.1 Recurso

Tal y como se explicó en el *apartado 5. Descripción de la comunidad de Maturuca*, la región de Roraima en la que se encuentra la población de Maturuca, es uno de los lugares con mayor potencial eólico de todo el país, y cuenta también con buena radiación solar.

Gracias al ISA (Instituto Socioambiental), y en concreto al investigador Ciro Campos, hemos tenido acceso a los datos de viento y radiación que ha proporcionado una torre meteorológica. La torre fue instalada en la comunidad por los indígenas, precisamente para estudiar el potencial de la zona, en el contexto del proyecto Cruviana, al que se hace referencia en el apartado 5.

El estudio del recurso se ha llevado a cabo durante un año, desde abril de 2013 hasta marzo de 2014. Se ha tenido acceso a la media mensual de velocidad de viento y a la media mensual de radiación global diaria. Se han tenido en cuenta las incertidumbres asociadas a la medición del recurso, y la escasa duración de la serie temporal.

Los valores de las medias anuales para la velocidad de viento y radiación global diaria son:

Media anual de velocidad de viento	6,2 m/s
Media anual de radiación global diaria	5,5 kWh/m ²

A partir de estos datos, y junto con los de demanda eléctrica se dimensionará un sistema aislado híbrido eólico-fotovoltaico que permita a la comunidad, cubrir sus necesidades eléctricas durante 24h al día y proyectar un crecimiento productivo a medio plazo.

6.2 Dimensionado

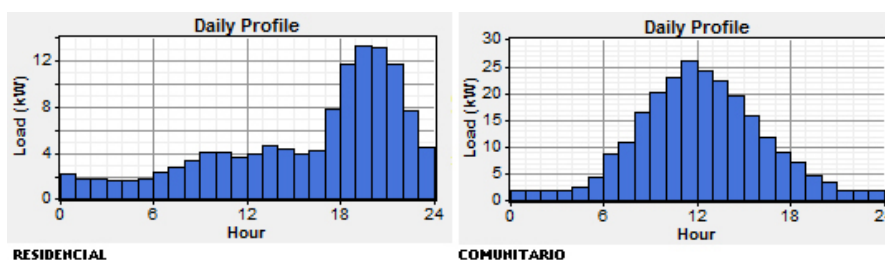
6.2.1 Cargas

Tal y como explicamos en el apartado de aproximación a la comunidad, Maturuca tiene unas expectativas de desarrollo productivo que los llevará a aumentar su demanda eléctrica, triplicando la actual.

Existen dos perfiles de consumo asociados a la comunidad. El primero corresponde al ámbito residencial y el segundo al productivo comunitario. La demanda de residencial y comunitaria se muestra en la tabla inferior.

	Actual	Futura
Demanda residencial kWh/día	223	331
Demanda productiva kWh/día	16	61

Las curvas asociadas a estos consumos serán distintas y se han calculado en base al conocimiento de la forma de vida de la propia comunidad, mostrando los siguientes perfiles:



Perfil de consumos de Maturuca para demanda futura

6.2.2 Diseño

Se diseña el sistema híbrido en base a la previsión de demanda futura, teniendo en cuenta la variabilidad del recurso solar y eólico, además de la incertidumbre en esta demanda. Consideramos que la posible variación en las cargas es mayor que en el recurso, puesto que las fuentes de incertidumbre son mayores y es difícil hacer una previsión exacta de la evolución de la demanda.

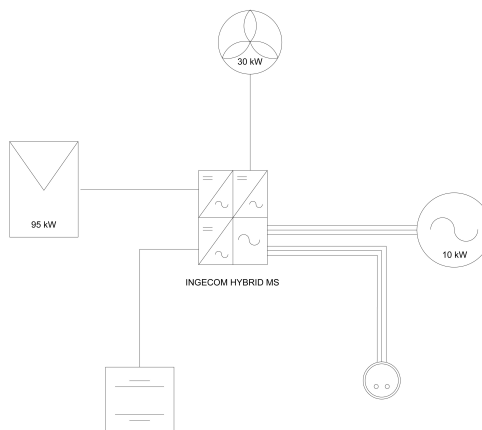
El sistema híbrido contará con un generador fotovoltaico y unas turbinas eólicas, instalando un generador diesel como equipo de apoyo. Los criterios que hemos seguido para una configuración óptima del sistema son los siguientes:

