

**ESTANDARIZACIÓN DEL CONTRATO DE RESPALDO PARA LOS
CLIENTES NO REGULADOS DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMPAÑÍA
ENERGÉTICA DE OCCIDENTE (CEO)**



Juan Diego García Salazar

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca
2024

**ESTANDARIZACIÓN DEL CONTRATO DE RESPALDO PARA LOS
CLIENTES NO REGULADOS DE ENERGÍA SOLAR DE LA COMPAÑÍA
ENERGÉTICA DE OCCIDENTE (CEO)**



Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de: Ingeniero
en Automática Industrial

Modalidad: Práctica Profesional

Juan Diego García Salazar

Asesor de la empresa: *Ing. Herman Eliecer Gaitán valencia*

Director: *Ing. Maximiliano Bueno López*

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca

2024

PAGINA DE ACEPTACIÓN

DEDICATORIA

A mis padres, que me han apoyado incondicionalmente en todo momento, con su amor, su paciencia y su sabiduría. Gracias por creer en mí y por darme la oportunidad de cumplir mis sueños.

A mis abuelos, que me han enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y la gratitud. Gracias por sus consejos y sus bendiciones.

A mi hermano, por ser mi apoyo en los momentos que lo he necesitado y por estar para mis padres cuando yo estaba ausente.

A mi novia, que ha sido mi compañía durante estos años y me ha motivado a cumplir mis metas aun en los momentos difíciles. Gracias por tu comprensión, tu amor y apoyo.

Este trabajo de grado es para ustedes. Es un testimonio de su amor, apoyo y sacrificios.

Los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, que ha sido mi pilar, mi refugio y mi motivación. Gracias por su amor, su apoyo y su confianza. Sin ustedes, nada de esto hubiera sido posible.

Agradezco a la Universidad del Cauca por brindarme una educación superior pública de alta calidad y por acrecentar en mí el pensamiento colectivo. Agradezco especialmente a mi facultad, a mi programa y a mis profesores, por su formación académica, su orientación profesional y su apoyo personal.

Agradezco especialmente a mi tutor y profesor, el ingeniero Maximiliano Bueno López, por su asesoría, su acompañamiento, su conocimiento y su evaluación durante el desarrollo de mi trabajo de grado.

Agradezco a la Compañía Energética de Occidente (CEO) por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales, en especial a todo el equipo de la Dirección de Servicios Energéticos y Compras de Energía por su confianza, cariño y apoyo.

Agradezco especialmente a mi tutor, el ingeniero Herman Eliecer Gaitán, por su confianza, su orientación y su apoyo durante todo el proceso de aprendizaje. Su experiencia, su conocimiento y su liderazgo fueron fundamentales para el éxito de mi proyecto.

¡¡Muchas gracias!!

RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo detallar el trabajo adelantado en el marco de las prácticas profesionales desarrolladas en la Compañía Energética de Occidente (CEO), proponiendo un modelo de cálculo, estándar y ajustado a la regulación, para los costos asociados a contrato de respaldo para los clientes autogeneradores de energía mediante sistemas solares fotovoltaicos de la CEO, además del desarrollo de una interfaz para el reporte de informe de generación mensual.

En primera instancia se identificaron las oportunidades de mejora en los procesos del área de Servicios Energéticos de la CEO, encargada de la gestión de los proyectos de sistemas solares fotovoltaicos, además de los requerimientos de los clientes, para posteriormente ejecutar una revisión minuciosa de las normativas vigentes, y se consolidaron las bases de datos de los clientes.

Se propuso un modelo de cálculo basado en la metodología establecida en la resolución 015 de 2018 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para los costos de respaldo, además de realizar el acompañamiento en el proceso de legalización para algunos clientes autogeneradores. Además, se implementó una interfaz en Power Bi para facilitar el ingreso de datos y disminuir los tiempos de proceso en la generación de reportes. Los resultados obtenidos permitieron validar el modelo de cálculo, y tener una herramienta a la hora de brindar asesoría a los clientes para la suscripción del contrato de respaldo, blindando sus ahorros y por otra parte, la interfaz, permitió disminuir los tiempos de proceso y facilitar el acceso de los clientes a la información de generación de su sistema solar fotovoltaico.

Palabras clave: Autogenerador, solar, contrato de respaldo, generación, interfaz.

ABSTRACT

The objective of this document is to detail the work carried out within the framework of the professional practices developed at the Western Energy Company (CEO), proposing a calculation model, standard and adjusted to the regulation, for the costs associated with the support contract for clients self-generating energy through solar photovoltaic systems of the CEO, in addition to the development of an interface for the monthly generation report report.

In the first instance, opportunities for improvement were identified in the processes of the Energy Services area of the CEO, in charge of managing photovoltaic solar system projects, in addition to customer requirements, to subsequently carry out a thorough review of the regulations. current and customer databases were consolidated.

A calculation model was proposed based on the methodology established in resolution 015 of 2018 of the Energy and Gas Regulation Commission (CREG) for backup costs, in addition to providing support in the legalization process for some self-generating clients. In addition, an interface was implemented in Power Bi to facilitate data entry and reduce process times in generating reports. The results obtained allowed us to validate the calculation model, and have a tool when providing advice to clients for the subscription of the support contract, shielding their savings and on the other hand, the interface, allowed us to reduce process times and facilitate customer access to generation information from their solar photovoltaic system.

Keywords: Autogenerator, solar, backup contract, generation, interface.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	Marco referencial: Las energías renovables en Colombia	10
1.2	Compañía Energética de Occidente CEO	12
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo General.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	MARCO TEÓRICO	17
2.1	Energía Eléctrica	17
2.2	Energía Renovable.....	17
2.3	Energía solar.....	18
2.4	Sistemas solares fotovoltaicos	19
2.5	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red	20
2.6	Capacidad instalada	21
2.7	Clientes no regulados.....	21
2.8	Perfil de carga.....	22
2.9	Energía Reactiva	22
2.10	Contrato de respaldo	23
2.11	MARCO LEGAL	23
2.11.1	Resolución CREG 070 de 1998.....	23
2.11.2	Ley 1715 de 2014	24
2.11.3	Resolución CREG 015 de 2018.....	24
2.11.4	Resolución CREG 36 de 2019.....	24
2.11.5	Resolución CREG 174 DE 2021	25
2.11.6	Resolución UPME 320 de 2022.....	25
3	DESARROLLO	26
3.1	Actividades y cronograma.....	26
3.2	Modelo de Cálculo de Costos para el Contrato de Respaldo	27
3.2.1	Identificación de los procesos del área de Servicios Energéticos de la CEO	28
3.2.2	Revisión de la regulación vigente	45
3.2.3	Muestreo de clientes con sistemas solares fotovoltaicos de la CEO .	48

