

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD TECNICA Y FINANCIERA DE
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 3 ESCUELAS DEL
MUNICIPIO DE BOLÍVAR, SANTANDER, MEDIANTE LA
GENERACIÓN CON DIFERENTES FUENTES ALTERNATIVAS O
CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA.**

JENNIFER ANDREA SANTOS GOMEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERA EN ENERGIA

DIRECTOR
CARLOS ALBERTO REY SOTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD FISICO MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA EN ENERGIA
BUCARAMANGA
2013

Contenido

1. JUSTIFICACIÓN	4
2. OBJETIVO GENERAL	4
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4. UBICACIÓN	5
5. ESTIMACION DE LA DEMANDA	7
6. ESTIMACION DE LOS RECURSOS	13
6.1. Viento	13
6.2. Biomasa	18
6.3. Potencial mini Hidráulico	22
6.4. Radiación Solar	24
7. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	32
8. COTIZACION SISTEMA FOTOVOLTAICO	33
9. DISEÑO DE LA RED ELECTRICA	40
10. ANALISIS DE VIABILIDAD	44
12. RECOMEDACIONES DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS ACTUALES	47
Bibliografía.....	48
ANEXO A.....	50

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de las escuelas.....	6
Figura 2. Mapa de ubicación detallada de las escuelas.	7
Figura 3. Demanda Escuela	9
Figura 4. Demanda 3 casas.....	11
Figura 5. Demanda Total del Sistema.....	12
Figura 6. Promedio multianual de la velocidad del viento en superficie (Colombia).....	13
Figura 7. Promedio multianual de la velocidad del viento en superficie (Santander).....	14
Figura 8. Datos de viento ingresados a Homer	16
Figura 9. Distribución de Weibull.....	16
Figura 10. Datos Técnicos Aerogenerador	17
Figura 11. Curva de potencia Aerogenerador.....	18
Figura 12. Ríos cercanos a las escuelas y casas	22
Figura 13. Mapa de radiación solar (Colombia).....	24
Figura 14. Mapa de radiación solar (Santander).....	25
Figura 15. Ingreso de demanda del sistema en PVsyst	30
Figura 16. Consumo diario PVsyst	31
Figura 17. Sistema definido por PVsyst.....	32
Figura 18. Ficha técnica módulos. Parte 1	34
Figura 19. Ficha técnica de los módulos. Parte 2	35
Figura 20. Ficha Técnica de las Baterías	36
Figura 21. Ficha técnica del controlador de carga.	37
Figura 22. Ficha técnica del inversor. Parte 1	38
Figura 23. Ficha técnica del inversor. Parte 2	39
Figura 24. Diagrama unifilar de la red eléctrica hasta las escuelas y casas	40

Lista de Tablas

Tabla 1. Consumo típico en escuela y casas	8
Tabla 2. Demanda Escuelas.....	8
Tabla 3. Demanda 3 casas	10
Tabla 4. Demanda total del sistema	11
Tabla 5. Velocidades de Viento Promedio (NASA).....	15
Tabla 6. Tabla de criterios de selección del tipo de biodigestor	20
Tabla 7. Radiacion solar. Base de datos NASA	25
Tabla 8. Descripción de los componentes del sistema fotovoltaico	33
Tabla 9. Análisis Financiero Paneles Fotovoltaicos.....	44
Tabla 10. Porcentaje de crecimiento del kWh a través del tiempo.....	45
Tabla 11. Análisis Financiero Construcción Red Eléctrica	45

1. JUSTIFICACIÓN

Retomando el proyecto realizado por el ingeniero Javier Rueda, que tuvo como fin abastecer de energía eléctrica mediante generación fotovoltaica a 15 escuelas de 7 municipios que están alejadas de la red eléctrica y de difícil acceso, se desea comparar financieramente la posibilidad de complementar la generación de energía con diferentes fuentes alternativas o llevando la red eléctrica, a 3 escuelas y casas aledañas a estas de uno de los municipios de dicho proyecto tomando como caso de estudio del municipio Bolívar, teniendo en cuenta que este municipio presenta las veredas más alejadas del proyecto.

También se trazará un plan de mantenimiento para los paneles fotovoltaicos, ya que desde su instalación no se ha realizado ninguna visita por parte del personal de ESSA para verificar el estado de todos los equipos instalados.

2. OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad de suministro de energía eléctrica a 3 escuelas del municipio de Bolívar, Santander, mediante la generación con diferentes fuentes alternativas o conexión a la red eléctrica.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la demanda máxima de los sistemas
2. Formular propuestas de suministro de energía con fuentes alternativas
3. Diseñar el suministro de energía con fuentes alternativas
4. Diseñar el suministro de energía mediante la construcción de la red eléctrica
5. Analizar financieramente la viabilidad de suministrar energía eléctrica con paneles, otras fuentes de energía alternativa, o red eléctrica
6. Realizar el plan de mantenimiento para los equipos instalados actualmente en las diferentes escuelas

4. UBICACIÓN

El proyecto será realizado en 3 escuelas y sus casas aledañas localizadas en el municipio de Bolívar, municipio situado al norte del país, en el departamento de Santander (provincia de Vélez). Su término municipal limita por el norte con los municipios de Landázuri y Cimitarra, por el este con Vélez y Guavatá, por el sur con El Peñón, Sucre, La Belleza y Puerto Boyacá (departamento de Boyacá) y al oeste con el departamento de Antioquia.

El municipio de Bolívar¹ posee 97150.44 hectáreas, de las cuales están dedicadas a cultivos permanentes (cacao, café) 1.141.7 hectáreas, transitorios anuales 2.876.1 hectáreas, en pastos 123.479.7 hectáreas, en bosques 15.675.1 hectáreas principalmente. La tendencia actual es la disminución de los cultivos permanentes por el bajo rendimiento de los cultivos atribuido al ataque de plagas y enfermedades y a la falta de proyectos orientados con capacitación y asistencia técnica. La zona fría tiene una vocación de ganadería doble propósito y agricultura que asegura la alimentación de las familias ubicadas en este medio. En clima medio con vocación ganadería doble propósito y agricultura. Un tercer territorio la vocación es Ganadería doble propósito, agricultura de cacao, café, plátano, caña, maíz y frutales. Un cuarto territorio entre los 200 y 1000 m.s.n.m., el más extenso del municipio, la vocación es ganadera, agrícola con cultivos de maíz, yuca, caña, plátano; hay bosques que están en territorios que se consideran baldíos con intervención de madereros y colonos. En el municipio la tierra dedicada a cultivos permanentes es de 0.76%, en anuales 1.9%, el 82.9 % en pastos, 3.8 % en descanso y 10.5 en bosques, atribuido a la falta de vías de comunicación, a la falta de planificación del territorio, escasez de recursos y a estrategias de producción con cultivos y especies alternativas que por sus rendimientos e ingresos estimulen al agricultor a sembrar, a usar la tecnología de una manera eficiente y a participar en los proyectos que oriente la Unidad de Asistencia Técnica del Municipio. En la zona media los predios menores de 5 hectáreas es el 52; % en la mayoría de las veredas el 16 % de los predios son menores de 1 hectárea, el 13 % de 1 a 2 hectáreas y 23 % entre 2 y 5 hectáreas, entre 5 y 10 habría un 20 %, el 15% entre 10 y 20 y un 13 % mayores de 20 hectáreas. Al igual que en la zona fría, la zona media del municipio presenta una tendencia hacia la parcelación de los suelos lo cual afecta directamente la protección y conservación de los recursos naturales y demuestra que la base económica de estas veredas está sustentada en la explotación de minifundios; además de los problemas de marginalidad económica dada la escasez de recursos, se presentan serios problemas para la sostenibilidad del agro ecosistema y la productividad agropecuaria, debido a la reducida extensión de los predios, lo que ocasiona el uso intensivo del suelo para producir los medios de subsistencia, situación que obliga a la sobreexplotación de la tierra lo cual redundará en baja productividad y bajos niveles de ingresos para las familias campesinas. En la zona caliente la situación es muy diferente a las dos regiones

¹Tomado de la página web del municipio: <http://www.bolivar-santander.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f>

anteriores, el 65 % de los predios son mayores de 20 hectáreas, se reportan baldíos en el listado de 10.570 hectáreas, 10% entre 10 a 20 hectáreas, 10 %, de 5 a 10 hectáreas, el 9 % entre 2 y 5 hectáreas y 2 % de 1 a 2 hectáreas y menores de una hectárea el 5 %.

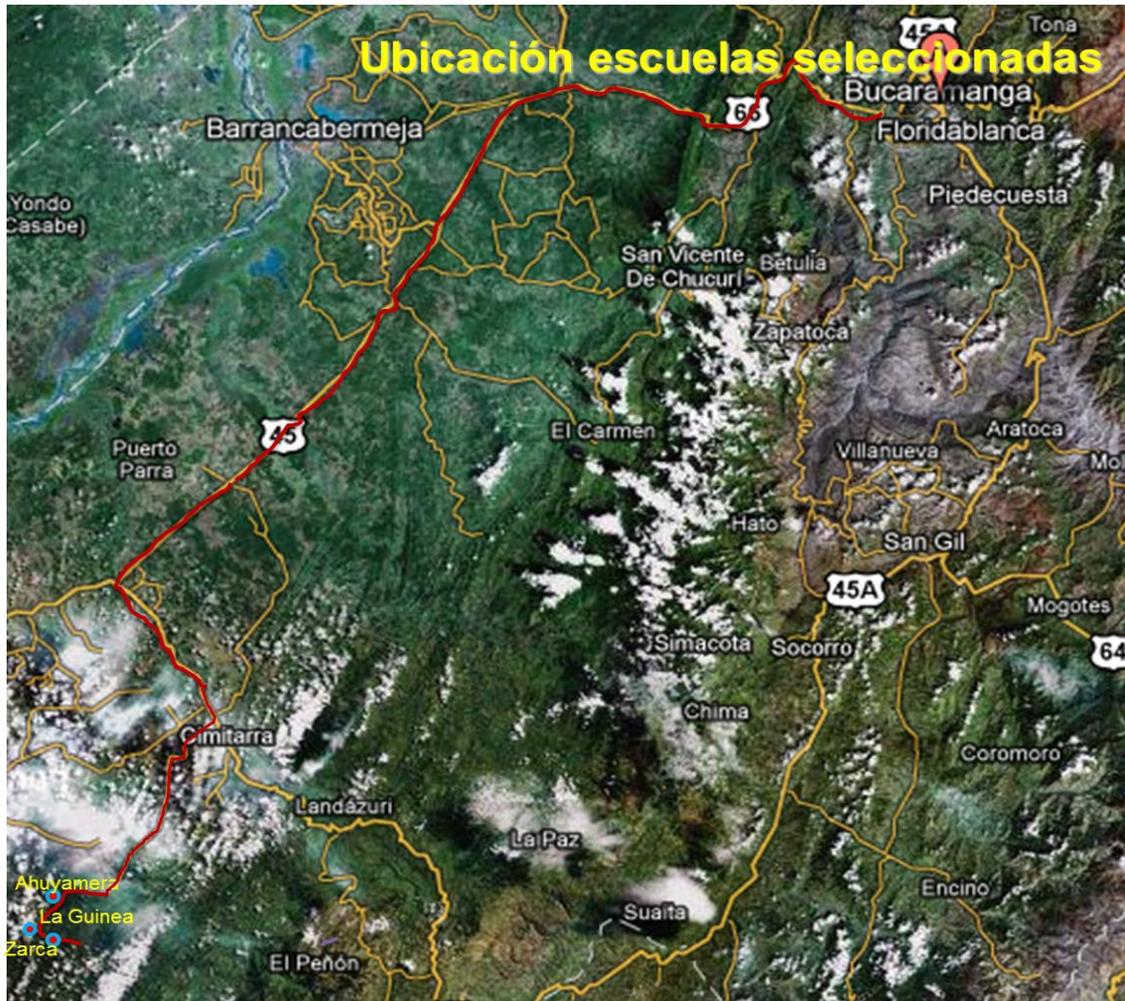


Figura 1. Mapa de ubicación de las escuelas.
Fuente: <https://maps.google.com/>

En la siguiente figura se presenta un mapa con la ubicación de las 3 escuelas en las que está basado este proyecto.



Figura 2. Mapa de ubicación detallada de las escuelas.²
Fuente: <https://maps.google.com/>

El sistema de generación se ubicará en cada una de las escuelas situadas en el municipio de Bolívar (Santander), mostradas en el anterior mapa. La población beneficiada con este proyecto es principalmente estudiantes de primaria que toman clases de diferentes grados. Adicionalmente a esto se beneficiarán las casas aledañas (aproximadamente 3) a estas escuelas, en las cuales viven alrededor de 6 personas por casa.

5. ESTIMACION DE LA DEMANDA

Para estimar la demanda de energía se debe tener en cuenta que las escuelas tienen su máxima demanda de lunes a viernes, esto no quiere decir que durante los fines de semana no se consuma nada pues en cada escuela vive el profesor encargado de dictar las clases pero esta demanda se desprecia ya que es muy baja.

Para la demanda de energía de las casas se tienen en cuenta los siete (7) días de la semana. También se asume que el consumo de la energía se dará en un plazo de 13 horas, partiendo de las 8 de la mañana a las 9 de la noche. Esto debido a que la población tiende a irse a dormir muy temprano para levantarse en horas de la madrugada a iniciar sus labores en el campo.

A continuación se muestra una tabla del consumo típico en una escuela y sus casas alrededor, así como la demanda energética máxima³ que presentan en el día.

³ Los datos de potencias típicas de las cargas son tomadas de la página de la ESSA: <http://www.essa.com.co/essa/default.aspx>

Tabla 1. Consumo típico en escuela y casas

ESCUELA	W	Cantidad	h/día	Demanda (Wh/día)
PC	180	5	1	900
TV	100	1	1	100
DVD	55	1	2	110
Bombillo	25	6	3	450
	1150			1560

3 CASAS	W	Cantidad	h/día	Demanda (Wh/día)
TV	100	6	1	600
Bombillos	25	9	3	675
	825			1275

Demanda energética máxima 2835 Wh/día

La demanda de energía máxima se da cuando todas las cargas se estén usando en el mismo instante. Para este caso será de 2835Wh.

