

Estimación de la disminución del recaudo por concepto de impuesto de alumbrado público en usuarios con autogeneración fotovoltaica a pequeña escala. Caso Área Metropolitana de Bucaramanga

Daniel Tarazona Ospina

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Director

German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería – Área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios, por todas las bendiciones que me ha brindado a lo largo de mi vida.

A mis padres, ramiro y Amparo, por todo el amor, apoyo y sacrificio que han hecho por mí durante toda mi vida.

A mi familia y amigos, por acompañarme en cada proceso de mi vida, bueno o malo.

Agradecimientos

Al profesor German Osma, por compartirme su conocimiento y orientarme apropiadamente a desarrollar la presente monografía.

A mi amigo John Carreño, por su ayuda para aclarar las dudas y buscar respuestas en pro del objeto de la presente monografía.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Planteamiento del problema.....	17
1.1 Justificación	19
2. Objetivos	20
2.1 Objetivo General	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. Antecedentes y marco conceptual.....	20
4. El impuesto de alumbrado público en los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga	23
4.1 Bucaramanga.....	23
4.2 Floridablanca.....	24
4.3 Girón	24
4.4 Piedecuesta.....	25
5. Facturación del servicio de energía eléctrica de usuarios con y sin autogeneración fotovoltaica	26
5.1 Facturación del servicio de energía eléctrica para usuarios sin autogeneración fotovoltaica.	26
5.2 Facturación del servicio de energía eléctrica para usuarios con autogeneración fotovoltaica	28
6. Curvas de demanda de energía para los usuarios sin autogeneración fotovoltaica	30
6.1 Cálculo de potencia base, potencia horaria y curva de demanda para un usuario del sector residencial de estratos 1 y 2 con consumo de energía de 250 kWh/mes	33

DISMINUCIÓN RECAUDO IMPUESTO AP EN USUARIOS AGPE	5
7. Curvas de demanda y generación de energía para los usuarios con autogeneración fotovoltaica de tres niveles de generación deseado (50%, 100% y 200 %).....	35
7.1 Cálculo de la capacidad instalada – CI de sistemas fotovoltaicos para usuarios del sector residencial y comercial en los cuatro municipios del AMB	37
7.2 Curvas de demanda y generación de SFV para usuarios del sector residencial y comercial en los municipios del AMB	41
7.2.1 Curvas de demanda y generación de SFV para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en el municipio de Bucaramanga.....	42
7.3 Compilación resultados de la capacidad instalada del SFV para los municipios del AMB ...	46
8. Tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica	49
8.1 Cálculo de la tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica en Bucaramanga	50
8.2 Cálculo de la tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica en Girón.....	54
9. Variación de la tarifa de alumbrado público según el nivel de consumo mensual y la capacidad de autogeneración fotovoltaica	57
9.1 Estimación de la variación de la tarifa del servicio de energía y del impuesto de alumbrado público antes y después de la implementación de la autogeneración fotovoltaica en Bucaramanga	58
10. Conclusiones	62
11. Recomendaciones	64
Referencias Bibliográficas	65

DISMINUCIÓN RECAUDO IMPUESTO AP EN USUARIOS AGPE 6

Apéndices..... 67

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Resumen tarifa del impuesto de alumbrado público del AMB</i>	26
Tabla 2 <i>Demanda de energía promedio por hora para los sectores residencial y comercial</i>	30
Tabla 3 <i>Niveles de consumo de energía mensual y diario establecidos para los seis estratos del sector residencial y el sector comercial</i>	32
Tabla 4 <i>Demanda de energía promedio por hora en W para el sector residencial, estratos 1 y 2, con el nivel de consumo mensual de 250 kWh</i>	33
Tabla 5 <i>HSP y ángulo de inclinación de paneles solares para Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta</i>	37
Tabla 6 <i>Capacidad instalada del SFV para los municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 250 kWh/mes, del sector residencial estratos 1 y 2</i>	38
Tabla 7 <i>Capacidad instalada del SFV para los cuatro municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 175 kWh/mes, del sector residencial estrato 4</i>	39
Tabla 8 <i>Capacidad instalada del SFV para los cuatro municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes, del sector residencial estrato 6</i>	40
Tabla 9 <i>Capacidad instalada del SFV para los cuatro municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes, del sector comercial</i>	40
Tabla 10 <i>Capacidad instalada del SFV al 50% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes (ver Tabla 6), resumen de la potencia consumida, energía importada y exportada de la red, para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga</i>	43

DISMINUCIÓN RECAUDO IMPUESTO AP EN USUARIOS AGPE	8
--	---

Tabla 11 <i>Resumen capacidad instalada del SFV al 100% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes (ver Tabla 6), resumen de la potencia consumida, energía importada y exportada de la red, para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga</i>	44
---	----

Tabla 12 <i>Resumen capacidad instalada del SFV al 200% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes (ver Tabla 6), resumen de la potencia consumida, energía importada y exportada de la red, para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga</i>	45
---	----

Tabla 13 <i>Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Bucaramanga.....</i>	46
---	----

Tabla 14 <i>Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Floridablanca</i>	47
--	----

Tabla 15 <i>Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Girón.....</i>	47
---	----

Tabla 16 <i>Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Piedecuesta</i>	48
--	----

Tabla 17 <i>Factura para usuarios del sector residencial estrato 6 del municipio de Bucaramanga con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes y nivel de generación SFV del 50%, antes y después de ser AGPE</i>	50
--	----

Tabla 18 <i>Factura para usuarios del sector residencial estrato 6 del municipio de Bucaramanga con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes y nivel de generación SFV del 100%, antes y después de ser AGPE</i>	51
---	----

Tabla 19 <i>Factura para usuarios del sector residencial estrato 6 del municipio de Bucaramanga con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes y nivel de generación SFV del 200%, antes y después de ser AGPE</i>	52
---	----

DISMINUCIÓN RECAUDO IMPUESTO AP EN USUARIOS AGPE	9
--	---

Tabla 20 <i>Factura para usuarios del sector comercial del municipio de Girón con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes y nivel de generación SFV del 50%, antes y después de ser AGPE</i>	54
--	----

Tabla 21 <i>Factura para usuarios del sector comercial del municipio de Girón con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes y nivel de generación SFV del 100%, antes y después de ser AGPE</i>	55
---	----

Tabla 22 <i>Factura para usuarios del sector comercial del municipio de Girón con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes y nivel de generación SFV del 200%, antes y después de ser AGPE</i>	56
---	----

Tabla 23 <i>Resumen valor de tarifas a cancelar para usuarios con y sin AGPE del sector residencial y comercial del municipio de Bucaramanga con los consumos de energía mensual con capacidad de generación del 50%, 100% y 200%</i>	59
--	----

Tabla 24 <i>Resumen valor de tarifas a cancelar para usuarios con y sin AGPE del sector residencial y comercial del municipio de Girón con los consumos de energía mensual con capacidad de generación del 50%, 100% y 200%</i>	60
--	----

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Factura del servicio de energía eléctrica de un usuario sin autogeneración FV municipio de Bucaramanga, sector residencial estrato 2</i>	27
Figura 2 <i>Factura del servicio de energía eléctrica de un usuario con autogeneración FV municipio de Piedecuesta, sector comercial</i>	29
Figura 3 <i>Curvas de demanda para el sector residencial (estratos 1 y 2, 3, 4, 5 y 6) y comercial</i>	31
Figura 4 <i>Curva de demanda sector residencial, estratos 1 y 2, para el nivel de consumo mensual 250 kWh</i>	34
Figura 5 <i>Contenido de la página PVGIS para calcular la irradiación de un sitio de interés</i>	35
Figura 6 <i>Resultados de los datos mensuales de irradiación del sitio de interés seleccionado</i> ...	36
Figura 7 <i>Curva de interacción entre la potencia de la carga versus la potencia generada (del SFV al 50% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes) y de la potencia de la frontera comercial, para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga</i>	44
Figura 8 <i>Curva de interacción entre la potencia de la carga versus la potencia generada (del SFV al 100% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes) y de la potencia de la frontera comercial, para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga</i>	44
Figura 9 <i>Curva de interacción entre la potencia de la carga versus la potencia generada (del SFV al 200% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes) y de la potencia de la frontera comercial, para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga</i>	45

Lista de Apéndices

“Los apéndices están adjuntos y se pueden consultar en el Repositorio Institucional”

Apéndice A. Cálculo de potencia base, potencia horaria y curva de demanda para usuario del sector residencial (según el estrato) y comercial

Apéndice B. Cálculo de la capacidad instalada – CI de sistemas fotovoltaicos para usuarios del sector residencial (según el estrato) y comercial en los cuatro municipios del AMB

Apéndice C. Curvas de demanda y generación de SFV para usuarios del sector residencial y comercial en los cuatro municipios del AMB

Apéndice D. Cálculo de la tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica para los cuatro municipios del AMB

Apéndice E. Estimación de la variación de la tarifa del servicio de energía y del impuesto de alumbrado público antes y después de la implementación de la autogeneración fotovoltaica para los cuatro municipios del AMB

Glosario

AGPE: Autogeneración a Pequeña Escala. Son usuarios que producen energía para su propio consumo y exportación a la red del operador de red si es posible. El tamaño de instalación es inferior a 1 MW.

Acuerdos municipales: resolución o normas creadas por los concejos municipales para regular una ciudad o municipio.

Alumbrado público: servicio público de iluminación que se presta para iluminar en las jornadas nocturnas los sectores públicos de una ciudad.

AMB: Área Metropolitana de Bucaramanga. Grupo de municipios que conforman una conurbación en el departamento de Santander, saber: Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

Autoconsumo: generación energía para satisfacer su propia demanda.

CI: Capacidad instalada. Se refiere a la cantidad de energía que genera un sistema fotovoltaico.

Co: Comercialización. Componente que hace parte del costo de la energía por kWh.

Contribución: tributo que pagan usuarios de estratos altos o del sector comercial sobre el valor económico del consumo de energía activa para generar beneficios a la comunidad de estratos bajos.

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas. Esta entidad regula el servicio de energía eléctrica y gas en el país.

Energía activa: energía que se usa para utilizar equipos eléctricos.

ESSA: Electrificadora de Santander, operador de red de energía de Santander.

Estrato: clasificación socioeconómica de los inmuebles residenciales de una ciudad o municipio.

Excedentes de energía: cantidad de energía eléctrica que entrega un usuario a la red del operador de red después de tener autoconsumo.

Exportación de energía: entregar energía a la red por parte de un usuario al operador de red.

Facturación: cobro de un servicio prestado de un usuario o entidad a otro usuario o entidad.

FNCER: Fuentes no convencionales de energía renovable.

FV: Fotovoltaico/a. Sistema que convierte la energía solar en energía eléctrica.

HSP: Hora Solar Pico, unidad de medida que mide la cantidad de energía solar que recibe una superficie. Se expresa en W/m^2 .

IAP: Impuesto de alumbrado público que cobran los municipios por prestar el servicio de alumbrado público en las zonas públicas de la ciudad.

Importación de energía: demanda de energía de un usuario a la red pública.

Irradiación solar: potencia de la radiación solar que recibe una superficie. Se expresa en W/m^2 .

OR: Operador de red

PVGIS: *Photovoltaic Geographical Information System*, que traduce Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica, es una página web gratuita que suministra información sobre la radiación solar en cualquier parte del mundo.

SFV: Sistema fotovoltaico. Montaje de paneles fotovoltaicos y otros accesorios que captan la energía solar y la convierten en energía eléctrica.

Subsidio: ayuda que reciben los usuarios de estratos bajos sobre el valor económico del consumo de energía activa.

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética. Entidad que realiza la planeación de expansión de energía en el territorio nacional.

Resumen

Título: Estimación de la disminución del recaudo por concepto de impuesto de alumbrado público en usuarios con autogeneración fotovoltaica a pequeña escala. Caso Área Metropolitana de Bucaramanga*

Autor: Daniel Tarazona Ospina**

Palabras Clave: Autogeneración fotovoltaica, Impuesto Alumbrado público, Consumo energético, Área Metropolitana, Importación, Exportación, Excedentes

Descripción:

Este documento busca estudiar la variación del valor del impuesto de alumbrado público (IAP) debido a la integración de generación fotovoltaica (FV) en usuarios de los sectores residencial (para todos los estratos) y comercial de los cuatros municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga (Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta). El usuario conectado a la red y con SFV instalado se denomina autogenerador a pequeña escala (AGPE). Específicamente, se determina y compara el IAP antes y después de convertirse en AGPE. La variación del IAP en cada usuario se determina para tres valores de capacidad instalada (kWp) del SFV que generen 50%, 100% y 200% de la energía mensual consumida por las cargas del usuario.

Para realizar los cálculos de los tres niveles de generación, se consultó los niveles de consumo mensual de varios usuarios, las curvas de demanda de la Norma ESSA y datos de irradiancia solar de cada municipio en la base de datos del PVGIS. Posteriormente, se analiza la interacción entre las curvas de generación horaria y de consumo horario para establecer las cantidades de energía de autoconsumo, exportación e importación. A mayor energía de autoconsumo, menor energía importada de la red y, por ende, menor valor del IAP a cancelar.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica. Director: Dr. German Alfonso Osma Pinto. Doctor en Ingeniería – Área Ingeniería Eléctrica

Abstract

Title: Estimation of the decrease in collection from public lighting tax in users with small-scale photovoltaic self-generation. Bucaramanga Metropolitan Area Case*

Author(s): Daniel Tarazona Ospina **

Key Words: Photovoltaic self-generation, Public lighting tax, Energy consumption, Metropolitan Area, Import, Export, Surplus

Description:

This document seeks to study the variation in the value of the public lighting tax (PLT) due to the integration of photovoltaic (PV) generation in users of the residential (for all strata) and commercial sectors of the four municipalities of the Metropolitan Area of Bucaramanga (Bucaramanga, Floridablanca, Girón and Piedecuesta). The grid-connected user with a PVS installed is called a small-scale self-generator (SSOG). Specifically, the PLT must be determined and compared before and after becoming an SSOG. The variation in the PLT for each user is determined for three values of installed capacity (kWp) of the PS that generate 50%, 100% and 200% of the monthly energy consumed by the user's loads.