3.2.4	Modelo de cálculo de costos por respaldo para los clientes solares de la CEO	49
3.3	Interfaz de Reporte de Generación Mensual	52
3.3.1	Identificación de requerimientos	52
3.3.2	Recopilación de bases de datos de los clientes solares de la CEO ..	55
3.3.3	Desarrollo de la interfaz de informe de generación	61
3.3.4	Pruebas de funcionamiento y capacitación	67
4	CONCLUSIONES	68
4.1	Contribuciones del trabajo de grado	68
4.2	Conclusiones.....	68
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: La electricidad verde en Latinoamérica. Fuente [48].</i>	11
<i>Figura 2: Clientes solares de la CEO. Fuente [40]</i>	14
<i>Figura 3: CEO solar. Fuente: [52].</i>	14
<i>Figura 4: Tiempos de legalización. Fuente [52].</i>	15
<i>Figura 5: Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la Red. Fuente: [29].</i>	21
<i>Figura 6: Diagrama de flujo gestión de los proyectos SFV. Fuente [52].</i>	28
<i>Figura 7: Diagrama de flujo del proceso de prefactibilidad. Fuente [52].</i>	30
<i>Figura 8: Diagrama de flujo de diseño de SFV. Fuente [52].</i>	35
<i>Figura 9: Diagrama de flujo de construcción y puesta en marcha de SFV. Fuente [52].</i>	40
<i>Figura 10: Diagrama de flujo de puesta en servicio. Fuente [52].</i>	41
<i>Figura 11: Arquitectura de comunicación SFV. Fuente [52].</i>	42
<i>Figura 12: Ecuación de cumplimiento de generación. Fuente [52].</i>	44
<i>Figura 13: Power Bi de estatus de legalización. Fuente [Elaboración propia].</i>	48
<i>Figura 14: Power Bi de estatus de legalización. Fuente [Elaboración propia].</i>	49
<i>Figura 15: Modelo de Cálculo Costos Por Respaldo de Red. Fuente [Elaboración propia].</i>	50
<i>Figura 16: Determinación de la variable h. [Elaboración propia]</i>	51
<i>Figura 17: Inversión en líneas y equipos. Fuente [Elaboración propia].</i>	51
<i>Figura 18: AOM. Fuente [Elaboración propia].</i>	52
<i>Figura 19: Estado Actual de los Reportes de Generación. Fuente [52].</i>	53
<i>Figura 20: Power Bi. Fuente [55].</i>	55
<i>Figura 21: Base de datos información del cliente. Fuente [Elaboración propia].</i>	57
<i>Figura 22: Base de datos de la generación estimada. Fuente [Elaboración propia]</i>	59
<i>Figura 23: Factor de emisión de CO₂. Fuente[56].</i>	60
<i>Figura 24: Plantilla de cargue de generación. Fuente [Elaboración propia].</i>	61
<i>Figura 25: Vinculación de bases de datos. Fuente [Elaboración propia].</i>	62
<i>Figura 26: Vinculación de bases de datos. Fuente [Elaboración propia].</i>	62
<i>Figura 27: Relaciones entre tablas. Fuente [Elaboración propia].</i>	63
<i>Figura 28: Información general del cliente. Fuente [Elaboración propia].</i>	63
<i>Figura 29: Generación mensual. Fuente [Elaboración propia].</i>	64
<i>Figura 30: Ahorros. Fuente [Elaboración propia].</i>	64
<i>Figura 31: Ton CO₂/eq. Fuente [Elaboración propia].</i>	64
<i>Figura 32: Medidas calendario. Fuente [Elaboración propia].</i>	65
<i>Figura 33: Medida de histórico de generación. Fuente [Elaboración propia].</i>	65
<i>Figura 34: Gráfico de generación. Fuente [Elaboración propia].</i>	65
<i>Figura 35: CEO solar. Fuente [Elaboración propia].</i>	66
<i>Figura 36: Mensaje CEO solar. Fuente [Elaboración propia].</i>	66
<i>Figura 37: Interfaz de reporte de generación mensual. Fuente [Elaboración propia].</i>	67

1 INTRODUCCIÓN

La discusión global sobre la política energética está dominada por la transición energética y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta discusión ha llevado a una presión creciente para que los países restrinjan la producción y consumo de combustibles fósiles y hagan una transición acelerada a la producción y consumo de energía de bajas emisiones para contribuir en la lucha contra el calentamiento global [1].

Colombia ha fijado sus metas de descarbonización de manera similar a las de la mayoría de los países de la región y se ha comprometido a reducir sus emisiones en un 51% para 2030 frente a su escenario base y a alcanzar la carbono neutralidad en 2050. Se han tomado diversas iniciativas de formulación de política en temas como crecimiento verde, eficiencia energética, energías renovables e hidrógeno. También se ha avanzado en la implementación de iniciativas como los incentivos para acciones de eficiencia energética o movilidad sostenible y las subastas de renovables para diversificar la canasta y aumentar su participación en la matriz de generación [1].

Con una matriz eléctrica que tradicionalmente ha dependido de las hidroeléctricas y termoeléctricas que cubren aproximadamente el 99% de la energía generada, el país está haciendo esfuerzos concertados para diversificar sus fuentes de energía y aumentar la proporción de energías renovables no convencionales [4] pues, la dependencia de la hidroelectricidad ha hecho al país vulnerable a los cambios climáticos, como los períodos de sequía causados por el fenómeno de El Niño [5].

En el caso de Colombia, el Ministerio de Minas y Energía ha establecido como objetivo fundamental adelantar una transición energética justa y sostenible, que busque asegurar la soberanía energética del país, el acceso democrático a la energía y acciones claras para enfrentar el cambio climático [2]. La transición energética en Colombia gira alrededor de cinco ejes fundamentales: mayores inversiones en energías limpias y descarbonización; la sustitución progresiva de la demanda de combustibles fósiles; una mayor eficiencia energética; la revisión y eventual flexibilización de la regulación para acelerar la generación de energías limpias y la reindustrialización de la economía colombiana [3].

La energía solar, ha ganado un lugar prominente y creciente en la matriz energética de Colombia [4] [5], lo que se traduce en desafíos para las empresas en la implementación de las regulaciones con el fin de optimizar y garantizar a los clientes la continuidad del suministro.

El presente trabajo de grado se enmarca en el contexto de las prácticas profesionales realizadas en la Compañía Energética de Occidente (CEO), identificándose la necesidad de estandarizar y generar un modelo de cálculo para el contrato de respaldo, que la CREG define para los autogeneradores, dados los impactos que este tiene en los ahorros y su poco conocimiento para ejecutar la negociación con el operador de red, esto sumado a los largos reprocesos identificados en el proceso de legalización, fundamental para la exoneración del cobro de energía reactiva.

Este documento presenta inicialmente la contextualización de la situación de la Compañía Energética de Occidente y la presentación de objetivos, seguido del marco teórico y legal con el fin de afianzar los conocimientos en torno al tema a desarrollar, para seguidamente presentar la metodología implementada y finalmente presentar los hallazgos, resultados y conclusiones de este proyecto. Se espera que una vez se cumplan los objetivos propuestos se contribuya a mejorar la eficiencia y la efectividad de los procesos intervenidos en la CEO.

1.1 Marco referencial: Las energías renovables en Colombia

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales que se regeneran más rápido de lo que se consumen, como la luz solar, el viento, el agua, la biomasa o el calor de la tierra. Estas energías tienen la ventaja de ser más limpias y sostenibles que los combustibles fósiles, que son la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminación ambiental [41]. Sin embargo, las energías renovables también presentan algunos desafíos técnicos, económicos y sociales para su desarrollo e integración en el sistema energético.

Los combustibles fósiles siguen siendo la principal fuente de energía en la mayoría de los países, incluidos los desarrollados. En Estados Unidos, por ejemplo, los combustibles fósiles representan casi el 80% del suministro energético. Estos combustibles son utilizados en una amplia gama de sectores, como el transporte, la agricultura y la producción de electricidad. En América Latina, la situación es aún más compleja. Los países de la región tienen un gran potencial para desarrollar energías renovables, pero la falta de recursos, la regulación deficiente y los conflictos sociales han obstaculizado la construcción de proyectos importantes. Según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en 2021, América Latina alcanzó una capacidad instalada de producción de energías renovables del 60%, principalmente debido a las fuentes hidroeléctricas [48].

Según el Índice de Transición Energética (ETI) del Foro Económico Mundial, Colombia es el tercer país de América Latina con mayor avance en la materia, con un puntaje de 65,93%. Uruguay es el país que más destaca en la región, con un

puntaje de 70,59%, seguido por Costa Rica, con 66,17%. Brasil ocupa el cuarto lugar, con 65,87%, y Chile, el quinto, con 65,08% [48].

A continuación, se presenta el porcentaje de electricidad generada por energías limpias en el año 2021 para Latinoamérica.

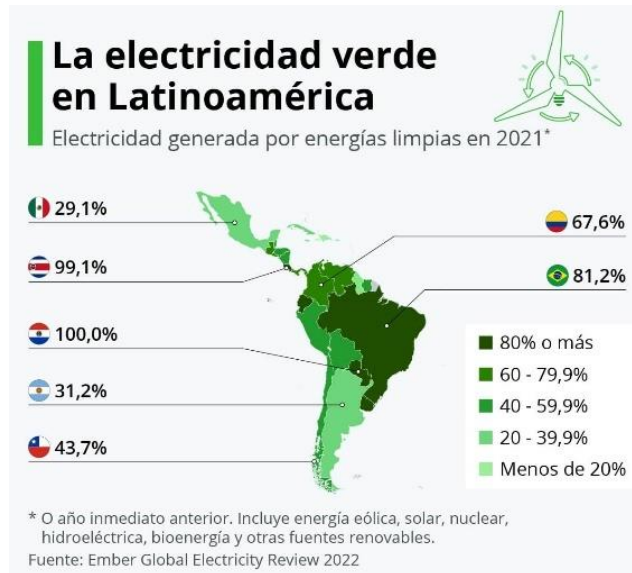


Figura 1: La electricidad verde en Latinoamérica. Fuente [48].