Teniendo calculada la demanda máxima se procede a realizar las curvas de demanda⁴ del sistema. Para este caso en especial se deben realizar 2 curvas diferentes, una para las escuelas y otra para las casas, debido a la demanda semanal de cada una.

Tabla 2. Demanda Escuelas

ESCUELAS		
HORA	Demanda (%)	Demanda W
1	0%	0
2	0%	0
3	0%	0
4	0%	0
5	0%	0
6	0%	0
7	0%	0
8	10%	156
9	10%	156
10	10%	156

⁴Las curvas de demanda están basadas en **NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN** de la ESSA ESP

11	10%	156
12	20%	312
13	30%	468
14	30%	468
15	100%	1560
16	30%	468
17	30%	468
18	20%	312
19	10%	156
20	0%	0
21	0%	0
22	0%	0
23	0%	0
24	0%	0

TOTAL DIA

4836

Wh/dia

5

kWh/dia

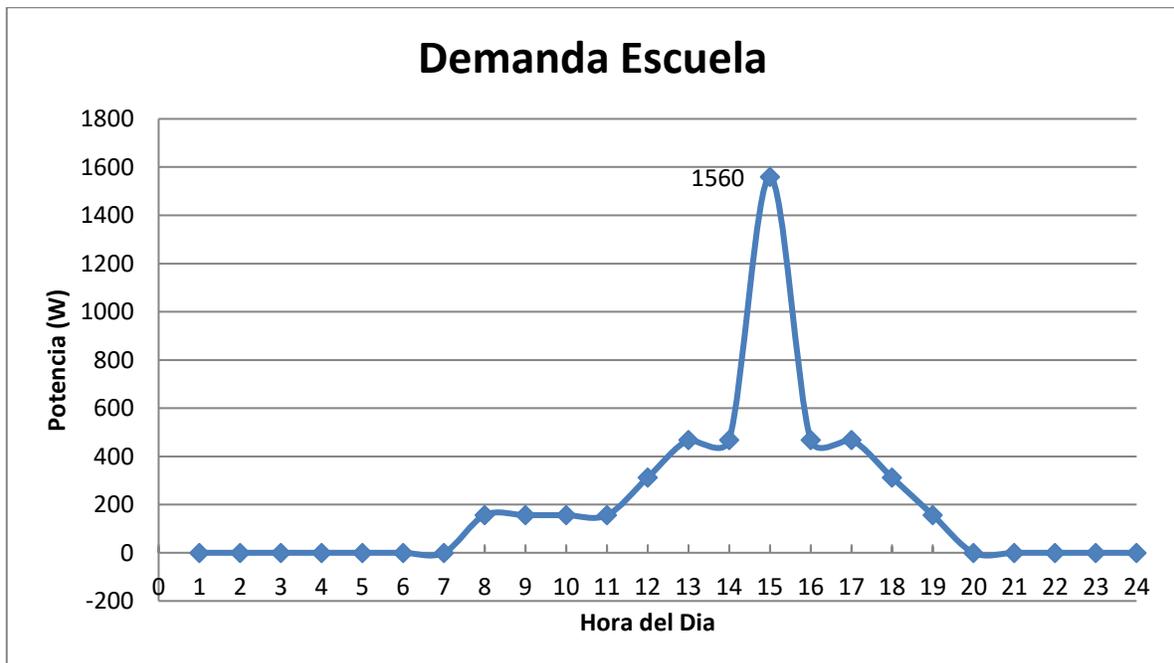


Figura 3. Demanda Escuela

Tabla 3. Demanda 3 casas

CASAS		
HORA	Demanda (%)	Demanda W
1	0%	0
2	0%	0
3	0%	0
4	0%	0
5	0%	0
6	0%	0
7	0%	0
8	10%	127,5
9	10%	127,5
10	10%	127,5
11	10%	127,5
12	20%	255
13	30%	382,5
14	30%	382,5
15	40%	510
16	30%	382,5
17	40%	510
18	55%	701,25
19	100%	1275
20	40%	510
21	0%	0
22	0%	0
23	0%	0
24	0%	0

TOTAL DIA

5418,75

Wh/día

5,4

kWh/día



Figura 4. Demanda 3 casas

Tabla 4. Demanda total del sistema

DEMANDA SISTEMA			
Hora	Demanda Escuela	Demanda casas	Demanda Total (W)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	156	127,5	283,5
9	156	127,5	283,5
10	156	127,5	283,5
11	156	127,5	283,5
12	312	255	567
13	468	382,5	850,5
14	468	382,5	850,5
15	1560	510	2070
16	468	382,5	850,5

17	468	510	978
18	312	701,25	1013,25
19	156	1275	1431
20	0	510	510
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0

TOTAL DIA 10254,75 Wh/día
10,25 kWh/día

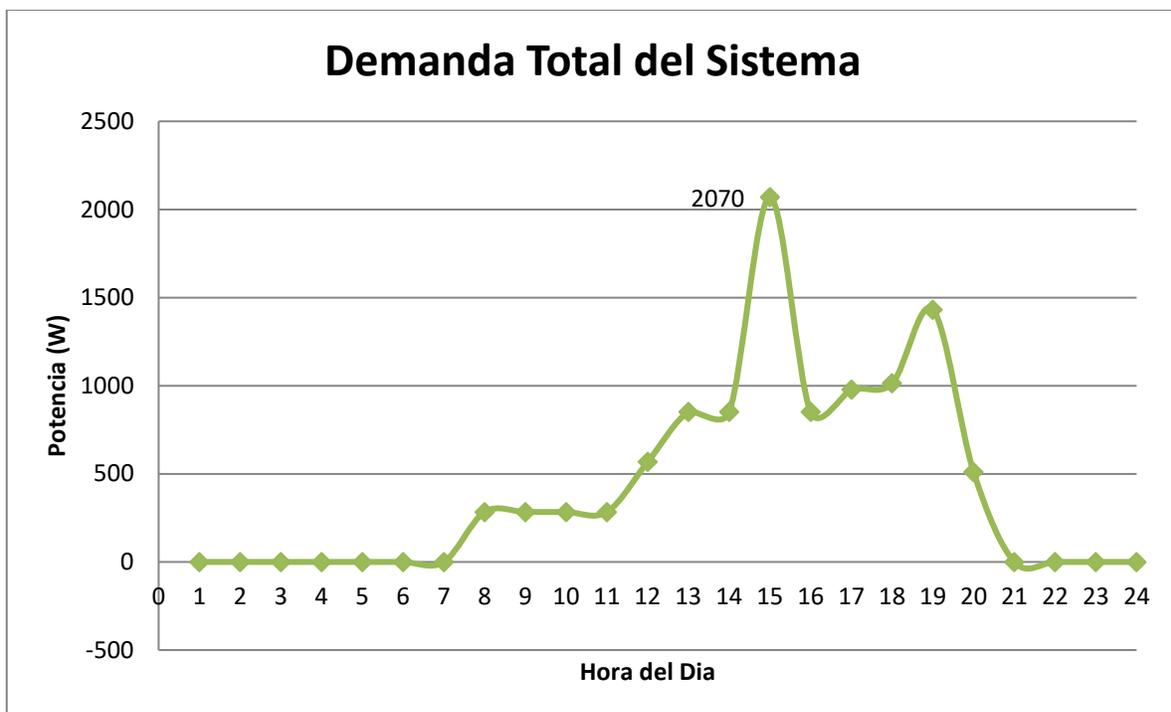


Figura 5. Demanda Total del Sistema

Sumando la demanda presentada por la escuela y las casas aledañas, mostradas en las figuras 3 y 4 respectivamente, obtenemos la demanda total para cada uno de los sistemas mostrada en la figura 5. Siendo así una demanda de 10.25 kWh/día, y una demanda máxima, aproximadamente a las 3 de la tarde, de 2070 Wh.

6. ESTIMACION DE LOS RECURSOS

Para la estimación de recursos se debe tener en cuenta la ubicación de las escuelas y recursos que estén cerca a cada una como ríos cercanos, clima, temperatura, animales que puedan aportar biomasa, viento, radiación, etc.

6.1. Viento

Para estimar el recurso eólico se usa la ubicación geográfica de las escuelas, el atlas de viento de la UPME y la base de datos de la NASA.

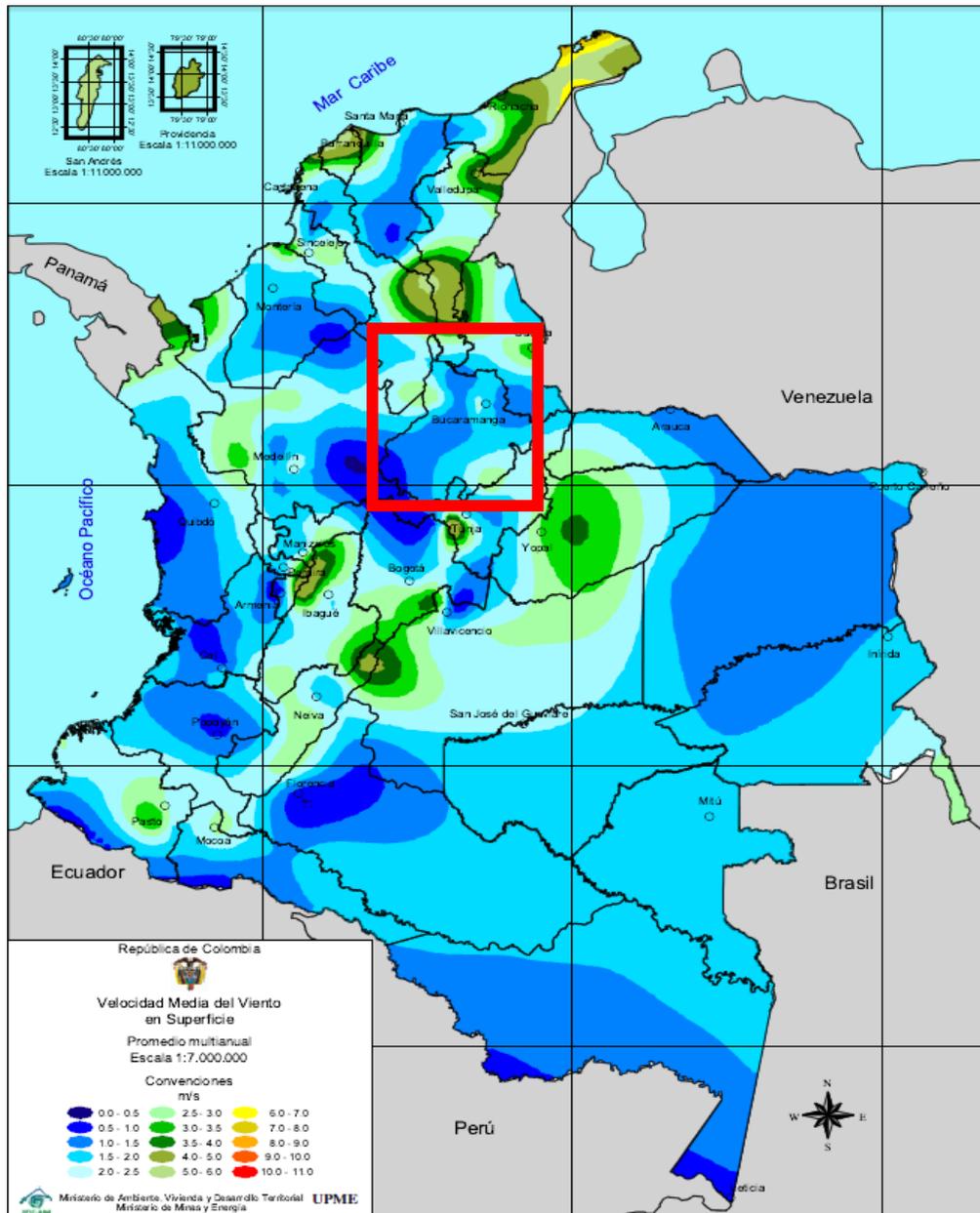


Figura 6. Promedio multiannual de la velocidad del viento en superficie (Colombia)