To calculate the three generation levels, the monthly consumption levels of several users, the demand curves from the ESSA Standard and solar irradiance data from each municipality were consulted in the PVGIS database. The interaction between hourly generation and hourly consumption curves is then analyzed to establish the amounts of self-consumption, export and import energy. The greater the self-consumption energy, the less energy imported from the grid and, therefore, the lower the PLT value to be paid.

* Degree Work

** Faculty of Physical – Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and of Telecommunications Engineering. Specializing in distribution systems of electric power. Director: German Alfonso Osma Pinto. PhD in Engineering – Electrical Engineering Area

Introducción

En Colombia y el mundo, los gobiernos establecen impuestos en diferentes actividades económicas a los ciudadanos para recaudar fondos y realizar inversiones en pro de los mismos ciudadanos en diferentes sectores como salud, educación, infraestructura y servicios, entre otros. Estas inversiones se hacen para mejorar la calidad de vida de las personas que forman parte de una sociedad en ciudades o municipios, ya que debido al crecimiento de la población se requiere ampliar o mejorar el nivel de vida y esto genera una demanda de progresos que permitan vivir con más bienestar e igualdad de condiciones.

Dentro del diario vivir está el día y la noche; el día se ilumina gracias al sol y es gratis, mientras que la noche se ilumina gracias a las luminarias. En los sectores públicos esto se hace por medio del alumbrado público que se cubre en general a partir del impuesto de alumbrado público (IAP).

En el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), conformada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, la tarifa de este impuesto es establecida por cada municipio y es cobrado a través de la factura de la energía eléctrica de cada hogar, comercio o industria. Su monto depende de la cantidad de energía activa que se consume de la red pública. Específicamente, se calcula como un porcentaje del costo de la energía consumida.

Por lo tanto, a mayor consumo de energía de la red, mayor es el pago por el IAP; a menor consumo de energía de la red, menor es el pago por el IAP.

Con base en lo anterior, una de las formas de mitigar el consumo de energía de la red es generando su propia energía, usando fuentes de energía renovables (*e.g.*, solar fotovoltaica (FV), eólica, biomasa) o no renovables. De las energías renovables mencionadas, la energía solar FV es

la más implementada en el AMB por el potencial solar de los cuatros municipios, se logra la recuperación de la inversión en el mediano plazo, genera rentabilidad a largo plazo y es de fácil instalación y mantenimiento. Como ejemplo se tiene que Monterroza (2016) estudio en su monografía la implementación de generador FV en un edificio comercial en Bucaramanga para autoconsumo y entregar excedentes de energía a la red, lo que produjo que se redujera la energía importada de la red.

Esta monografía considera la implementación de sistemas FV en tres niveles de penetración (50%, 100% y 200%) sobre el consumo de energía de las cargas del usuario; posteriormente, se calcula el ahorro financiero que se origina por la disminución de la energía importada de la red, la venta de excedentes y del menor pago del IAP en los cuatros municipios del AMB.

1. Planteamiento del problema

El alumbrado público es un servicio público no domiciliario que el Estado debe garantizar como suministro a todos los ciudadanos en los senderos peatonales, parques recreativos y con zonas verdes, vías vehiculares u otros espacios públicos de las ciudades o municipios, con el fin de garantizar la correcta movilidad de las personas y los vehículos, brindando seguridad y bienestar a toda la comunidad.

Para que este servicio sea eficiente y funcione durante la jornada nocturna, se debe realizar una inversión económica a partir de un recaudo que hace las administraciones municipales con el IAP, el cual se cobra en la factura del servicio de energía eléctrica. En varios municipios de Colombia este impuesto es un porcentaje sobre el consumo de la energía activa importada de la

red en el periodo de facturación. Note que en otros municipios la tarifa es fija; por lo que, no depende del consumo de energía activa.

El IAP que se cobra en los cuatro municipios del AMB varía dependiendo de los acuerdos municipales y según el usuario, sea residencial (por estrato), comercial o industrial. Este impuesto varía entre el 10% y el 18% sobre el valor de la energía consumida de la red sin considerar subsidio o contribución. Teniendo como base que cada usuario residencial y comercial tiene consumos de energía eléctrica diferentes (consumos que dependen de los equipos que poseen y el tiempo de uso de cada equipo, número de personas que habitan u ocupan un inmueble, etc.), cada uno paga una tarifa de alumbrado público diferente debido a su consumo, a pesar de que sea un sector con las mismas condiciones técnicas para la comunidad de una cuadra, barrio, conjunto residencial, etc. Entonces, a mayor consumo de energía de la red, mayor es el pago por el servicio de alumbrado público.

¿Cómo podría un usuario residencial o comercial del AMB disminuir el pago de la tarifa del servicio de alumbrado público teniendo el mismo consumo de energía eléctrica que requiere en un periodo determinado? Específicamente, se debe disminuir el consumo de energía de la red; una forma de ello es autogenerar energía eléctrica para su autoconsumo, satisfaciendo una parte de la demanda de energía eléctrica que se requiere. Esto resulta ser un beneficio financiero adicional para los autogeneradores a pequeña escala (AGPE), lo cual propende por mejorar los indicadores financieros de su proyecto.

Finalmente, note que hoy en día, tanto a nivel mundial como en Colombia, se está fomentando de manera intensa la integración de fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER- a la red eléctrica, dentro de las cuales se destaca la energía FV que puede ser instalada

en cualquier edificación del AMB que cuente con disponibilidad solar. Es, por tanto, propósito de esta monografía estudiar la reducción del IAP en AGPE en el AMB.

1.1 Justificación

Todos los usuarios residenciales y comerciales del AMB buscan día a día tener una mejor calidad de vida, trabajando para generar ingresos que ayuden a solventar los egresos o gastos que se crean diariamente. Una opción a esto es la reducción de costos en las facturas de los servicios públicos. Esta es una las principales motivaciones de los usuarios que deciden convertirse en AGPE, siendo la generación FV la principal tecnología implementada. Los AGPE logran generar energía para su autoconsumo e incluso pueden generar ingresos por la venta de excedentes de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta que un beneficio financiero obtenido por un AGPE es la reducción del IAP debido a la menor cantidad de energía importada de la red, esta monografía estima la reducción tanto del servicio de energía eléctrica como de la tarifa de alumbrado público para usuarios residenciales (según estrato) y comerciales en los municipios del AMB. Para ello, se consideran sistemas FV que generen aproximadamente 50%, 100% y 200% con respecto al consumo mensual promedio de energía de cada usuario residencial y comercial en nivel tipo 1 de tensión. Esa reducción en la factura del servicio de energía eléctrica y del servicio de alumbrado público y venta de excedentes tipo 2 al operador de red (OR), ayuda a los usuarios inicialmente a recuperar la inversión realizada y, posteriormente, a tener más dinero que pueda invertir en otros gastos de hogar y/o comercio.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Estimar la disminución del pago en el servicio de alumbrado público en usuarios regulados de Nivel 1 de tensión con autogeneración fotovoltaica a pequeña escala en el Área Metropolitana de Bucaramanga a partir de un análisis de escenarios.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar el valor del impuesto de alumbrado público para usuarios residenciales (según estrato del 1 al 6) y comerciales en cada municipio del Área Metropolitana de Bucaramanga (Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta).

Determinar la cantidad de energía consumida e intercambiada (energía importada y energía exportada con excedentes Tipo 1 y Tipo 2) con la red para cada usuario considerando tres niveles de capacidad instalada de autogeneración (50%, 100% y 200 %).

Cuantificar las tarifas de alumbrado público antes y después de que cada usuario se convierta en autogenerador a pequeña escala según su nivel de consumo y capacidad de autogeneración.

3. Antecedentes y marco conceptual

El sistema de alumbrado público es fundamental para toda la comunidad y por eso debe mantenerse modernizado, realizar mantenimientos preventivos y expandir el alumbrado público a todos los sectores urbanos y rurales. Se alimenta de la red del operador de red ESSA en Santander.

Algunas son medidas y otras son calculadas por medio de aforo de acuerdo con el número de luminarias instaladas y la potencia de cada una (Vargas y Mantilla, 2024, p. 22).

Debido a esto, se han realizado estudios que permitan ofrecer un servicio eficiente a un costo bajo como el estudio de “Telegestión para el sistema eléctrico del alumbrado público en Bucaramanga” realizado por Ortiz y Sepúlveda (2016), que plantean implementar una nueva tecnología que contribuya a controlar y mejorar el consumo energético por las luminarias LED del alumbrado público aumentando su vida útil, ayudando al medio ambiente y brindando siempre una excelente luminosidad en cada sector a iluminar los municipios del AMB.

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de alumbrado público, se creó el IAP para recaudar el presupuesto a invertir en este sistema y en el AMB se cobra este impuesto en las facturas del servicio de energía eléctrica, principalmente a través de ESSA. Tal impuesto establecido por acuerdos municipales varía para cada usuario residencial (según el estrato) y comercial, siendo Bucaramanga el municipio que tiene el menor impuesto para los usuarios residenciales (de todos los estratos) con el 10%, y Floridablanca junto con Girón con los impuestos más altos para los usuarios residenciales (entre los estratos 3 al 6) y comerciales con el 18%. Estos acuerdos municipales tienen autorización legal para establecer los impuestos de alumbrado público con base en la Ley 97 de 1913, Ley 84 de 1915, Ley 143 de 1994 y Ley 1819 del 29 de diciembre de 2016.

Por otro lado, los sistemas FV contribuyen al progreso del país suministrando energía eléctrica para cubrir la demanda de energía de todos los usuarios residenciales, comerciales e industriales y, por este motivo, se realizan estudios para promover la autogeneración de energía eléctrica para su propio consumo y venta de excedentes de energía eléctrica a la red, generando un ingreso económico para los usuarios. Monterroza (2016) planteó un estudio sobre “El

dimensionamiento de un sistema de generación solar fotovoltaico conectado a la red de distribución de Energía eléctrica en la ciudad de Bucaramanga” que busca incentivar el aprovechamiento de la energía solar para la generación de energía eléctrica, siendo un recurso limpio y de fácil acceso, que garantiza un desarrollo sostenible y lograr cumplir con las necesidades diarias de los usuarios.

Se tiene la Ley 1715 de 2014 que regula la integración de las FNCER al Sistema Energético Nacional para promover la generación de energía eléctrica (energía limpia) y ayudar a cubrir la demanda de energía en zonas no interconectadas – ZNI, el autoconsumo y suministro a la red eléctrica del país. Con el paso de los años, se amplió el marco legal y regulatorio (leyes, decretos y resoluciones) para incentivar la inversión de los sistemas fotovoltaicos, tales como: Ley 1955 de 2019, Ley 2099 de 2021, Resolución CREG 135 de 2021, Resolución CREG 174 de 2021, Decreto 895 de 2022 y Decreto 0929 de 2023. Se resalta la Resolución CREG 174 de 2021 porque regula las actividades de los autogenerados a pequeña escala - AGPE, estableciendo las reglas que permiten a todos los usuarios conectarse al OR de forma correcta, teniendo en cuenta las condiciones de conexión, de medición y comercialización de la energía, donde los usuarios pueden producir su propia energía para autoconsumo y tener el reconocimiento de los excedentes de energía tipo 1 y tipo 2 para vender al comercializador, el OR. García y López (2022) informan que:

Los sistemas de autogeneración a pequeña escala (AGPE) que entreguen excedentes deben cumplir con los requisitos establecidos en el código de medida para las fronteras de generación, resaltando la instalación de un medidor bidireccional, para que se registre de manera independiente el flujo de energía eléctrica en las dos direcciones (p. 50).

4. El impuesto de alumbrado público en los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga

El IAP es un tributo u obligación que tienen todos los ciudadanos con el Estado por el servicio que este presta de alumbrado público, de iluminar en horas nocturnas los espacios públicos de un municipio a los ciudadanos que transitan a pie o en vehículos tales como: senderos peatonales, parques urbanos, canchas y juegos públicos, calles, ciclovías, vías vehiculares, etc. Este impuesto de alumbrado público que recauda el Estado se utiliza para invertir en todo lo relacionado con la operación y administración del alumbrado público, como realizar mantenimientos preventivos y correctivos a la infraestructura existente, realizar modernización y expansión de nuevas redes de alumbrado público en sectores dónde se requieran mejorar los niveles de iluminación o iluminar nuevos sectores en cada municipio.

Este impuesto lo constituye cada municipio en su “Estatuto tributario Municipal” mediante un acuerdo municipal que establece el concejo de su jurisdicción, y el AMB conformado por cuatro municipios que son Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, tienen cada uno su propio acuerdo municipal donde definen el valor del IAP que recaudan mensualmente a todos los usuarios mediante la factura del servicio de energía eléctrica que presta el operador de red (ESSA). A continuación, se realiza la descripción del acuerdo municipal de cada municipio del AMB.

4.1 Bucaramanga

El municipio de Bucaramanga estableció mediante el Acuerdo Municipal No. 044 del 22 de diciembre del 2008, Capítulo II, subcapítulo 3 “Impuesto al servicio de alumbrado público”, artículo 110, Tarifa; el valor del impuesto de alumbrado público para cada sector de la ciudad (industrial, comercial y residencial), aplicado al consumo de energía activa importada de la red de

la ESSA durante un periodo determinado en la factura del servicio de energía eléctrica. Para la presente monografía, se tiene en cuenta el valor del impuesto para el sector residencial y comercial, el cual es del 10% para el sector residencial y el 15% para el sector comercial (Concejo de Bucaramanga, Acuerdo Municipal 044, 2008). En la Tabla 1 se presenta el resumen de la tarifa del impuesto de alumbrado público del AMB. Para la ciudad de Bucaramanga, el valor del impuesto residencial es el mismo en todos los estratos y es el valor del impuesto residencial más bajo del AMB.