Colombia es un país con un gran potencial de energías renovables, debido a su diversidad geográfica, por estar ubicado en la zona ecuatorial y además por contar con climas y ecosistemas variados favoreciendo la generación de energía a partir de fuentes alternativas derivadas del viento, el sol y de los residuos de biomasa como los de la caña de azúcar, aceite de palma, arroz y plátano [42]. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la capacidad de energía renovable total de Colombia en 2020 fue de 13,552 MW, de los cuales el 93% provino de energía hidroeléctrica de 33 centrales [43]. Sin embargo, la participación de otras fuentes de energía renovable no convencional, como la solar, la eólica, la geotérmica o la biomasa, fue muy baja, representando solo el 1.5% de la matriz eléctrica nacional [43].

No obstante, Colombia ha mostrado un interés creciente por impulsar el desarrollo de las fuentes de energía renovable no convencional, tanto por razones ambientales como por razones de seguridad y diversificación energética. El país se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% para 2030, y a alcanzar la carbono neutralidad para 2050 [44]. Además, Colombia ha enfrentado varias crisis energéticas por los efectos del fenómeno de El Niño, que ha afectado la generación hidroeléctrica, y por los ataques a la infraestructura eléctrica por parte de grupos armados ilegales. Por ello, el gobierno ha

implementado varias medidas para fomentar las FNCER, como la subasta de energía de largo plazo, la ley de generación distribuida, la exención de aranceles e impuestos, y la creación de fondos y programas de financiación [45]. Estas medidas han incentivado la inversión privada en proyectos de FNCER, especialmente en energía solar y eólica, que son las más competitivas y abundantes en el país. Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Colombia pasó de tener 28 MW de capacidad instalada de FNCER en 2018 a tener 725,38 megavatios (MW) de capacidad instalada en mayo del 2022 [46].

Sin embargo, el desarrollo de las FNCER en Colombia también enfrenta varios desafíos, tanto a nivel técnico como a nivel económico y social. Entre los desafíos técnicos se encuentran la intermitencia y la variabilidad de las fuentes solar y eólica, que requieren de sistemas de almacenamiento y respaldo; la integración de la generación distribuida y la microredes a la red eléctrica nacional; y la expansión y el fortalecimiento de la infraestructura de transmisión y distribución [47]. Entre los desafíos económicos se encuentran la competencia con los precios bajos de la energía hidroeléctrica y los combustibles fósiles subsidiados; la falta de acceso al crédito y a los mercados financieros; y la incertidumbre regulatoria y legal [47]. Entre los desafíos sociales se encuentran la oposición de algunas comunidades locales y organizaciones ambientalistas a los proyectos de FNCER, por temor a los impactos negativos sobre el territorio, la biodiversidad y los derechos humanos; la necesidad de garantizar la participación y el consentimiento de los grupos étnicos y las poblaciones vulnerables; y la generación de empleo y desarrollo local [48].

En conclusión, las energías renovables son una alternativa viable y necesaria para la transición energética de Colombia, que puede contribuir a la mitigación del cambio climático, a la seguridad y diversificación energética, y al desarrollo económico y social del país. Sin embargo, para lograr este objetivo, se requiere de una mayor voluntad política, de una mayor inversión pública y privada, de una mayor coordinación entre los actores involucrados, y de una mayor sensibilización y educación de la sociedad.

1.2 Compañía Energética de Occidente CEO

La Compañía Energética de Occidente S.A.S. E.S.P, es una sociedad comercial, empresa de servicios públicos domiciliarios, del tipo de las sociedades por acciones simplificadas, la cual, tiene como objeto la celebración y ejecución del contrato de gestión para la realización de la gestión administrativa, operativa, técnica y comercial, la inversión, ampliación de coberturas, rehabilitación y mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura del servicio y demás actividades necesarias para la prestación de los servicios de distribución y comercialización de energía eléctrica en el departamento del Cauca [49].

La Compañía, desde su gestión misional, se compromete y asigna, de manera permanente, los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de los

clientes, contribuyendo al mejoramiento de su calidad de vida, garantizando la mejora continua de los procesos, productos y servicios con el fin de alcanzar la excelencia y eficiencia operacional, incrementar los ingresos, la satisfacción de los clientes; así como, el desarrollo y fortalecimiento del talento humano de la organización. En este sentido, brinda soluciones efectivas en la prestación del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, con el compromiso de crear valor compartido con sus grupos de interés, a través de relaciones de confianza, como factor clave en la búsqueda del equilibrio entre los componentes económico, social y ambiental [49].

Compañía Energética de Occidente permanece a la vanguardia tecnológica y como parte de su apuesta a la sostenibilidad ambiental, ha liderado el desarrollo de nuevas líneas de negocio entre las que se destaca la autogeneración de energía a partir de sistemas solares fotovoltaicos. El foco principal son las empresas e industrias de todo el territorio colombiano, para suplir parte de la demanda energética, y las instituciones educativas del departamento del Cauca, en el marco de la sostenibilidad y la responsabilidad social [10].

El modelo de negocio de CEO permite dar el salto a la transición energética con inversión cero lo que le permitirá a cada empresa ahorro, productividad, competitividad y sobre todo generar un impacto ambiental positivo [50]. El PPA o Paridad de Poder Adquisitivo, permite que los kWh consumidos del sistema solar se pague a una tarifa más baja que la convencional durante el tiempo pactado al inicio del proyecto, lo que permite obtener ahorros en la facturación de energía.

La Compañía Energética de Occidente, pasa actualmente los 30 MWp de capacidad instalada de energía solar a lo largo del territorio nacional, posicionándose en el mercado de soluciones energéticas renovables para el empresariado colombiano y contribuyendo con un modelo de desarrollo energético bajo en emisiones. CEO ha trabajado con empresas destacadas a nivel nacional como: Promigas, CMD transformadores, Clínica Reina Victoria, Hotel Tierra de Oro, Vallegres, Colombina y tiendas Olímpica, con presencia en 14 departamentos del territorio colombiano [10].

A continuación, se presentan la distribución geográfica de los clientes solares de la Compañía Energética de Occidente y fotos de los sistemas instalados en piso y cubierta.



Figura 2: Clientes solares de la CEO. Fuente [40]



Figura 3: CEO solar. Fuente: [52].

En los últimos años, los clientes de la compañía han acogido e implementado cada vez más los sistemas fotovoltaicos de energía solar, creando nuevos desafíos y oportunidades para la gestión de la red. La energía solar es una fuente de energía renovable y sostenible que ayuda a transformar la matriz energética y aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, su integración en la red eléctrica requiere abordar aspectos técnicos y regulatorios específicos, como la compensación de energía reactiva, la gestión de contratos de respaldo y el análisis estructural.

La situación actual de la Compañía muestra una insuficiente gestión de la integración de las plantas solares con la red eléctrica, de modo que, no se tiene completa confiabilidad en el suministro de la energía necesaria para mantener en funcionamiento los diferentes procesos, los cuales en muchos casos son críticos y por tal razón no puede ser desconectado de la red.

Un aspecto fundamental son los contratos de respaldo pues permite a través de un contrato bilateral entre el operador de red (OR) y el cliente, reservar una capacidad de uso en la red para respaldar el suministro de energía al usuario ya que, la generación solar está sujeta a variaciones estacionales, climáticas y diarias, lo que puede afectar la disponibilidad de energía en ciertos momentos. Todos los autogeneradores con una capacidad instalada igual o superior a 100kW deben contratar capacidad de respaldo de la red en común acuerdo con el OR [21], siendo un punto crítico actualmente pues el cliente no cuenta con el suficiente acompañamiento por parte de CEO de cuál debe ser la capacidad de respaldo optima que debe contratar para así blindar su proceso y mantener los ahorros que se han visto afectados por los costos de respaldo cobrados a los autogeneradores que se encuentran en otro mercado, por algunos operadores. Además, se presentan reprocesos y sobrecostos generados por las demoras y bajas en el proceso de legalización por vencimiento de los tiempos regulatorios para la suscripción del contrato de respaldo.