- Mínimo consumo de combustible
- Mínimo coste de inversión y operación
- Baterías. Debido a otras experiencias en electrificación rural, se consideran un elemento crítico de la instalación, por lo que hemos intentado mantenerlas en su rango óptimo de operación.
- Mínimo exceso de electricidad
- Mínimo porcentaje de demanda no satisfecha.
- Producción renovable por encima del 90%

El sistema resultante estará sobredimensionado para la demanda actual. Sería posible dimensionar un sistema híbrido que fuese adaptándose en el tiempo a las necesidades eléctricas, añadiendo los módulos fotovoltaicos para alcanzar la potencia que fuera necesaria. Sin embargo, ya que la financiación de este tipo de proyectos es un asunto crítico, consideramos que la mejor opción es realizar una única instalación, ya que las posibilidades de poder conseguir una futura subvención son dudosas.

Para poder encontrar el resultado óptimo en base a nuestros criterios, se ha utilizado el software de simulación HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables).

6.2.3 Sistema



Esquema de configuración

La configuración y número de equipos se muestra en la siguiente tabla:

	Número	Potencia unitaria kW	Potencia kW
Generador fotovoltaico	380 módulos	0,25	95
Turbina eólica	3	10	30
Generador Diésel	1	10	10
Inversor	1	60	60

El inversor seleccionado es el Ingecon Hybrid MS, un inversor trifásico que lleva integrado el control y regulación de todo el sistema. En el esquema de la figura ... se observa que el equipo lleva integrados todos los inversores y rectificadores necesarios para la operación. Además, será capaz de gestionar la regulación de carga del acumulador. De esta manera, garantiza el equilibrio entre generación, consumo y acumulación, y gestionando la entrada del grupo electrógeno cuando fuera necesario.

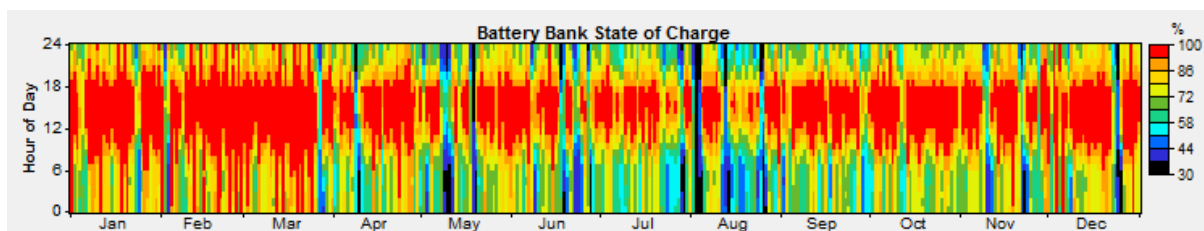
La configuración del generador fotovoltaico se muestra tabla.

Número de módulos en serie	20
Número de ramas en paralelo	19

El generador fotovoltaico constituirá una instalación de suelo, orientada al sur y con una inclinación de 15°.

En cuanto a acumulación, se han tomado 120 vasos en serie, y una única rama en paralelo con una batería de capacidad 2500 Ah.

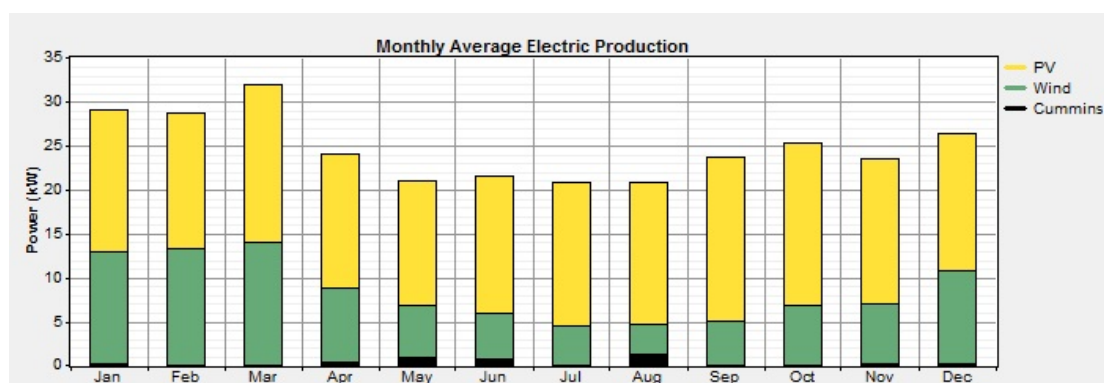
En la gráfica se puede observar el comportamiento de la batería, cuyo estado de carga está por encima del 80% en la mayoría de los casos.