4.2 Floridablanca

El municipio de Floridablanca estableció mediante el Acuerdo Municipal No. 012 del 28 de septiembre del 2021, Libro primero, Capítulo XIII “Impuesto sobre el servicio de alumbrado público”, artículo 268, Tarifa; el valor del impuesto de alumbrado público para cada sector de la ciudad (residencial, industrial, comercial, entre otros), estableciendo un valor de impuesto diferente para todo el sector residencial dependiendo del estrato social. Este impuesto es aplicado al consumo de energía activa importada de la red de la ESSA durante un periodo determinado en la factura del servicio de energía eléctrica. En esta monografía se tiene en cuenta el valor del impuesto para el sector residencial y comercial, los cuales son del 15% y 18% para el sector residencial dependiendo del estrato social y el 10% para el sector comercial (Concejo de Floridablanca, Acuerdo Municipal 012, 2021). En la Tabla 1 se presenta el resumen de la tarifa del impuesto de alumbrado público del AMB. El valor del impuesto comercial es el más bajo del AMB.

4.3 Girón

El municipio de Girón estableció mediante el Acuerdo Municipal No. 053 del 15 de diciembre del 2017 en el artículo 4, modificación en el Acuerdo No. 017 del 30 de septiembre de

2016 al artículo 99 “Elementos del impuesto y clasificación de los inmuebles según su destinación económica” y determinó en el ítem 6, Tarifa; el valor del impuesto de alumbrado público para cada sector de la ciudad (residencial, industrial, comercial, entre otros), aplicado al consumo de energía activa importada de la red de la ESSA durante un periodo determinado en la factura del servicio de energía eléctrica. Para esta monografía se tiene en cuenta el valor del impuesto para los sectores residencial y comercial, los cuales son del 16%, 17% y 18% para el sector residencial dependiendo del estrato social y el 18% para el sector comercial (Concejo de Girón, Acuerdo Municipal 053, 2017). En la Tabla 1 se presenta el resumen de la tarifa del impuesto de alumbrado público del AMB. Tiene el impuesto comercial más alto del AMB.

4.4 Piedecuesta

El municipio de Piedecuesta estableció mediante el Acuerdo Municipal No. 019 del 22 de febrero del 2022, Capítulo X “Impuesto de alumbrado público”, artículo 198, Tarifa; el valor del impuesto de alumbrado público para cada sector de la ciudad (residencial, industrial, comercial, entre otros), aplicado al consumo de energía activa importada de la red de la ESSA durante un periodo determinado en la factura del servicio de energía eléctrica. En esta monografía se tiene en cuenta el valor del impuesto para los sectores comercial y residencial, los cuales son del 15% y 16% para el sector residencial dependiendo del estrato social y el 15% para el sector comercial (Concejo de Piedecuesta, Acuerdo Municipal 044, 2022). En la Tabla 1 se presenta el resumen de la tarifa del impuesto de alumbrado público del AMB.

Tabla 1*Resumen tarifa del impuesto de alumbrado público del AMB*

Sector	Bucaramanga	Floridablanca	Girón	Piedecuesta
Residencial	Estrato 1 al 6: 10 %	Estrato 1 al 2: 15 %	Estrato 1 al 2: 16 %	Estrato 1 al 4: 15 %
		Estrato 3 al 6: 18 %	Estrato 3: 17 %	Estrato 5 al 6: 16 %
			Estrato 4 al 6: 18 %	
Comercial	15 %	10 %	18 %	15 %

5. Facturación del servicio de energía eléctrica de usuarios con y sin autogeneración fotovoltaica

Para evaluar la facturación del servicio de energía eléctrica de los usuarios con y sin autogeneración FV, se consultó el recibo de energía eléctrica de algunos usuarios en cada municipio del AMB. Solo un usuario del municipio de Piedecuesta cuenta con autogeneración FV y medidor bidireccional para registrar la energía importada y exportada de la red para medir los excedentes de energía tipo 1 y tipo 2 establecidos en la Resolución CREG 174 de 2021. Con base en el consumo de energía activa importada en la red, se realiza el cobro del impuesto de alumbrado público en un porcentaje que depende de la clase de usuario y municipio donde reside.

5.1 Facturación del servicio de energía eléctrica para usuarios sin autogeneración fotovoltaica

En el recibo de energía eléctrica, componente “Datos técnicos y calidad del servicio – Tarifa” se relaciona la tarifa para usuarios sin autogeneración FV el cual es *1 Genérica*. Después, con base en el dato del consumo de energía mensual, se liquida el valor monetario que debe pagar cada usuario por el consumo de energía activa y en el componente de la factura “Alumbrado

público” se toma ese valor monetario para aplicar el respectivo cobro del impuesto alumbrado público según el sector y municipio del AMB. Adicional a lo anterior, hay un subsidio o contribución económico que aplica según el sector (y según el estrato para los usuarios residenciales), establecido en la Resolución UPME 0355 del 8 de julio de 2004, sobre el valor de consumo de la energía activa. Para el sector residencial, el estrato 1 recibe hasta 60% de subsidio, el estrato 2 recibe hasta 50% de subsidio, el estrato 3 recibe hasta 15% de subsidio, el estrato 4 no tiene subsidio ni contribución mientras que los usuarios residenciales de estratos 5 y 6, y los usuarios comerciales contribuyen hasta el 20%.

La Figura 1 muestra el ejemplo de una factura del servicio de energía eléctrica de un usuario sin autogeneración fotovoltaica del municipio de Bucaramanga, sector residencial estrato 2, que tiene un consumo de energía mensual de 149 kWh y el valor liquidado por este consumo es de \$140.263. Como es un usuario residencial estrato 2, tiene un subsidio del 50% sobre el valor del consumo de la energía activa. Para realizar el cobro del impuesto de alumbrado público, el impuesto para los usuarios residenciales estrato 2 de Bucaramanga es del 10% (ver Tabla 1) sobre el valor liquidado de la energía activa para un total de \$14.026. Finalmente, el valor total a pagar en la factura del servicio de energía eléctrica es de \$84.157.

Figura 1

Factura del servicio de energía eléctrica de un usuario sin autogeneración FV municipio de Bucaramanga, sector residencial estrato 2

The collage consists of several key components:

- ESSA Website Screenshot:** Shows a bill for Bucaramanga, Santander. The total amount to be paid is \$84,244. The bill includes a breakdown of costs (Componentes de Costo) and a 'Liquidad Bienestar, Servicios, Conexos y Otros' section. A 'Felicitaciones' banner indicates the payment date is 18/ENE/2024.
- Social Media Promotion:** A banner titled 'Conéctate con la energía!' featuring a man with a smartphone and social media icons (Facebook, Instagram, Twitter, LinkedIn, YouTube, WhatsApp).
- Payment Methods:** A section titled 'Puntos y Medios de Pago' listing various options like Bancolombia, PSE, and Bancarías.
- Service Quality:** A banner stating 'Nuestra inversión es calidad a su servicio' with a QR code and the ESSA logo.

5.2 Facturación del servicio de energía eléctrica para usuarios con autogeneración fotovoltaica

En el recibo de energía eléctrica, componente “Datos técnicos y calidad del servicio – Tarifa” se relaciona la tarifa para usuarios AGPE-FV y cuenta con medidor bidireccional. Para los AGPE, el recibo tiene un anexo de soporte para la liquidación de la energía importada de la red, la energía exportada a la red y la diferencia entre ambas para validar los excedentes tipo y tipo 2 de la red al precio de bolsa. Ahora, con base en el dato de la energía importada de la red, se liquida el valor monetario que debe pagar cada usuario por el consumo de energía activa y en el componente de la factura “Alumbrado público” se toma ese valor monetario para aplicar el respectivo cobro del IAP según el sector y municipio del AMB. Al igual que en la facturación de los usuarios sin AGPE, aplica el mismo subsidio o contribución económica según el sector sobre el valor de consumo de la energía activa.

La Figura 2 (a) presenta el ejemplo una factura del servicio de energía eléctrica de un usuario con autogeneración FV del municipio de Piedecuesta sector comercial, y en la Figura 2 (b)

se tiene el anexo soporte de liquidación para AGPE donde se valida que tiene una energía importada de la red mensual de 9238 kWh y el valor liquidado por este consumo es de \$8.736.847. Como es un usuario comercial, tiene una contribución del 20% sobre el valor del consumo de la energía activa. El IAP para un usuario comercial de Piedecuesta corresponde al 15% (ver Tabla 1) y se calcula sobre el valor del consumo de la energía importada (sin aplicar la contribución) para un total de \$1.310.527. Finalmente, el valor total a pagar en la factura del servicio de energía eléctrica (incluyendo el componente Aseo) sería de \$11.841.433.

Figura 2

Factura del servicio de energía eléctrica de un usuario con autogeneración FV municipio de Piedecuesta, sector comercial

The image shows a detailed electricity bill from ESSA (Grupo-epm) for a commercial user in Piedecuesta. The bill is divided into several key sections:

- Componentes de Costo (CU):** Lists costs for Generation (370.23 \$/kWh), Transmission (51.23 \$/kWh), Distribution (209.40 \$/kWh), Retenciones (21.30 \$/kWh), and Perdidas (79.70 \$/kWh). Total consumption is 9238 kWh, with a difference of 4748 kWh.
- Historico de consumo (kWh):** A bar chart showing monthly consumption from July to December, with a total of 9238 kWh for the period.
- Liquidación Bienes, Servicios, Conexos y Otros:** Details the Public Lighting (Alumbrado Público) charge of \$1,310,527, calculated as 15% of the import value (\$8,736,847).
- Liquidación Empresa de Aseo:** Shows a total service fee of \$45,850.
- Detalles conceptos AGPE:** Breaks down the AGPE charges, including consumption and excess AGPE.
- Total a pagar:** The final bill amount is \$11,849,433, consisting of a voluntary contribution of \$11,841,433 and a public lighting payment of \$10,530,906.

a) Factura del servicio de energía eléctrica de un usuario con autogeneración fotovoltaica

ANEXO SOPORTE DE LIQUIDACIÓN PARA AUTOGENERADORES DE PEQUEÑA ESCALA

Cliente: Nombre: Tipo usuario AGPE: AGPE con capacidad <= 0.1 Mw con FNCER
 Dirección:

FECHA	HORA	CREDITO DE ENERGIA kWh	ACTIVA IMPORTACION	REACTIVA CAPACITIVA	REACTIVA IMPORTACION	EXPORTACION ACUMULADA	VALORACION HORARIA kWh	PBI	VALORACION HORARIA \$	(P/gte)
01/12/2023	1	0	9.2000	0	5.0300	0	0	558.5800	0	558.5800
01/12/2023	2	0	9.1100	0	5.4600	0	0	558.5800	0	558.5800
01/12/2023	3	0	8.9000	0	4.8500	0	0	558.5800	0	558.5800
01/12/2023	4	0	10.1600	0	4.9600	0	0	558.5800	0	558.5800
01/12/2023	5	0	10.5100	0	5.4900	0	0	558.5800	0	558.5800
01/12/2023	6	0	11.6700	0	3.9100	0	0	650.5800	0	650.5800
01/12/2023	7	0	12.7000	0	5.0300	0	0	650.5800	0	650.5800
01/12/2023	8	0	14.6600	0	6.3600	0	0	726.8100	0	726.8100
01/12/2023	9	0	15.5000	0	6.7100	0	0	748.5800	0	748.5800
01/12/2023	10	0	16.0200	0	6.8900	0	0	754.5800	0	754.5800
01/12/2023	11	0	16.8100	0	6.9000	0	0	754.5800	0	754.5800
01/12/2023	12	0	18.1200	0	6.5900	0	0	754.5800	0	754.5800
01/12/2023	13	0	19.3700	0	6.6400	0	0	754.5800	0	754.5800
01/12/2023	14	0	18.3200	0	6.7300	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	15	0	18.7100	0	6.9500	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	16	0	17.5400	0	6.4100	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	17	0	13.9600	0	5.5600	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	18	0	12.2800	0	5.3300	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	19	0	12.3400	0	7.1400	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	20	0	11.5400	0	6.7100	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	21	0	11.0200	0	6.7500	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	22	0	11.1400	0	4.9600	0	0	754.5800	0	754.5800
01/12/2023	23	0	11.4800	0	5.5600	0	0	762.5800	0	762.5800
01/12/2023	24	0	9.3100	0	4.9100	0	0	588.5800	0	588.5800
02/12/2023	1	0	8.8900	0	6.6000	0	0	727.8900	0	727.8900
02/12/2023	2	0	10.4500	0	4.7000	0	0	727.8900	0	727.8900
02/12/2023	3	0	10.5400	0	6.3400	0	0	727.8900	0	727.8900
02/12/2023	4	0	8.1400	0	5.5900	0	0	727.8900	0	727.8900
02/12/2023	5	0	8.2500	0	5.3800	0	0	727.8900	0	727.8900
02/12/2023	6	0	12.5800	0	4.8500	0	0	727.8900	0	727.8900

ANEXO SOPORTE DE LIQUIDACIÓN PARA AUTOGENERADORES DE PEQUEÑA ESCALA

Cliente: Nombre: Tipo usuario AGPE: AGPE con capacidad <= 0.1 Mw con FNCER
 Dirección:

FECHA	HORA	CREDITO DE ENERGIA kWh	ACTIVA IMPORTACION	REACTIVA CAPACITIVA	REACTIVA IMPORTACION	EXPORTACION ACUMULADA	VALORACION HORARIA kWh	PBI	VALORACION HORARIA \$	(P/gte)
31/12/2023	15	0	14.3200	0	8.5200	0	0	191.7200	0	191.7200
31/12/2023	16	0	11.9200	0	7.8900	0	0	191.7200	0	191.7200
31/12/2023	17	0	10.6300	0	7.3200	0	0	201.7200	0	201.7200
31/12/2023	18	0	14.2400	0	6.9800	0	0	281.7200	0	281.7200
31/12/2023	19	0	11.5400	0	7.4400	0	0	281.7200	0	281.7200
31/12/2023	20	0	10.4700	0	7.8400	0	0	281.7200	0	281.7200
31/12/2023	21	0	9.7300	0	6.7000	0	0	201.7200	0	201.7200
31/12/2023	22	0	13.2200	0	6.2400	0	0	191.7200	0	191.7200
31/12/2023	23	0	10.4800	0	6.9300	0	0	191.7200	0	191.7200
31/12/2023	24	0	7.3500	0	4.5400	0	0	152.2800	0	152.2800
		0,00	9,237,79	0,00	4,755,48	0,00	0,00		0	

b) Anexo soporte de liquidación para AGPE

6. Curvas de demanda de energía para los usuarios sin autogeneración fotovoltaica

Para realizar las curvas de demanda de energía de los usuarios del sector residencial (según su estrato) y comercial, se toma como referencia los datos y las curvas de demanda diaria (de las veinticuatro horas del día) que están planteadas en la **Norma de la ESSA - NTG-02 Marco General Norma Urbana**, las cuales se encuentran en por unidad (p.u.) versus tiempo (h) y se muestran en la Tabla 2 y la Figura 3:

Tabla 2

Demanda de energía promedio por hora para los sectores residencial y comercial.

