

# Evaluación de la energía solar fotovoltaica para generación de electricidad en el municipio de Uribía, La Guajira - Colombia

## Evaluation of photovoltaic solar energy for electricity generation in the municipality of Uribía, La Guajira - Colombia

Laura Jessenia Silva Granada<sup>a\*</sup>

Recibido: Abril 14 de 2016  
Recibido con revisión: Junio 16 de 2016  
Aceptado: Junio 30 de 2016

<sup>a\*</sup> Universidade Estadual de Campinas  
Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão  
Geraldo, Campinas - SP, 13083-970  
(19) 3521-7000  
lauragranada@fem.unicamp.br

Energética 47, Junio (2016), pp 65-72

ISSN 0120-9833 (impreso)  
ISSN 2357 - 612X (en línea)  
[www.revistas.unal.edu.co/energetica](http://www.revistas.unal.edu.co/energetica)  
© Derechos Patrimoniales  
Universidad Nacional de Colombia



### RESUMEN

En este trabajo se dimensiona un sistema solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica para la comunidad indígena Wayúu de Uribia en el departamento de La Guajira - Colombia, considerando que esta población tiene una problemática económico-social reflejada en los altos índices de pobreza como consecuencia del bajo desenvolvimiento del departamento y la falta de suministro continuo de electricidad a nivel rural. Como bien se sabe, la energía solar es la fuente más abundante de energía renovable en Colombia, capaz de suplir las demandas de la comunidad en estudio y con la ayuda de los avances tecnológicos y el apoyo gubernamental se podría aprovechar esta energía para mejorar la calidad de vida de nuestros indígenas a través de la generación de electricidad continua.

### PALABRAS CLAVE

Energía Solar; Generación de Energía Eléctrica; Paneles Solares.

### ABSTRACT

This paper dimensions a solar photovoltaic power generation system in housing units for the Wayúu indigenous community of Uribia in the department of La Guajira-Colombia. This population has social and economical issues which are reflected in high rates of poverty because of the low development of the department and the lack of continuous supply of electricity to rural zones. As can be observed solar energy is the most abundant source of renewable energy available in Colombia capable of meeting community needs and with help of modern technology and government support to improve the life quality of our indigenous people through continuous electricity generation.

### KEYWORDS

Solar energy; Power Generation; Solar panels.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uribía es un municipio de La Guajira – Colombia, que hace parte de las llamadas Zonas No Interconectadas (ZNI). En estas áreas, la generación de electricidad es basada en plantas de generación diésel, constituyendo un nicho para el desenvolvimiento de las energías renovables, debido a los altos costos envueltos en la generación de este tipo, principalmente a los altos costos de transporte del combustible.

Estas ZNI cubren cerca de 2/3 del área del país, muy distantes de los centros de abastecimiento de combustibles e insumos, adolecen de un suministro muy costoso de combustibles y por lo tanto, las Tecnologías de Energía Renovable (TER) forman parte de la estrategia gubernamental para la prestación del servicio de energía eléctrica y el suministro de combustibles. (UPME, 2015)

El Instituto para la Planeación y Promoción de las Soluciones Energéticas para las ZNI (IPSE), institución gubernamental adscrita al Ministerio de Minas y Energía, se encuentra adelantando un ambicioso programa de utilización de las TER en las zonas aisladas y remotas del país en donde emplea diversas tecnología como solar, eólica, biomasa, biocombustibles, sistemas híbridos, sistemas de poli-generación, entre muchas innovaciones. (UPME, 2015)

La Guajira, siendo considerada como fuente de energía del país, tiene muchos problemas y deficiencias en esta materia. La energía eléctrica es tal vez uno de los más importantes, en el que las fallas en el abastecimiento son evidentes. Entre las razones se pueden destacar: La falta de recursos hídricos para generar energía eléctrica; negligencia política de los líderes de la región y la no generación de planes de contingencia y apoyo a las comunidades remotas del departamento; desperdicio del potencial calórico y eólico que puede ser usado para general energía renovable.