Fuente: Atlas de Viento y energía Eólica de Colombia - UPME

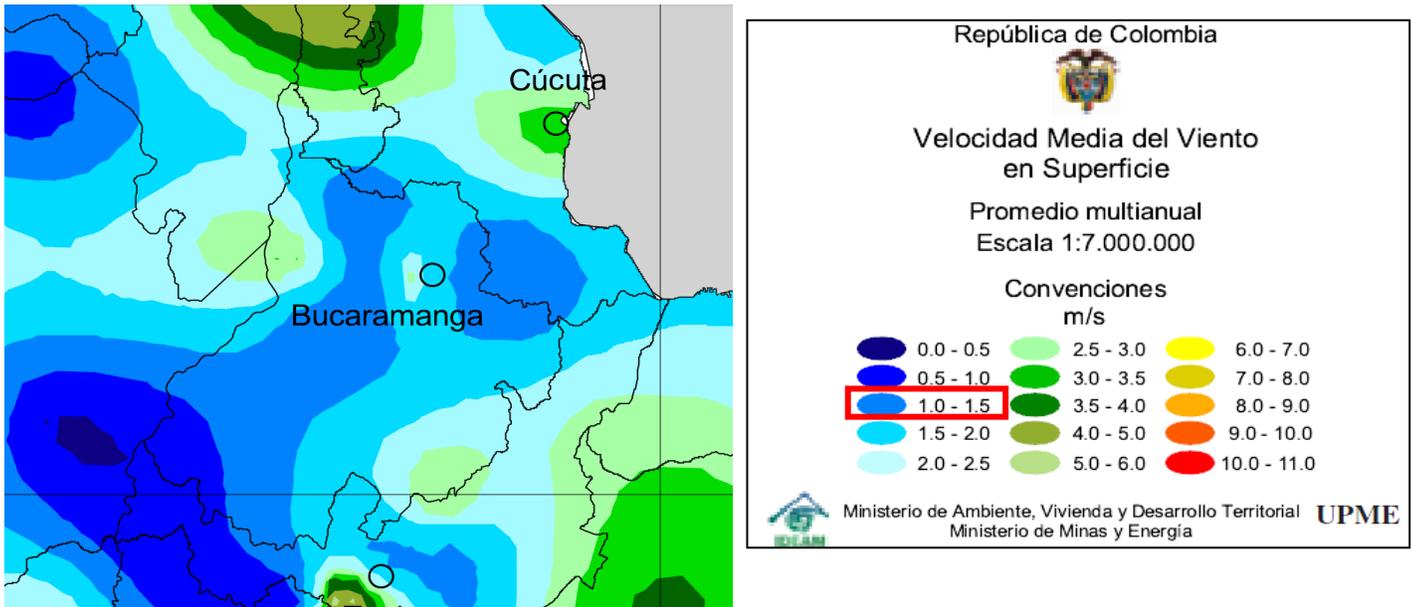
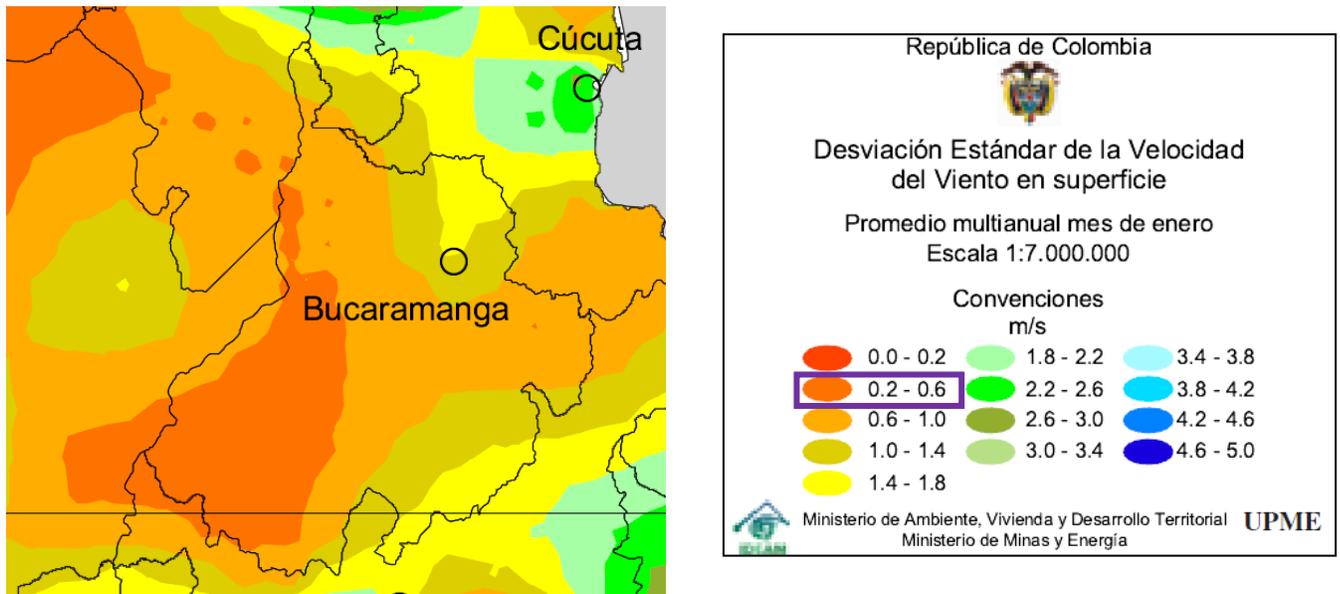


Figura 7. Promedio multianual de la velocidad del viento en superficie (Santander)
Fuente: Atlas de Viento y energía Eólica de Colombia - UPME

Este mapa nos muestra la velocidad media del viento en la superficie y se observa que para el municipio de Bolívar se tiene una velocidad media en el rango de 1.0 – 1.5 m/s, que se considera baja. Consecuente a esto se procede a mirar el mapa de desviación estándar.



La máxima velocidad es de 1.5m/s y considerando una desviación estándar de 0.6, la velocidad del viento es 2.1m/s.

Para corroborar los datos obtenidos por el atlas de la UPME se consulta la base de datos de la NASA, mostrando en la tabla 5 lo datos obtenidos usando las coordenadas de ubicación de las escuelas latitud: 6° 4'35.78"N y longitud: 74°10'29.49"O, obtenidas con ayuda de ingenieros de ESSA.

Tabla 5. Velocidades de Viento Promedio (NASA)

Mes	Temperatura	Humedad Relativa	Velocidad de Viento
	°C	%	m/s
Enero	21,4	72,70%	1,7
Febrero	22,4	67,80%	1,6
Marzo	22,2	73,90%	1,5
Abril	22	79,50%	1,4
Mayo	21,8	80,40%	1,4
Junio	21,8	76,00%	1,6
Julio	21,9	69,40%	1,6
Agosto	22,2	67,70%	1,4
Septiembre	21,7	74,00%	1,3
Octubre	21	81,50%	1,3
Noviembre	20,8	83,20%	1,3
Diciembre	21	79,30%	1,6
Promedio	21,7	75,50%	1,5

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

Con ayuda del programa Homer y los datos de viento obtenidos por la NASA, se realiza la curva de distribución de Weibull para tener más certeza de que no hay probabilidad de vientos más altos de 1.7 m/s. continuación se presenta la distribución de Weibull obtenida con Homer.

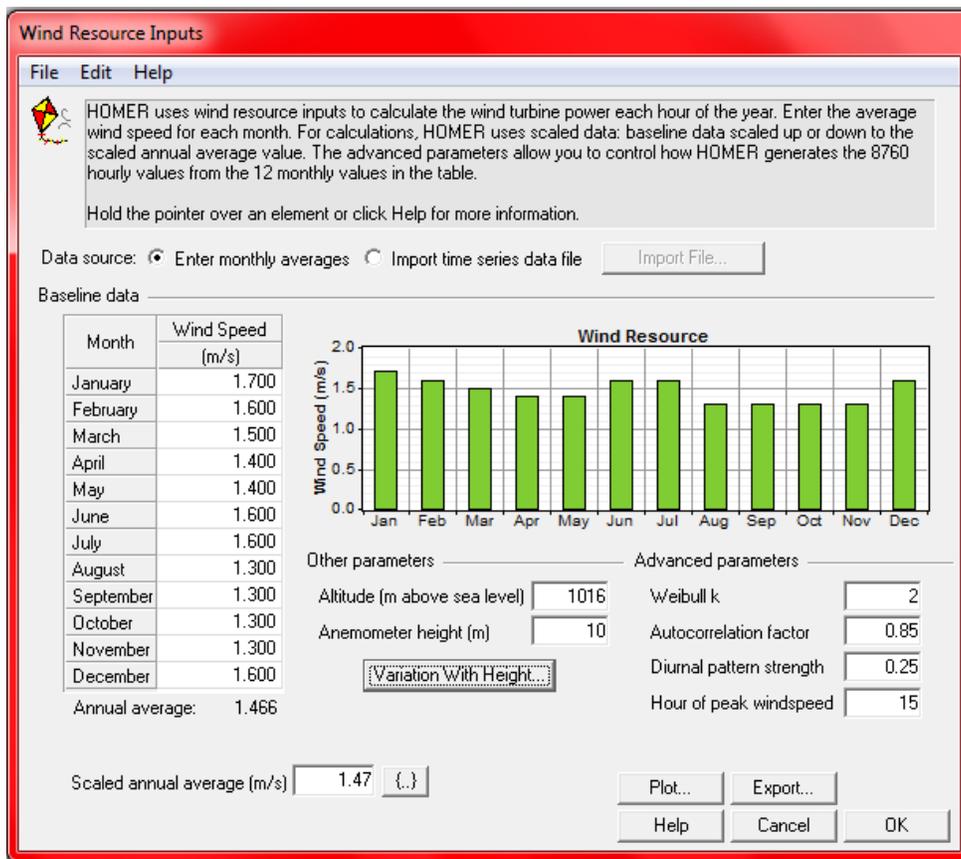


Figura 8. Datos de viento ingresados a Homer

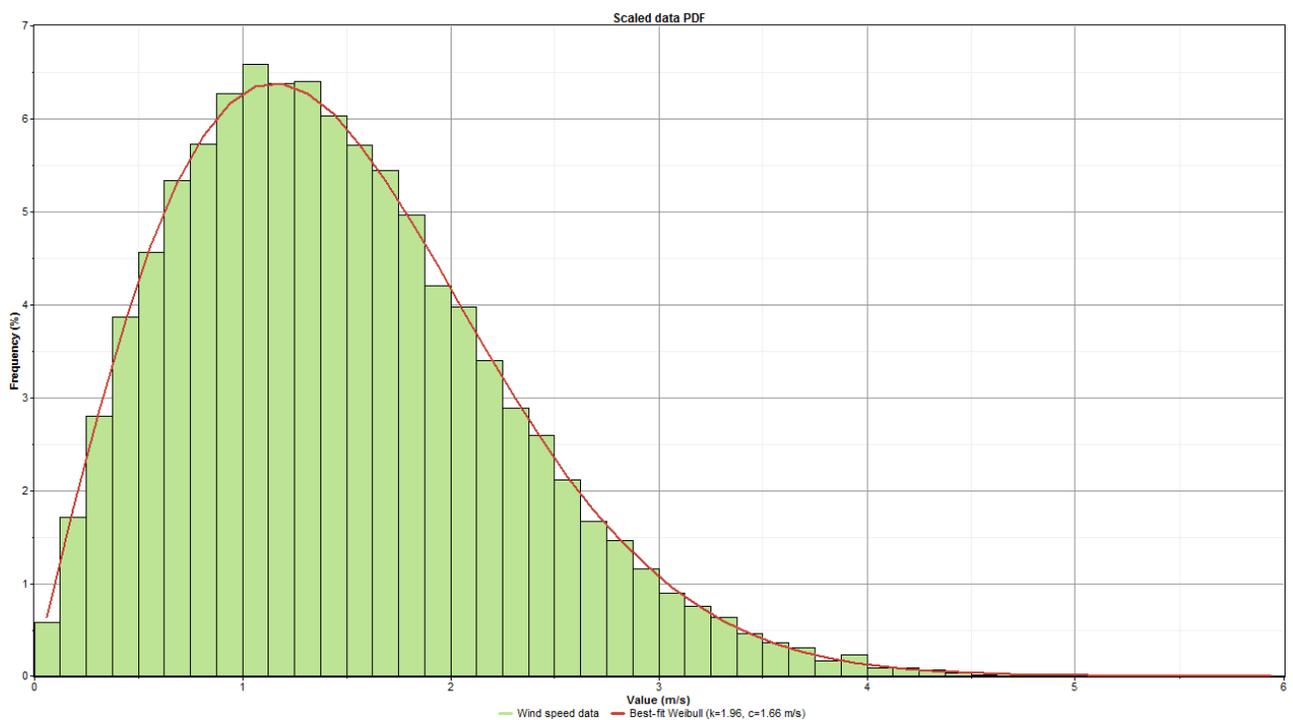


Figura 9. Distribución de Weibull

Con esta distribución se puede ver que la probabilidad de que haya vientos de las de 3 m/s es de menos del 1%.

Comparando estos datos con los obtenidos por los atlas de la UPME, observamos que son bastante cercanos. Por esta razón se procede a buscar un aerogenerador que sea capaz de trabajar con viento bajos para que pueda ser utilizado en las zonas de las escuelas. De este modo, se encuentra el AEOLOS-V 300W con las siguientes especificaciones:

V 300W Specification	
Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.6 m (5.25 ft)
Rotor Width:	1.2 m (3.94 ft)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm
Performance	
Rated Power:	300 W
Max Output Power:	400 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)

Figura 10. Datos Técnicos Aerogenerador

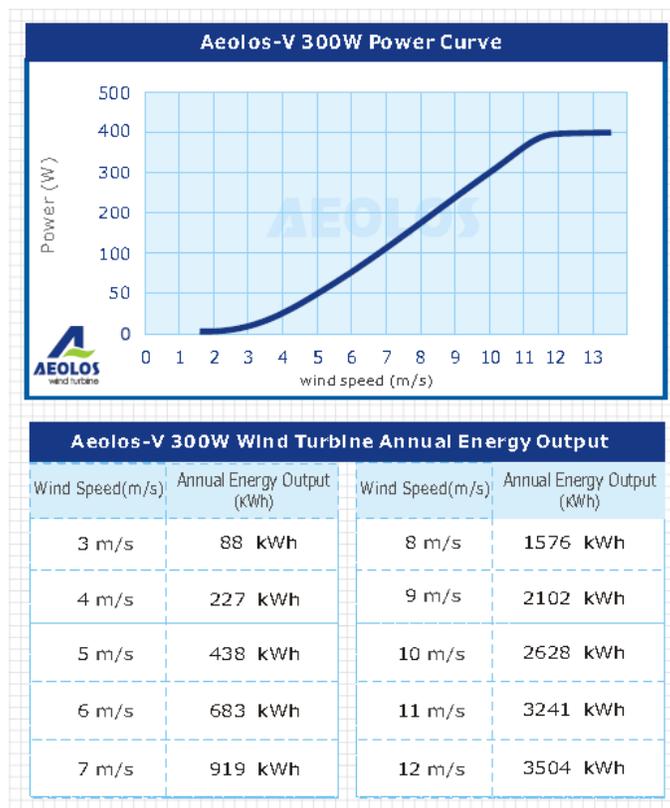


Figura 11. Curva de potencia Aerogenerador

Este aerogenerador encontrado es uno de los pocos aerogeneradores que trabaja con velocidades de viento bajas, como las presentadas en la zona del municipio. Pero claramente se observa en la gráfica Potencia-Velocidad de Viento, que sería muy difícil que esta máquina funcionara, porque a pesar de trabajar con velocidades bajas, las velocidades presentadas en las escuelas son aún más bajas

6.2. Biomasa

Para poder calcular el potencial energético de la biomasa de la zona se debe saber con qué recursos se cuenta para tal fin (vacas, cabras, caballos, desechos vegetales, etc.). Debido a que por riegos laborales no fue posible visitar la zona personalmente se consultó con la administración de las escuelas quienes informaron que las familias de las casas cerca a las escuelas cuentan, en promedio, 10 vacas, las cuales podrían aportar la biomasa para usar en un biodigestor. Con esta información se procede a calcular la energía que podría llegar a suministrar la biomasa aportada por esas 10 vacas. Para eso es necesario calcular el metano producido por los excrementos de las vacas.