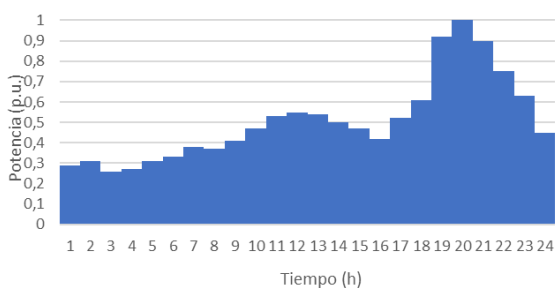
HORA	DEMANDA PROMEDIO (pu)					
	RESIDEN. ESTRATOS 1 y 2	RESIDEN. ESTRATO 3	RESIDEN. ESTRATO 4	RESIDEN. ESTRATO 5	RESIDEN. ESTRATO 6	COMERCIAL
1	0,29	0,3	0,28	0,45	0,33	0,05
2	0,31	0,27	0,25	0,41	0,38	0,05
3	0,26	0,26	0,26	0,38	0,38	0,05
4	0,27	0,27	0,25	0,44	0,34	0,05
5	0,31	0,24	0,23	0,39	0,34	0,05
6	0,33	0,41	0,44	0,52	0,36	0,05
7	0,38	0,44	0,69	0,68	0,37	0,05
8	0,37	0,36	0,44	0,68	0,57	0,05

HORA	DEMANDA PROMEDIO (pu)					
	RESIDEN. ESTRATOS 1 y 2	RESIDEN. ESTRATO 3	RESIDEN. ESTRATO 4	RESIDEN. ESTRATO 5	RESIDEN. ESTRATO 6	COMERCIAL
9	0,41	0,36	0,44	0,59	0,62	0,34
10	0,47	0,45	0,36	0,59	0,52	0,76
11	0,53	0,41	0,38	0,63	0,56	0,91
12	0,55	0,45	0,51	0,54	1,00	0,93
13	0,54	0,56	0,40	0,59	0,95	0,72
14	0,50	0,39	0,38	0,62	0,74	0,41
15	0,47	0,41	0,37	0,60	0,66	0,7
16	0,42	0,45	0,41	0,61	0,65	0,95
17	0,52	0,47	0,49	0,48	0,54	1,00
18	0,61	0,52	0,34	0,54	0,48	0,98
19	0,92	0,77	0,61	0,72	0,62	0,85
20	1,0	0,91	0,81	0,82	0,73	0,61
21	0,9	0,98	1,0	1,0	0,83	0,16
22	0,75	1,0	0,86	0,78	0,73	0,07
23	0,63	0,64	0,69	0,67	0,67	0,06
24	0,45	0,37	0,36	0,58	0,55	0,05
TOTAL	12,19	11,69	11,25	14,31	13,92	9,9

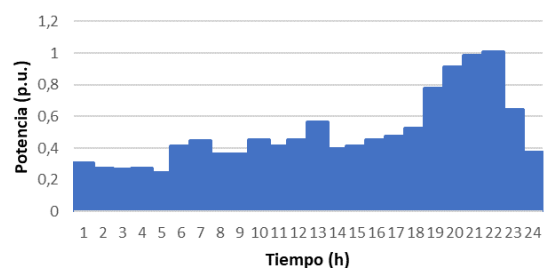
Fuente: (ESSA – Área de Proyectos – Equipo CET, 2021)

Figura 3

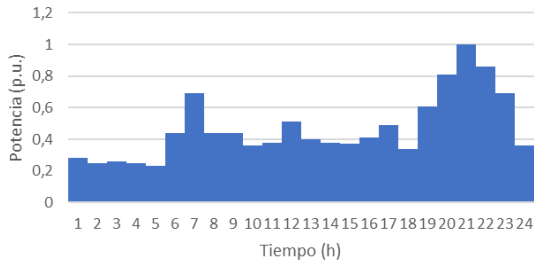
Curvas de demanda para el sector residencial (estratos 1 y 2, 3, 4, 5 y 6) y comercial



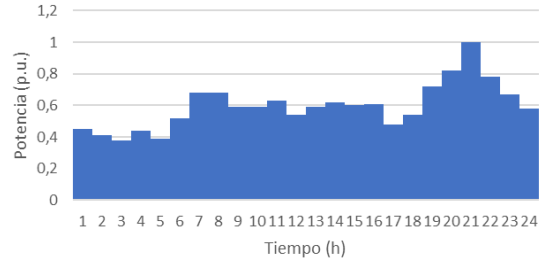
a) Curva de demanda usuario residencial, estratos 1 y 2



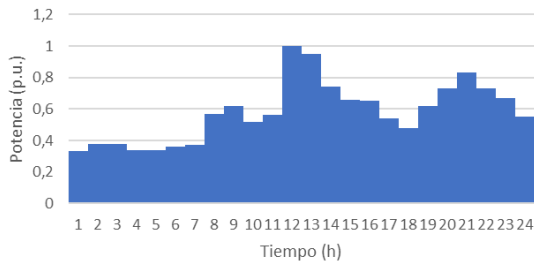
b) Curva de demanda usuario residencial, estrato 3



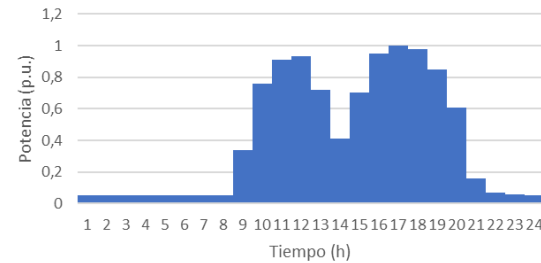
c) Curva de demanda usuario residencial, estrato 4



d) Curva de demanda usuario residencial, estrato 5



e) Curva de demanda usuario residencial, estrato 6



f) Curva de demanda usuario comercial

Fuente: (ESSA – Área de Proyectos – Equipo CET, 2021)

Después de establecer la demanda de energía promedio por hora y las curvas de demanda para los usuarios de los seis estratos residenciales y del sector comercial de la norma ESSA, se establecen tres niveles de consumo en la Tabla 3 para cada usuario (expresados por mes y convertidos por día), se calcula la potencia base (Pb) (ver Ec. (1)) para cada uno de los tres niveles de consumo (donde la potencia base es el valor máximo asociado al consumo de energía diario teniendo en cuenta una curva específica) y se transforma la curva de consumo expresada en p.u. a curvas de consumo en Watts calculando la potencia horaria.

$$Pb = Potencia_{base} = \frac{\text{Consumo de energía diario}}{\sum \text{demanda promedio (p.u.)}} \quad (1)$$

Tabla 3

Niveles de consumo de energía mensual y diario establecidos para los seis estratos del sector residencial y el sector comercial

Sector	Niveles de consumo (kWh/mes)	Niveles de consumo (kWh/diario)
Residencial (estratos 1 y 2)	80 - 150 – 250*	2,67 - 5 - 8,33*
Residencial (estrato 3)	41 - 110 - 180	1,36 - 3,67 - 6
Residencial (estrato 4)	88 - 132 – 175*	2,93 - 4,4 - 5,83*
Residencial (estrato 5)	193 - 222 - 252	6,43 - 7,4 - 8,4
Residencial (estrato 6)	165 - 194 – 238*	5,5 - 6,46 - 7,93*
Comercial	300 - 353 – 487*	10 - 11,76 - 16,23*

A continuación, se calcula la potencia base para hallar la potencia horaria en Watts de cada una de las veinticuatro horas del día, pero únicamente para un usuario del sector residencial de estratos 1 y 2 con nivel de consumo de energía de 250 kWh/mes de la Tabla 3. Para los demás niveles de consumo de la Tabla 3, los cálculos se adjuntan en el Apéndice A.

6.1 Cálculo de potencia base, potencia horaria y curva de demanda para un usuario del sector residencial de estratos 1 y 2 con consumo de energía de 250 kWh/mes

$$P_{b \text{ est.1y2-250kWh}} = \frac{8,33 * 10^3 \text{ Wh}}{12,19 \text{ p. u.}} = 683,62 \text{ W}$$

Tabla 4

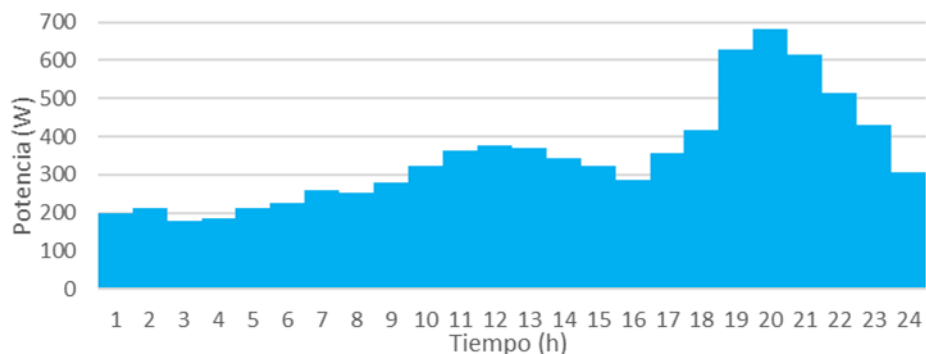
Demanda de energía promedio por hora en W para el sector residencial, estratos 1 y 2, con el nivel de consumo mensual de 250 kWh

NIVEL DE CONSUMO: 250 kWh/mes		
HORA	DEMANDA PROMEDIO (pu)	POTENCIA HORARIA (W)
1	0,29	198,2
2	0,31	211,9
3	0,26	177,7
4	0,27	184,6
5	0,31	211,9

NIVEL DE CONSUMO: 250 kWh/mes		
HORA	DEMANDA PROMEDIO (pu)	POTENCIA HORARIA (W)
6	0,33	225,6
7	0,38	259,8
8	0,37	252,9
9	0,41	280,3
10	0,47	321,3
11	0,53	362,3
12	0,55	376,0
13	0,54	369,2
14	0,5	341,8
15	0,47	321,3
16	0,42	287,1
17	0,52	355,5
18	0,61	417,0
19	0,92	628,9
20	1,00	683,6
21	0,9	615,3
22	0,75	512,7
23	0,63	430,7
24	0,45	307,6

Figura 4

Curva de demanda sector residencial, estratos 1 y 2, para el nivel de consumo mensual 250 kWh



7. Curvas de demanda y generación de energía para los usuarios con autogeneración fotovoltaica de tres niveles de generación deseado (50%, 100% y 200 %)

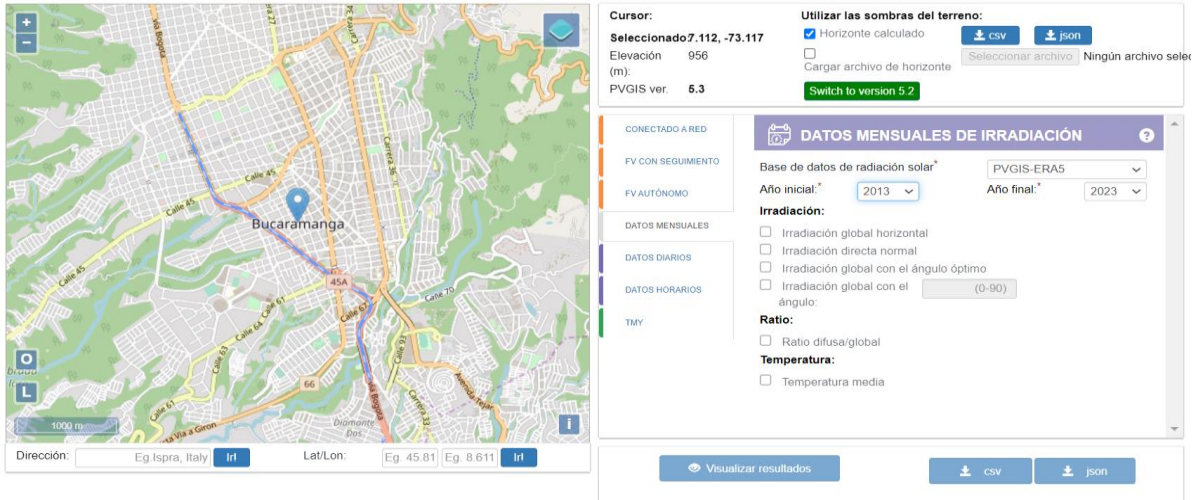
Para construir las curvas de demanda y generación de energía de los usuarios del sector residencial (según su estrato) y comercial con autogeneración FV aplicando tres niveles de generación deseados, se debe calcular la capacidad de instalación de sistema FV a partir del porcentaje (50%, 100% o 200%) que se espera generar con respecto al consumo de energía diario, teniendo en cuenta la irradiación solar diaria en cada municipio.