A finales del 2014, el municipio de Uribía tenía 24.793 casas de las cuales 95% estaban localizadas en zonas rurales e apenas el 8,25% de estas casas contaban con servicio de electricidad de baja calidad. En Uribía, el 64% de la población es considerada pobre y el 36% restante extremadamente pobre y, toda su comunidad pertenece al grupo indígena Wayúu. En la tabla 1, se pueden observar algunos datos generales del municipio de Uribía (UPME, 2015).

	Urbano	Rural
Viviendas	1.076	23.717
Viviendas sin servicio eléctrico	0	21.618
Cobertura de energía	100%	8,25%

No. de habitantes	10,442	166,593
No. de habitantes por vivienda		6

Tabla 1. Datos generales de Uribía

Fuente: [www.siel.gov.co](http://www.siel.gov.co)

Conociendo algunas de las necesidades presentes en la comunidad indígena, como el carecimiento del servicio eléctrico y los problemas derivados de este como el fornecimiento de agua (el cual se hace por medio de bombeo desde pozos subterráneos), los pésimos servicios escolares y la mala atención en los puestos de salud. El objetivo principal de este trabajo, es dimensionar una instalación eléctrica de conexión aislada, haciendo uso de la energía solar fotovoltaica, con la cual se espera cubrir la demanda de energía eléctrica de las familias del resguardo indígena Wayúu.

## 2. ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

Colombia es un país con diversas fuentes de energía y exportador neto de estas. La mayor parte de la generación eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) es derivada de la energía hidroeléctrica (SIEL, 2015); en la figura 1, se puede observar la distribución por tecnología en la matriz eléctrica de Colombia.

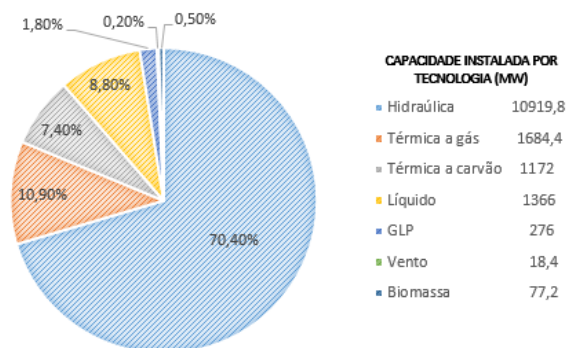


Figura 1. Participación por tecnología en la matriz eléctrica de Colombia

Fuente: UPME-informa mensual de las variables de generación y de mercado eléctrico colombiano – marzo 2015.

El potencial de recursos de Fuentes de Energía Renovable (FER) en Colombia es elevado. El país tiene recursos en prácticamente todas las FER (solar, eólica, biomasa, pequeñas centrales hidroeléctricas, geotérmicas, etc.) y con alto potencial de desarrollo. Sin embargo, el avance de estas fuentes es limitado en el

país. Entre los principales limitantes de su desenvolvimiento están el alto costo inicial de las Tecnologías de Energía Renovable (TER) y las barreras de diversos tipos derivadas de un cuadro jurídico y reglamentar para la generación de electricidad con FER poco desarrollado, la fuerte competencia de las tecnologías convencionales muy bien establecidas en el SIN, la falta de conocimiento sobre las FER y, la evaluación inadecuada y poca información existente sobre el potencial de recursos FER.

### 3. POTENCIALES ENERGÉTICOS DE COLOMBIA

#### 3.1 Potencia solar

Colombia tiene un potencial energético solar a lo largo de todo el territorio nacional, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Región	Radiación Solar (kW/m <sup>2</sup> /año)
La Guajira	1980 – 2340
Costa Atlántica	1260 – 2340
Orinoquia	1440 - 2160
Amazonia	1440 - 1800
Andina	1080 - 1620
Costa Pacífica	1080 - 1440

**Tabla 2.** Radiación solar Colombia  
Fuente: UPME, 2015

#### 3.2 Potencia eólica

En Colombia la mayor disponibilidad de recurso eólico se encuentran en la costa Atlántica, donde los vientos aumentan en dirección a la península de La Guajira.

