

Diagnóstico técnico y social de los sistemas fotovoltaicos instalados por el CTDPE durante los años 2011 al 2015 en las provincias del Alto Magdalena y Tequendama, Cundinamarca

Technical and Social Diagnosis of PV Systems Installed by the CTDPE During 2011 to 2015 in the Provinces of Alto Magdalena and Tequendama, Cundinamarca

JUAN FELIPE CARDONA OSPINA

Ingeniero Electrónico

gtcardona@misena.edu.co

LIZA CATERINE RIVERA ACHURY

Ingeniero Electrónico

lcrivera6@misena.edu.co

Fecha de recepción: 8 de marzo de 2015

Fecha de evaluación: 25 de junio de 2015

Fecha de aceptación: 21 de agosto de 2015





Diagnóstico técnico y social de los sistemas fotovoltaicos instalados por el CTDPE durante los años 2011 al 2015 en las provincias del Alto Magdalena y Tequendama, Cundinamarca

Resumen

Dentro de las formaciones impartidas por el SENA, Girardot en el programa JRE¹, durante el periodo comprendido entre los años 2011-2015, se realizó un número considerable de instalaciones de SFVA² en las regiones del Alto Magdalena y el Tequendama en UPRS³ para la puesta de energía eléctrica básica en hogares y procesos productivos rurales. En gran parte de estas instalaciones, es común encontrar fallas en los equipos debido a errores que se presentan durante el proceso de instalación o el mantenimiento.

Para corroborar la información evidenciada, se realizaron encuestas en cada una de las UPRS de forma presencial, además de realizar mediciones de las variables eléctricas, para determinar el estado físico de los equipos, el cumplimiento de normatividad técnica eléctrica [1] y el análisis de las UPRS a 2015, entre otros.

En el presente artículo, se definen nuevas estrategias y soluciones que pueden ser implementadas de forma didáctica en las formaciones y la generalización de los procedimientos para el mejoramiento de las instalaciones.

Palabras clave: aislado, fotovoltaico, protocolo, unidad productiva.

Abstract

Among the training courses given by the Girardot SENA in the JRE¹ program, during the period of years 2011-2015, it has been done a considerable number of installations of SFVA² [2] in the regions of the High Magdalena and the Tequendama in UPRS³ [3] implementing for the first time the basic electricity in rural homes and rural production processes. In most of these installations, it is common to find equipment failures due to errors during the installation or maintenance process.

To corroborate the evidenced information some surveys were conducted on each of the UPRS in person, in addition to measurements of electric variables, to determine the physical condition of equipment, compliance with technical electric regulations [1], analysis of UPRS up to 2015, among others. Represented in pie charts analyzing in this way the current state of the installations.

To define new strategies to be implemented in a didactic way in the training courses and the generalization of the procedures to achieve improvement of the installations, are some of the many solutions to be implemented during the training courses.

Keywords: Isolated, Photovoltaic, Protocol, Production Unit.

¹ Jóvenes Rurales Emprendedores.

² Sistemas Fovoltáicos Aislados.

³ Unidades Productivas Rurales Sostenibles.

1. Introducción

Durante la última década, en el departamento de Cundinamarca, se han realizado estudios a través de universidades sobre las necesidades básicas de la electrificación rural y su viabilidad en cada uno de los entornos donde se investiga, generando soluciones a problemas puntuales propios de la región o de privados, en la que incluyen la instalación de SFVA como opción más viable [2], teniendo siempre en consideración la geografía propia del departamento que permite la viabilidad de este tipo de proyectos, ubicándose desde los 200 msnm hasta 2700 msnm.

Según estadísticas del SISBEN, en el departamento de Cundinamarca para el año 2010, tan solo 370 (0,06%) [3] hogares en condición de vulnerabilidad en el departamento de Cundinamarca hacían uso de energía solar y/o bioenergía.

Para 2014, se tienen estadísticas certificadas que en la población rural de Cundinamarca, aproximadamente el 7,6% de las personas censadas por el SISBEN carecen de energía eléctrica para alumbrado en los hogares [4].

El departamento de Cundinamarca ha tenido grandes avances en el uso e implementación de sistemas fotovoltaicos aislados, para 2014-2015, la Gobernación de Cundinamarca logró realizar la instalación de sistemas fotovoltaicos aislados, beneficiando a 59 familias del sector rural pertenecientes a las ZNI⁴ de los municipios de Yacopí y Caparrapí [5].