Excrementos Totales

$$E = W_A * \frac{86 \text{ kg}}{1000 \text{ kg animal}}$$

$$\# \text{ Vacas} = 10$$

$$\text{Peso Prom} = 500 \text{ kg}$$

$$W_{AT} = 5000 \text{ kg}$$

$$E = 143.3 \text{ kg}$$

Solidos Volatiles

$$SV = W_A * \frac{10 \text{ kg}}{1000 \text{ kg animal}}$$

$$SV = 50 \text{ kg}$$

Volumen de metano producido

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * \left(1 - \frac{K_o}{U_o * TR - 1 + K_o}\right)$$

$$K_o = 0.6 + 0.0006 * e^{0.1185 * SV}$$

$$U_o = 0.013 * T - 0.129$$

$$P_{CH_4} = \text{Potencial de produccion de metano}$$

$$P_{CH_4} = 0.27 \frac{m^3 CH_4}{kg SV}$$

$$T = \text{Temperatura} = 21.7 \text{ C}$$

$$TR = \text{Tiempo de Retencion} = 20 \text{ Dias}$$

$$V_{CH_4} = 9.64 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dia}$$

Para poder saber el volumen total de biogás producido se debe tener en cuenta que este volumen no es completamente metano, pues también se produce dióxido de carbono. Valores promedio que se presentan en el biogás son de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono⁵. Esto entonces quiere decir que en total se tiene una producción de 16,06 m³ CH₄/dia

⁵Tomado de: "Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas"

Teniendo el volumen de biogás producido se procede a calcular la potencia que genera dicho metano teniendo en cuenta la densidad promedio del biogás, el poder calorífico, la diferencia de temperatura (temperatura a la que sale el metano producido y la temperatura ambiente)

Para seleccionar un tipo de biodigestor se realiza la siguiente tabla tomando en cuenta varios criterios y dando a cada uno un valor.

Tabla 6. Tabla de criterios de selección del tipo de biodigestor

Criterios de Selección	ALTERNATIVAS					
	1	2	3	4	5	6
	Digestor Batch	Digestor Domo Móvil	Digestor Domo Fijo	Digestor Flujo Pistón	Digestor Tipo Plug Flow	Digestor Ideal
Facilidad de construcción del digestor	75	65	55	75	85	100
Facilidad de construcción del gasómetro	65	60	60	60	75	100
Facilidad de mantenimiento del digestor	90	70	60	60	75	100
Facilidad de mantenimiento del gasómetro	75	75	75	75	75	100
Facilidad de transporte de materiales	50	45	30	35	80	100
Fiabilidad de funcionamiento	90	90	80	85	90	100
Bacterias Iniciadoras	60	60	60	70	70	100
Control de temperatura	90	90	90	95	90	100
Control de pH	90	90	90	90	90	100
Costo de construcción*	75	65	65	70	80	100
Materiales en el mercado	80	80	80	80	75	100
Eficiencia	30	40	45	40	50	100
Vida útil	60	60	90	90	60	100
Seguridad	80	80	80	80	75	100
Total	1010	970	960	1005	1070	1400
Índice porcentual (%)	74.28	72.14	71.07	74.64	79.28	100
Orden selección	2	4	5	3	1	

*Un mayor costo de construcción significa menor puntaje

Con esta tabla entonces seleccionamos el biodigestor tipo plugflow que fue el que mejor puntaje obtuvo de acuerdo a todos los criterios de selección. Con esto tenemos una eficiencia del 50% que usaremos para calcular el biogás producido.

$$\eta = 50\%$$

$$\begin{aligned}\rho &= 1.08 \text{ kg/m}^3 \\ C_p &= 3.64 \text{ kJ/kg} \cdot \text{C} \\ T &= 10 \text{ C}\end{aligned}$$

$$kW \text{ Producidos} = 0.0037 \text{ kW/dia}$$

La producción de electricidad obtenida por la biomasa es muy baja, además de esto se tiene el problema de que la comunidad tendría que dejar sus labores diarias para recoger los excrementos del ganado.

6.3. Potencial mini Hidráulico

Para la estimación del potencial energético que se puede obtener de los ríos, se presenta a continuación un mapa de ubicación de las escuelas y los ríos cercanos a estas.

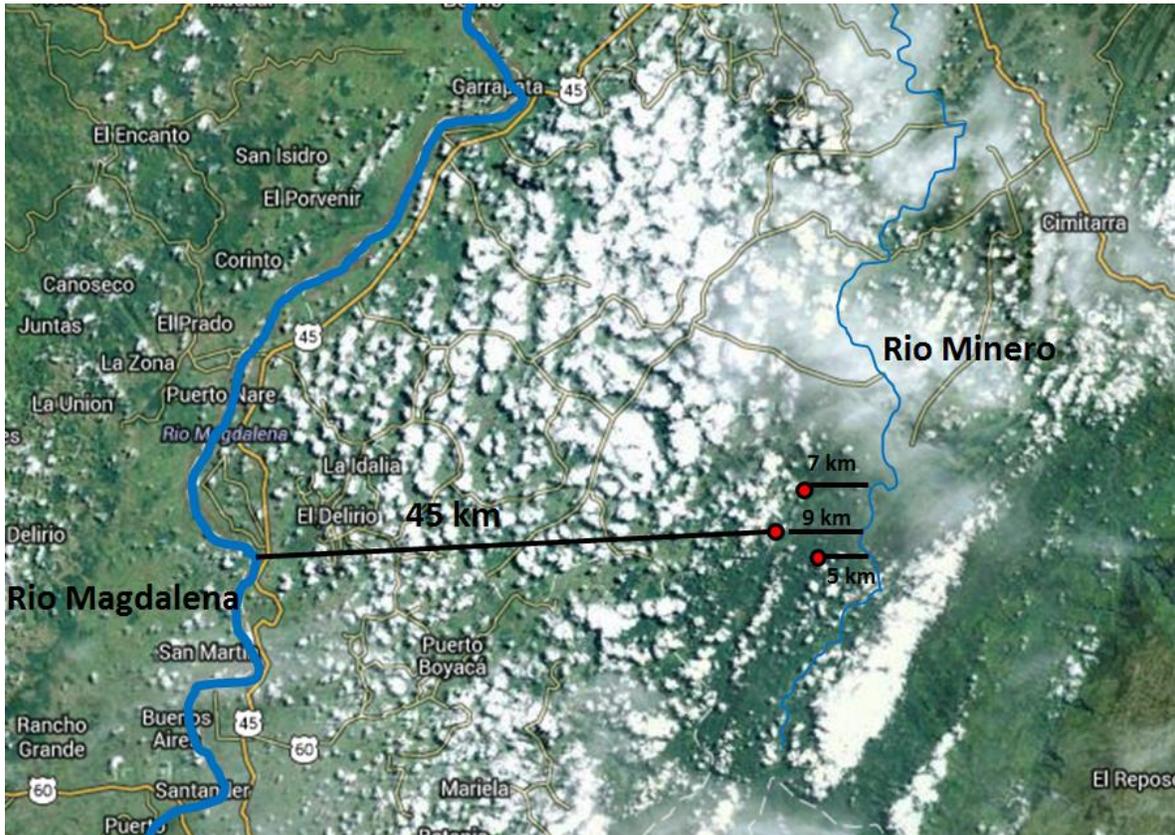


Figura 12. Ríos cercanos a las escuelas y casas

Fuente: www.wikipedia.org y <http://www.cas.gov.co>

El río Magdalena y el río Minero son los 2 ríos más cercanos a las escuelas. El caudal del río Magdalena es, en promedio, 7000 m³/s y el caudal del río Minero es de 38 m³/s, datos obtenidos de www.wikipedia.org y <http://www.cas.gov.co> respectivamente. Para aprovechar la energía hidráulica de los ríos se tiene en cuenta que el río Magdalena está muy alejado, por lo tanto se podría trabajar con el río Minero.

Sabiendo que se va a recurrir al río Minero se determina la potencia disponible que se podría aprovechar de este río.

La potencia en watts disponible (P) obtenida de una turbina en forma de par motor a una velocidad determinada en el eje de un generador acoplado a ella viene dada por la siguiente ecuación:

$$P = \eta_H \times \eta_T \times \eta_G \times \gamma \times Q \times H$$

Donde:

γ : Peso específico del agua en N/m^3

Q: Caudal de agua en m^3/s

H: Altura de salto en m

η_H : Eficiencia del sistema hidráulico

η_T : Eficiencia de la turbina

η_G : Eficiencia Generador eléctrico

La altura de salto se toma como 5 cm debido a que el río no tiene gran inclinación y no se puede diseñar una represa como tal. El peso específico del agua se considera como $9800 N/m^3$. La eficiencia del sistema hidráulico se aproxima a 65%, de la turbina a 75% y del generador a 90%.

$$P = 0.65 * 0.75 * 0.90 * 9800 * 38 * 0.05$$

$$P = 8326 W$$

Por lo tanto la potencia generada (aproximadamente) por una turbina será de 8326 W.

La alternativa de usar una turbina hidráulica, según esta información, es muy útil, debido a la gran potencia que se obtendría, pero para el caso de este proyecto se descarta por que se desea la mayor autonomía posible y este sistema requeriría de personal que supervise el sistema. Además se requiere permisos por el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por esta razón se descarta esta alternativa.

6.4. Radiación Solar

De igual manera que se hizo para calcular el recurso de viento en las escuelas, se busca en los mapas de radiación solar de la UPME y se corrobora la información con la base de datos de la NASA.

Según la UPME se presentan los siguientes valores de radiación solar anual:

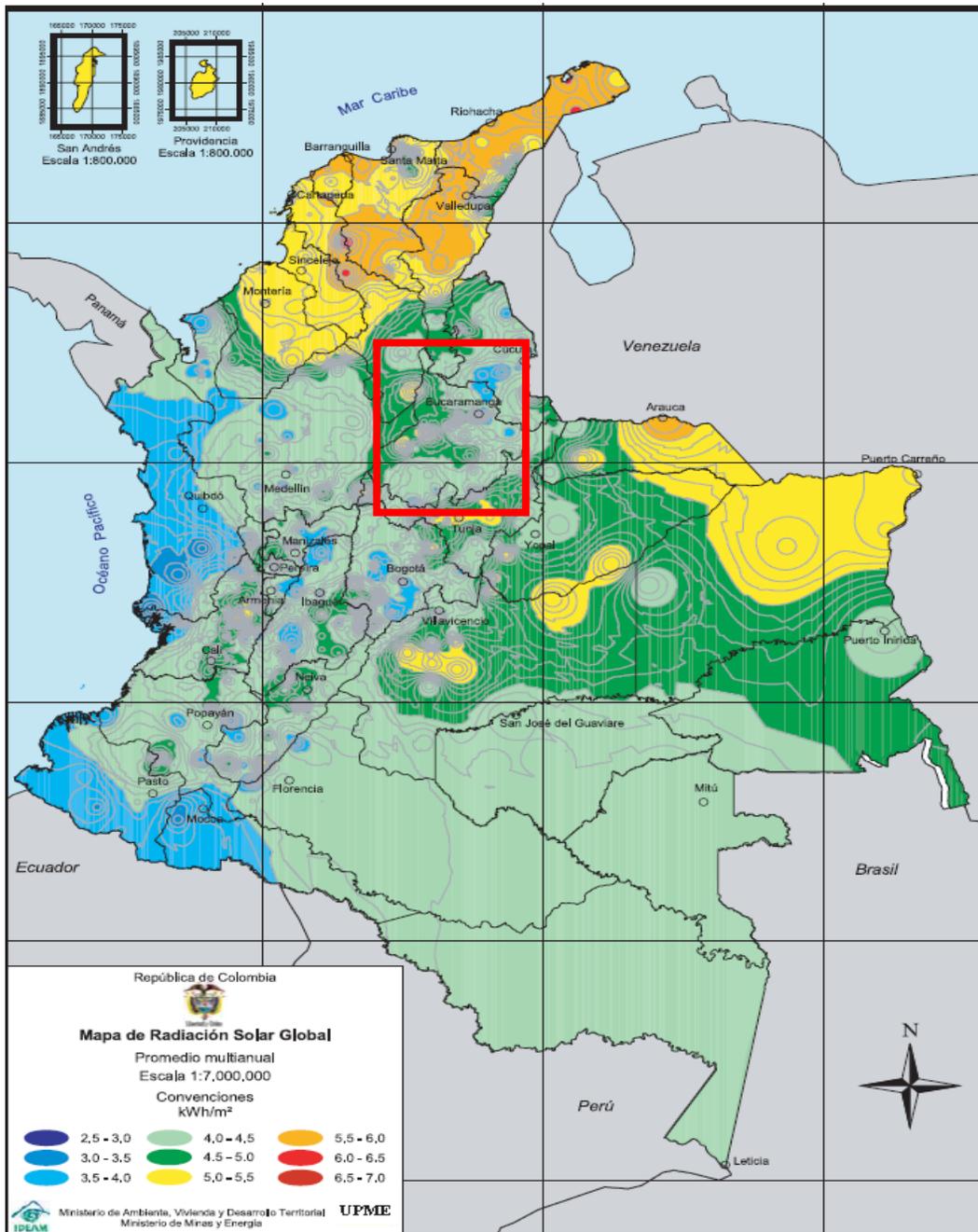


Figura 13. Mapa de radiación solar (Colombia)
Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia - UPME

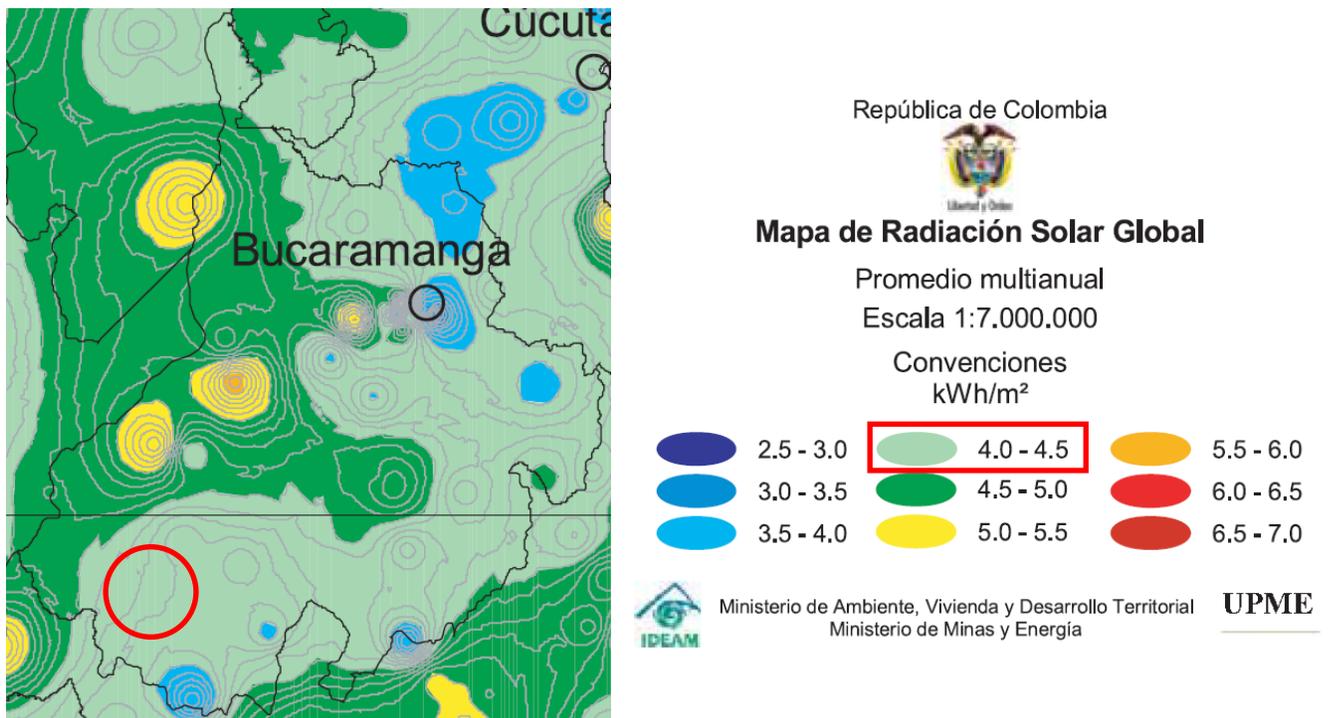


Figura 14. Mapa de radiación solar (Santander)
Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia - UPME

Con el atlas de radiación solar suministrado por la UPME tenemos que la radiación promedio varía entre 4 y 4.5 kWh/m².