Estado de carga de la batería

6.2.4 Generación

Como se puede observar en la figura, con esta configuración, se cumplen los criterios que se habían especificado en el apartado de diseño. El mayor porcentaje de generación viene dado por la fracción renovable del sistema, el grupo electrógeno entra en operación en momentos puntuales. El mayor consumo de diesel se produce durante los meses entre mayo y agosto, que coincide con el momento en el que el recurso eólico es menor. La generación fotovoltaica, sin embargo, es bastante constante a lo largo del año.



Media mensual de producción eléctrica por fuente

Con este sistema, se satisfacen las necesidades eléctricas de la comunidad en todo momento y de forma sostenible.

7. Balance económico del proyecto de Maturuca

Uno de los puntos más importantes del proyecto de Maturuca, es el bajo poder adquisitivo de la comunidad, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de plantear el balance económico del sistema y diseñar las tarifas que deben pagar las familias por este nuevo sistema de abastecimiento eléctrico.

Es por eso que este tipo de proyectos no están sujetos únicamente a la rentabilidad económica, sino que el objetivo principal del sistema es alcanzar un beneficio social, de desarrollo e independencia para la comunidad.

El beneficio económico, vendría dado en forma de ahorro, bien para la comunidad o bien para algún organismo vinculado al desarrollo del proyecto, ya que la cuota para el pago del sistema debe ser inferior a la que hasta el momento pagaba el pueblo indígena por el antiguo sistema de generación eléctrica.

7.1 Formas de financiación

Sería deseable conseguir financiación a fondo perdido, en forma de donaciones o subvenciones, para costear todo el desarrollo del sistema, desde su instalación a la operación durante su vida útil.

7.1.1 La inversión inicial

La inversión inicial es el desembolso de mayor volumen, puede ser costeada mediante la implicación de organismos multilaterales o de programas del propio gobierno dedicados a desarrollo social. Entre ellos podrían ser relevantes para el proyecto de Maturuca: el BNDES (*O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social* de Brasil), el BID (Banco Interamericano de Desarrollo), a través de los fondos del FONIM (Fondo Multilateral de Inversiones), o el FINEP (*A Financiadora de Estudos e Projetos*). Todos ellos aportan fondos no reembolsables a proyectos de carácter social que contribuyan al desarrollo de una determinada zona.

El programa más importante, y que se desarrolló en el punto 3, por sus características y requisitos, encontramos que es la opción más adecuada a la que acogernos con nuestro proyecto. La electrificación de Maturuca, se englobaría dentro de los denominados “Proyectos especiales”, ya que se encuentra a mucha distancia de la red, y es necesario el diseño de un sistema aislado. En este tipo de proyectos se prioriza la generación con fuentes renovables, como es nuestro caso. El programa proporciona el pago total de la inversión inicial del proyecto debida a equipos y montaje. Esto supone un porcentaje muy elevado del presupuesto total.

7.1.2 Combustible

Por otra parte, el **consumo de combustible** del grupo electrógeno diesel que apoya al sistema híbrido suele representar también una cantidad muy elevada de dinero. En el caso de las comunidades indígenas, la FUNAI suele hacerse cargo de los costes del diésel. El programa *Luz Para Todos*, ofrece también el pago del combustible con ciertas restricciones al consumo diario (50kW por familia).