Para la región del Alto Magdalena, centro de estudio de este artículo, se ha logrado definir la viabilidad y posibilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos aislados, especialmente en techos teniendo como resultado, a través de la investigación realizada, que la viabilidad en cuanto a la generación e instalación de sistemas fotovoltaicos en techos, es de aproximadamente el 90% del nicho investigado [6].

El SENA Girardot, como ente capacitador ha realizado esta labor desde 2011, permitiendo llevar las energías renovables a las zonas rurales pertenecientes a las regiones del Alto Magdalena y el Tequendama, apuntando a la población vulnerable, especialmente los jóvenes comprendidos entre los 15 y 28 años de edad.

Las instalaciones realizadas durante este periodo (51 en total) han sido objeto de estudio debido a las evidencias aportadas a través de material fotográfico, durante los seguimientos formativos, permitiendo observar que algunas de ellas no se encuentran en pleno funcionamiento o peor aún, sin funcionar, asociando estos resultados de forma hipotética a una reducción de los conceptos técnicos en electricidad y a la falta de socialización y ejecución de la normatividad colombiana respecto a este tema.

Por tanto, para el SENA es primordial el bienestar de la población, demostrar que los sistemas de generación de energía no convencional son duraderos, económicamente viables y eficientes, y mejorar la calidad de vida de los aprendices, impulsando la investigación para lograr reducir esta situación, permitiendo mejorar cada una de las instalaciones realizadas en las provincias del Alto Magdalena y el Tequendama en el departamento de Cundinamarca y a futuro, generalizando este procedimiento para propiciar nuevas estrategias formativas en pro de los aprendices.

2. Metodología

El proceso de recolección de información y el análisis de la misma, fue realizado por los instructores asociados al área de formación de Energías Renovables del CTDPE - SENA Girardot, y los aprendices del Semillero de Investigación SEMINEER⁵ de la acción de formación Técnico en Instalaciones Eléctricas Residenciales con número de ficha 903194 en cada uno de los municipios en donde se encuentran las instalaciones de SFVA (Tabla 1).

⁴ Zonas No Interconectadas.

⁵ Semillero de Investigación en Energía Eléctrica y Renovables.

Tabla 1. Total UPRS instaladas por municipio durante el periodo 2011-2015.

MUNICIPIO	CANTIDAD	TIPO DE INSTALACIÓN
BELTRÁN	3	Fotovoltaica
AGUA DE DIOS	3	Fotovoltaica
ANAPOIMA	2	Fotovoltaica
APULO	1	Fotovoltaica
CACHIPAY	2	Fotovoltaica
CARMEN DE APICALÁ	1	Fotovoltaica
EL COLEGIO	8	Fotovoltaica
ICONONZO	4	Fotovoltaica
	3	Fototérmica
LA MESA	4	Fotovoltaica
	1	Fototérmica
MELGAR	2	Fotovoltaica
NILO	2	Fotovoltaica
RICAURTE	2	Fotovoltaica
SENA	2	Fotovoltaica
TENA	1	Fotovoltaica
	2	Fototérmica
TOCAIMA	5	Fotovoltaica
USME	2	Fotovoltaica
VOTÁ	1	Fototérmica

2.1. Encuestas

Las encuestas fueron realizadas con el fin de identificar los factores influyentes en el resultado evidenciado durante las visitas de seguimiento a las Unidades Productivas Rurales Sostenibles, con un total de 13 preguntas y una sección de observaciones. La encuesta fue diseñada para visualizar aspectos relevantes como el estado de la UPRS, el estado de los equipos, el sector productivo al que atiende y los aspectos técnicos de las instalaciones.

Para la obtención de los datos a través de las encuestas, se realizó el desplazamiento de aprendices asociados al semillero de investigación SEMINEER y los instructores a cada una de las 41 UPRS que han realizado

instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados creados durante el periodo 2011-2015. Estas visitas se ejecutaron en un tiempo aproximado de dos semanas.

2.2. Medición de variables eléctricas

En cada una de las visitas, los aprendices realizaron la medición de tensión (voltaje) y/o intensidad (amperios) de los equipos de los sistemas fotovoltaicos aislados, específicamente del panel solar fotovoltaico, los datos fueron tomados dentro de las 11:00 horas y las 13:00 horas (Tabla 2) y las baterías de almacenamiento (Tabla 3), haciendo uso de un multímetro digital estándar con posibilidad de realizar mediciones tanto de corriente alterna como continua.