A continuación, se presentan los tiempos establecidos para la legalización de Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE), evidenciando que una vez se aprueba la conexión con la viabilidad se cuentan con 6 meses más una prórroga de 3 meses para establecerse como AGPE:

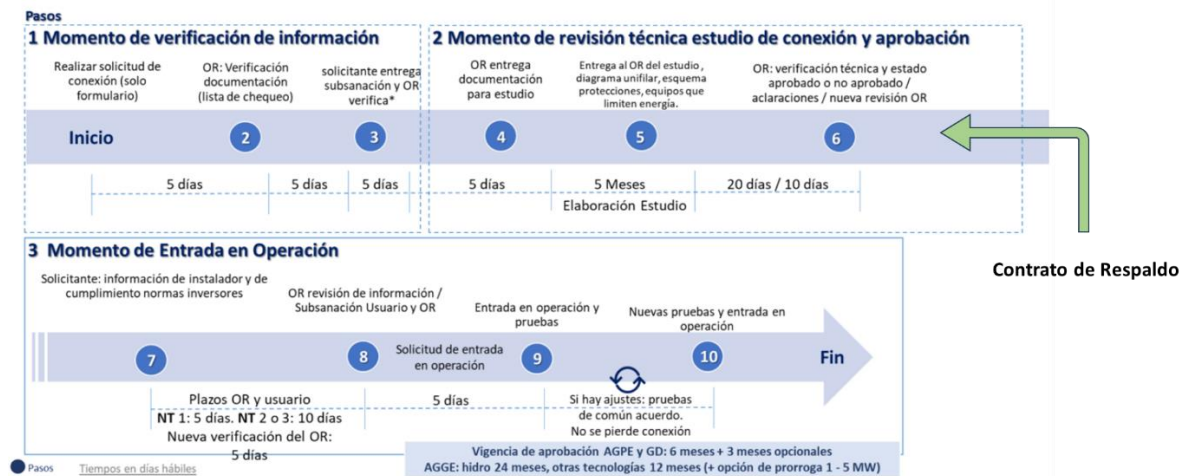


Figura 4: Tiempos de legalización. Fuente [52]

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Proponer la estandarización de los métodos a aplicar para el cálculo de ahorros en proyectos FNCER solar fotovoltaicos considerando los costos asociados a contrato de respaldo para los clientes no regulados de energía solar de la Compañía Energética de Occidente (CEO).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Proponer un modelo de cálculo para el contrato de respaldo de los clientes autogeneradores de la Compañía Energética de Occidente, que permita determinar de manera precisa los volúmenes y condiciones de suministro de potencia a respaldar y el impacto en sus ahorros.
- Desarrollar una interfaz que permita a los clientes autogeneradores de energía solar de la Compañía Energética de Occidente conocer oportunamente su generación mensual de modo que se agilice y simplifique el proceso de reporte mensual de generación solar a cargo del equipo de Servicios Energéticos, facilitando la recopilación de datos y mejorando la precisión y oportunidad de la información proporcionada por la Compañía Energética de Occidente mediante la implementación de un software con disponibilidad inmediata.

2 MARCO TEÓRICO

La presente sección tiene como objetivo proporcionar un marco teórico sólido y fundamentado para el presente trabajo de grado de prácticas profesionales en la Compañía Energética de Occidente (CEO).

En este marco teórico, se explorarán conceptos y teorías relacionadas con la generación de energía solar, la compensación de energía reactiva, el contrato de respaldo.

2.1 Energía Eléctrica

La energía es la propiedad que tiene todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse modificando su estado o posición. Así mismo puede actuar sobre otros originando sobre ello procesos de transformación [11].

Al hablar de energía eléctrica se hace referencia a la corriente de energía que se origina de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos determinados, cuando se los pone en contacto mediante un transmisor eléctrico. Dicha corriente consiste en la transmisión de cargas negativas (electrones) a través de un material propicio para ello, como suelen ser los metales desde el punto de su generación y/o almacenamiento hasta el punto de consumo que usualmente la aprovecha para convertirla en otras formas de energía: lumínica, mecánica o térmica [12].

La generación de energía eléctrica es un proceso que convierte otras formas de energía en electricidad. Las fuentes de energía utilizadas para este proceso pueden ser renovables, como la energía solar, eólica e hidroeléctrica, o no renovables, como los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y la energía nuclear [13].

2.2 Energía Renovable

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales [14]. Se consideran en principio limpias o verdes, porque contaminan muy poco, y no emiten los gases suficientes que producen el efecto de invernadero [15].

La importancia del impulso a las energías renovables y la eficiencia energética no sólo estriba en reducir la dependencia en la utilización de los combustibles fósiles, también se han creado nuevas oportunidades económicas y se ha desarrollado un mercado energético totalmente diversificado y más amigable con el medio ambiente [16].

A pesar de que la matriz energética eléctrica colombiana está conformada en su mayoría por recursos hidroeléctricos, es claro que cada vez se hace más difícil su construcción, ya que casi sistemáticamente en los últimos años y con la tendencia mundial hacia la protección de los recursos naturales, la sociedad se resiste a

construir represas y a afectar sus ecosistemas. En este panorama y ante el creciente descontento con la producción de energía a partir de combustibles fósiles, en el Congreso de Colombia promulgó la Ley 1715 de 2014, la cual determina las políticas para la promoción de la Fuentes de Energía No Convencionales, la respuesta de la Demanda y la gestión eficiente de la energía [17].

Estas incluyen la energía solar, eólica e hidroeléctrica.

Energía Solar: Se obtiene a partir de la radiación solar. Existen diferentes tecnologías para su aprovechamiento, entre las que se encuentran la fotovoltaica (que convierte la luz solar directamente en electricidad) y la térmica (que utiliza el calor del sol para producir electricidad) [18].

Energía Eólica: Se genera a través del viento. Los aerogeneradores capturan la energía cinética del viento y la convierten en electricidad [18].

Energía Hidroeléctrica: Se produce a partir del agua. Las centrales hidroeléctricas utilizan el flujo de agua (ríos, mareas) para mover turbinas que generan electricidad [18].

2.3 Energía solar

La energía solar es una forma de energía renovable que se obtiene a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol que es la principal fuente de luz y calor de la Tierra. El Sol emite constantemente enormes cantidades de energía. Una porción de ella impacta en la Tierra. Aproximadamente, el 30 % de esta energía es reflejada al espacio; el 70% restante es absorbido por la atmósfera, los océanos y los continentes [19].

La energía solar que llega a la superficie terrestre está compuesta en su mayor parte por luz visible y radiación infrarroja y, en menor medida, por radiación ultravioleta y otras formas de radiación [19].

La energía solar puede ser aprovechada de diversas maneras, principalmente a través de dos tecnologías: la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica [19].

Energía Solar Fotovoltaica: Esta tecnología convierte la luz solar directamente en electricidad utilizando células fotovoltaicas. Estas células, generalmente hechas de silicio, generan una corriente eléctrica cuando la luz del sol incide sobre ellas [19].

Energía Solar Térmica: Esta tecnología utiliza el calor del sol para producir electricidad o para calentar agua o aire. En el caso de la generación de electricidad, se utiliza un colector solar para concentrar la luz del sol y generar calor, que luego se utiliza para producir vapor de agua. Este vapor mueve una turbina que genera electricidad [19].

Ventajas de la Energía Solar

Disponibilidad: El sol es una fuente de energía prácticamente inagotable.

Bajo Impacto Ecológico: La energía solar no contamina y tiene un impacto ambiental limitado.

Ahorro: Aunque la instalación inicial puede ser costosa, la energía solar puede resultar en ahorros significativos a largo plazo.

Accesibilidad: La energía solar puede ser una excelente opción para áreas rurales o remotas donde no llega la red eléctrica.

Seguridad: A diferencia de otras formas de energía, la energía solar no presenta riesgos para la salud [19].

Desventajas de la Energía Solar

Variabilidad: La cantidad de energía solar disponible puede variar según el clima, la hora del día y la época del año.

Impacto Negativo en el Medio Ambiente: Aunque la energía solar en sí misma es limpia, la fabricación de los paneles solares puede tener un impacto ambiental.

Costo Inicial: La instalación de los paneles solares puede ser costosa.

Emplazamiento: Se necesitan grandes superficies para obtener altos rendimientos energéticos solares, lo que puede ser un desafío en algunas áreas [19].

La energía solar es una fuente de energía constante, económica, no contaminante y segura. Además, gracias a los avances tecnológicos y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante, aumentando a su vez la eficiencia [20].