Para calcular los valores de irradiación solar diario, se consultó la base de datos PVGIS que es un sistema de información geográfica FV donde se calcula el potencial de la energía solar en cada municipio según su ubicación geográfica de acuerdo con la información recopilada durante cada año desde el 2013 hasta el año 2023.

La base de datos PVGIS se encuentra en el enlace https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ donde se indica la ubicación geográfica del sitio de interés y el tipo de datos requeridos de irradiación solar del sitio de interés (ver Figura 5). Una vez seleccionada la información a buscar, se visualizan los resultados para tener una perspectiva de la irradiación mensual del sitio de interés (ver Figura 6) y se descarga en formato CVS para posteriormente introducir la información en una plantilla Excel – Analizador PVGIS creada por Arroyo, J (2021) que sirve para analizar cuál es la mejor hora solar pico HSP y el ángulo de inclinación que debe tener los paneles FV de acuerdo con cada municipio.

Figura 5

Contenido de la página PVGIS para calcular la irradiación de un sitio de interés

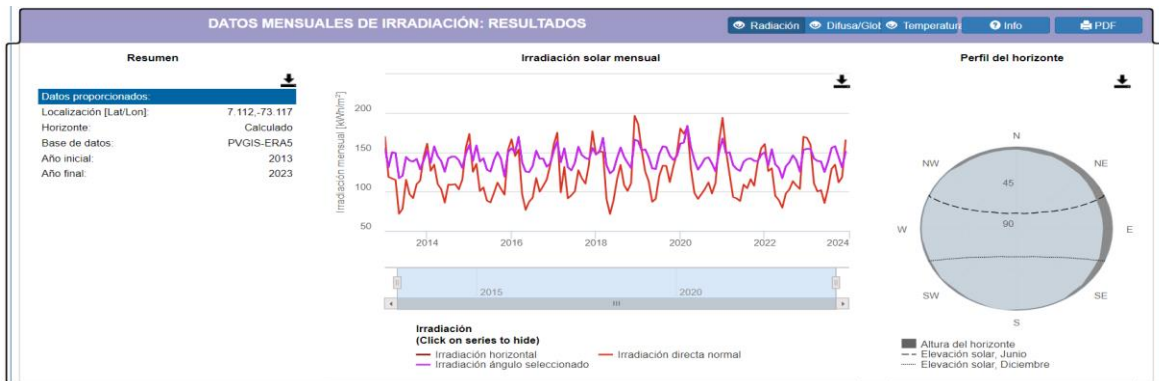


Fuente: PVGIS - Sistema de información geográfica FV [en línea] <

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ >

Figura 6

Resultados de los datos mensuales de irradiación del sitio de interés seleccionado



Fuente: PVGIS - Sistema de información geográfica FV [en línea] <

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ >

Con base en la información investigada para los municipios del AMB, se tiene la siguiente información de la hora solar pico - HSP y el mejor ángulo para la instalación de los paneles solares.

Tabla 5

HSP y ángulo de inclinación de paneles solares para Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta

Municipio	HSP (kWh/m²)	Ángulo ideal para paneles solares
Bucaramanga	5,08	9°
Floridablanca	4,29	7°
Girón	5,33	8°
Piedecuesta	4,3	6°

Con la información definida de la hora solar pico – HSP para cada municipio del AMB, se calcula la capacidad instalada - CI de sistema FV a partir del porcentaje deseado (50%, 100% o 200%) que se espera generar con respecto al consumo de energía diario, estableciendo un rendimiento estimado del sistema FV del 80%.

Esta capacidad instalada del sistema FV se determina para cada sector residencial y comercial en cada municipio, teniendo como base el consumo de energía mensual establecido en la Tabla 3. A continuación, se presenta el cálculo de la CI (únicamente para los niveles de consumo indicados (*) en la Tabla 3 para los usuarios residenciales de los estratos 1 y 2, 4 y 6, y del sector comercial) y las curvas de demanda y generación del SFV (únicamente para el nivel de consumo indicado (*) en la Tabla 3 para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2). Para los demás niveles de consumo de la Tabla 3, también se realizan los mismos cálculos mencionados y se presentan en el Apéndice B.

7.1 Cálculo de la capacidad instalada – CI de sistemas fotovoltaicos para usuarios del sector residencial y comercial en los cuatro municipios del AMB

Para calcular la CI de los SFV que requieren los usuarios residenciales y comerciales, se toma como base el consumo de energía diario establecido en la Tabla 3 y de acuerdo con el nivel

de generación deseado (50%, 100% o 200%) se establece la energía de generación que se requiere para su autoconsumo. Con esta energía de generación, el dato de HSP de cada municipio (ver Tabla 5) y el rendimiento estimado de cada sistema fotovoltaico se procede a calcular la capacidad instalada en cada uno de los municipios. A continuación, se calcula la CI de los SFV para cada estrato del sector residencial y comercial.

A continuación, se presentan los valores de CI para usuarios de estratos 1 y 2 con consumo mensual de 250 kWh (Tabla 6), de estrato 4 con consumo mensual de 175 kWh (Tabla 7), de estrato 6 con consumo mensual de 238 kWh (Tabla 8) y comercial con consumo mensual de 487 kWh (Tabla 9).

Tabla 6

Capacidad instalada del SFV para los municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 250 kWh/mes, del sector residencial estratos 1 y 2

CAPACIDAD INSTALADA DEL SFV POR MUNICIPIO	B/MANGA	F/BLANCA	GIRÓN	P/CUESTA	UNIDADES
Consumo mensual	250	250	250	250	kWh/mes
Consumo diario	8,33	8,33	8,33	8,33	kWh/día
Nivel de generación deseado	50%	50%	50%	50%	
Energía de generación	4,17	4,17	4,17	4,17	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	1025,3	1215,5	977,2	1212,7	Wp
Nivel de generación deseado	100%	100%	100%	100%	
Energía de generación	8,33	8,33	8,33	8,33	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	2050,5	2431,0	1954,3	2425,3	Wp

Nivel de generación deseado	200%	200%	200%	200%	
Energía de generación	16,67	16,67	16,67	16,67	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	4101,0	4861,9	3908,7	4850,6	Wp

Tabla 7

Capacidad instalada del SFV para los cuatro municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 175 kWh/mes, del sector residencial estrato 4

CAPACIDAD INSTALADA DEL SFV POR MUNICIPIO	B/MANGA	F/BLANCA	GIRÓN	P/CUESTA	UNIDADES
Consumo mensual	175	175	175	175	kWh/mes
Consumo diario	5,83	5,83	5,83	5,83	kWh/día
Nivel de generación deseado	50%	50%	50%	50%	
Energía de generación	2,92	2,92	2,92	2,92	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	717,7	850,8	684,0	848,9	Wp
Nivel de generación deseado	100%	100%	100%	100%	
Energía de generación	5,83	5,83	5,83	5,83	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	1435,4	1701,7	1368,0	1697,7	Wp
Nivel de generación deseado	200%	200%	200%	200%	
Energía de generación	11,67	11,67	11,67	11,67	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	2870,7	3403,3	2736,1	3395,4	Wp

Tabla 8

Capacidad instalada del SFV para los cuatro municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes, del sector residencial estrato 6

CAPACIDAD INSTALADA DEL SFV POR MUNICIPIO	B/MANGA	F/BLANCA	GIRÓN	P/CUESTA	UNIDADES
Consumo mensual	238	238	238	238	kWh/mes
Consumo diario	7,93	7,93	7,93	7,93	kWh/día
Nivel de generación deseado	50%	50%	50%	50%	
Energía de generación	3,97	3,97	3,97	3,97	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	976,0	1157,1	930,3	1154,4	Wp
Nivel de generación deseado	100%	100%	100%	100%	
Energía de generación	7,93	7,93	7,93	7,93	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	1952,1	2314,3	1860,5	2308,9	Wp
Nivel de generación deseado	200%	200%	200%	200%	
Energía de generación	15,87	15,87	15,87	15,87	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	3904,2	4628,5	3721,1	4617,8	Wp

Tabla 9

Capacidad instalada del SFV para los cuatro municipios del AMB con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes, del sector comercial

CAPACIDAD INSTALADA DEL SFV POR MUNICIPIO	B/MANGA	F/BLANCA	GIRÓN	P/CUESTA	UNIDADES
Consumo mensual	487	487	487	487	kWh/mes
Consumo diario	16,23	16,23	16,23	16,23	kWh/día

Nivel de generación deseado	50%	50%	50%	50%	
Energía de generación	8,12	8,12	8,12	8,12	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	1997,2	2367,8	1903,5	2362,2	Wp
Nivel de generación deseado	100%	100%	100%	100%	
Energía de generación	16,23	16,23	16,23	16,23	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	3994,4	4735,5	3807,1	4724,5	Wp
Nivel de generación deseado	200%	200%	200%	200%	
Energía de generación	32,47	32,47	32,47	32,47	kWh/día
Capacidad de instalación SFV	7988,8	9471,0	7614,1	9449,0	Wp

7.2 Curvas de demanda y generación de SFV para usuarios del sector residencial y comercial en los municipios del AMB

Las curvas de demanda y generación de SFV que se construyeron considerando la información de irradiancia solar incidente en la superficie de los paneles del SFV durante los 12 meses del año 2023. La información de la irradiancia total incidente para cada municipio se calcula en la base de datos PVGIS, solicitando los datos diarios de irradiación de los 12 meses del año 2023 e introduciendo el ángulo de inclinación de los paneles FV de la Tabla 5.

Los resultados obtenidos en la página PVGIS se descargan en formato CVS y se extrae la información de la irradiancia global para cada mes y cuando se complete la información de la irradiancia incidente en los 12 meses se calcula el promedio de cada una de las 24 horas del día (ver Apéndice C). Con el valor de la CI de los SFV (descrito en las tablas 6 a la 9 según el sector (residencial y comercial) y el municipio), el rendimiento estimado del sistema fotovoltaico del 80% - PR y el valor de la irradiancia incidente promedio $G_h(t)$, se calcula la potencia generada

por el SFV en cada una de las 24 horas del día (como se muestra en la Ecuación 2) y se obtiene la curva de la generación del SFV.

$$P_{gen}(t) = \frac{CI * PR * G_n(t)}{1000} \quad (2)$$

Para realizar la curva de demanda de cada usuario, se toman los valores de la carga para el sector residencial (según su estrato) y el sector comercial con los tres niveles de consumo de energía mensual establecidos en las Tabla 3 y se proyectan para cada municipio, teniendo en cuenta que en cada caso hay HSP y CI del SFV diferentes.

Con las curvas de demanda y generación de los SFV para cada caso, se realiza una interacción de las dos curvas y se puede establecer el autoconsumo que tiene el usuario, así como la lectura que tiene el medidor bidireccional de energía importada y exportada a la red con base en la potencia de la frontera comercial. De lo anterior, se establecen los excedentes de energía tipo 1 y 2 para la energía exportada a la red de acuerdo con lo establecido en la resolución CREG 174 de 2021. Los excedentes tipo 1 se descuentan a la energía importada de la red y se paga solo el componente comercial sobre el costo total de la energía; los excedentes tipo 2 son remunerados económicamente según el precio de bolsa de energía de XM que administra el Mercado de Energía Mayorista y opera todo el sistema Interconectado Nacional en Colombia.

7.2.1 Curvas de demanda y generación de SFV para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en el municipio de Bucaramanga

Con base en lo explicado en el Numeral 7.2, se determinan las curvas de demanda y generación del SFV para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga para un consumo de energía mensual de 250 kWh/mes con tres niveles de generación deseados (50%, 100% y 200%).