Tabla 2. Mediciones de voltajes promedio por municipio en paneles solares.

UNIDAD PRODUCTIVA	VOLTAJE (V)	POTENCIA (WP)
BELTRÁN	18,36	60
AGUA DE DIOS	18,41	20
ANAPOIMA	17,52	55
APULO	18,9	20
CACHIPAY	16,51	60
CARMEN DE APICALÁ	18,77	55
EL COLEGIO	17,6	60
ICONONZO	16,8	20
LA MESA	17,53	30
MELGAR	18,73	100
NILO	17,55	60
RICAURTE	18,78	260
SENA	18,21	60
TENA	17,5	85
TOCAIMA	18,7	60
USME	16,38	20

Tabla 3. Mediciones de voltajes promedio por municipio en baterías de ciclo profundo.

UNIDADES PRODUCTIVAS	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A/H)
BELTRÁN	3,3	65
AGUA DE DIOS	14,2	18
ANAPOIMA	13,2	60
APULO	13,7	18
CACHIPAY	12,2	65
CARMEN DE APICALÁ	13,2	60
EL COLEGIO	12,1	65
ICONONZO	12,3	18
LA MESA	11,3	18
MELGAR	13,6	68
NILO	13,2	65
RICAURTE	13,5	67
SENA	11,8	65
TENA	13,5	68
TOCAIMA	12,5	60
USME	12,2	18

2.3. Evidencia fotográfica

La toma de evidencia fotográfica se realizó con el propósito de ser analizada y utilizada para retomar ideas y conceptos relevantes de cada una de las visitas, haciendo uso de una cámara de 13 MP, 4128x3096 pixels, autofocus, flash LED dual (tono dual), HDR, Panorama, geo-tagging, foco táctil, detección de rostro, video 1080p@30fps.

2.4. Población y entorno

La población objeto para la ejecución de las encuestas, fue el total de las UPRS instaladas en el periodo 2011-2015 que tienen sistemas fotovoltaicos aislados instalados para procesos productivos o residenciales, siendo este un total de 41, pertenecientes al programa JRE y cuyas características fueron los

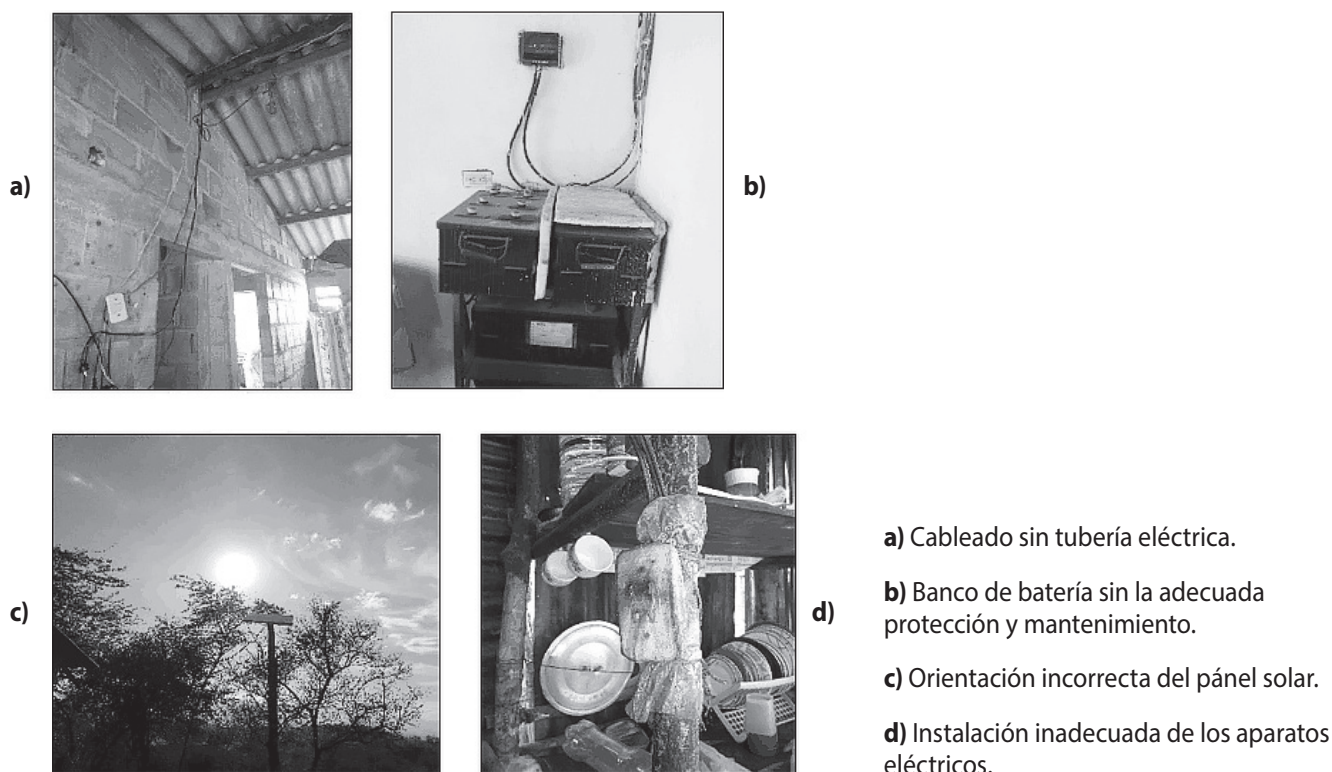
jóvenes del sector rural en condición de vulnerabilidad, entre las edades de 15 a 28 años [7].