Región	Dens. Pot a 20 m / 50 m (W/m <sup>2</sup> )
La Guajira	1000 – 1331 / 2744 – 3375
San Andrés	125 – 216 / 216 – 343
Santanderes	125 – 216 / 343 – 512
Costa Atlántica	216 – 512 / 729 – 1331

Llanos	125 – 216 / 216 – 343
Boyaca	125 – 216 / 216 – 343

**Tabla 3.** Densidad de Potencia  
Fuente: UPME, 2015

#### 3.3 Potencial de pequeñas centrales hidroeléctricas PCH's

En 1997 se identificó un potencial de 25.000 MW, con el 1% instalado mediante 200 PCH's. A 2008 existían instalados 146 MW de aprovechamientos hidroenergéticos menores a 10 MW. Adicionalmente Colombia tiene una precipitación media anual de 3.000 milímetros sobre el 25% del área total del territorio continental que equivale a 274.000 km. (TOLEDO, 2013)

#### 3.4 Potencial de biomasa

En 2003 se identificó un potencial de 16.267 MWh/año de energía primaria o potencial bruto con 658 MWh/año de aceite combustible, 2.640 MWh/año de alcohol carburante, 11.828 MWh/año de residuos agroindustriales y de cosecha, 442 MWh/año de residuos de bosques plantados, y 698 MWh/año de residuos de bosques naturales. (UPME, 2015)

La capacidad instalada de generación con residuos de biomasa fue de 26,9 MW en el año 2008, que correspondían a plantas en ingenios azucareros que utilizan el bagazo de caña mezclado con carbón para la generación de energía eléctrica. (UPME, 2015)

#### 3.5 Energía de los mares

Un estudio realizado por la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla en 200, identificó el Pacífico colombiano como una de las regiones con un gran potencial energético con un rango de marea promedio superior a los 3 metros. Sin embargo las velocidades de las corrientes de marea en la Bahía de Málaga con 0.82 m/s en marea muerta (rango 2m) y 1.51 m/s en marea viva (rango 3.7m), no son suficientes para la generación de electricidad. (TOLEDO, 2013)

### 4. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La instalación eléctrica dimensionada en este trabajo va a estar compuesta por los siguientes elementos:

## 4.1 Módulos fotovoltaicos

Aquí comienza la generación de corriente directa tan pronto como la luz del sol incide sobre la superficie. Hasta ahora las células fotovoltaicas existentes en el mercado están siendo fabricadas a base de silicio. El costo de estos módulos ha disminuido pasando de 76,76 US\$/Wp en 1977 a 0,36 US\$/Wp en 2014 (ENERGY TREND, 2014).

## 4.2 Regulador de carga

Los reguladores de carga son los encargados de proteger los acumuladores contra las sobrecargas y descargas profundas.

## 4.3 Baterías

Son un sistema de acumulación formado por un conjunto de acumuladores recargables que garantizan la autonomía del sistema.

## 4.4 Inversor

Es un dispositivo de potencia encargado de la transformación de la energía directa producida por los módulos solares en energía alterna para el consumo público.

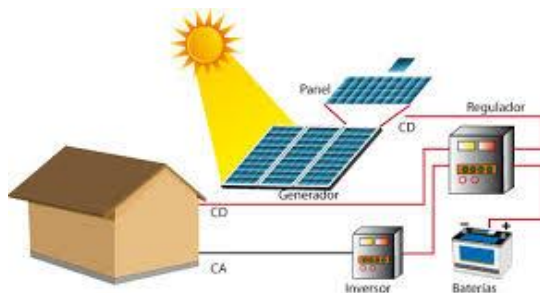


Figura 2. Producción de energía solar fotovoltaica  
Fuente: [www.elconstructorelectrico.com](http://www.elconstructorelectrico.com)

## 5. METODLOGÍA

### 5.1 Datos de Uribía

Uribía es un municipio situado al norte de Colombia y se encuentra en las coordenadas 12 ° 51' de latitud norte y 71 ° 20' de longitud oeste.

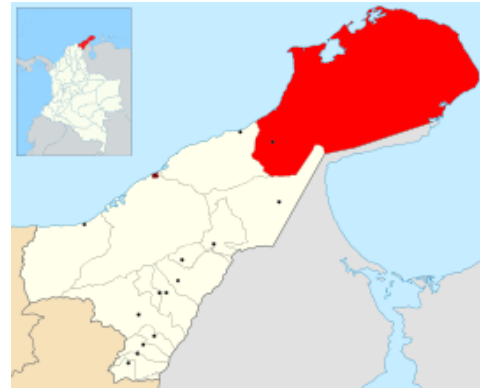


Figura 3. Ubicación de Uribía  
Fuente: Wikipedia.