2.4 Sistemas solares fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos (PV, por sus siglas en inglés) juegan un papel importante para la producción de electricidad utilizando energía solar [23].

Los sistemas solares fotovoltaicos son una tecnología utilizada para convertir la energía solar en electricidad mediante el uso de células fotovoltaicas. Estos sistemas pueden ser instalados en diferentes escalas, desde instalaciones residenciales hasta plantas solares a gran escala [24].

Una célula solar es un dispositivo con la función principal de transformar la energía lumínica directamente en electricidad a través del efecto fotovoltaico [25]. Sus características eléctricas, que incluyen corriente, voltaje o resistencia, difieren según la exposición a la energía lumínica de cualquier fuente, ya sea natural o artificial. Las células solares forman módulos fotovoltaicos y tienen varias aplicaciones [26].

Un sistema de generación de energía fotovoltaica consta de múltiples componentes como células, conexiones mecánicas y eléctricas, montajes y medios para regular y/o modificar la salida eléctrica. Estos sistemas se califican en kilovatios pico (kWp), que es la cantidad de energía eléctrica que se espera que entregue un sistema cuando el sol está directamente encima en un día despejado [26].

La energía solar fotovoltaica convierte la luz del sol en electricidad y se puede usar en: sistemas fotovoltaicos solares conectados a la red eléctrica pública ON-GRID, y en sistemas fotovoltaicos fuera de la red eléctrica OFF-GRID [27].

Los tres principales tipos de diseños para instalaciones de sistemas fotovoltaicos son:

- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.
- Sistemas fotovoltaicos fuera de la red o independiente.
- Sistemas fotovoltaicos híbridos [27].

Un sistema conectado a la red está conectado a una red independiente grande que en la mayoría de los casos es la red eléctrica pública y suministra energía a la red. Varían en tamaño, desde unos pocos kWp para uso residencial hasta estaciones de energía solar de hasta decenas de GWp. Esto es una forma de generación de electricidad descentralizada [26].

2.5 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red, también conocido como sistema fotovoltaico On-Grid, utiliza módulos fotovoltaicos (paneles solares) para generar electricidad a partir de la energía del sol, y la electricidad generada es proporcionada a los consumos propios o en caso de excedentes inyectar la energía a la red de distribución [28].

Al instalar un sistema fotovoltaico que se conecta a la red eléctrica, los módulos fotovoltaicos transforman la energía solar en corriente continua (CC), esta corriente continua se convierte en corriente alterna (CA) a través de un inversor. La corriente alterna se emplea para suministrar energía a los electrodomésticos y dispositivos eléctricos del hogar o negocio y si se genera más energía de la que se consume, el exceso se envía a la red eléctrica. En los momentos en que el sistema fotovoltaico no produce suficiente energía para cubrir las necesidades de consumo, la red eléctrica suministra la energía adicional requerida [28].

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consta de varios componentes clave:

- Paneles solares: Son los encargados de captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica en forma de corriente continua (CC) [29].
- Inversor: Este dispositivo convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es el tipo de corriente que utilizan la mayoría de los dispositivos eléctricos [29].

- Medidor bidireccional: Este medidor es capaz de registrar tanto la energía que se consume de la red eléctrica como la energía que se inyecta a la misma [29].

A continuación, se presenta el esquema general de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, donde se evidencian sus principales componentes.

Tipos de Sistemas Fotovoltaico Conectado a la Red | On Grid | Interactivo



Figura 5: Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la Red. Fuente: [29]

2.6 Capacidad instalada

La capacidad instalada se refiere a la cantidad máxima de energía que puede generar un sistema de generación de energía, como un sistema solar fotovoltaico bajo condiciones ideales. La capacidad instalada es un indicador clave para evaluar el potencial de generación de energía de una fuente renovable [30].

Es la capacidad continua a plena carga del sistema de generación del autogenerador o el generador que se conecta al SIN, bajo las condiciones especificadas según el diseño del fabricante [31].

Cuando la conexión al SIN sea a través de inversores, esta capacidad corresponde a la suma de las capacidades nominales de los inversores en el lado de corriente alterna o con conexión al SIN. La capacidad nominal de un inversor corresponde al valor nominal de salida de potencia activa indicado por el fabricante [31].

2.7 Clientes no regulados

En el Mercado No Regulado participan voluntariamente la industria y todos aquellos usuarios que tengan un alto consumo de energía. Actualmente un usuario no regulado es un consumidor con demandas de energía superiores o iguales a 55 MWh /mes. A diferencia del regulado, el precio de comercialización y generación se

pacta libremente mediante un proceso de negociación entre el consumidor y el comercializador [33].

2.8 Perfil de carga

El sistema de energía fotovoltaica se puede dimensionar, por ejemplo, en función del perfil de carga, la rentabilidad o la relación de autoconsumo de los consumidores. La relación de autoconsumo indica cuánta producción de energía fotovoltaica se usa en el sitio y cuánto se transfiere a la red. El sistema de energía fotovoltaica se puede dimensionar utilizando el perfil de carga del consumidor para que la producción de energía fotovoltaica cubra el consumo mínimo de electricidad del consumidor [34].

La creación de perfiles de carga para las empresas eléctricas se ha convertido recientemente en un requisito crucial para los acuerdos de compromiso, la programación de mantenimiento y la gestión eficiente de la energía dentro de las aplicaciones de respuesta a la demanda [35].

Dado que los perfiles de carga se utilizan principalmente para la clasificación de clientes, también se han utilizado para muchos otros fines, como estrategias del lado de la oferta y la demanda, esquemas de fijación de precios o tarifas, planificación e informes financieros, penetración e integración de energías renovables y mejora del despacho de energía. [35].

2.9 Energía Reactiva

La energía reactiva es el componente de la energía que se utiliza para energizar los elementos del sistema y crear campos eléctricos y magnéticos para su correcto funcionamiento. Entre estos elementos están los transformadores, motores, o equipos que usen electrónica de potencia en general. Esta energía está constantemente en circulación y no se disipa, siendo una energía no útil. Aun así, esta energía hay que generarla y transportarla hasta los diferentes equipos, suponiendo un transporte de corriente adicional para los conductores del sistema. Esto supone unas mayores pérdidas en el interior del parque por el efecto Joule tanto en los conductores como en los transformadores, además de perder capacidad de generación por la sobrecarga del sistema, llevando a un encarecimiento general del coste de la energía.

Por otro lado, la energía reactiva ayuda a mejorar los niveles de tensión en los puntos más distantes y contribuye a la estabilidad del sistema siendo necesaria para las diferentes tareas de control, por lo que queda claro que una correcta gestión de la energía reactiva es necesaria, además de ayudar a la red eléctrica a mejorar la calidad de la energía, reducir las pérdidas en el sistema y aumentar la eficiencia global del parque [21].

2.10 Contrato de respaldo

Es un contrato bilateral que se celebra entre agentes generadores a través del Mercado Secundario, con el fin de asegurar el cumplimiento de las Obligaciones de Energía Firme de un generador. Su precio, cantidad, garantía, duración y recaudo se determina de común acuerdo entre las partes siguiendo los lineamientos del Mercado Secundario establecido en la resolución [36].

Todos los autogeneradores con una capacidad instalada igual o superior a 100kW deben contratar capacidad de respaldo de la red [37].

Cualquier usuario que lo requiera, podrá solicitar al OR la realización de un contrato de disponibilidad de capacidad de respaldo de la red, el OR deberá otorgar dicha disponibilidad, siempre y cuando tenga la capacidad disponible en el punto de conexión solicitado por el usuario.

Por la capacidad de respaldo el cliente debe pagar anualmente al operador de red un “cargo por disponibilidad de capacidad de respaldo”, el cual depende de la potencia a respaldar, la congestión (ocupación) de la red, el plazo del contrato y el índice de precios al productor (IPP) [38].

2.11 MARCO LEGAL

La presente sección tiene como objetivo proporcionar un marco legal sólido y fundamentado para el presente trabajo de grado de prácticas profesionales en la Compañía Energética de Occidente (CEO) contenido en el anexo #1 y a continuación se brindará una descripción general de las regulaciones que influyen en las actividades de comercialización de energía solar de la CEO.