De la base de datos de la NASA se tiene la siguiente información:

Tabla 7. Radiación solar. Base de datos NASA

Mes	Temperatura del Aire	Humedad Relativa	Radiación Solar
	°C	%	kWh/m ²
Enero	19,2	76,60%	4,86
Febrero	19,7	75,10%	4,83
Marzo	19,7	78,80%	4,91
Abril	19,6	80,80%	4,65
Mayo	19,4	79,70%	4,72
Junio	18,9	77,80%	4,83
Julio	18,9	70,80%	5
Agosto	19,7	63,90%	5,07
Septiembre	20,2	65,00%	5,03

Octubre	19,7	74,50%	4,7
Noviembre	19,2	81,10%	4,6
Diciembre	19	80,70%	4,6
Anual	19,4	0,75	4,8

Como se puede apreciar los valores dados por la UPME difieren a los obtenidos por la NASA, es puede ser por la constante actualización de los datos de la NASA; la UPME publico el Atlas en el 2007. Por esta razón se prefiere trabajar con los datos de la NASA ya que son más confiables.

la radiación promedio anual es de 4,8 kWh/m², y la mínima radiación es de 4,6 kWh/m². Con estos datos se procede a realizar un dimensionado para saber cuánta energía se puede obtener por este medio.

Se hace un dimensionado manual, teniendo en cuenta la demanda calculada anteriormente, de la siguiente manera:

El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el mes con menos irradiancia pueda, como mínimo, igualar a la demandada por la carga. Por lo que para dimensionar tanto los módulos como las baterías de un sistema FV autónomo, es necesario conocer las cargas a conectar (televisores, radios, etc.), la potencia nominal de cada una (P), el número de aparatos de determinado tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t). El consumo diario (Cd), medido en Wh/día, para cada tipo de carga se calcula entonces de la siguiente forma.

$$C_d = P * n * t \quad (1)$$

Para sistemas FV domésticos, en que el generador se coloca en cerca de la vivienda, se calculan por aparte las cargas en CC y en CA, ya que solo las de CA se conectan al inversor. En el caso en estudio, en que se pretende alimentar varias viviendas a partir de una central FV, se considera que toda la energía producida deberá convertirse en corriente alterna en el inversor para ser luego transmitida a las viviendas.

La suma de los consumos diarios de todas las cargas, calculados a partir de la ecuación (1), constituye el consumo energético teórico Et en Wh. A partir de este valor debe calcularse el consumo energético real, E (Wh), que considera los diversos factores de pérdida en la instalación FV de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_t}{R} \quad (2)$$

Donde R es el rendimiento global de la instalación fotovoltaica definido como:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{k_a * N}{P_d}\right) \quad (3)$$

Donde

- kb*: Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:
0,05 en sistemas que no se producen descargas intensas
0,1 en sistemas con descargas profundas
- kc*: Coeficiente de pérdidas en el inversor:
0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas.
0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas
- kv*: Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.)
El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es
0,05 < kv < 0,15
- ka*: Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:
0,002 para baterías de baja autodescarga (Ni-Cd)
0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)
0,012 para baterías de alta autodescarga (SLI)
- N*: Días de autonomía de la instalación:
4-10 días como valores de referencia
- Pd*: Profundidad de descarga diaria de la batería:
No deberá exceder el 80% de la capacidad nominal del acumulador

Ahora, es necesario conocer la radiación solar diaria (H), medida en KWh/m²/día para cada mes del año en función de la localización geográfica y en base a datos estadísticos históricos de la zona.

Un concepto importante necesario para realizar el dimensionamiento de la cantidad de paneles necesarios en la instalación es el número de horas pico solares, HPS, que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiancia constante $I=1\text{kWh}/\text{m}^2$, a la cual se mide siempre la potencia de los paneles.

La irradiación H (kWh/m²), es igual al producto de la irradiancia de referencia, I, y las horas pico solares, HPS. Como $I=1\text{kWh}/\text{m}^2$, se tiene entonces que los valores numéricos de la irradiación y las horas pico solares son iguales.

$$H \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = I \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] * HPS [h] \quad (4)$$

En este punto, es necesario transformar la Energía real (E) a términos de carga eléctrica (CE) expresados en Amp*h, lo que se logra al dividiéndola en el voltaje del sistema (Vs), que es equivalente al voltaje del subsistema de acumulación.

$$CE = \frac{E}{V_s} \quad (5)$$

La cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas de pico solar si el panel opera a su potencia máxima o nominal.

El número de paneles en paralelo necesarios (Np) se calcula empleando el número de horas pico solar HPS y la corriente de corto circuito (Isc) del panel escogido, las cuales están relacionadas mediante la siguiente ecuación:

$$Np = \frac{CE}{HPS * Isc} \quad (5)$$

Np indica el número de paneles en paralelo que se deben instalar en el sistema de generación, las filas de paneles o paneles en serie (Ns) se determinan:

$$Ns = V_s / V_p \quad (6)$$

Donde Vp es el voltaje de circuito abierto del panel

El número total de paneles (Ntotal) se obtiene al multiplicar los resultados de las ecuaciones 5 y 6:

$$N_{total} = Np * Ns \quad (7)$$

A partir de la carga eléctrica (CE) se puede calcular la capacidad de carga (C) que debe tener el banco de baterías, dicha capacidad se puede calcular mediante:

$$C = \frac{CE * N}{V_b * Pd} \quad (8)$$

El número de baterías en serie (NBs) está determinada por la capacidad de carga que tiene cada batería (CB) expresada en Amp*h y se fija mediante:

$$NBs = C / CB \quad (9)$$

El número de baterías en paralelo se obtiene mediante:

$$NBp = V_s / V_b \quad (10)$$

Donde Vb es el voltaje de la batería.

El número total de baterías (NB_{total}) se obtiene mediante:

$$NB_{total} = NB_p * NB_s \quad (11)$$

Teniendo en cuenta lo anterior se selecciona el nivel de voltaje de sistema para empezar a hacer los cálculos. Los niveles de voltaje DC utilizados generalmente en sistemas FV son 12, 24 o 48V. En este caso se escoge trabajar con un voltaje de 24 V (Vs).

Una ventaja que representa este nivel de voltaje a diferencia de uno más bajo es que al aumentar la tensión disminuye la corriente en los conductores por lo que pueden emplearse cables de sección más pequeña manteniendo la regulación de voltaje dentro de límites aceptables.

El dimensionamiento del sistema está dado por la cantidad de energía que se debe suministrar durante un día para la plena operación de cada una de las escuelas y sus casas alrededor, la cual fue estimada anteriormente es 14.96 kWh/día, que corresponde al consumo energético teórico (E_t), como se mostró en la unidad anterior mediante el E_t se debe calcular el consumo energético real (E), como se expresa en la ecuación (2), la cual está definida como la razón entre el consumo energético teórico y el rendimiento global de la instalación (R), para lo cual se deben fijar cuales son los coeficientes de pérdidas para la instalación que hace parte del diseño, con el fin de calcular el R mediante la ecuación (3).

El coeficiente pérdidas en el acumulador, k_b , se toma igual a 0,05 teniendo en cuenta la poca probabilidad de que se presenten descargas profundas.

El coeficiente de pérdidas en el inversor, k_c , tendrá un valor promedio de 0,05 tomando en cuenta que las condiciones de operación de los inversores podrían alejarse de los valores nominales.

El coeficiente de pérdidas varias, k_v , se considera de 0,1 como un valor promedio considerando que la distancia entre el sistema de generación y la carga no son muy altas reduciéndose así las pérdidas en los conductores.

Se considera un coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, k_a , igual a 0,005; que corresponde a baterías comunes de plomo ácido.

El número de días de autonomía, Se denominan «días de autonomía» los días en que el sistema puede continuar sus funciones (consumo de energía), sin que exista generación de la fuente primaria. Esto se logra acumulando la cantidad de energía necesaria en las baterías. En un sistema de generación fotovoltaico los días de autonomía corresponden a los días de lluvia o nubosos en los cuales los paneles no generan. Tomamos 4 días de autonomía teniendo como referencia los días lluviosos seguidos registrados en la estación meteorológica del aeropuerto de

Yarigües en Barrancabermeja, la cual es la estación más cercana al sitio y presenta un clima y geografía similar.

La profundidad de descarga de diaria de la batería. Se toma como 80% pues no se recomienda que se exceda este valor para no afectar la vida útil de la batería. Ya determinados los coeficientes de pérdidas se procede a aplicar las ecuaciones (3) y (2) para determinar la energía real que se debe generar con el sistema: 14,64kWh/día

Basado en esto se concluye que son necesarios 9 módulos fotovoltaicos de 235 W cada uno y 4 baterías de 125 Ah cada una.

Para tener una mayor confiabilidad se utiliza el programa PVsyst. A continuación se muestran imágenes de los resultados obtenidos.

En la figura 13 se ingresa al programa la demanda que tiene que alimentar todo el sistema (259,3kWh/mes).

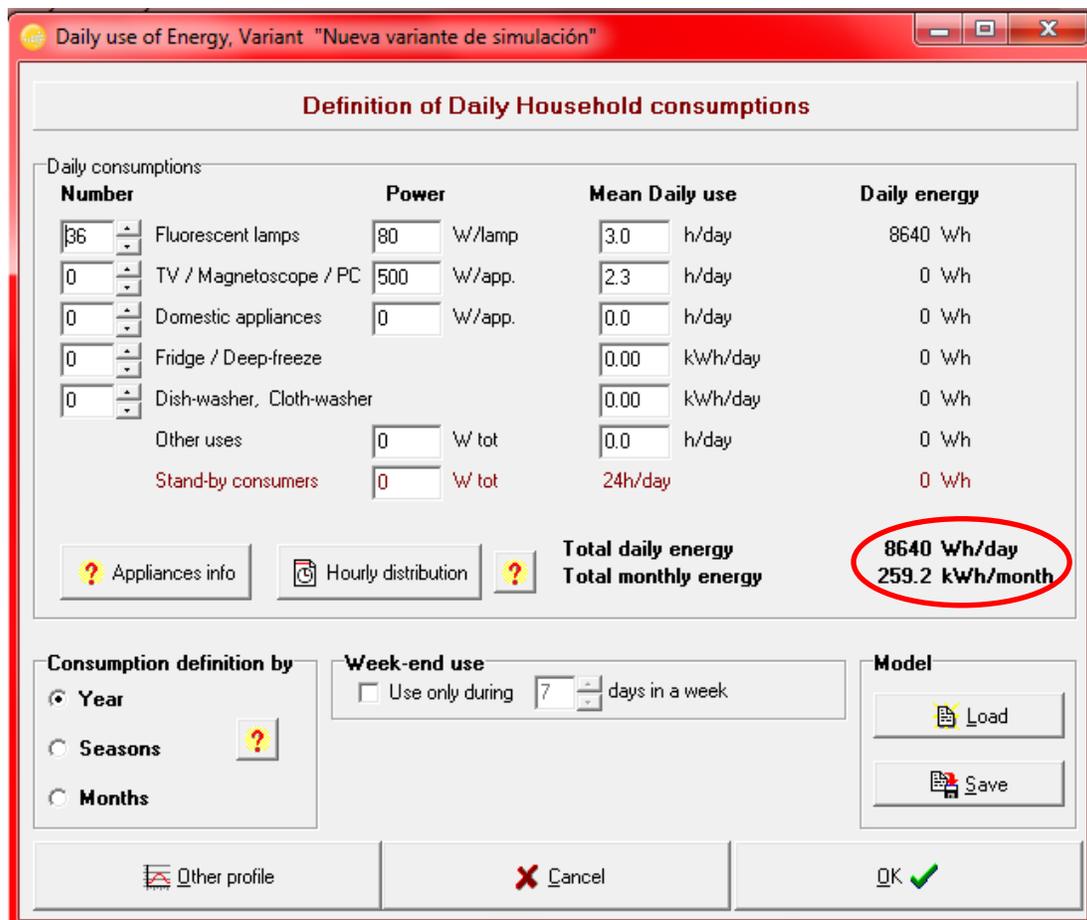


Figura 15. Ingreso de demanda del sistema en PVsyst

También se hace una aproximación del consumo diario. (Figura 16)