Como características climáticas se destacan sus temperaturas medias entre 35 – 40 C, con máximas de hasta 45 C. Su economía está basada en la ganadería, comercio, turismo y exportación de carbón y sal marina.

En la tabla 4 se observan los valores de irradiación media mensual de Uribía.

Media mensual de irradiación incidente (kWh/m <sup>2</sup> /día)			
<b>Ene</b>	5,86	<b>Jul</b>	7,13
<b>Feb</b>	6,51	<b>Ago</b>	7,17
<b>Mar</b>	7,02	<b>Sep</b>	6,66
<b>Abr</b>	6,92	<b>Oct</b>	5,99
<b>May</b>	6,72	<b>Nov</b>	5,57
<b>Jun</b>	7,05	<b>Dic</b>	5,39
<b>Media anual diaria</b>			6,495
<b>Mínima (Diciembre) G<sub>a</sub></b>			5,39

Tabla 4. Irradiación mensual  
Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico se va a tomar como referencia el mes que tiene el valor más bajo de irradiación mensual (Diciembre), con el fin de garantizar la cobertura de la demanda durante todo el año.

### 5.2 Posicionamiento del sistema solar fotovoltaico

La orientación de un generador fotovoltaico está definida mediante las siguientes coordenadas:

Azimut ( $\alpha$ ): es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección sur. Su valor es de 0° si coincide con la orientación sur. Para un generador fotovoltaico localizado en el hemisferio norte, como nuestro caso, la orientación óptima sería para el sur, por lo tanto:

$$\alpha=0^\circ$$

Ec. (1)

**Inclinación ( $\beta$ ):** Es el ángulo que forma el panel con la superficie horizontal, tangente a la tierra en el punto. El mejor aprovechamiento se obtiene cuando la radiación incide perpendicularmente al panel. En sistemas fijos, el ángulo de inclinación óptimo a lo largo de todo el año está dado por la siguiente formula:

$$\beta_{\text{optimo}} = 3,7 + 0,69 \theta$$
 Ec. (2)

**Pérdidas por inclinación (FI):** Estas pérdidas son debidas a la inclinación y orientación no óptimas y pueden ser calculadas de la siguiente forma:

$$\beta \leq 15^\circ; \quad FI = 1 - [1,2 * 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{optimo}})^2]$$
 Ec. (3)

**Radiación sobre una superficie inclinada  $G_\beta$ :** el valor puede ser calculado partiendo de los valores medios mensuales de la irradiación global horizontal  $G_a$ ,  $\beta_{\text{optimo}}$  y  $\theta$  de la siguiente formula:

$$G_\beta = (G_a / (1 - 4,46 * 10^{-4} * \beta_{\text{optimo}} - 1,19 * 10^{-4} * \beta_{\text{optimo}}^2)) * FI$$
 Ec. (4)

Para nuestro caso de estudio los valores calculados son los siguientes:

$\beta_{\text{óptimo}}$	12,61°	$\beta_{\text{instalación}}$	10°
$\alpha$	0°	FI	0,999
$G_\beta$	5,522	$kWh/m^2/dia$	

**Tabla 5.** Datos de posicionamiento

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Estimativa de la demanda de consumo eléctrico

La vivienda rural típica a ser estudiada pertenece a un resguardo indígena con costumbres arraigadas, los cuales conviven de manera colectiva y con escasos recursos económicos, agrupados en clanes<sup>1</sup> formados por varias rancherías<sup>2</sup>. Para el análisis de este trabajo se consideró un grupo de 40 casas, una escuela, una casa comunitaria, un puesto de salud, un sistema de extracción de agua con bomba y el alumbrado de las zonas comunes.

<sup>1</sup> Clan es la forma de organización del grupo Wayúu. Un clan está compuesto por varias rancherías. Cada Clan tiene un jefe, el cual vela por la seguridad y recursos de su comunidad.