2.11.1 Resolución CREG 070 de 1998

La resolución CREG 070 de 1998 es un documento emitido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) de Colombia, que establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta resolución tiene como objetivo regular las actividades de las empresas que prestan el servicio público de distribución de energía eléctrica, así como definir los indicadores de calidad, los cargos, las normas técnicas y los planes de reestructuración de este servicio. La resolución también establece los derechos y obligaciones de los usuarios, los distribuidores, los comercializadores y los generadores de energía eléctrica, así como los mecanismos de control, supervisión y sanción por parte de la CREG. La resolución entró en vigencia el 10 de junio de 1998 y ha sido modificada por varias resoluciones posteriores [32].

2.11.2 Ley 1715 de 2014

La Ley 1715 de 2014 regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional en Colombia. La Ley 1715 de 2014 tiene como objetivo fomentar el uso de fuentes de energía renovable y no convencionales en el sistema energético nacional de Colombia. La ley busca integrar estas fuentes de energía al mercado eléctrico, en las zonas no interconectadas, en la prestación de servicios públicos domiciliarios, en la prestación del servicio de alumbrado público y en otros usos energéticos. El propósito de la ley es promover el desarrollo económico sostenible, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar la seguridad del suministro de energía. Además, la ley busca promover la gestión eficiente de la energía y sistemas de medición inteligente, que comprenden tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda. La ley establece incentivos tributarios, arancelarios o contables a emprendimientos energéticos renovables para incentivar el cambio de matriz energética. La ley establece el marco legal, los instrumentos, los criterios y los deberes para el desarrollo, la utilización, la gestión eficiente y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de las energías renovables no convencionales [51].

2.11.3 Resolución CREG 015 de 2018

La resolución CREG 015 DE 2018 es un documento emitido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) de Colombia, que establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta resolución tiene como objetivo garantizar la eficiencia, calidad y seguridad del servicio de distribución de energía eléctrica, así como incentivar la inversión y la reducción de pérdidas en esta actividad². La resolución también define las reglas generales de comportamiento de mercado para los agentes que desarrollen las actividades de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible. Establece en el capítulo 10 los cargos por respaldo de la red asumidos por los autogeneradores según su capacidad instalada, así como el contenido de dicho contrato [21].

2.11.4 Resolución CREG 36 de 2019

La resolución CREG 36 DE 2019 es un documento emitido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) de Colombia, que modifica algunas disposiciones de la Resolución CREG 015 de 2018, que establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta resolución tiene como objetivo mejorar la eficiencia, calidad y seguridad del servicio de distribución de energía eléctrica, así como incentivar la inversión y la reducción de pérdidas en esta actividad. La resolución también define las reglas generales de comportamiento de mercado para

los agentes que desarrollen las actividades de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible [39].

2.11.5 Resolución CREG 174 DE 2021

La resolución CREG 174 de 2021 es un documento emitido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) de Colombia, que regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta resolución tiene como objetivo promover el desarrollo de las fuentes de energía renovables no convencionales, fomentar la eficiencia energética, mejorar la calidad y seguridad del servicio eléctrico, y facilitar la participación de los usuarios en el mercado de energía. La resolución también establece los requisitos técnicos, comerciales, operativos y regulatorios para la conexión, operación, medición y remuneración de los sistemas de autogeneración y generación distribuida. También se regulan aspectos de procedimiento de conexión de los autogeneradores a gran escala con potencia máxima declarada menor a 5 MW [31].

2.11.6 Resolución UPME 320 de 2022

La Resolución 320 de 2022 de la UPME es un documento emitido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) de Colombia, que actualiza el factor marginal de emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) del año 2022 para inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI. Esta resolución tiene como objetivo contribuir al cumplimiento de los compromisos internacionales de Colombia en materia de cambio climático, así como incentivar el desarrollo de las fuentes de energía renovables no convencionales y la eficiencia energética. La resolución también establece la metodología de cálculo del factor de emisión, basada en la aprobada por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [56].

3 DESARROLLO

3.1 Actividades y cronograma

A continuación, se presenta tabla de fases y actividades con el fin de llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos.

OBJETIVO	FASE	ACTIVIDAD
Proponer un modelo de cálculo para el contrato de respaldo de los clientes autogeneradores de la Compañía Energética de Occidente, que permita determinar de manera precisa los volúmenes y condiciones de suministro de potencia a respaldar y el impacto en sus ahorros.	1. Identificación de los procesos realizados por el área de servicios energéticos de la CEO	1.1 Entrevista con el equipo de servicios energéticos para la recolección de información
		1.2 Identificación de áreas de mejora
		1.3 Planteamiento del problema
	2. Revisión de la regulación	2.1 Análisis de los contratos de respaldo actuales
		2.2 Revisión de la regulación (CREG 015 de 2018)
	3. Muestreo de clientes no regulados para análisis y contraste	3.1 Selección de clientes no regulados con las condiciones previamente establecidas
		3.2 Identificación de inconsistencias y áreas de mejora
		3.3 Documentación de los hallazgos
		3.4 Análisis del impacto en el ahorro sobre cliente prueba
	4. Establecer modelo estándar para el cálculo del contrato de respaldo	4.1 Creación de un borrador del cálculo contrato de respaldo estandarizado
		4.2 Revisión y ajuste del borrador basado en los hallazgos de las etapas anteriores
		4.3 Formulación modelo estandarizado final ajustado a la resolución 015 de 2018 de la CREG.
	Desarrollar una interfaz que permita a los clientes autogeneradores de energía solar de la Compañía Energética de Occidente conocer oportunamente su generación mensual de modo que se agilice y simplifique el	5. Investigación y análisis de requerimientos
5.2 Entrevistas con el equipo de servicios energéticos		
5.3 Revisión del estado actual de los reportes manuales		
	6. Identificación de herramientas tecnológicas	6.1 Identificación y evaluación de soluciones de software disponibles para análisis de datos y generación de reportes personalizados.

proceso de reporte mensual de generación solar a cargo del equipo de Servicios Energéticos, facilitando la recopilación de datos y mejorando la precisión y oportunidad de la información proporcionada por la Compañía Energética de Occidente mediante la implementación de un software con disponibilidad inmediata.		6.2 Selección de la solución de software que mejor se adapte a las necesidades del proyecto y que tenga la disponibilidad inmediata por parte de la compañía.
	7. Diseño del sistema de reportes	7.1 Diseño de la estructura y formato de los reportes
		7.2 Definición de las variables a incluir en cada reporte
		7.3 Especificación de las fuentes de datos necesarias para generar los reportes
	8. Desarrollo del sistema de generación de reportes	8.1 Desarrollo de un sistema que permita la generación automática de los reportes
		8.2 Integración de la aplicación con los sistemas de recolección de datos para garantizar la precisión y confiabilidad de la información.
	9. Pruebas y ajustes del sistema	9.1 Realización de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema
		9.2 Realización de ajustes y correcciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento y la precisión de los datos recopilados
	10. Capacitación	10.1 Capacitación al equipo de Servicios Energéticos de la compañía para el uso eficiente y efectivo del sistema de generación de reportes.
		10.2 Desarrollo de manuales y guías de usuario para facilitar el uso del sistema.

Tabla 1: Fases y actividades

3.2 Modelo de Cálculo de Costos para el Contrato de Respaldo

La presente sección enmarca el desarrollo para el cumplimiento del objetivo específico encaminado en proponer un modelo de cálculo para el contrato de respaldo de los clientes autogeneradores de la Compañía Energética de Occidente, que permita determinar de manera precisa los volúmenes y condiciones de suministro de potencia a respaldar y el impacto en sus ahorros.

3.2.1 Identificación de los procesos del área de Servicios Energéticos de la CEO

Se realizó una entrevista con el equipo de Servicios Energéticos de la CEO para recolectar información sobre los procesos que se llevan a cabo en el área. La entrevista se centró en los siguientes temas:

- Descripción de los procesos actuales
- Problemas y desafíos que enfrentan los procesos
- Oportunidades de mejora y planteamiento del problema

3.2.1.1 Procesos actuales

A continuación, se abordan las actividades principales ejecutadas por el área:

La Compañía Energética de Occidente es líder en proyectos de energía solar fotovoltaica para el sector empresarial e industrial y ha encomendado el desarrollo del negocio al área de Servicios Energéticos, encargándose de la gestión de los proyectos de sistemas solares fotovoltaicos:

A continuación, se presenta diagrama de flujo de los procesos actuales correspondientes a la gestión de proyectos de sistemas SFV.