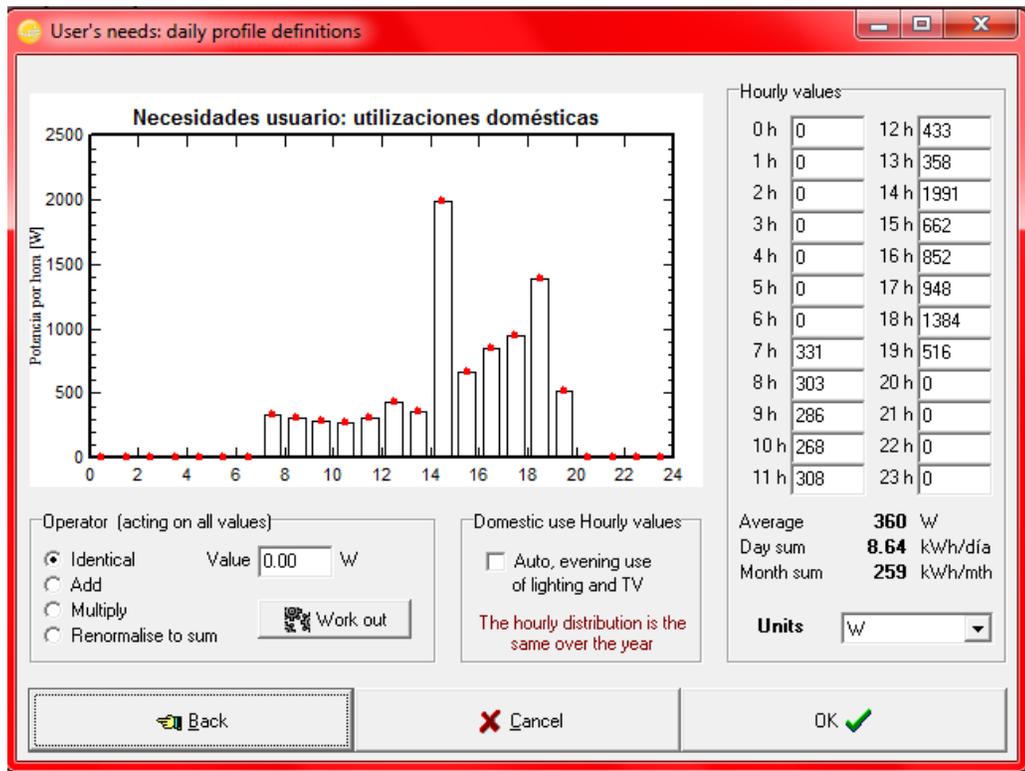


Figura 16. Consumo diario PVsyst

Teniendo esta información en el programa se procede a calcular el sistema dando como resultado el uso de 9 módulos de la misma referencia (235 W) y 4 baterías de una referencia similar (124 Ah).

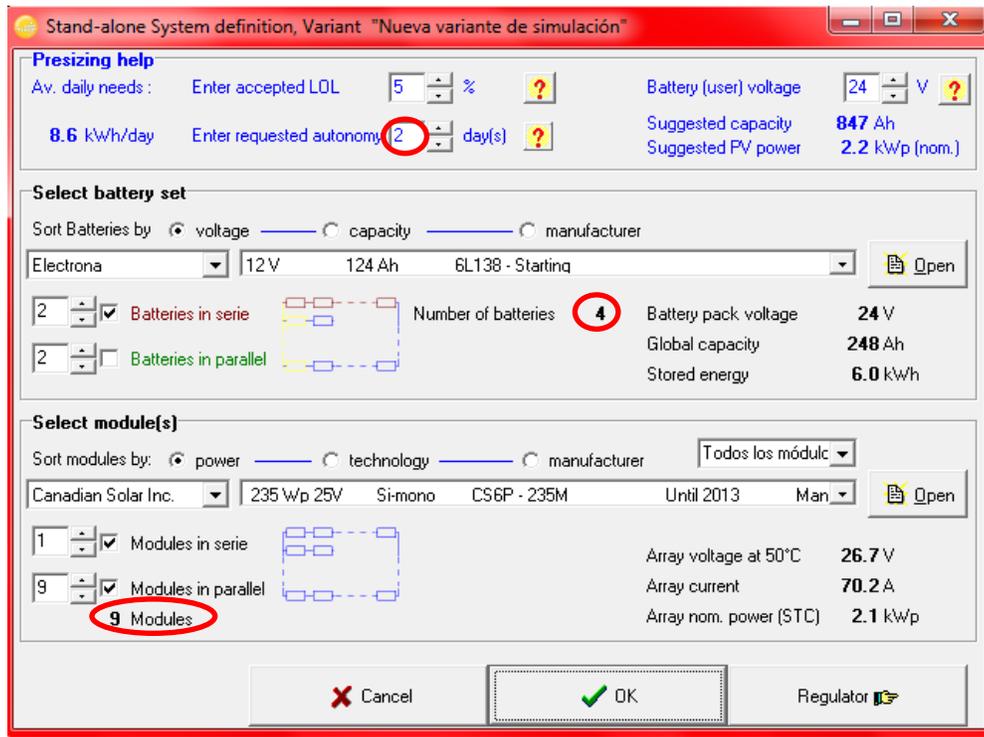


Figura 17. Sistema definido por PVsyst

7. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Para la selección de la tecnología a implementar se tiene en cuenta la autonomía de la tecnología descartando así automáticamente la generación de electricidad a partir de biomasa, ya que hace necesario que la población este todo el día recolectando desechos ganaderos (excrementos) para llenar el biodigestor entorpeciendo de esta manera las actividades laborales diarias de la comunidad, sin mencionar la poca disponibilidad del recurso.

Al analizar la posibilidad de instalar aerogeneradores se puede observar que no existe mucho viento en la zona para que un aerogenerador pueda, si quiera, empezar a funcionar.

Por último se contempla el recurso solar debido a que está instalado ya en las escuelas, pero siendo el recurso solar el único abundante de la zona y que un sistema basado en este sería completamente autónomo y estaría cerca a las escuelas y vigilado para que no ocurran fallas hace de este sistema el más recomendable para instalar.

8. COTIZACION SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para cumplir con la demanda energética de las escuelas y casas aledañas se instalarán sistemas fotovoltaicos y para esto se cotizan los componentes con la empresa CivicSolarAmérica Latina. La empresa nos da valores de:

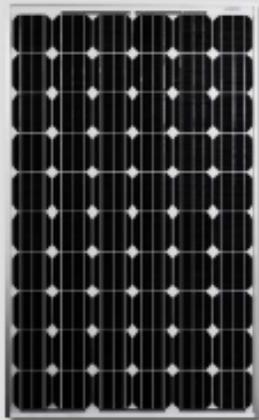
Tabla 8. Descripción de los componentes del sistema fotovoltaico

Componente	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Módulo: Canadian Solar CS6P-235M 235 Watt Mono	\$ 194,11	27	\$ 5.240,97
Controlador de carga: Midnite Solar Classic 150 96A 12-72V MPPT	\$ 593,75	3	\$ 1.781,25
Inversor: Magnum Energy MM1212 1200 W	\$ 631,20	3	\$ 1.893,60
Batería: MK 8G5SHP-DEKA 12V 125Ah	\$ 319,12	12	\$ 3.829,44

Cada sistema será implementado con 9 módulos, 4 baterías, 1 inversor y 1 controlador de carga. Todo esto por un costo de \$4248,42. Además de esto se deben contemplar gastos de cableado, transporte, toma-corrientes, interruptores, etc. Por lo tanto se asume un costo de \$5000.

Por lo tanto el costo total del proyecto, teniendo en cuenta que son 3 sistemas separados, es de \$15000. Esto en pesos colombianos sería una suma total de 27.000.000 pesos.

A continuación se presentan las fichas técnicas de cada componente (Módulos, baterías, inversor y controlador de carga)



CS6P

230/235/240/245/250M

On-grid Module

CS6P is a robust solar module with 60 solar cells. These modules can be used for on grid solar applications. Our meticulous design and production techniques ensure a high yield, long term performance for every module produced. Our rigorous quality control and in house testing facilities guarantee Canadian Solar's modules meet the highest quality standards possible.

Applications

- On grid residential roof tops
- On grid commercial/industrial roof tops
- Solar power stations
- Other on grid applications

Quality Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, CEC Listed, MCS, CE
- ISO9001: 2008: Standards for quality management systems
- ISO/TS16949:2009: The automotive quality management system

Environmental Certificates

- ISO14001:2004: Standards for Environmental management systems
- QC080000 HSPM: The Certification for Hazardous Substances Regulations
- Reach Compliance



www.canadiansolar.com

Key Features

- Industry first comprehensive warranty insurance by AM Best rated leading insurance companies in the world
- Industry leading plus only power tolerance: 0 ~ +5W
- Strong framed module, passing mechanical load test at 5400Pa to withstand heavier snow load
- The 1st manufacturer in the PV industry certified for ISO:TS16949 (The automotive quality management system) in module production since 2003
- ISO17025 qualified manufacturer owned testing lab, fully complying to IEC, TUV, UL testing standards
- **Backed By Our New 10/25 Linear Power Warranty Plus our added 25 year insurance coverage**



- 10 year product warranty on materials and workmanship
- 25 year linear power output warranty

Figura 18. Ficha técnica módulos. Parte 1

CS6P-230/235/240/245/250M

Electrical Data

STC	CS6P-230M	CS6P-235M	CS6P-240M	CS6P-245M	CS6P-250M
Nominal Maximum Power (P _{max})	230W	235W	240W	245W	250W
Optimum Operating Voltage (V _{mp})	29.9V	30.1V	30.2V	30.3V	30.4V
Optimum Operating Current (I _{mp})	7.70A	7.82A	7.95A	8.09A	8.22A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.5V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.22A	8.34A	8.46A	8.61A	8.74A
Module Efficiency	14.30%	14.81%	14.92%	15.23%	15.54%
Operating Temperature	-40°C~+85°C				
Maximum System Voltage	1000V (IEC)/800V(UL)				
Maximum Series Fuse Rating	15A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ +5W				

Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C

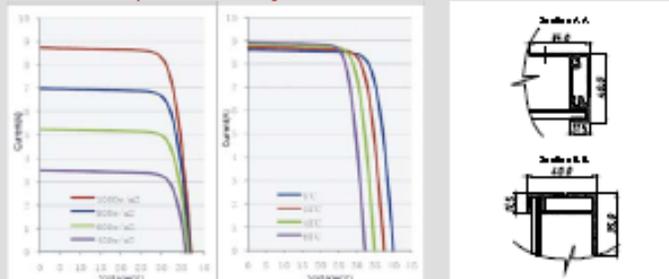
NOCT	CS6P-230M	CS6P-235M	CS6P-240M	CS6P-245M	CS6P-250M
Nominal Maximum Power (P _{max})	188W	170W	175W	177W	180W
Optimum Operating Voltage (V _{mp})	27.3V	27.5V	27.5V	27.8V	27.7V
Optimum Operating Current (I _{mp})	6.89A	6.13A	6.29A	6.40A	6.51A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	34.0V	34.1V	34.2V	34.3V	34.4V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.65A	8.75A	8.85A	8.97A	7.08A

Under Normal Operating Cell Temperature, irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

Mechanical Data

Cell Type	Monocrystalline 158 x 158mm, 2 or 3 Busbars
Cell Arrangement	60 (6 x 10)
Dimensions	1633 x 932 x 40mm (64.5 x 36.7 x 1.57in)
Weight	20kg (44.10lb)
Front Cover	3.2mm Tempered glass
Frame Material	Anodized aluminum alloy
J-BOX	IP65, 3 nodes
Cable	4mm ² (IEC)/12AWG(UL), 100mm
Connections	MC4 or MC4 Compatible
Standard Packaging (Modules per Pallet)	24pcs
Module Pieces per container (40 ft. Container)	872pcs (40HQ)

I-V Curves (CS6P-250M)



*Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.

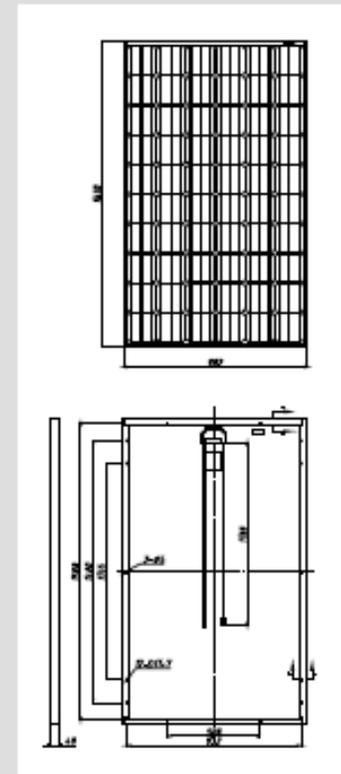
Temperature Characteristics

Temperature Coefficient	P _{max}	-0.45%/°C
	V _{oc}	-0.35%/°C
Normal Operating Cell Temperature	I _{sc}	0.080%/°C

Performance at Low Irradiance

Industry leading performance at low irradiation environment, +5.5% module efficiency from an irradiance of 1000W/m² to 200W/m² (AM 1.5, 25°C)

Engineering Drawings



About Canadian Solar

Canadian Solar Inc. is one of the world's largest solar companies. As a leading vertically-integrated manufacturer of ingots, wafers, cells, solar modules and solar systems, Canadian Solar delivers solar power products of uncompromising quality to worldwide customers. Canadian Solar's world class team of professionals works closely with our customers to provide them with solutions for all their solar needs.

Canadian Solar was founded in Canada in 2001 and was successfully listed on NASDAQ Exchange (symbol: CSIQ) in November 2006. Canadian Solar has already expanded its module manufacturing capacity to 2.05GW and cell manufacturing capacity to 1.3GW in 2011.

Headquarters | 650 Riverbend Drive, Suite 8
 Etobicoke, Ontario, Canada N2K 3S2
 Tel: +1 519 954 2057
 Fax: +1 519 578 2087
 inquire.ca@canadiansolar.com
 www.canadiansolar.com

Figura 19. Ficha técnica de los módulos. Parte 2

8G5SHP-DEKA

SPECIFICATIONS

Nominal Voltage (V)	12V
*Capacity at C/100	TBD
*Capacity at C/20	125 Ah
*Capacity at C/5	110 Ah
Weight	85 lbs. (38.6 kg)
Plate Alloy	Lead Calcium
Posts	Forged Bushings
Container/Cover	Polypropylene
Operating Temperature Range	-76 °F (-60 °C) - 140 °F (60 °C)
Charge Voltage @ 68°F (20°C)	
Cycle	2.30 - 2.35 VPC
Float	2.25 - 2.30 VPC
Vent	Self-sealing
Electrolyte	Sulfuric acid thixotropic gel
Terminal	SAE



Rated UN2794, wet filled with acid

Made in the U.S.A. by East Penn Manufacturing Co., Inc.