<sup>2</sup> Ranchería es un conjunto de 4 o 5 casa, donde viven dos o tres familias.

<b>DEMANDA DIARIA PARA UNA VIVENDA</b>				
	<b>Cant.</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Hrs</b>	<b>Energía [Wh/día]</b>
<b>Luminarias</b>	1	20	3	60
Para 40 Viviendas				2400

**Tabla 6.** Demanda de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia

<b>DEMANDA COLECTIVA</b>				
	<b>Cant.</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Hrs</b>	<b>Energía [Wh/día]</b>
<b>1. Casa comunitaria</b>				
<b>Televisor</b>	1	150	3	450
<b>Radio</b>	3	80	3	720
<b>Nevera</b>	3	250	12	9000
				<b>10170</b>
<b>2. Puesto de salud</b>				
<b>Luminarias</b>	5	20	12	1200
<b>Nevera</b>	2	250	12	6000
				<b>7200</b>
<b>3. Escuela</b>				
<b>Luminarias</b>	3	20	6	360
<b>Computador</b>	9	200	2	3600
				<b>3960</b>
<b>4. Bomba de extracción de agua</b>				
<b>Bomba</b>	5	1200	1	1200
				<b>1200</b>
<b>5. Alumbrado publico</b>				
<b>Luminarias</b>	10	55	12	6600
				<b>6600</b>
<b>Demanda total de la Comunidad</b>				<b>29130</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.4 Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para los cálculos se consideraron los siguientes datos:

<b>Batería</b>		
Días de autonomía D	5	
Voltaje do sistema Vsist		
E demanda < 2.000W	12	V
2.000W < E demanda < 5.000W	24	V
E demanda > 5.000W	48	V
Eficiencia de la Bateria $\eta_{bat}$	0,95	
Max. Profundidad de descarga PD	0,6	
<b>Painel I-175/80</b>		
Potencia pico do painel Ppp	175/80	W
Factor de perdidas sistema $\eta_{sist}$	0,75	
Isc	6,54	A
Voltaje do painel Vpp	24	V



Voc	21,6	V
Imax	6,1	A
Vmax	17,4	V
<b><i>Inversor</i></b>		
Eficiencia do Inversor $\eta_{inv}$	0,9	

**Tabla 7.** Demanda de energía eléctrica

**Fuente:** Elaboración propia

Energía corriente alterna [Wh/día]:

$$ECA = Ed / (\eta_{bat} * \eta_{inv}) \quad \text{Ec. (5)}$$

Número de módulos:

Tabla 8. Anexo

$$N_t = ECA / (P_{pp} * G_{\beta} * \eta_{sist}) \quad \text{Ec. (6)}$$

Módulos en serie:

$$N_s = (V_{sist} / V_{pp}) \quad \text{Ec. (7)}$$

Módulos en paralelo:

$$N_p = (N_t / N_s) \quad \text{Ec. (8)}$$

## 5.5 Dimensionamiento de la batería

Capacidad Nominal [Wh]:

$$C_n = (ECA * D / PD) \quad \text{Ec. (9)}$$

## 5.6 Dimensionamiento del regulador

Tabla 6. Resultados obtenidos

Corrente do Regulador [A]:

$$I_R = \text{Max}(I_G, I_C) \quad \text{Ec. (10)}$$

Corriente que consume a carga:

$$I_c = (ECA / 220) \quad \text{Ec. (11)}$$

Corrente do gerador:

$$I_g = (P_{pp} * \eta_{sist} / V_{pp}) * NP \quad \text{Ec. (12)}$$

## 6. RESULTADOS

En la tabla 6 se pueden encontrar los resultados obtenidos.

## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo fueron dimensionados 6 sistemas fotovoltaicos aislados con la finalidad de evaluar la capacidad de generación eléctrica mediante la energía solar. Con estos 6 sistemas fotovoltaicos se garantiza el fornecimiento de electricidad capaz de cubrir la demanda del puesto de salud, la escuela, la bomba de extracción de agua, las 40 viviendas y la vivienda comunitaria analizadas. Con esto se pretende mejorar las condiciones de vida del grupo indígena Wayúu, proporcionando beneficios sociales, acceso a los servicios de salud y educativos sin contaminar el medio ambiente.