Se han realizado las encuestas en las VIP⁶ o VIS⁷ de las personas atendidas por el SENA en los sectores rurales de los municipios de Beltrán, Guataquí, Tocaima, Apulo, La Mesa, El Colegio, Tena, entre otros.

3. Resultados y discusión

Cada uno de los aprendices participantes de la formación Instalación de Sistemas Fotovoltáicos Básicos, debió realizar la instalación de un SFVA de manera autónoma, de acuerdo a los conceptos técnicos apropiados, haciendo uso del trabajo colaborativo y demás asignados por el instructor; sin embargo, en muchas de las ocasiones no se pudo evidenciar esta técnica (Figura 1).

Figura 1. Ejemplos de instalaciones de SFVA realizadas de forma incorrecta.



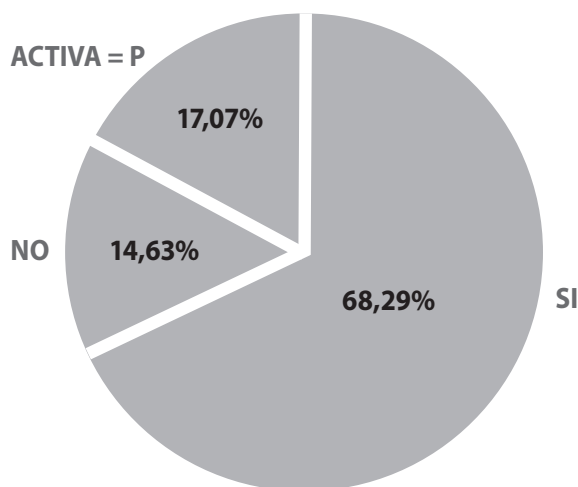
Fuente: los autores.

⁶ Vivienda de interés social prioritario.

⁷ Vivienda de interés social.

Aun cuando el número total de unidades productivas activas es alto (Figura 2), muchas de ellas presentan problemas en su métodos técnicos de instalación regidos por el RETIE⁸ (tecnicidad eléctrica). Tan solo el 68,29% de ellas actualmente están trabajando de forma correcta permitiendo que los beneficiarios hagan uso del SFVA, sin embargo, en un porcentaje más bajo de las Unidades Productivas, aunque se encuentran activas, algunos de los equipos o materiales instalados han dejado de funcionar de manera correcta.

Figura 2. Porcentaje de UPRS activas a 2015.



El pequeño porcentaje de UPRS que no se encuentran en funcionamiento (14,63%) se debe, principalmente a dos causas diferentes: los equipos presentaron fallas debido a mala manipulación y errores en la instalación; o debido a que los aprendices, quienes habían establecido la unidad productiva, ya no se encuentran en el lugar donde se había realizado la instalación.