Tabla 10

Capacidad instalada del SFV al 50% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes (ver Tabla 6), resumen de la potencia consumida, energía importada y exportada de la red, para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga

HORA	Promedio anual - Ginc (W/m ²)	Potencia generada SFV - Pgen (W)	Potencia consumida - Pcarga (W)	Potencia de la frontera - Pfrontera (W)	Energía importada de la red - Pimp (W)	Energía exportada de la red - Pexp (W)
1	0,0	0,0	198,2	198,2	198,2	0,0
2	0,0	0,0	211,9	211,9	211,9	0,0
3	0,0	0,0	177,7	177,7	177,7	0,0
4	0,0	0,0	184,6	184,6	184,6	0,0
5	0,0	0,0	211,9	211,9	211,9	0,0
6	9,4	7,7	225,6	217,9	217,9	0,0
7	150,2	123,2	259,8	136,6	136,6	0,0
8	360,4	295,6	252,9	-42,7	0,0	42,7
9	560,9	460,0	280,3	-179,7	0,0	179,7
10	686,9	563,4	321,3	-242,1	0,0	242,1
11	714,9	586,4	362,3	-224,0	0,0	224,0
12	670,6	550,0	376,0	-174,0	0,0	174,0
13	601,6	493,4	369,2	-124,3	0,0	124,3
14	502,5	412,2	341,8	-70,4	0,0	70,4
15	366,4	300,5	321,3	20,8	20,8	0,0
16	227,4	186,5	287,1	100,6	100,6	0,0
17	103,8	85,1	355,5	270,3	270,3	0,0
18	0,1	0,1	417,0	416,9	416,9	0,0
19	0,0	0,0	628,9	628,9	628,9	0,0
20	0,0	0,0	683,6	683,6	683,6	0,0
21	0,0	0,0	615,3	615,3	615,3	0,0
22	0,0	0,0	512,7	512,7	512,7	0,0
23	0,0	0,0	430,7	430,7	430,7	0,0
24	0,0	0,0	307,6	307,6	307,6	0,0
Total		4064,26	8333,33	4269,07	5326,33	1057,27

RESUMEN POTENCIA GENERADA Y CONSUMIDA MENSUAL					
Pgen	121,93	kWh / mes	P imp	159,79	kWh / mes
Pexp	31,73	kWh / mes	Exc-Tipo 1	31,72	kWh / mes
Autoconsumo	90,2	kWh / mes	Exc-Tipo 2	0,00	kWh / mes

Figura 7

Curva de interacción entre la potencia de la carga versus la potencia generada (del SFV al 50% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes) y de la potencia de la frontera comercial, para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga

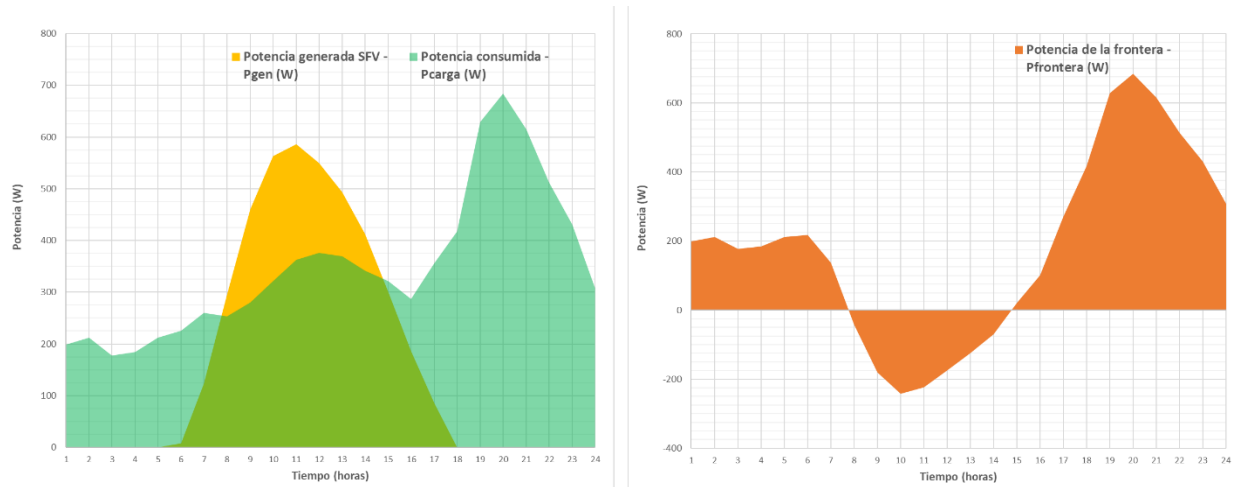


Tabla 11

Resumen capacidad instalada del SFV al 100% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes (ver Tabla 6), resumen de la potencia consumida, energía importada y exportada de la red, para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga

RESUMEN POTENCIA GENERADA Y CONSUMIDA MENSUAL					
Pgen	243,86	kWh / mes	P imp	149,67	kWh / mes
Pexp	143,52	kWh / mes	Exc-Tipo 1	143,52	kWh / mes
Autoconsumo	100,3	kWh / mes	Exc-Tipo 2	0,00	kWh / mes

Figura 8

Curva de interacción entre la potencia de la carga versus la potencia generada (del SFV al 100% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes) y de la potencia de la frontera comercial, para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga

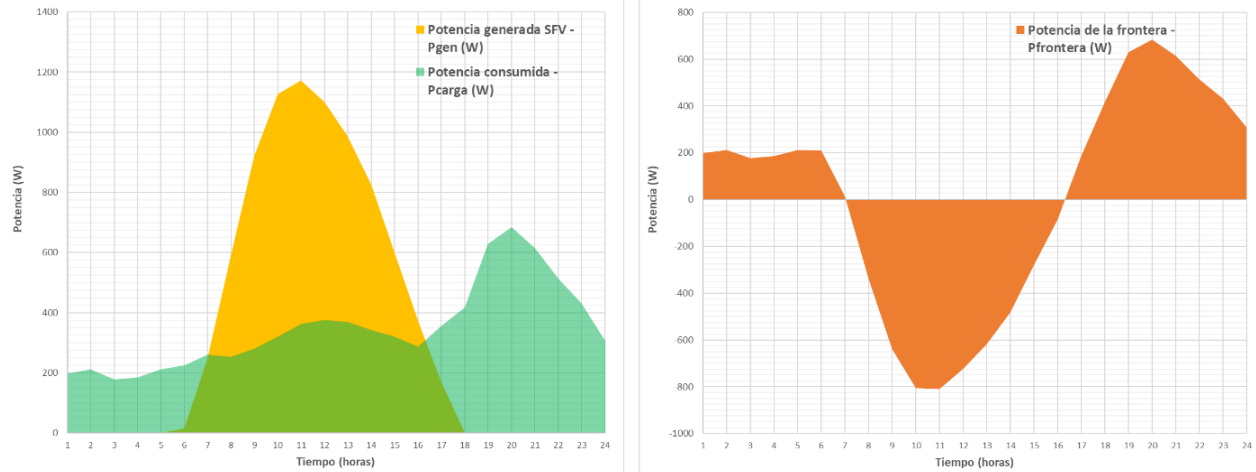


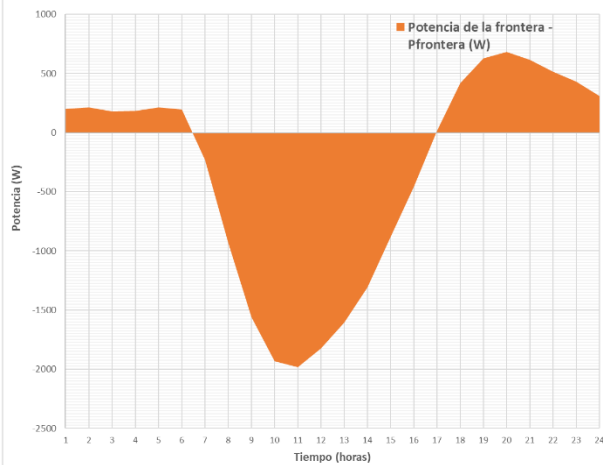
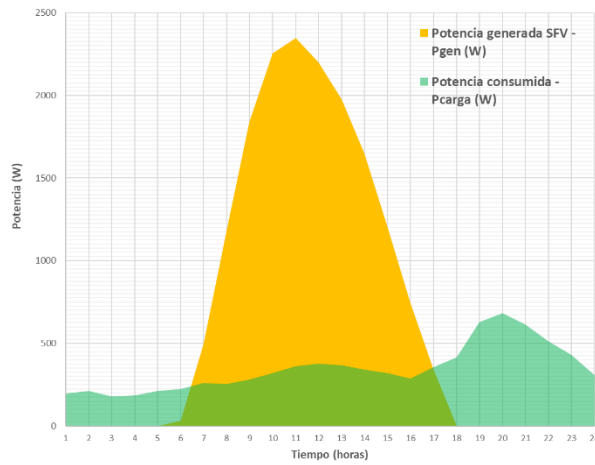
Tabla 12

Resumen capacidad instalada del SFV al 200% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes (ver Tabla 6), resumen de la potencia consumida, energía importada y exportada de la red, para los usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga

RESUMEN POTENCIA GENERADA Y CONSUMIDA MENSUAL					
Pgen	487,71	kWh / mes	P imp	143,69	kWh / mes
Pexp	381,40	kWh / mes	Exc-Tipo 1	143,69	kWh / mes
Autoconsumo	106,3	kWh / mes	Exc-Tipo 2	237,71	kWh / mes

Figura 9

Curva de interacción entre la potencia de la carga versus la potencia generada (del SFV al 200% del consumo de energía mensual de 250 kWh/mes) y de la potencia de la frontera comercial, para usuarios residenciales de estratos 1 y 2 en Bucaramanga



7.3 Compilación resultados de la capacidad instalada del SFV para los municipios del AMB

A continuación, se presenta una compilación de los resultados obtenidos de la capacidad instalada del SFV para los municipios del AMB, con los consumos de energía de usuarios residenciales estratos 1 y 2, 4 y 6, y del sector comercial con los tres niveles de generación deseados (50%, 100% y 200%).

Tabla 13

Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Bucaramanga

Nivel de generación	Estratos 1 y 2 250 kWh/mes			Estrato 4 175 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	121,93	243,86	487,71	85,35	170,7	341,4
Autoconsumo (kWh)	90,21	100,34	106,31	58,84	66,48	75,56
P imp (kWh)	159,79	149,67	143,69	116,16	108,52	99,44
P exp (kWh)	31,72	143,52	381,4	26,51	104,22	265,84
Exc-Tipo 1 (kWh)	31,72	143,52	143,69	26,51	104,22	99,44
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	0	237,71	0	0	166,40

Nivel de generación	Estrato 6 238 kWh/mes			Comercial 487 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	116,08	232,15	464,3	237,52	475,03	950,06
Autoconsumo (kWh)	99,17	118,38	123,65	203,88	272,23	304,89
P imp (kWh)	138,83	119,62	114,35	283,12	214,77	182,10
P exp (kWh)	16,91	113,77	340,65	33,64	202,8	645,17
Exc-Tipo 1 (kWh)	16,91	113,77	114,35	33,64	202,8	182,10
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	0	226,3	0	0	463,07

Tabla 14

Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Floridablanca

Nivel de generación	Estratos 1 y 2 250 kWh/mes			Estrato 4 175 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	127,85	255,71	511,42	89,5	179	357,99
Autoconsumo (kWh)	90,71	101,03	106,91	60,01	67,77	76,35
P imp (kWh)	159,29	148,97	143,09	114,99	107,23	98,64
P exp (kWh)	37,14	154,68	404,51	29,49	111,23	281,64
Exc-Tipo 1 (kWh)	37,14	148,97	143,09	29,49	107,23	98,64
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	5,71	261,42	0	4	183

Nivel de generación	Estrato 6 238 kWh/mes			Comercial 487 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	121,72	243,44	486,87	249,06	498,12	996,24
Autoconsumo (kWh)	99,76	118,36	123,84	206,95	271,86	304,78
P imp (kWh)	138,24	119,65	114,16	280,05	215,14	182,22
P exp (kWh)	21,96	125,08	363,03	42,11	226,26	691,46
Exc-Tipo 1 (kWh)	21,96	119,65	114,16	42,11	215,14	182,22
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	5,43	248,87	0	11,12	509,24

Tabla 15

Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Girón

Nivel de generación	Estratos 1 y 2 250 kWh/mes			Estrato 4 175 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	122,49	244,98	489,96	85,74	171,49	342,97
Autoconsumo (kWh)	91	99,46	105,64	58,58	65,87	74,33
P imp (kWh)	159	150,54	144,37	116,42	109,13	100,67
P exp (kWh)	31,49	145,52	384,32	27,16	105,62	268,64
Exc-Tipo 1 (kWh)	31,49	145,52	144,37	27,16	105,62	100,67
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	0	239,95	0	0	167,97

Nivel de generación	Estrato 6 238 kWh/mes			Comercial 487 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	116,61	233,22	466,44	238,61	477,22	954,44
Autoconsumo (kWh)	101,14	118,51	123,5	206,24	273,91	306,70
P imp (kWh)	136,86	119,49	114,5	280,76	213,09	180,30
P exp (kWh)	15,47	114,71	342,94	32,37	203,31	647,74
Exc-Tipo 1 (kWh)	15,47	114,71	114,5	32,37	203,31	180,30
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	0	228,44	0	0	467,44

Tabla 16

Compilación capacidad instalada del SFV para el consumo de energía mensual de los usuarios residenciales (estratos 1 y 2, 4 y 6) y Comercial en Piedecuesta

Nivel de generación	Estratos 1 y 2 250 kWh/mes			Estrato 4 175 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	130,01	260,01	520,03	91	182,01	364,02
Autoconsumo (kWh)	90,77	101,16	107,02	60,11	68,16	76,54
P imp (kWh)	159,23	148,84	142,99	114,88	106,84	98,46
P exp (kWh)	39,24	158,85	413,01	30,89	113,85	287,48
Exc-Tipo 1 (kWh)	39,24	148,84	142,99	30,89	106,84	98,46
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	10,01	270,02	0	7,01	189,02

Nivel de generación	Estrato 6 238 kWh/mes			Comercial 487 kWh/mes		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Pgen (kWh)	123,77	247,53	495,06	253,25	506,5	1013,01
Autoconsumo (kWh)	100,9	118,24	123,89	209,48	271,23	304,32
P imp (kWh)	137,1	119,76	114,11	277,52	215,77	182,68

P exp (kWh)	22,87	129,29	371,17	43,77	235,27	708,69
Exc-Tipo 1 (kWh)	22,87	119,76	114,11	43,77	215,77	182,68
Exc-Tipo 2 (kWh)	0	9,53	257,06	0	19,5	526,01

8. Tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica

Una vez realizado el análisis del consumo de energía para los usuarios del sector residencial y comercial de los municipios del AMB sin autogeneración (ver Capítulo 6) y la proyección de generación de energía a partir de los sistemas de autogeneración FV para su autoconsumo y posible exportación a la red (ver Capítulo 7) de los usuarios del sector residencial y comercial para los niveles de consumo de energía establecidos en la Tabla 3, se realiza la recopilación de los datos que se requieren para generar la facturación de los usuarios antes y después de ser AGPE y estimar la disminución de las tarifas del IAP.

En la facturación se tiene en cuenta el costo de la energía (precio establecido en \$945,00 a noviembre de 2024), sector, estrato y municipio al cual pertenece el usuario; el porcentaje del subsidio o contribución que tiene derecho si aplica; el valor del IAP de acuerdo al sector, estrato y municipio que corresponda (descrito en el Capítulo 4); la información de la energía consumida (importada) o exportada de la red y los cálculos de los costos asociados a cada ítem de los mencionados anteriormente.