Siendo Colombia un país con grande potencial para el desenvolvimiento de la energía solar fotovoltaica debido a su posición geográfica privilegiada, y siendo la generación de energía eléctrica uno de los mayores problemas de las regiones aisladas de la red eléctrica convencional, el aprovechamiento de la energía gratis del sol con sistemas fotovoltaicos es una opción viable para satisfacer la demanda de comunidades vulnerables, pudiéndose así gestionar la electricidad de manera limpia, independiente y segura.

Los sistemas fotovoltaicos son competitivos especialmente en la gama de bajo consumo de energía en las áreas remotas sin electricidad. Necesidad de sistemas de financiamiento (debido al bajo capital disponible en las áreas rurales) y mudanzas institucionales en el sector eléctrico son necesarias para poder generar proyectos de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos.

Siendo el departamento de La Guajira tan rico en recursos de energía natural renovable, el desinterés, la falta de apoyo del gobierno a las comunidades indígenas, la poca inversión en investigación y desarrollo tecnológico, hacen que con el paso del tiempo la comunidades continúen siendo subdesarrolladas y con sus recursos inexplorados.

## 8. REFERENCIAS

UPME, “Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano”, Fecha de

consulta: Marzo 2015. Disponible en:  
<http://www.siel.gov.co>

UPME. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>

SIEL "*Cobertura del Sistema Interconectado Nacional – Consultas Estadísticas*", Fecha de consulta: Febrero 2015. Disponible en: <http://www.siel.gov.co>

NASA, "*Surface Meteorology and Solar Energy – Data and Information*", Fecha de consulta: Abril 2015. Disponible en:  
[http://www.eosweb.larc.nasa.gov/project/sse/sse\\_table](http://www.eosweb.larc.nasa.gov/project/sse/sse_table)

"*Curso de energía solar fotovoltaica – dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*", Fecha de consulta: Marzo 2015. Disponible en:  
<http://www.manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>

PRICETREND. Disponible en:  
<http://www.energytrend.com/>

TOLEDO Arias, Carlos A. "*Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colomba*", Universidad Politécnica de Cartagena. 2013.

Tabla 8. Resultados obtenidos

PARAMETROS	VIVENDA	VIVENDA COMUNITARIA	POSTO DE SAÚDE	ESCOLA	BOMBA DE EXTRAÇÃO	ALUMBRADO PUBLICO
<u>CARGA DEL SISTEMA</u>						
Demanda em C.A (ECA)	2807,02 Wh/dia	11894,74 Wh/dia	8421,05 Wh/dia	4631,58 Wh/dia	1403,51 Wh/dia	7719,30 Wh/dia
<u>DIMENSIONAMENTO DAS BATERIAS</u>						
Energia Bateria	23391,81 Wh	99122,81 Wh	70175,44 Wh	38596,49 Wh	11695,91 Wh	64327,49 Wh
Capacidade Bateria	974,66 Ah	2065,06 Ah	1461,99 Ah	1608,19 Ah	974,66 Ah	2680,31 Ah
<u>DIMENSIONAMENTO PANEIS FOTOVOLTAICOS</u>						
Número de módulos	4	16	12	6	4	11
Número mod. em serie	1	2	2	1	1	2
Número mod. em paralelo	4	8	6	6	4	5,32
<i>Estrutura</i>	<i>4X1</i>	<i>8X2</i>	<i>6X2</i>	<i>6X1</i>	<i>4X1</i>	<i>6X2</i>
<u>DIMENSIONAMENTO DOS REGULADORES</u>						
Corrente en paralelo Ip	5,47 A	5,47 A	5,47 A	5,47 A	5,00 A	5,47 A
Corrente da carga Ic	0,09 A	5,18 A	2,73 A	8,45 A	5,45 A	2,50 A
Corrente do gerador Ig	21,2 A	44,9 A	31,8 A	34,9 A	21,2 A	29,1 A
Corrente Regulador Ir	21,2 A	44,9 A	31,8 A	34,9 A	21,2 A	29,1 A
<u>DIMENSIONAMENTO INVERSOR</u>						
Potencia	20 W	1140 W	600 W	1860 W	1200 W	550 W