* Capacities are based on peak performance.

Valve-Regulated, Gelled-Electrolyte Battery

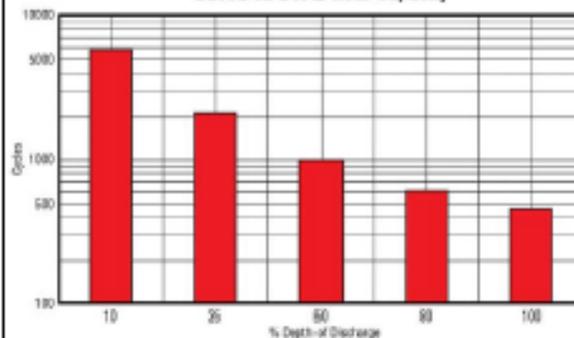


DIMENSIONS

Inches (mm)

Length	13.58 (345 mm)
Width	6.62 (168 mm)
Height	11.01 (280 mm)

Gel Cycle Life vs Depth of Discharge at +25°C (77°F)
Based on BCI 2-hour Capacity



MK Battery

1631 South Sinclair Street • Anaheim, California 92806

Toll Free: 800-372-9253 • Fax: 714-937-0818 • E-mail: sales@mkbattery.com



Figura 20. Ficha Técnica de las Baterías

The graphs below display the relation between input voltage, battery voltage and output current. Using and understanding these graphs will help when designing the most efficient system and choosing the correct Classic for the task at hand. The graphs display efficiency differences between lower input voltages compared to higher levels along with the balance between wire length and input voltage. For example, typically a 0-150ft wire run from an array will require the Classic 150, for a 150-250ft length the Classic 200 should be used and over 250ft the Classic 250 is the optimal choice.

Classic Power Graphs

The Most Versatile MPPT Charge Controller Under The Sun!

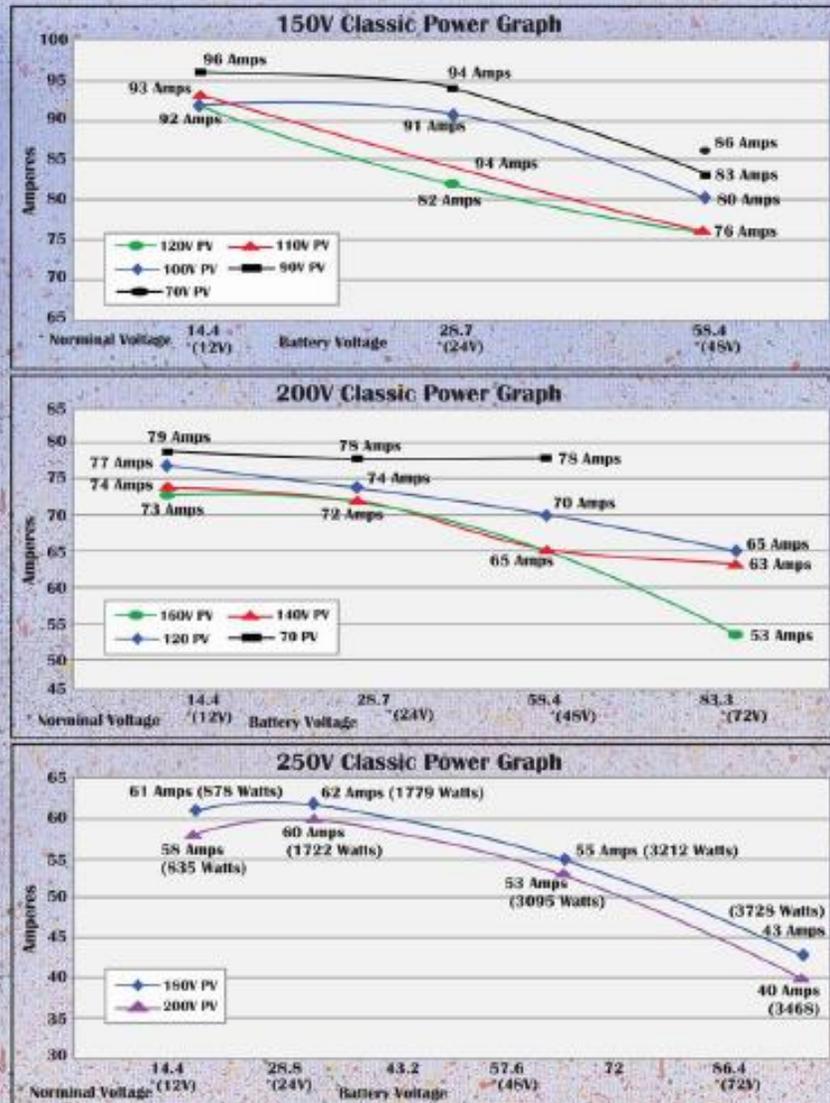


Figura 21. Ficha técnica del controlador de carga.

The MM Series Inverter/Charger



MODEL NUMBERS

- MM612 (Inverter only)
- MM1212

AVAILABLE FOR

- Marine Systems
- RV Systems

AVAILABLE ACCESSORIES

- DC Load Disconnect
- Fuse Blocks
- MagWeb
- Remote - ME-ARC
- Remote - ME-RC
- Remotes - MM-R & MM-RC



Cost Effective Inverter/Chargers from Magnum Energy

The MM Series Inverter / Charger is a modified sine wave inverter providing a cost effective solution for those with smaller power needs in mobile applications. Versatile, easy-to-use, and lightweight, the MM Series provides a reliable base for your energy system.

Safe and reliable: The MM Series is ETL Listed to the stringent requirements of UL/cUL 458 and CSA C22.2 #107.1-01 for mobile use.

Attractive styling: The modern, hourglass case, paired with the die cast aluminum base combines form with function, creating an attractive unit that uses its base as a heat sink for superior high temperature operation.

Features:

Standard transfer relay:

The standard 20 amp transfer relay will pass AC power through the inverter when using grid or generator power.

Versatile mounting:

Mount the MM Series on a shelf, wall, or even upside down.

Fan cooled: The MM Series is fan cooled, enabling the unit to work well in confined spaces.

If the inverter does exceed its temperature limits, it will automatically shut down and then restart when it cools down.

Low battery protection:

If your battery voltage goes below the cut-out setting the MM Series will automatically shut down, saving your batteries.

High battery protection:

If your battery voltage reaches over the cut-out setting the MM Series will shut down.

Current overload protection:

The MM Series will automatically shut down if its output wattage is exceeded or it detects a short in the wiring, saving the unit from costly damage.

Convenient switches:

The MM Series comes with an on/off front-mounted switch with an easy-to-read LED indicator.

Circuit breaker protection:

Every model comes with built in input and output circuit breakers for ease of installation.

Battery temp sensor:

The standard battery temp sensor monitors temperatures from 0 - 50° C.

Buy with ease:

The MM Series is backed by a two-year (24-month) parts and labor warranty.

Figura 22. Ficha técnica del inversor. Parte 1



MM Series Specifications

	MM12 (inverter only)	MM1212
Inverter Specifications		
Input battery voltage range	9 to 16 VDC	9 to 16 VDC
Nominal AC output voltage	120 VAC $\pm 5\%$	120 VAC $\pm 5\%$
Output frequency and accuracy	60 Hz ± 0.1 Hz	60 Hz ± 0.1 Hz
1 msec surge current (amps AC)	27	42
100 msec surge current (amps AC)	11	23
5 sec surge power (real watts)	1100	2100
10 sec surge power (real watts)	1050	1900
30 sec surge power (real watts)	1000	1750
5 min surge power (real watts)	950	1450
30 min surge power (real watts)	675	1375
Continuous power output at 25° C (with 1.0 PF)	600 VA	1200 VA
Continuous current output	5.0 AC	10 A AC
Maximum continuous input current	90 A DC	160 A DC
Inverter efficiency (peak)	95%	95%
Transfer time	16 msec	16 msec
Standby mode (typical)	3 watts	5 watts
No load (120 VAC output, typical)	10 watts	18 watts
Waveform	Modified SineWave	Modified SineWave
Charger Specifications		
Continuous output at 25° C	NA	70 A DC
Charger efficiency	NA	99%
Power factor	NA	> 0.95
Input current at rated output (AC amps)	NA	9
General Features and Capabilities		
Transfer relay capability	20 AAC (input current for charging and pass through)	
Battery temperature compensation	Yes, on models with chargers: 15 ft Battery Temp Sensor standard	
Internal cooling	0 to 59 cfm, variable speed	
Overcurrent protection	Yes, with two overlapping circuits	
Overtemperature protection	Yes, on transformer and MOSFETS	
On/Off with status indicator	Yes, front mounted and easily accessible	
Low battery cutoff	10 VDC, adjustable on most models with the MERC remote	
AC output and input	Hardwire	Hardwire
Output circuit breaker	7 A switchable	15 A
Input circuit breaker	9 A AC	20 A AC
Listings	ETL Listed to ULUL458, CSA C22.2 #1071-01	
Warranty	Two years	
Environmental Specifications		
Operating temperature	-20° C to +60° C (-4° F to 140° F)	
No operating temperature	-40° C to +20° C (-40° F to 158° F)	
Operating humidity	0 to 95% RH non condensing	
Physical Specifications		
Dimensions (l x w x h)	16.6" x 8.4" x 4.7" (42 cm x 21 cm x 12 cm)	
Mounting	Shelf (top or bottom, up) or bulkhead (vents up)	
Weight	14 lb (6.4 kg)	20 lb (9 kg)
Shipping weight	16 lb (7.3 kg)	22 lb (10 kg)
Max operating altitude	15,000' (4570 m)	
Construction	ABS plastic top and cast aluminum bottom	

Magnum Energy, Inc.
2211 West Casino Road
Everett, Washington 98204 USA

Phone: 425-353-8833
Fax: 425-353-8390
Web: www.magnumenergy.com
Testing for specification at 25° C
Specification is subject to change without notice.
January 2012, Rev C Part #04-040

Authorized Magnum Dealer

The Powerful Difference

Figura 23. Ficha técnica del inversor. Parte 2

9. DISEÑO DE LA RED ELECTRICA

Para el diseño de la red eléctrica se cuenta con la colaboración de ESSA, quien se traslada a la zona y proporciona la información del diagrama unifilar mostrado en la figura 24.

El diagrama unifilar presentado muestra la distribución de las escuelas y las casas aledañas a estas. Las escuelas están a una distancia de 12 km de la vivienda más cercana que cuenta con servicio de energía prestado por ESSA. A esto además se les suma las casas que están cerca a las escuelas, a las que se les prestara el servicio de energía, que están aproximadamente a 30 m de las escuelas.

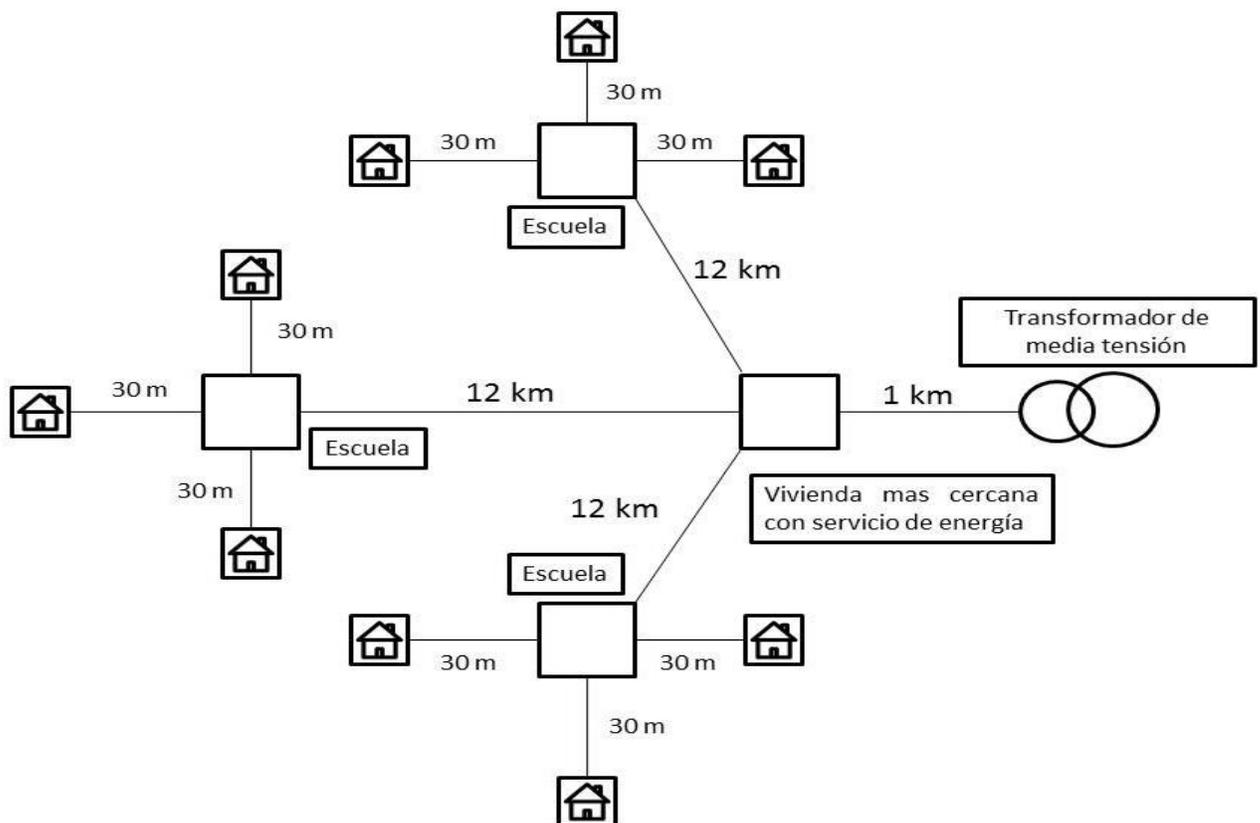


Figura 24. Diagrama unifilar de la red eléctrica hasta las escuelas y casas

Componentes del sistema cotizado para la red eléctrica de las escuelas y casas:

- Transformador monofásico de 5 kVA con aislamiento de 150 kV BIL.
13200/240/120 V
- Alta Tensión:
 - Conductor ACSR No. 2 AWG para alta tensión..... 74.88 km
 - Postes metálicos de 12m.....222 UND
 - Herraje en poste para 2 hilos estructura de paso sencilla tipo 510.....18 UND

- Herraje en poste para 2 hilos estructura retención doble tipo 515.....9 UND
- Herraje en poste para 1 hilo estructura de retención terminal tipo 505.....78 UND
- Herraje en poste para 1 hilo estructura de retención doble tipo 506.....144 UND
- Herraje y elementos para templete directo a tierra.....588 UND
- Herraje y elementos para bajante a tierra.....3 UND
- Baja Tensión:
 - Cable trenzado Duplex 600 V. 4+4 Neutro en ACRS desnudo.....289 m
 - Postes metálicos de 8 m.9 UND
 - Herraje y elementos para templete directo a tierra.....5 UND
 - Herraje y elementos para bajante a tierra.....9 UND
 - Herraje en poste para cable pre ensamblado estructura tipo NG2B.....3 UND

Se puede apreciar que el transformador seleccionado es del tamaño adecuado para la carga maxima que se calculó en el capítulo 5.