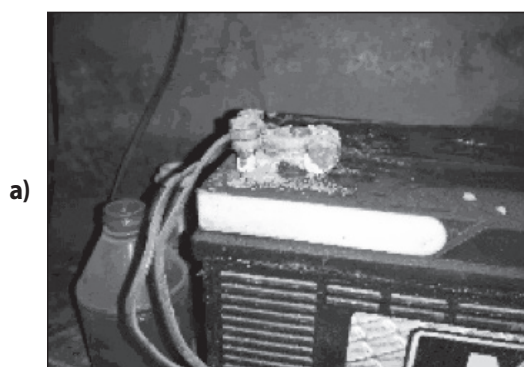
El buen desempeño de los equipos del SFVA radica en tres factores importantes: el método de instalación, la tecnicidad eléctrica correspondiente y el mantenimiento preventivo periódico que se le realice [8].

Debido a las condiciones climatológicas y medioambientales de la zona [9], además de que se encuentran ubicadas en zonas rurales, los equipos están propensos a factores externos, que obligan de alguna forma a realizar mantenimientos preventivos periódicos o con mayor periodicidad que la habitual (Figura 3).

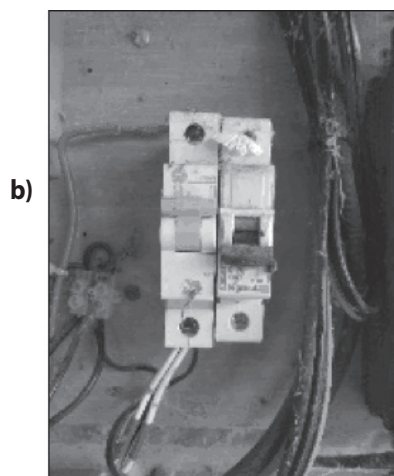
En las condiciones actuales, los índices de UPRS que se encuentran inactivas y con problemas (31,7%, Figura 2) se pueden relacionar, en primera instancia, a la frecuencia de mantenimiento (Figura 4) que se le realiza a los equipos, siendo un común denominador la falta

⁸ Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

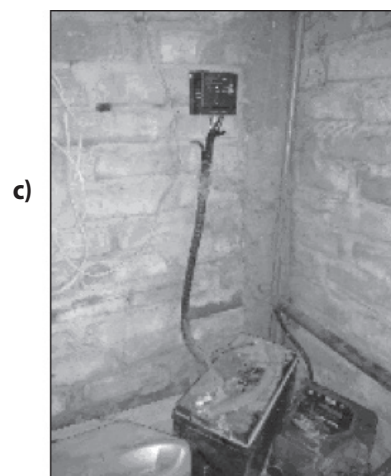
Figura 3. Imágenes de factores externos que afectan los SFVA.



a) Sulfatación de los bornes de la batería.



b) Insectos sobre las protecciones y demás equipos.



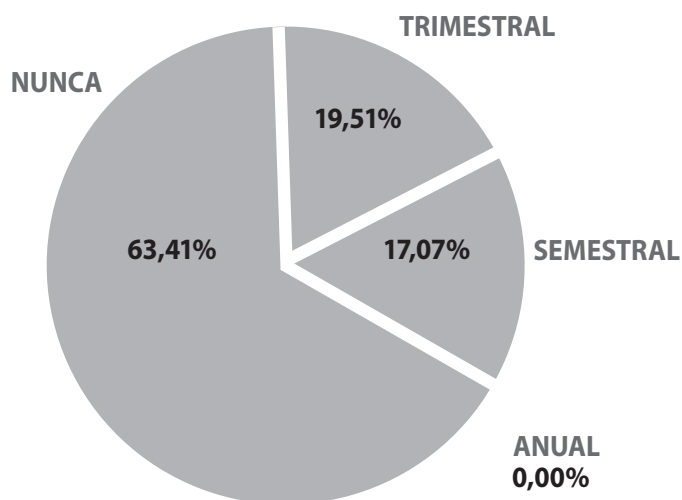
c) Polvo y telarañas sobre equipos del SFVA.

Fuente: los autores.

del mismo, puesto que el 63,41% de las personas no ha realizado este proceso durante el tiempo que lleva instalado el SFVA y en proporciones menores quienes lo hacen con periodicidades de 3 y 6 meses. Algunas de las fallas se presentan durante el proceso del mantenimiento y permiten que la UPRS funcione con algunas dificultades (Figura 2).

En todos los casos, exceptuando el 14,63% de las instalaciones realizadas (UPRS Inactivas, Figura 2), los componentes del Sistema Fotovoltaico Aislado se encuentran en adecuadas condiciones, sin embargo los factores físicos externos al SFVA ocasionan ciertas fallas.