Adicionalmente, para la facturación de los usuarios AGPE, se tiene en cuenta el costo del componente de comercialización de la energía (precio establecido en \$126,03 a noviembre de 2024) y el precio de bolsa el cual varía hora a hora pero para la presente monografía se tomó un valor representativo (precio de bolsa establecido en \$546,21 a noviembre de 2024). A continuación, se presenta la tarificación de los usuarios antes y después de los SFV (y un cuadro

comparativo de los costos generados) únicamente para los niveles de consumo de 238 kWh/mes de estrato 6 para Bucaramanga y 487 kWh/mes del sector comercial para Girón de la Tabla 3. Para los niveles de consumo de la Tabla 3, también se realizarán los mismos cálculos mencionados y se adjuntan en el Apéndice D.

8.1 Cálculo de la tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica en Bucaramanga

Para realizar el cálculo de las facturas del servicio de energía eléctrica en el municipio de Bucaramanga, se debe tener en cuenta el Numeral 4.1 donde se establece el valor del IAP para cada sector y las curvas de demanda y generación de energía antes y después de los SFV descrito en los Capítulos 6 y 7. A continuación, se presenta la factura para los usuarios del sector residencial de estrato 6 con el consumo de energía de 238 kWh/mes para cada nivel de generación calculado (50%, 100% y 200%).

Tabla 17

Factura para usuarios del sector residencial estrato 6 del municipio de Bucaramanga con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes y nivel de generación SFV del 50%, antes y después de ser AGPE

Factura usuario antes de AGPE		Factura AGPE	
Información general		Información general	
CU	\$ 945,00	CU	\$ 945,00
		Co	\$ 126,03
		PB promedio bolsa	\$ 543,45
Estrato o sector	6	Estrato o sector	6
Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%	Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	10%	IAP	10%
Cuantificación energética		Cuantificación energética	
Consumo de energía activa	238	Importación	138,83
		Excedentes Tipo 1	16,91

Valoración financiera		Excedentes Tipo 2	
Costo de consumo de energía activa	\$ 224.910		0,00
Valor subsidio/contribución	\$ 44.982		
Subtotal	\$ 269.892		
IAP	\$ 22.491		
Total	\$ 292.383		
a) Factura usuario antes de AGPE		Valoración financiera	
		Costo de importación	\$ 115.214
		Excedentes Tipo 1	\$ 2.131
		Excedentes Tipo2	\$ -
		Valor subsidio	\$ -
		Valor contribución	\$ 26.239
		Subtotal	\$ 117.346
		IAP	\$ 13.119
		Total	\$ 130.465
		b) Factura usuario después de AGPE	

Variaciones de los costos usuario antes y después de AGPE		
Costo de energía activa	\$ 109.695,60	Ahorro (incluye autoconsumo e inyección de excedentes Tipo 1)
Valor subsidio/contribución	\$ 44.982,00	Disminución de la aplicación del beneficio
IAP (\$)	\$ 9.371,57	Ahorro económico
IAP (%)	42%	Ahorro porcentual
Excedentes Tipo 1	-\$ 2.131,17	Costo por la inyección de Exc. Tipo 1
Excedentes Tipo2	\$ 0,00	Beneficio por venta de energía
Total	\$ 161.918,00	Beneficio total de ahorro AGPE

c) Variación de los costos de los usuarios antes y después de AGPE

Tabla 18

Factura para usuarios del sector residencial estrato 6 del municipio de Bucaramanga con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes y nivel de generación SFV del 100%, antes y después de ser AGPE

Factura usuario antes de AGPE		Factura AGPE	
Información general		Información general	
CU	\$ 945,00	CU	\$ 945,00
		Co	\$ 126,03
		PB promedio bolsa	\$ 543,45
Estrato o sector	6	Estrato o sector	6

Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%	Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	10%	IAP	10%
Cuantificación energética		Cuantificación energética	
Consumo de energía activa	238	Importación	119,62
		Excedentes Tipo 1	113,77
		Excedentes Tipo 2	0,00
Valoración financiera		Valoración financiera	
Costo de consumo de energía activa	\$ 224.910	Costo de importación	\$ 5.528
		Excedentes Tipo 1	\$ 14.338
		Excedentes Tipo2	\$ -
Valor subsidio/contribución	\$ 44.982	Valor subsidio	\$ -
Subtotal	\$ 269.892	Valor contribución	\$ 22.608
IAP	\$ 22.491	Subtotal	\$ 19.867
Total	\$ 292.383	IAP	\$ 11.304
		Total	\$ 31.171
a) Factura usuario antes de AGPE		b) Factura usuario después de AGPE	

Variaciones de los costos usuario antes y después de AGPE		
Costo de energía activa	\$ 219.381,75	Ahorro (incluye autoconsumo e inyección de excedentes Tipo 1)
Valor subsidio/contribución	\$ 44.982,00	Disminución de la aplicación del beneficio
IAP (\$)	\$ 11.186,91	Ahorro económico
IAP (%)	50%	Ahorro porcentual
Excedentes Tipo 1	-\$ 14.338,43	Costo por la inyección de Exc. Tipo 1
Excedentes Tipo2	\$ 0,00	Beneficio por venta de energía
Total	\$ 261.212,23	Beneficio total de ahorro AGPE
c) Variación de los costos de los usuarios antes y después de AGPE		

Tabla 19

Factura para usuarios del sector residencial estrato 6 del municipio de Bucaramanga con el consumo de energía mensual de 238 kWh/mes y nivel de generación SFV del 200%, antes y después de ser AGPE

Factura usuario antes de AGPE	
Información general	
CU	\$ 945,00
<hr/>	
Estrato o sector	6
Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	10%
Cuantificación energética	
Consumo de energía activa	238
<hr/>	
Valoración financiera	
Costo de consumo de energía activa	\$ 224.910
<hr/>	
Valor subsidio/contribución	\$ 44.982
<hr/>	
Subtotal	\$ 269.892
IAP	\$ 22.491
Total	\$ 292.383

a) Factura usuario antes de AGPE

Factura AGPE	
Información general	
CU	\$ 945,00
Co	\$ 126,03
PB promedio bolsa	\$ 543,45
Estrato o sector	6
Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	10%
Cuantificación energética	
Importación	114,35
Excedentes Tipo 1	114,35
Excedentes Tipo 2	226,30
Valoración financiera	
Costo de importación	\$ -
<hr/>	
Excedentes Tipo 1	\$ 14.412
Excedentes Tipo2	-\$ 122.983,76
Valor subsidio	\$ 0,00
Valor contribución	\$ 21.612,15
Subtotal	-\$ 108.572,23
IAP	\$ 10.806,08
Total	-\$ 97.766,16

b) Factura usuario después de AGPE

Variaciones de los costos usuario antes y después de AGPE		
Costo de energía activa	\$ 224.910,00	Ahorro (incluye autoconsumo e inyección de excedentes Tipo 1)
Valor subsidio/contribución	\$ 44.982,00	Disminución de la aplicación del beneficio
IAP (\$)	\$ 11.684,93	Ahorro económico
IAP (%)	52%	Ahorro porcentual
Excedentes Tipo 1	-\$ 14.411,53	Costo por la inyección de Exc. Tipo 1
Excedentes Tipo2	\$ 122.983,76	Beneficio por venta de energía
Total	\$ 390.149,16	Beneficio total de ahorro AGPE

c) Variación de los costos de los usuarios antes y después de AGPE

8.2 Cálculo de la tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica en Girón

Para realizar el cálculo de las facturas del servicio de energía eléctrica en el municipio de Girón, se debe tener en cuenta el Numeral 4.3 donde se establece el valor del IAP para cada sector y las curvas de demanda y generación de energía antes y después de los SFV descrito en los Capítulos 6 y 7. A continuación, se presentará la factura para los usuarios del sector comercial con el consumo de energía de 487 kWh/mes para cada nivel de generación calculado (50%, 100% y 200%).

Tabla 20

Factura para usuarios del sector comercial del municipio de Girón con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes y nivel de generación SFV del 50%, antes y después de ser AGPE

Factura usuario antes de AGPE		Factura AGPE	
Información general		Información general	
CU	\$ 945,00	CU	\$ 945,00
		Co	\$ 126,03
		PB promedio bolsa	\$ 543,45
Estrato o sector	Comercial	Estrato o sector	Comercial
Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%	Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	18%	IAP	18%
Cuantificación energética		Cuantificación energética	
Consumo de energía activa	487	Importación	280,76
		Excedentes Tipo 1	32,37
		Excedentes Tipo 2	0,00
Valoración financiera		Valoración financiera	
Costo de consumo de energía activa	\$ 460.215	Costo de importación	\$ 234.729
		Excedentes Tipo 1	\$ 4.080
		Excedentes Tipo2	\$ -
Valor subsidio/contribución	\$ 92.043	Valor subsidio	\$ -
		Valor contribución	\$ 53.064
Subtotal	\$ 552.258	Subtotal	\$ 238.808

IAP	\$ 82.839	IAP	\$ 47.757
Total	\$ 635.097	Total	\$ 286.565

a) Factura usuario antes de AGPE

b) Factura usuario después de AGPE

Variaciones de los costos usuario antes y después de AGPE		
Costo de energía activa	\$ 225.486,45	Ahorro (incluye autoconsumo e inyección de excedentes Tipo 1)
Valor subsidio/contribución	\$ 92.043,00	Disminución de la aplicación del beneficio
IAP (\$)	\$ 35.081,42	Ahorro económico
IAP (%)	42%	Ahorro porcentual
Excedentes Tipo 1	-\$ 4.079,59	Costo por la inyección de Exc. Tipo 1
Excedentes Tipo2	\$ 0,00	Beneficio por venta de energía
Total	\$ 348.531,28	Beneficio total de ahorro AGPE

c) Variación de los costos de los usuarios antes y después de AGPE

Tabla 21

Factura para usuarios del sector comercial del municipio de Girón con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes y nivel de generación SFV del 100%, antes y después de ser AGPE

Factura usuario antes de AGPE		Factura AGPE	
Información general		Información general	
CU	\$ 945,00	CU	\$ 945,00
		Co	\$ 126,03
		PB promedio bolsa	\$ 543,45
Estrato o sector	Comercial	Estrato o sector	Comercial
Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%	Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	18%	IAP	18%
Cuantificación energética		Cuantificación energética	
Consumo de energía activa	487	Importación	213,09
		Excedentes Tipo 1	203,31
		Excedentes Tipo 2	0,00
Valoración financiera		Valoración financiera	
Costo de consumo de energía activa	\$ 460.215	Costo de importación	\$ 9.242
		Excedentes Tipo 1	\$ 25.623
		Excedentes Tipo2	\$ -

Valor subsidio/contribución	\$ 92.043	Valor subsidio	\$ -
Subtotal	\$ 552.258	Valor contribución	\$ 40.274
IAP	\$ 82.839	Subtotal	\$ 34.865
Total	\$ 635.097	IAP	\$ 36.247
		Total	\$ 71.112

a) Factura usuario antes de AGPE

b) Factura usuario después de AGPE

Variaciones de los costos usuario antes y después de AGPE		
Costo de energía activa	\$ 450.972,90	Ahorro (incluye autoconsumo e inyección de excedentes Tipo 1)
Valor subsidio/contribución	\$ 92.043,00	Disminución de la aplicación del beneficio
IAP (\$)	\$ 46.592,09	Ahorro económico
IAP (%)	56%	Ahorro porcentual
Excedentes Tipo 1	-\$ 25.623,16	Costo por la inyección de Exc. Tipo 1
Excedentes Tipo2	\$ 0,00	Beneficio por venta de energía
Total	\$ 563.984,83	Beneficio total de ahorro AGPE

c) Variación de los costos de los usuarios antes y después de AGPE

Tabla 22

Factura para usuarios del sector comercial del municipio de Girón con el consumo de energía mensual de 487 kWh/mes y nivel de generación SFV del 200%, antes y después de ser AGPE

Factura usuario antes de AGPE		Factura AGPE	
Información general		Información general	
CU	\$ 945,00	CU	\$ 945,00
		Co	\$ 126,03
		PB promedio bolsa	\$ 543,45
Estrato o sector	Comercial	Estrato o sector	Comercial
Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%	Subsidio (<0%) / Contribución (>0%)	20%
IAP	18%	IAP	18%
Cuantificación energética		Cuantificación energética	
Consumo de energía activa	487	Importación	180,30
		Excedentes Tipo 1	180,30
		Excedentes Tipo 2	467,44
Valoración financiera		Valoración financiera	

Costo de consumo de energía activa	\$ 460.215	Costo de importación	\$ -
		Excedentes Tipo 1	\$ 22.723
		Excedentes Tipo2	-\$ 254.032,39
Valor subsidio/contribución	\$ 92.043	Valor subsidio	\$ 0,00
		Valor contribución	\$ 34.076,70
Subtotal	\$ 552.258	Subtotal	-\$ 231.309,18
IAP	\$ 82.839	IAP	\$ 30.669,03
Total	\$ 635.097	Total	-\$ 200.640,15
a) Factura usuario antes de AGPE		b) Factura usuario después de AGPE	

Variaciones de los costos usuario antes y después de AGPE			
Costo de energía activa	\$ 460.215,00	Ahorro (incluye autoconsumo e inyección de excedentes Tipo 1)	
Valor subsidio/contribución	\$ 92.043,00	Disminución de la aplicación del beneficio	
IAP (\$)	\$ 52.169,67	Ahorro económico	
IAP (%)	63%	Ahorro porcentual	
Excedentes Tipo 1	-\$ 22.723,21	Costo por la inyección de Exc. Tipo 1	
Excedentes Tipo2	\$ 254.032,39	Beneficio por venta de energía	
Total	\$ 835.736,85	Beneficio total de ahorro AGPE	

c) Variación de los costos de los usuarios antes y después de AGPE

9. Variación de la tarifa de alumbrado público según el nivel de consumo mensual y la capacidad de autogeneración fotovoltaica

Teniendo en cuenta todos los cálculos realizados en los Capítulos antecesores para los usuarios residenciales y comerciales, sin y con AGPE en el AMB, se realiza un análisis comparativo del valor de la tarifa del servicio de energía eléctrica y del concepto de alumbrado público en la facturación mensual de cada usuario.