La cotización de este diseño fue realizada por el Ingeniero Juan Carlos Avendaño Martínez, quien se desplazó hasta el lugar exacto de las escuelas para determinar el valor del proyecto. Por lo tanto el costo total de llevar la red eléctrica hasta las escuelas es de \$755.913.507,60 pesos. (Ver Anexo A. de la discriminación de la cotización del proyecto)

Para este diseño se hace un cálculo de pérdidas por transmisión, debido que la energía que se suministra en las escuelas y casas no es la misma que se debe generar.

Para las pérdidas en la conducción se tiene en cuenta la siguiente formula:

$$P_{perdida} = 2 I^2 * R$$

$$I = \frac{S}{V}$$

$$R = \rho * \frac{l}{Sc}$$

Donde:

- I: Corriente a través del conductor
- S: Potencia aparente del transformador
- V: Voltaje a través del conductor
- ρ: Resistividad del conductor
- l: Longitud del conductor
- Sc: Sección transversal del conductor

$$I = \frac{5 [kVA]}{13.2 [kV]}$$

$$I = 0.3787 A$$

Así la potencia aparente de la línea es de 5kW, el voltaje es de 13,2 kV. Por lo tanto la corriente que va a través del conductor es de 0,3787 A.

Para hallar la resistencia del conductor se cuenta con el calibre de este para conocer la sección transversal, siendo esta de 78,610 mm². La longitud es de 7488 km para las 3. Y la resistividad se encuentra según el material. Como el conductor es un ACSR se buscan 2 resistividades, la del aluminio y la del acero. Por criterio de diseño se usara la resistividad mayor para prever las mayores pérdidas que se puedan presentar.

La resistividad del aluminio es de 2,6x10⁻⁸Ωm y la del acero es de 1,74 x 10⁻⁷Ωm. Por lo tanto se usa la resistividad del acero que es la mayor para calcular la resistencia del conductor y así hallar las perdidas por transmisión.

$$R = 1.74 * 10^{-7}[\Omega m] * \frac{74880 [m]}{7.861 * 10^{-5}[m^2]}$$

$$R = 165.74 \Omega$$

$$Pp = 2 * 0.3787^2 * 165.74$$

$$Pp = 47.56 W$$

Así la resistencia del conductor es de 165.74 Ω. Por lo tanto las perdidas por transmisión en el conductor de alta tensión son de 47.56 W. esto es debido a que la línea es de alta tensión. Son perdidas bastante bajas con respecto al consumo de las escuelas.

Las pérdidas en baja tensión se calculas de la siguiente forma:

$$I = \frac{5000 [VA]}{120 [V]}$$

$$I = 41.6 [A]$$

Para baja tensión se utilizan 289 metros de cable trenzado Duplex 600 V. 4+4 Neutro en ACSR desnudo que tiene una sección de 25.15 mm².

$$R = 1.74 * 10^{-7} [\Omega m] * \frac{289 [m]}{2.515 * 10^{-5} [m^2]}$$

$$R = 0.0000199 \Omega$$

$$Pp = 2 * 41.6^2 * 0.0000199$$

$$Pp = 0.068 W$$

Así se tienen unas pérdidas de 0.068 W. Pérdidas que se pueden despreciar al momento de hacer el diseño por lo que son muy bajas.

10. ANALISIS DE VIABILIDAD

Para suplir el gasto por parte de ESSA al instalar los sistemas fotovoltaicos se propone cobrar mensualmente a cada escuela \$100.000 pesos. Esto con el fin de que la comunidad se concientice de que los componentes son de ellos y sientan la necesidad de cuidar el sistema.

Tabla 9. Análisis Financiero Paneles Fotovoltaicos

Datos

Costo del Capital	10%
Inversiones Maquinaria	27.000.000
Vida útil (años)	20,00
Impuesto a la renta	33%

Concepto	2013	2014	2015	2016
+Ingreso de Operación		\$ 3.711.240,00	\$ 3.820.721,58	\$ 3.934.579,08
-Costos de Operación		-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00
=Ganancias Operativas Gravables	-\$ 27.000.000,00	\$ 3.171.240,00	\$ 3.280.721,58	\$ 3.394.579,08
		-\$	-\$	-\$
		23.828.760,00	20.548.038,42	17.153.459,34

Concepto	2017	2018	2019	2020
+Ingreso de Operación	\$ 4.040.812,72	\$ 4.149.914,66	\$ 4.261.962,36	\$ 4.377.035,34
-Costos de Operación	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00
=Ganancias Operativas Gravables	\$ 3.500.812,72	\$ 3.609.914,66	\$ 3.721.962,36	\$ 3.837.035,34
		-\$		
	-\$ 13.652.646,62	10.042.731,96	-\$ 6.320.769,60	-\$ 2.483.734,26

Concepto	2021	2022	2023	2024
+Ingreso de Operación	\$ 4.495.215,30	\$ 4.616.586,11	\$ 4.741.233,93	4.869.247
-Costos de Operación	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00	-\$ 540.000,00
=Ganancias Operativas Gravables	\$ 3.955.215,30	\$ 4.076.586,11	\$ 4.201.233,93	4.329.247
	\$ 1.471.481,04	\$ 5.548.067,15	\$ 9.749.301,08	14078548

Los ingresos de operación son la suma mensual de la cuota que se le cobra a la comunidad. Este ingreso va incrementando con el incremento aproximando de la inflación. Por otro lado los costos de operación son el 2% de la inversión, este 2% corresponde al dinero que se gastará en el futuro mantenimiento anual de los sistemas fotovoltaicos.

Con esta cuota mensual se recaudaría el valor total del proyecto y los costos de operación, empezaría a mostrar ganancias a partir del 8vo año de operación del mismo.

Cuando se piensa en la posibilidad de construir la red eléctrica hasta las escuelas se contempla un pago mensual por cada sistema de \$38.672 pesos, es decir de \$116.016 pesos en total por los 3 sistemas por el consumo eléctrico.

Para la realización del análisis financiero se toman valores de cambio en el precio del kWh desde al año 2008. Como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 10. Porcentaje de crecimiento del kWh a través del tiempo

	\$/kWh	% crecimiento
ene-08	124,70	
ene-09	134,35	8%
ene-10	137,21	2%
ene-11	134,12	-2%
ene-12	145,46	8%
ene-13	149,14	3%

La tabla anterior se hace con el fin de tener un promedio de aumento del precio del kWh y así realizar el análisis con valores más cercanos al aumento real. Como se ve en la tabla el mayor incremento fue dl 8%, valor que se toma como referencia para tener un valor extremo ya que fue el mayor incremento en 5 años.

Tabla 11. Análisis Financiero Construcción Red Eléctrica

Datos

Costo del Capital	10%
Inversiones Maquinaria	755.913.508
Vida útil (años)	30,00
Impuesto a la renta	33%

Concepto	2013	2014	2015	2016
+Ingreso de Operación		1.503.567	1.623.853	1.753.761
-Costos de Operación		54.000.000	54.000.000	54.000.000
=Ganancias Operativas Gravables	755.913.508	52.496.433	52.376.147	52.246.239
		-104.990.851	-104.750.279	-104.490.462

Los ingresos de operación para el caso de la red eléctrica corresponden a la suma mensual del pago de la correspondiente factura del consumo eléctrico.

Los costos de operación en este caso corresponden al pago de nómina a trabajadores en la subestación. Este pago representa 3 trabajadores al día cada uno en un turno de 8 horas, teniendo en cuenta que nunca se debe dejar sola la subestación.

Haciendo el análisis financiero se puede dar cuenta que debido a que los ingresos son altamente más bajos que los costos de operación, que son los relacionados al pago a trabajadores en la subestación, la inversión nunca se va a recuperar.

Construir la red eléctrica sería viable si el consumo mensual fuera, aproximadamente, el consumo de 4 casas en estrato 4 que serían 1500 kWh/mes. De lo contrario se podría pensar en construir la red para una zona que esté más cerca que las escuelas.

Con esto entonces se contempla la realización de los sistemas fotovoltaicos debido a su bajo precio y así esperar a que la población de la zona crezca para poder si quiera empezar a contemplar la posibilidad de llevar la red eléctrica hasta esos lugares remotos donde no se demanda mucha energía.

Así mismo para ayudar a la comunidad y a ESSA con los costos del proyecto se podría pensar en solicitar ayuda por parte del gobierno nacional que patrocine la energización en zonas rurales de difícil acceso.

11. RESULTADOS DEL ANALISIS

Al hacer todo el análisis de la viabilidad técnica y financiera de electrizar las escuelas del municipio del Bolívar se pudo apreciar que a pesar de existir varias fuentes alternativas con las que se pudiera llevar energía a la zona, se hace difícil debido a la falta de potencial energético.

A pesar de que construir un mini central hidráulica genere grandes cantidades de energía se presentan problemas con su autonomía, ya que jamás se puede dejar sola una planta de estas. Además están los problemas de licencias ambientales. Y destierro de las comunidades.

La red eléctrica a pesar de suministrar más de la energía necesaria estimada, presenta dificultades con la construcción hasta la zona de uso final, además de esto financieramente no es viable debido a que sus ingresos de operación, que representan el consumo de energía por la comunidad, son muy bajos comparados con los costos de operación.

La única alternativa que brinda la mayor autonomía posible, que sea fácil de transportar hasta la zona es la de llevar paneles solares a la zona. Además de esto la abundancia del recurso solar.

12.RECOMEDACIONES DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS ACTUALES

Un panel solar no requiere mucha atención, requieren un mantenimiento mínimo. Incluso existen paneles que se limpian solos. Normalmente los módulos se limpian simplemente cuando llueve.

Aunque el mantenimiento sea mínimo, es esencial para preservar los módulos, por esta razón es necesario limpiarlos regularmente. Debido a que los módulos serán ubicados en los techos de las escuelas pueden cubrirse de hojas, polvo, o excrementos de pájaros y esto puede alterar el rendimiento del sistema y reducir su vida útil.

Para que esto no ocurra es conveniente limpiar los módulos una o dos veces al año. Esto podría llevarse a cabo con la ayuda de la comunidad, que con anticipación fue capacitada.

Debido a que la zona es de difícil acceso, los módulos nunca han tenido un mantenimiento, la comunidad puede inspeccionar los cables (aislamiento de los conductores). Al momento en que la comunidad limpie los paneles es aconséjale NO utilizar las siguientes sustancias:

- Agua calcárea: la cal deja marcas blancas que hacen disminuir el rendimiento.
- Agua demasiado fría sobre un panel caliente: puede producirse un shock térmico y dañar el módulo de forma irreversible.
- Agua con demasiada presión: la presión puede deteriorar las juntas del módulo.
- Disolventes y detergentes: pueden dañar la superficie del módulo.

Si la comunidad ve que el daño en el sistema no puede ser resuelto por ellos mismos ya se hace necesario contactar al técnico para que los revise

Bibliografía

1. Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia – UPME 2007
2. Atlas de Radiación Solar de Colombia – UPME 2007
3. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia – UPME 2007
4. Diseño y Construcción de un Biodigestor Casero – Instituto Tecnológico Superior de Tepeaca 2010
5. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas – Paul Botero Botero y Thomas R Preston 1987
6. Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas – Escuela Politécnica Nacional de Ecuador Kleber Reinaldo Chungandro Nacaza
7. Diseño e implementación de biodigestores en Comunidades rurales de la parte alta de la subcuenca Del río viejo, Jinotega, Nicaragua
8. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros – Universidad de Chile
9. Fundamentos básicos para el diseño de un biodigestor anaeróbico rural – Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias de ambiente. Lima
10. Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada – Universidad de Costa Rica
11. <http://ramt.files.wordpress.com/2010/01/acsr.pdf>
12. Empresa de energía del pacífico gerencia de transmisión y distribución especificación técnica detallada cable ACSR
13. Conductores desnudos de aluminio con alma de acero (ACSR) – UNION FENOSA
14. Instalaciones Fotovoltaicas autónomas – Europe SunFields
15. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos – Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaen
16. Panel Fotovoltaico – www.wikipedia.org

17. Alta Ingeniería. Energía Solar en Colombia
18. Sensstech – Precios componentes del sistema fotovoltaico
19. CivicSolar Latinoamérica – Cotización componentes del sistema fotovoltaico
20. Mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos – www.cubasolar.cu
21. Mantenimiento de los paneles solares - <http://www.abc-panelessolares.com>
22. Central Hidroeléctrica – www.wikipedia.org
23. <http://www.cas.gov.co> – Caudal río Minero
24. maps.google.com

ANEXO A

**PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN DE REDES DE MEDIA Y BAJA
TENSION, MONTAJE DE TRANSFORMADORES E INSTALACIONES
INTERNAS DE LAS VEREDAS LA GUINEA, LA ZARCA Y
AHUYAMERA DEL MUNICIPIO DE BOLIVAR**