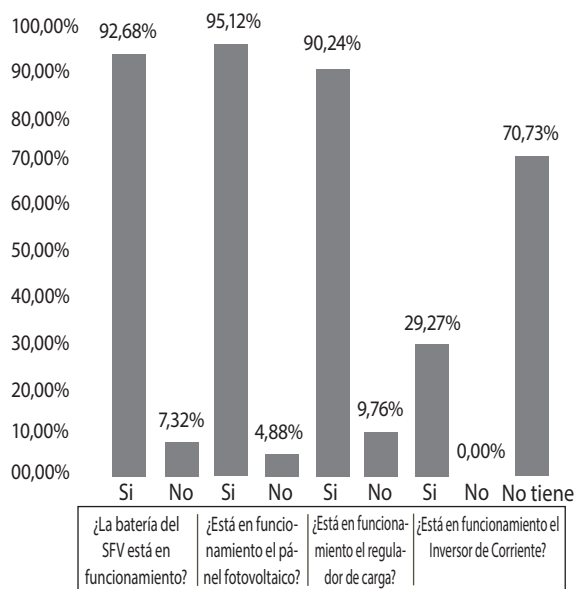
Figura 4. Frecuencia de mantenimientos realizados a los SFVA.



Para paneles solares, el 4,88% de ellos ha fallado (Figura 5), siendo uno de los equipos que mejor vida útil tiene, mostrando durabilidad aún sin un mantenimiento preventivo adecuado o periódico.

El mayor número de fallas se presenta en equipos tales como el banco de baterías y los controladores de carga. Para el banco de baterías, estas fallas se encuentran asociadas al tipo de baterías que se han implementado (Figura 6), debido a que las baterías líquidas demandan un mantenimiento preventivo y algunas veces correctivo de forma periódica para su funcionamiento,

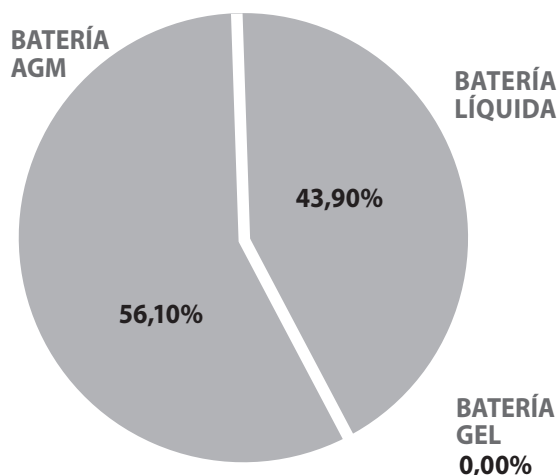
Figura 5. Funcionamiento de los equipos fotovoltaicos.



a diferencia de las baterías del tipo AGM⁹ que son equipos que no necesitan un mantenimiento diferente al preventivo, tal como la limpieza de los conectores o bornes de las mismas (Figura 3a).

En cuanto a los controladores de carga, los fallos más frecuentes son asociados al método de conexión, puesto que durante el proceso de instalación o de mantenimiento se puede invertir las polaridades y ocasionar daños irreparables a los equipos.

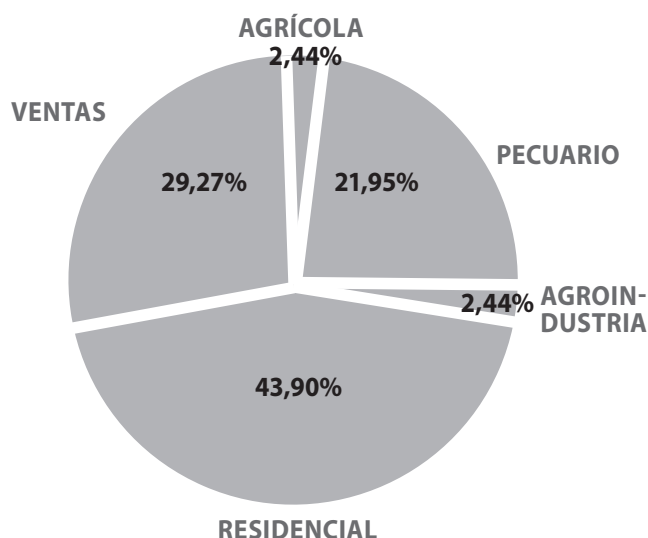
Figura 6. Tipo de batería instalada en los SFVA.