Considerar una **financiación privada**, de forma que la comunidad asuma el pago de los costes del sistema, llevaría intrínsecas unas implicaciones de independencia que harían de ella la opción más aconsejable, ya que los indígenas serían más partícipes de un proyecto que ellos mismos han propuesto. Las empresas privadas podrían verse interesadas en financiar este tipo de proyectos cara a su visibilidad y agendas de responsabilidad social corporativa.

7.2 Costes del sistema

El objetivo del proyecto es impulsar el crecimiento de la comunidad de Maturuca, teniendo en cuenta que aspiran a aumentar su demanda eléctrica un 300% en los próximos 10 años, como se explica en el apartado 6.

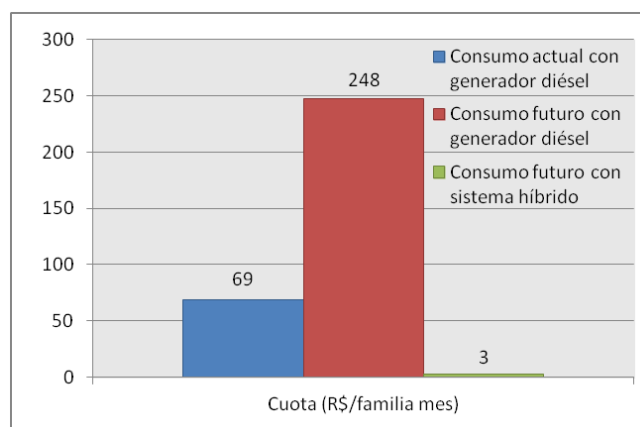
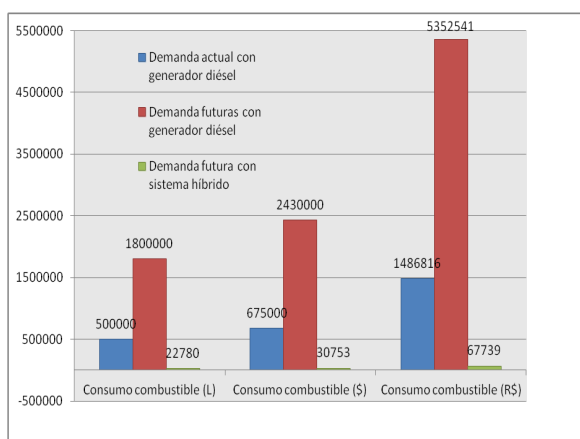
La demanda actual la satisfacen mediante un grupo electrógeno que funciona únicamente algunas horas al día, con un alto consumo en combustible diesel. Con el aumento previsto de la demanda eléctrica, este sistema de generación supondría gastos económicos excesivos. La implantación del sistema de electrificación aislada híbrida eólica-fotovoltaica, significará que el consumo de combustible diesel se verá reducido sustancialmente.

En la tabla siguiente se muestran los consumos actuales y previstos:

	Demanda actual (kWh/día)	Demanda futura (kWh/día)
Consumo familiar	223	331
Consumo comunitario	16	61

En los siguientes gráficos se puede apreciar la diferencia de consumos de combustible según los diferentes escenarios de demanda, y la cuota que debería abonar mensualmente cada familia para hacer frente a los gastos de combustible durante un período de 20 años.

La instalación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico supondría un ahorro significativo.



La inversión inicial de la instalación del sistema híbrido aislado se compone de: coste de los equipos, transporte de los mismos, obra civil y mano de obra, líneas eléctricas, y gestión de documentación y permisos. Los precios de los equipos se aprecian desglosados en la siguiente tabla:

ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO EN RORAIMA, BRASIL

COMUNIDAD DE MATURUCA

Tutor: Oscar Perpiñán

EQUIPOS	Unidades	Potencia Unitaria (kW)	Precio unitario(\$/kW)	Precio Total(\$)
Generador diésel Cummins	1	10	1000	10000
Turbinas eólicas Bergey	3	10	4000	120000
Panel FV Kyocera	380	0,25	1200	114000
Baterías Hawker 2500Ah	120	-	1000(\$/batería)	120000
Inversor Ingecon Hybrid MS	1	60	300	18000
				382000

Sumándole los costes adicionales de transporte, instalación, permisos... la inversión inicial en el año 0 para la instalación del sistema será de **896000 \$.[14]**

Los gastos de explotación incluyen los costes de operación y mantenimiento del sistema que son gastos fijos al año, y suponen **877 \$/año**. También debe tenerse en cuenta el reemplazo de los equipos, consideramos que será necesario cambiar la mitad de las baterías cada 6 años, y el inversor tras 15 años de funcionamiento.