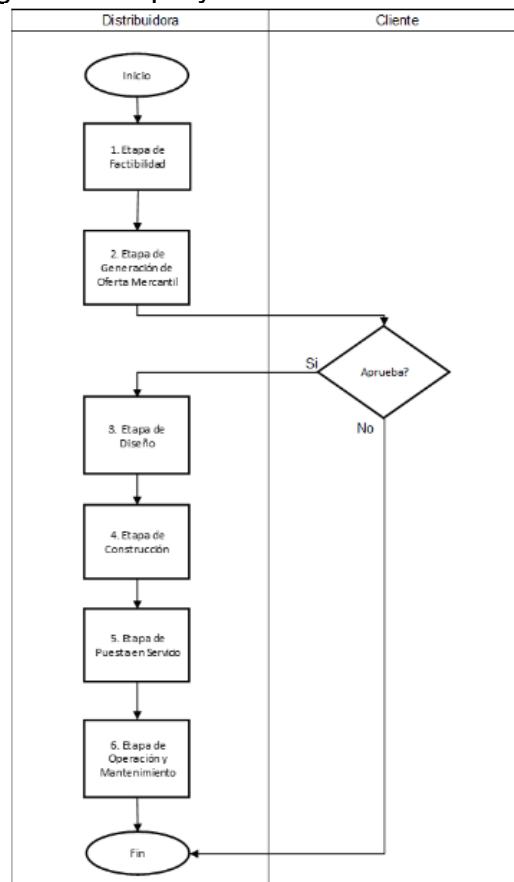


Figura 6: Diagrama de flujo gestión de los proyectos SFV. Fuente [52].

3.2.1.1.1 Factibilidad de sistemas solares fotovoltaicos:

La factibilidad es la etapa en la que se recolectan los elementos de juicio para definir si un proyecto es viable técnica, económica, social y ambientalmente, previa a la generación de la oferta vinculante presentada al cliente.

Se realiza la identificación de grandes clientes del mercado regulado como no regulado, tomando como fuente principal de información, la base de datos que dispone CEO:

- Usuarios no regulados (ciclo 98, ciclo 94 de la bitácora),
- Usuarios regulados (ciclo 35 del perfil y fronteras reguladas de la bitácora)
- Bases de datos nacionales de las zonas seleccionadas estratégicamente por la Dirección de Servicios Energéticos y Transacciones de Energía.

El Coordinador de grandes clientes/Coordinador comercial de servicios energéticos y/o Profesional comercial de servicios energéticos, identificarán los posibles clientes a ofertar los servicios de energía solar y realizarán los acercamientos a través de medios tecnológicos o visitas presenciales. En el acercamiento comercial, se deberá recopilar información técnica y comercial relevante para hacer la prefactibilidad del proyecto.

También se tendrán en cuenta los requerimientos presentados por usuarios que solicitan cotizar con CEO directamente a través de nuestros canales de atención al cliente. Así como licitaciones o convocatorias bajo pliegos de condiciones predeterminados por los usuarios.

Otra modalidad, incluye las alianzas con terceros como EPC'S (Engineering, Procurement and Construction / Ingeniería, Compras y Construcción) contratados u otros EPC'S que hayan desarrollado la gestión comercial con los diferentes clientes interesados en el modelo de negocio ofrecido por CEO. Para estos casos, se deberá firmar un acuerdo de confidencialidad en cumplimiento de las políticas internas.

A continuación, se presenta diagrama de flujo del proceso de prefactibilidad para sistemas SFV.

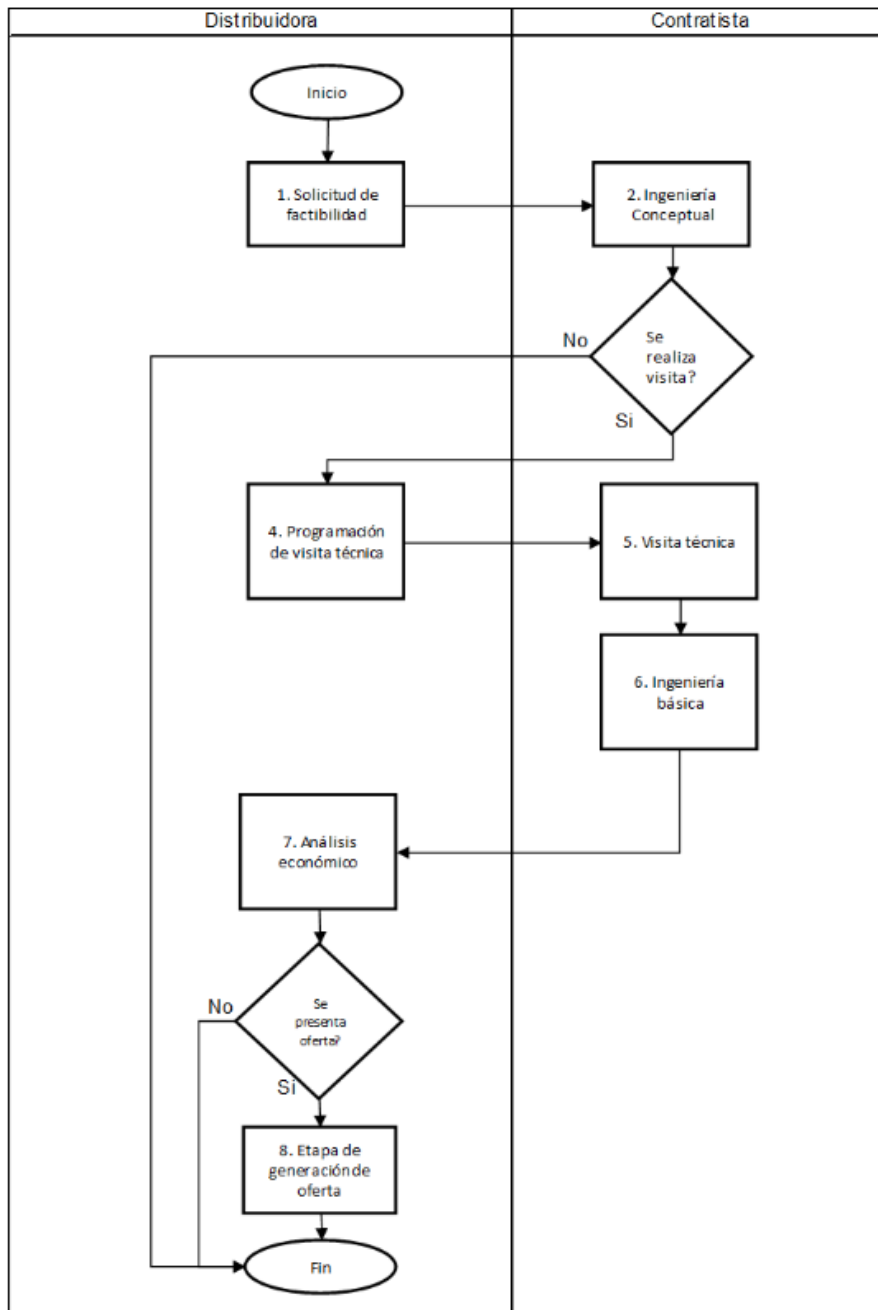


Figura 7: Diagrama de flujo del proceso de prefactibilidad. Fuente [52].

3.2.1.1.2 Generación de oferta mercantil para sistemas solares fotovoltaicos

La generación de la oferta mercantil es la etapa en la que CEO emite un documento formal al cliente para el suministro de energía eléctrica para autoconsumo a partir del sistema solar fotovoltaico. En esta etapa se tienen en cuenta todas las consideraciones jurídicas y legales que permitan salvaguardar a CEO durante la duración de la oferta.

Para iniciar con la elaboración de la oferta mercantil vinculante, se deberá tener en cuenta la PL.001 Política de Aprobación de Transacciones (PAT) y surtir las instancias de aprobación definidas en la misma, de acuerdo con las características del proyecto solar a ejecutar. El Coordinador de grandes clientes/Coordinador comercial de servicios energéticos y/o Profesional comercial de servicios energéticos deberá realizar la consulta a través de correo electrónico al director de Riesgos y Cumplimiento, quien deberá realizar las respectivas recomendaciones y validaciones del caso.

Si el proyecto no es aprobado, de acuerdo con la PL.001 Política de Aprobación de Transacciones, se le deberá informar al cliente.