9 Absorbent Glass Mat.

El uso o aplicación dado a los SFVA se ha definido con los aprendices de las formaciones de acuerdo a la necesidad básica a atender en cada una de las UPRS (Figura 7), definiéndose algunos sectores más relevantes.

Figura 7. Sectores productivos a los que se atiende con SFVA.



La mayoría de las instalaciones realizadas durante el periodo 2011-2015 han atendido de forma significativa al sector residencial (43,90%), demostrando la necesidad existente del uso de la energía eléctrica convencional para hogares en las áreas rurales de las provincias del Alto Magdalena y el Tequendama.

En cuanto a los procesos o sectores productivos, la mayor demanda la presenta el sector pecuario (21,95%) haciendo uso, en su mayoría, de equipos de bajo consumo y que, en el área rural, es el proceso que mayor presencia tiene.

Sin embargo, los sectores que menos han implementado este tipo de tecnologías, son el sector agrícola y el agroindustrial, con un 2,44% de instalaciones de SFVA para su uso, esto se debe a que los equipos usados para los procesos de dichos sectores demandan una mayor cantidad de consumo energético.

La generación de innovación a través de las nuevas tecnologías, en cuanto al aprovechamiento de la energía solar se refiere, ha permitido que los aprendices

generen nuevos productos con mayor versatilidad y funcionalidad, permitiendo que ingresen al proceso productivo del emprendimiento a través de la venta de kits fotovoltaicos (Figura 8) y teniendo una participación considerable del 29,27% equipos que se han comenzado a implementar en los inicios del año 2015.

Figura 8. Aprendices del programa JRE comercializando kits fotovoltaicos.



Dado los factores analizados en la Figura 7, el sector residencial ha teniendo una gran demanda de uso de los equipos instalados en circuitos de *Alumbrado General*¹⁰ (51,22%, Figura 9), puesto que estos son los que menor consumo de energía presentan en las instalaciones y de mayor uso por parte de los aprendices, dejando de un lado (con un 0%) el uso de aparatos asociados a los circuitos de *Pequeños Artefactos*¹¹.

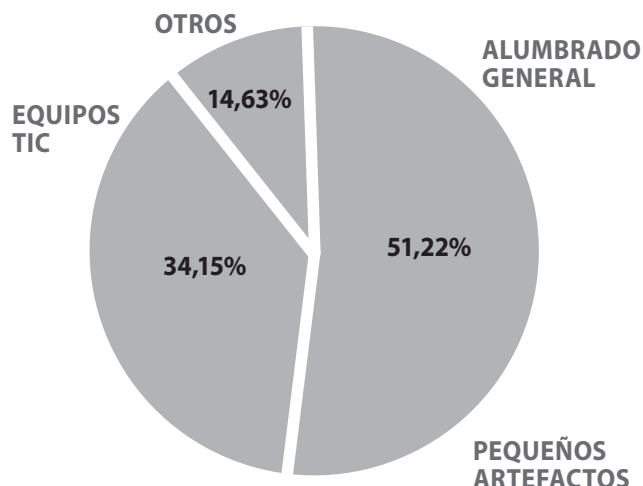
Sin embargo, los SFVA también se han implementado para el buen funcionamiento de los equipos TIC¹² (34,15%) tales como celulares, tabletas, y demás. El 14,63% está vinculado con el uso de otros equipos relacionados al sector productivo que compete, un ejemplo sería la instalación de sistemas de oxigenación para peces (Figura 9).

¹⁰ Hace referencia a equipos convencionales como iluminación, televisión, radios y demás.

¹¹ Hace referencia a equipos como neveras, licuadoras, hornos microondas, entre otros.

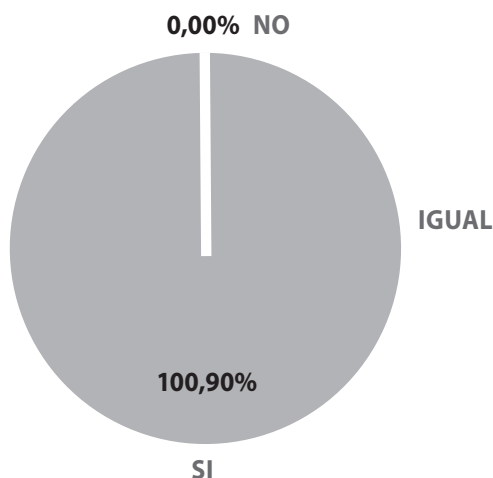
¹² Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Figura 9. Equipos que funcionan con el SFVA.