Por lo que el **coste total** del sistema considerando la inversión, los costes de operación y mantenimiento, y el combustible durante sus esperados 20 años de vida, asciende a **1403293\$**.

	Inversión inicial	O&M anual	Coste total del sistema durante su vida útil
\$	896000	877	1403293
R\$	1973612	1932	3091022

Si consideramos las subvenciones mencionadas anteriormente para asumir estos costes, se pueden barajar diferentes escenarios:

- No recibir ningún tipo de subvención ni financiación.
- Entrar en el Programa Luz para Todos, con subvención de la inversión inicial
- Pago del combustible por la FUNAI. Considerando que financia su actual consumo, lo que supone 65 R\$/familia·mes, con una reducción de esta subvención de hasta 27 R\$/familia·mes, el total que deberían pagar las familias de Maturuca sería totalmente asumible, según nos cuentan fuentes del Instituto Sociambiental de Brasil.

Estas opciones se pueden ver fácilmente en la siguiente tabla:

	Caso A	Caso B	Caso C
Coste total a pagar por la comunidad (R\$)	3091022	1117410	534210
Coste mensual por familia (R\$/familia mes)	143	52	25

8. Conclusiones

A partir del análisis de la política energética y de la sociedad indígena brasileña, se ha abordado el problema de la electrificación en zonas rurales poco accesibles, concluyendo que uno de los puntos más importantes en estos proyectos es alcanzar el consenso con la comunidad, respetando sus modos de vida, y favoreciendo un desarrollo sostenible de su sociedad.

En este sentido, el proyecto Cruviana es un ejemplo a seguir en la implantación de sistemas aislados de electrificación, donde las comunidades acogen libremente y de manera colaborativa la iniciativa, ya que realmente promueve su crecimiento y desarrollo, y tiene en consideración sus costumbres, usos y necesidades tanto a la hora del diseño como de la implantación.

Una vez desarrollado un proyecto técnico que consideramos se adapta a la vida de la comunidad de Maturuca, encontramos en la financiación el punto crítico de la propuesta. El ISA se encuentra actualmente en la fase de búsqueda, pareciendo lo más razonable pasar a formar parte del programa *Luz para Todos*, aunque considerando otras posibles alternativas.

1. ISA. *Instituto Socioambiental (ISA)*. Available from: www.socioambiental.org.
2. CEPAL, *Panorama social de América Latina*. 2011.
3. Energia, M.d.M.e. and E.d.P. Energética, *Plano Nacional de Energia 2030*, M.d.m.e. energia, Editor. 2007. p. 324.
4. Energia, M.d.M.y., *Plano Decenal de Expansao de Energia 2022*. 2013.
5. ANEEL, *Energía hidráulica*.
6. Energética, E.d.P., *Demanda de energia elétrica-10 anos*. 2012: Rio de Janeiro.
7. International, S. *Survival International*. Available from: www.survival.es/indigenas.
8. (IBGE), I.B.d.G.e.E., *Atlas do Censo Demográfico 2010*.
9. ISA. *Povos Indígenas no Brasil*. Available from: <http://pib.socioambiental.org/>.
10. (FUNAI), F.N.d.Í. *Fundação Nacional do índio*. Available from: www.funai.gov.br.
11. Campos, C., *Demandas e potencialidades para o aproveitamento de energia limpa de origem eólica nas comunidades indígenas de Roraima. Relatório final*. 2009, Instituto Socioambiental.
12. *Presos del desarrollo. Pueblos indígenas y presas hidroeléctricas*. Survival International.
13. Programa Luz para Todos. Available from: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>.
14. Bermudez-Cañete, L.A., *Electrificación de zonas rurales aisladas*, U.P.d. Comillas, Editor. 2008.