Con este resumen, cada usuario podría contar con información adicional para evaluar qué tan viable puede ser la implementación de un SFV para autogeneración en su municipio, estimando

el ahorro o ganancia mensual producto de la disminución en el pago de la energía importada y, por lo tanto, del IAP ya que es proporcional ambos factores entre sí.

Para este análisis se tiene en cuenta los tres niveles de generación planteados (50%, 100% y 200%) para cada consumo de energía sin AGPE de los usuarios residenciales y comerciales en AMB, porque de esa manera se establece económica y porcentualmente la disminución del impuesto de alumbrado público a cancelar, para que cada usuario decida cuál es la mejor capacidad de generación de los SFV que requiere según el ahorro o ganancia mensual que pretende tener de 238 kWh/mes de estrato 6 para Bucaramanga y 487 kWh/mes del sector comercial para Girón de la Tabla 3. Para los niveles de consumo de la Tabla 3, también se realizan los mismos cálculos mencionados y se adjuntan en el Apéndice E.

9.1 Estimación de la variación de la tarifa del servicio de energía y del impuesto de alumbrado público antes y después de la implementación de la autogeneración fotovoltaica en Bucaramanga

Para realizar el análisis de las facturas del servicio de energía eléctrica en el municipio de Bucaramanga antes y después de que los usuarios se conviertan en AGPE, se debe tener en cuenta los cálculos realizados en el Capítulo 8 donde se recopila toda la información objeto de facturación por parte de los operadores de red. A continuación, se presenta el análisis de la factura del servicio de energía eléctrica con el impuesto de alumbrado público para los usuarios del sector residencial (estratos 1 y 2, 4 y 6) y comercial con los consumos de energía para cada nivel de generación calculado (50%, 100% y 200%).

Tabla 23

Resumen valor de tarifas a cancelar para usuarios con y sin AGPE del sector residencial y comercial del municipio de Bucaramanga con los consumos de energía mensual con capacidad de generación del 50%, 100% y 200%. Los valores negativos son ganancias del usuario

Valor final de la factura del servicio de energía						
	Estratos 1 y 2			Estrato 4		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	250 kWh/mes			175 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 118.125,00	\$ 118.125,00	\$ 118.125,00	\$ 181.913,00	\$ 181.913,00	\$ 181.913,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 67.508,00	\$ 34.556,00	-\$ 97.497,00	\$ 99.037,00	\$ 27.453,00	-\$ 68.501,00
% Disminución pago factura	43%	71%	183%	46%	85%	138%
	Estrato 6			Comercial		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	238 kWh/mes			487 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 292.383,00	\$ 292.383,00	\$ 292.383,00	\$ 621.290,00	\$ 621.290,00	\$ 621.290,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 130.465,00	\$ 31.171,00	-\$ 97.766,00	\$ 280.134,00	\$ 67.313,00	-\$ 202.899,00
% Disminución pago factura	55%	89%	133%	55%	89%	133%
Valor final del impuesto de alumbrado público						
	Estratos 1 y 2			Estrato 4		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	250 kWh/mes			175 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 23.625,00	\$ 23.625,00	\$ 23.625,00	\$ 16.538,00	\$ 16.538,00	\$ 16.538,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 15.100,00	\$ 14.144,00	\$ 13.579,00	\$ 10.977,00	\$ 10.255,00	\$ 9.397,00
% Disminución pago factura	36%	40%	43%	34%	38%	43%

Nivel de generación	Estrato 6			Comercial		
	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	238 kWh/mes			487 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 22.491,00	\$ 22.491,00	\$ 22.491,00	\$ 69.032,00	\$ 69.032,00	\$ 69.032,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 13.119,00	\$ 11.304,00	\$ 10.806,00	\$ 40.132,00	\$ 30.444,00	\$ 25.813,00
% Disminución pago factura	42%	50%	52%	42%	56%	63%

9.2 Estimación de la variación de la tarifa del servicio de energía y del impuesto de alumbrado público antes y después de la implementación de la autogeneración fotovoltaica en Girón

Para realizar el análisis de las facturas del servicio de energía eléctrica en el municipio de Girón antes y después de que los usuarios se conviertan en AGPE, se debe tener en cuenta los cálculos realizados en el Capítulo 8 donde se recopila toda la información objeto de facturación por parte de los operadores de red. A continuación, se presenta el análisis de la factura del servicio de energía eléctrica con el impuesto de alumbrado público para los usuarios del sector residencial (estratos 1 y 2, 4 y 6) y comercial con los consumos de energía para cada nivel de generación calculado (50%, 100% y 200%).

Tabla 24

Resumen valor de tarifas a cancelar para usuarios con y sin AGPE del sector residencial y comercial del municipio de Girón con los consumos de energía mensual con capacidad de generación del 50%, 100% y 200%. Los valores negativos son ganancias del usuario

Valor final de la factura del servicio de energía						
Estratos 1 y 2				Estrato 4		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	250 kWh/mes			175 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 132.300,00	\$ 132.300,00	\$ 132.300,00	\$ 195.143,00	\$ 195.143,00	\$ 195.143,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 76.208,00	\$ 42.999,00	-\$ 90.378,00	\$ 107.577,00	\$ 35.191,00	-\$ 61.473,00
% Disminución pago factura	42%	67%	168%	45%	82%	132%
Estrato 6				Comercial		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	238 kWh/mes			487 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 310.376,00	\$ 310.376,00	\$ 310.376,00	\$ 635.097,00	\$ 635.097,00	\$ 635.097,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 139.943,00	\$ 39.299,00	-\$ 90.240,00	\$ 286.565,00	\$ 71.112,00	-\$ 200.640,00
% Disminución pago factura	55%	87%	129%	55%	89%	132%
Valor final del impuesto de alumbrado público						
Estratos 1 y 2				Estrato 4		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	250 kWh/mes			175 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 37.800,00	\$ 37.800,00	\$ 37.800,00	\$ 29.768,00	\$ 29.768,00	\$ 29.768,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 24.041,00	\$ 22.762,00	\$ 21.829,00	\$ 19.803,00	\$ 18.563,00	\$ 17.124,00
% Disminución pago factura	36%	40%	42%	33%	38%	42%
Estrato 6				Comercial		
Nivel de generación	50%	100%	200%	50%	100%	200%
Consumo	238 kWh/mes			487 kWh/mes		
Valor a cancelar usuario No AGPE	\$ 40.484,00	\$ 40.484,00	\$ 40.484,00	\$ 82.839,00	\$ 82.839,00	\$ 82.839,00
Valor a cancelar usuario AGPE	\$ 23.280,00	\$ 20.325,00	\$ 19.476,00	\$ 47.757,00	\$ 36.247,00	\$ 30.669,00
% Disminución pago factura	42%	50%	52%	42%	56%	63%

10. Conclusiones

La implementación de un SFV con medidor bidireccional para generar energía, ya sea solo como autoconsumo o adicionalmente para exportar la energía a la red, genera una disminución de la energía importada de la red y, por lo tanto, disminuye el valor del pago del servicio de alumbrado público en el AMB.

El valor del IAP se factura sobre la energía importada de la red, por eso es importante realizar actividades que demanden mayor consumo de energía en las horas donde están los paneles FV generando energía para evitar que el medidor registre mayor cantidad de energía importada de la red en las horas que están los paneles FV sin generación de energía.

De acuerdo a los resultados de la capacidad de generación de los SFV en los municipios del AMB, Floridablanca y Piedecuesta tienen mejor capacidad de generación y se puede evidenciar porque desde el nivel de generación deseado de energía al 100% sobre el consumo mensual de cada usuario, entregan excedentes tipo 2 a la red, lo cual significa que la energía exportada supera la energía importada.

El porcentaje de disminución del valor final del recibo de energía eléctrico y del cobro del IAP es casi igual para los tres niveles de consumo establecidos por sector en cada uno de los tres niveles de penetración (50%, 100% y 200%) porque el aumento de la tarifa de ambos cobros es proporcional en los usuarios con y sin AGPE.

El nivel de generación de energía deseado sobre el consumo de energía sin AGPE, dependerá del valor estimado de inversión en el SFV y el tiempo proyectado para recuperar la inversión.

Los AGPE pueden generar su propia energía de diferentes fuentes renovables y no renovables, aunque se desea que sean fuentes renovables para disminuir las emisiones de dióxido de carbono y la energía solar es una excelente fuente de energía porque en los municipios del AMB hay buena irradiación solar entre los 4,3 y 5,33 kWh/m²-día.

Cada uno de los municipios del AMB tienen diferentes valores de impuesto al alumbrado público, siendo Bucaramanga el municipio con el IAP más bajo para el sector residencial y Floridablanca el municipio con el impuesto de alumbrado público más bajo para el sector comercial. Girón es el municipio con el impuesto más alto para los sectores residencial y comercial.

El valor del subsidio o contribución que aplica para el sector residencial según el estrato y el sector comercial, no afecta la tarifa que se cobra en el impuesto de alumbrado público ya que ambos cobros se realizan sobre la energía activa, la energía importada de la red.

11. Recomendaciones

Cuando se va realizar la instalación de un SFV con medidor bidireccional, es importante tener en cuenta el tiempo que demora el operador de red en realizar el cambio de medidor porque no se podrá exportar energía a la red y no se generarán excedentes tipo 2 que son la remuneración que se recibe por entregar energía al operador de red.

Asesorarse correctamente en el diseño y montaje de los SFV con empresas que tengan experiencia en el mercado para que la inversión realizada se pueda recuperar a corto plazo y si es posible generar ganancias a mediano plazo.

Consultar con personas conocidas que tengan SFV como ha sido su experiencia con dicho sistema, cuáles han sido los pro y contra del proyecto realizado, cuanto fue la inversión realizada y el retorno de la inversión.

La facturación del servicio de energía eléctrica para usuarios AGPE tiene un anexo de soporte para validar las medidas tomadas por el medidor bidireccional de la energía importada y exportada a la red que debe revisarse a detalle porque en ocasiones los operadores de red no reconocen los excedentes tipo 1 y 2, generando pérdidas a los usuarios al no incluirse las ganancias generadas por exportar a la red.

Se debe realizar mantenimiento periódicamente a los paneles FV para garantizar que pueden funcionar en plenitud de condiciones y generar energía de acuerdo a los cálculos realizados en los diseños.

Referencias Bibliográficas

- Monterroza, A. (2016). *Un caso de estudio sobre el dimensionamiento de un sistema de generación solar fotovoltaico conectado a la red de distribución de Energía eléctrica en la ciudad de Bucaramanga (Monografía de grado)*. Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.
- Vargas, E, y Mantilla, R (2024) *Evaluación de tecnologías de una infraestructura de medición avanzada (AMI) aplicable a la red de distribución de la electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (Monografía de grado)*. Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.
- Ortiz, E, y Sepúlveda, O (2016). *Telegestión para el sistema eléctrico de alumbrado público en el municipio de Bucaramanga (Monografía de grado)*. Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.
- García, H, y López, S (2022). *Procedimiento para la implementación de un sistema fotovoltaico en el sistema de distribución local (SDL), basado en la normatividad vigente en Colombia (Monografía de grado)*. Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.
- Acuerdo No. 044 de 2008 [Concejo Municipal de Bucaramanga]. Por el cual se expide el estatuto tributario del municipio de Bucaramanga. Diciembre 22 de 2008.
- Acuerdo No. 012 de 2021 [Concejo Municipal de Floridablanca]. Por el cual se actualiza, compila, modifica, adiciona y adopta el estatuto tributario del municipio de Floridablanca, Santander. Septiembre 28 de 2021.

Acuerdo No. 053 de 2017 [Concejo Municipal de Girón]. Por medio del cual se modifican algunos artículos del acuerdo No. 017 de septiembre 30 de 2016 “Estatuto tributario municipal” y se dictan otras disposiciones. Diciembre 15 de 2017.

Acuerdo No. 044 de 2022 [Concejo Municipal de Piedecuesta]. Por el cual se expide el estatuto tributario del municipio de Piedecuesta. Febrero 22 de 2022.

Arroyo, J. (2021). *Analizador (Excel) + PVGIS*. [Vídeo] YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=XkFoDuVjpQ8&t=2s>

CREG. (2019-2024). Gestor normativo – Alejandría.

<https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/index.html>

ESSA Grupo EPM. (2024). Alumbrado público.

<https://www.essa.com.co/site/clientes/estado/alumbrado-publico>

Apéndices

“Los apéndices están adjuntos y se pueden consultar en el Repositorio Institucional”

Apéndice A. Cálculo de potencia base, potencia horaria y curva de demanda para usuario del sector residencial (según el estrato) y comercial

Apéndice B. Cálculo de la capacidad instalada – CI de sistemas fotovoltaicos para usuarios del sector residencial (según el estrato) y comercial en los cuatro municipios del AMB.

Apéndice C. Curvas de demanda y generación de SFV para usuarios del sector residencial y comercial en los cuatro municipios del AMB

Apéndice D. Cálculo de la tarifa del impuesto de alumbrado público antes y después de la integración de la autogeneración fotovoltaica para los cuatro municipios del AMB

Apéndice E. Estimación de la variación de la tarifa del servicio de energía y del impuesto de alumbrado público antes y después de la implementación de la autogeneración fotovoltaica para los cuatro municipios del AMB