La calidad de vida de las personas depende de que las necesidades básicas sean satisfechas, haciendo que cada vez puedan tener un avance social, académico, productivo y especialmente económico [10]. Para la totalidad de los aprendices vinculados al programa de formación y que pertenecen a cada una de las UPRS que se instalaron durante el periodo 2011-2015, han experimentado una mejora sustancial en la calidad de vida (Figura 10), viéndose beneficiados los procesos productivo, la posibilidad de compartir más tiempo con familiares y vecinos e incluso permitiendo en algunos casos la posibilidad de ampliar las horas académicas de sus hijos u otros.

Figura 10. Aprendices con mejora en la calidad de vida.



Existe la necesidad de generar estrategias pedagógicas que permitan que las personas comprendidas en este nicho, atendido por el Programa Jóvenes Rurales Emprendedores, puedan realizar un paso a paso de cómo se debe hacer la instalación y como no se debe hacer, además de incluir los materiales propios de la zona que se puedan aprovechar durante las formaciones y que mitigue de alguna forma las inversiones realizadas por las partes en estos procesos formativos.

4. Conclusiones

Se debe socializar la importancia de realizar una buena instalación de acuerdo a las normatividades técnicas vigentes y la implementación de los procesos de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, haciendo uso de las diferentes técnicas pedagógicas que, como ente capacitador, conoce el SENA.

Es una posible solución, la creación de documentos técnicos regidos a las normas colombianas [11] que permita la estandarización de los procesos a favor de las formaciones con una fácil implementación y divulgación para las personas, cuyo objeto de atención es el programa JRE.

Por último, la incursión de las TIC en los procesos formativos, permite facilitar los métodos de cálculos, para que los aprendices y en un futuro el público en general, accedan de forma rápida y sencilla a la realización de sus propios dimensionamientos con interfaz amigable.

5. Bibliografía

- [1] MinCIT, «Super Intendencia de Industria y Comercio,» [En línea]. Available: http://www.sic.gov.co/recursos_user/reglamentos_tecnicos/

- reglamento_tecnico_inst_electricas_RETIE.pdf. [Último acceso: diciembre 2015].
- [2] A. K. Rodríguez Manrique, Á. I. Cadena Monroy y A. J. Aristizábal Cardona, «Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca». *Revista Mutis*, pp. 55-65, junio 2015.
- [3] G. d. Cundinamarca, «Estadísticas de Cundinamarca 2010». Bogotá D.C., Panamericana Formas e Impresos S.A., p. 31.
- [4] G. d. Cundinamarca, «Estadísticas de Cundinamarca 2011-2013». Bogotá D.C., Panamericana Formas e Impresos S.A., 2014, p. 148.
- [5] G. d. Cundinamarca, «Goernación de Cundinamarca». 2014. [En línea]. Available: http://www.cundinamarca.gov.co/wps/portal/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariademinasyenergia/SecdeMinaEnerDespliegue/asnoticias_secminasyener/csecminasyener_noticias_noticia. [Último acceso: diciembre 2015].
- [6] A. Barragán Alturo, «El Alto Magdalena-Colombia de la mano con energías alternativas». *Revista Lámpsakos*, pp. 11-13, diciembre 2013.
- [7] SENA, «Servicio Nacional de Aprendizaje». [En línea]. Available: <http://www.sena.edu.co/opportunidades/emprendimiento-y-empresarismo/Jovenes%20Rurales%20Emprendedores/Paginas/Jovenes-Rurales-Emprendedores.aspx>. [Último acceso: diciembre 2015].
- [8] C. Bello, A. Busso, L. Vera y C. Cadena, «Factores que afectan el funcionamiento de instalaciones fotovoltaicas autónomas en regiones del noeste argentino». *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. XIV, pp. 14-93, 2010.
- [9] G. Penagos Cruz, «Variables hidrometereológicas asociadas al cambio climático en Girardot y la Región del Alto Magdalena». *Ambiente y Desarrollo*, vol. XVIII, pp. 133-147, 2014.
- [10] DANE, «Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas». [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sociales/necesidades-basicas-insatisfechas-nbi>. [Último acceso: diciembre 2015].
- [11] N. T. C. NTC, «NTC 2050» de Código Eléctrico Colombiano, Bogotá D.C., National Fire Protection Association, 2013, pp. 627-635.