Si el proyecto es aprobado, se deberá tener en cuenta la información presentada en la oferta no vinculante. El Coordinador de grandes clientes/Coordinador comercial de servicios energéticos y/o Profesional comercial de servicios energéticos deberá realizar los respectivos ajustes en la última versión de la oferta mercantil aprobada por la Gerencia de Asuntos corporativos, entre los que se encuentran:

- Identificación del cliente.
- Potencia del proyecto (kWp) y ubicación del mismo.
- Tarifa solar aprobada (\$/kWh)
- Consideraciones técnicas resultado de la ingeniería básica.
- Consideraciones comerciales.
- Otros.

El Coordinador de grandes clientes/Coordinador comercial de Servicios Energéticos y/o Profesional comercial de Servicios Energéticos, deberá enviar la oferta mercantil ajustada al director de Ingeniería/Profesional senior de proyectos/Profesional técnico de proyectos y al profesional de Asuntos Corporativos para su visto bueno previo envío al cliente.

La oferta mercantil será revisada entre CEO y el cliente las veces que sean necesarias a través de correo electrónico, sin embargo, en todos los casos se deberá contar con la aprobación del representante designado de las Direcciones de Servicios Energéticos y Transacciones de Energía, Dirección de Ingeniería y de la Gerencia de asuntos corporativos.

En caso de que el cliente desee usar un formato propio para la oferta mercantil, se deberán contar con las debidas autorizaciones del representante designado de las Direcciones de servicios energéticos y transacciones de energía, Dirección de ingeniería y de la Gerencia de asuntos corporativos.

Una vez se encuentra con la versión aprobada del documento por todas las partes, el Coordinador de grandes clientes/Coordinador comercial de servicios energéticos y/o Profesional comercial de servicios energéticos, deberá gestionar con la Asistente de gerencia, la firma del documento aprobado.

3.2.1.1.3 Instalación del sistema solar fotovoltaico

El diseño es la planeación y definición de un plan detallado para la ejecución del sistema solar fotovoltaico, posterior a la aprobación de la oferta vinculante presentada al cliente. El diseño puede incluir planos eléctricos (en algunos casos), memorias de cálculos, especificaciones técnicas de los materiales a usar, especificaciones de construcción, entre otros.

El Profesional senior de proyectos/Profesional técnico de proyectos debe enviar al contratista el FR.098 Formato de solicitud de diseño. En caso de que la etapa de factibilidad haya sido ejecutada con otro contratista, deberá también enviar la documentación pertinente para revisión.

El Profesional comercial de servicios energéticos deberá programar el Kick off del proyecto con el cliente; a dicha reunión debe asistir además el Profesional senior de proyectos y el Profesional técnico de proyectos. El Kick off debe contener la siguiente información:

- Presentación de aliado en construcción proyecto solar
- Descripción del proyecto
- Estructura de trabajo
- Gobierno del proyecto
- Requisitos SST distribuidora.
- Descripción básica trámites UPME y ANLA.
- Cronograma de ejecución
- Otros (de acuerdo con el proyecto o requerimientos específicos).

Visita técnica

El contratista podrá efectuar o no una visita técnica adicional para corroborar la información de la factibilidad. En caso de que se haya contratado únicamente diseño, la visita técnica debe realizarse de forma obligatoria.

Revisión y ajustes ingeniería básica

Si el contratista decide realizar la visita técnica y/o modifica la información de la factibilidad, deberá realizar los ajustes pertinentes a la ingeniería básica. En caso de presentarse cambios en cualquiera de los documentos descritos a continuación, se debe presentar a la Dirección de Ingeniería su respectivo soporte:

- Simulación en software especializado donde se tengan en cuenta las pérdidas el sistema (sombra, cableado, temperatura) y donde se estime la producción energética específica del proyecto solar.
- Plano de distribución de equipos (paneles) en cubierta (techo) o piso (granjas).
- Diagrama de bloques básico o diagrama unifilar.

- Adecuaciones eléctricas
- Adecuaciones para el cumplimiento de los requisitos HSE.
- Diagnóstico estructural o pertinencia de estudio estructural.
- Pertinencia del estudio de conexión.
- Pertinencia de certificación RETIE.
- Capex (USD/Wp)
- Opex proyectado durante la vida útil del proyecto (% Capex)
- Cronograma de ejecución del proyecto.

Aprobación de ajustes a la ingeniería Básica

El Profesional senior de proyectos/Profesional técnico de proyectos debe revisar y aprobar de los ajustes realizados por el contratista en la ingeniería básica inicial, lo cual puede incluir ajustes en alguno de los siguientes datos:

- Potencia (MWp).
- Producción específica (kWh/kWp/año): A partir de simulaciones entregadas por el contratista, realizando las críticas pertinentes de acuerdo con la generación observada en proyectos similares.
- Capex (USD/Wp): Teniendo en cuenta la aplicación a beneficios tributarios, costos adicionales que no se encuentren incluidos en el contrato marco, requisitos regulatorios, imprevistos y otros costos.
- Opex.

La aprobación de los cambios deberá realizarlos el director de Ingeniería, a través de un correo electrónico.

Los ajustes con impacto en el modelo financiero deben ser documentados y enviados mediante correo electrónico a la Dirección de Servicios Energéticos y Transacciones de Energía y a la Coordinación de Planeación Financiera.

La Coordinación de planeación financiera se encargará de actualizar el modelo financiero, para garantizar que se trabaje con la última versión aprobada por Promigas. Adicionalmente, deberá actualizar las cifras macroeconómicas, haciendo especial énfasis en la TRM. Finalmente, determinará la tarifa solar garantizando que la TIR no sea inferior a la aprobada por la Junta Directiva y enviar el archivo como soporte a las Direcciones de compras de energía y grandes clientes y de Ingeniería.

Los cambios en la tarifa deberán ser informados al cliente por la dirección de compras de energía y grandes clientes que, en caso de no lograr un acuerdo con el mismo, deberán proceder con la terminación de la oferta mercantil suscrita.

Ingeniería de detalle

El contratista debe ejecutar la ingeniería de detalle, la cual debe contener los anexos solicitados en el formato FR.989 Formato de Diseño. Adicionalmente, debe elaborar

y enviar a la Dirección de Ingeniería, directamente al Profesional senior de proyectos o al Profesional técnico de proyectos el plan de trabajo para la instalación del sistema solar fotovoltaico.

Revisión de ingeniería de detalle y plan de trabajo

El Profesional técnico de proyectos revisará y dará su visto el visto bueno a la ingeniería de detalle enviada por el contratista, previo acuerdo con el cliente. En esta actividad se deben tener en cuenta los criterios técnicos pertinentes para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y el cumplimiento de la normatividad vigente. En caso de que no sea aprobada, el contratista deberá efectuar los ajustes pertinentes hasta recibir la respectiva aprobación.

Etapas de Construcción

El Profesional senior de proyectos/Profesional técnico de proyectos deberá iniciar la etapa del proyecto de acuerdo con lo indicado en Construcción y puesta en servicio de sistemas solares fotovoltaicos.

Solicitud UPME

El contratista deberá realizar solicitud de proyecto ante la UPME para la obtención de beneficios tributarios del proyecto. El contratista también deberá responder por las aclaraciones que puedan surgir durante el estudio por parte de la entidad y en caso de requerirse ajustes deberá realizarlos.

Solicitud OR (Etapa 1)

El contratista deberá realizar solicitud de conexión ante OR del cliente donde se realizará la construcción del proyecto, lo cual debe contenerla información definida por regulación, lo que incluye:

- Diagrama unifilar con sistemas de puesta a tierra.
- Especificaciones de equipos y elementos.
- Memorias de cálculo.
- Certificado de parámetros de protección anti-isla.
- Estudio de conexión (cuando aplique).
- Contrato de respaldo (cuando aplique).

En caso de requerirse ajustes para la aprobación del OR de la instalación, será responsabilidad del contratista efectuarlos.

Solicitud ANLA

El contratista deberá realizar la solicitud del proyecto ante la ANLA, previa aprobación de la UPME, para la obtención de beneficios tributarios. El contratista también deberá responder por las aclaraciones que puedan surgir durante el estudio

por parte de la entidad y en caso de requerirse ajustes deberá realizarlos. Tener en cuenta el nivel de servicio acordado.

A continuación, se presenta diagrama de flujo del proceso de diseño de sistemas SFV en la Compañía Energética de Occidente.

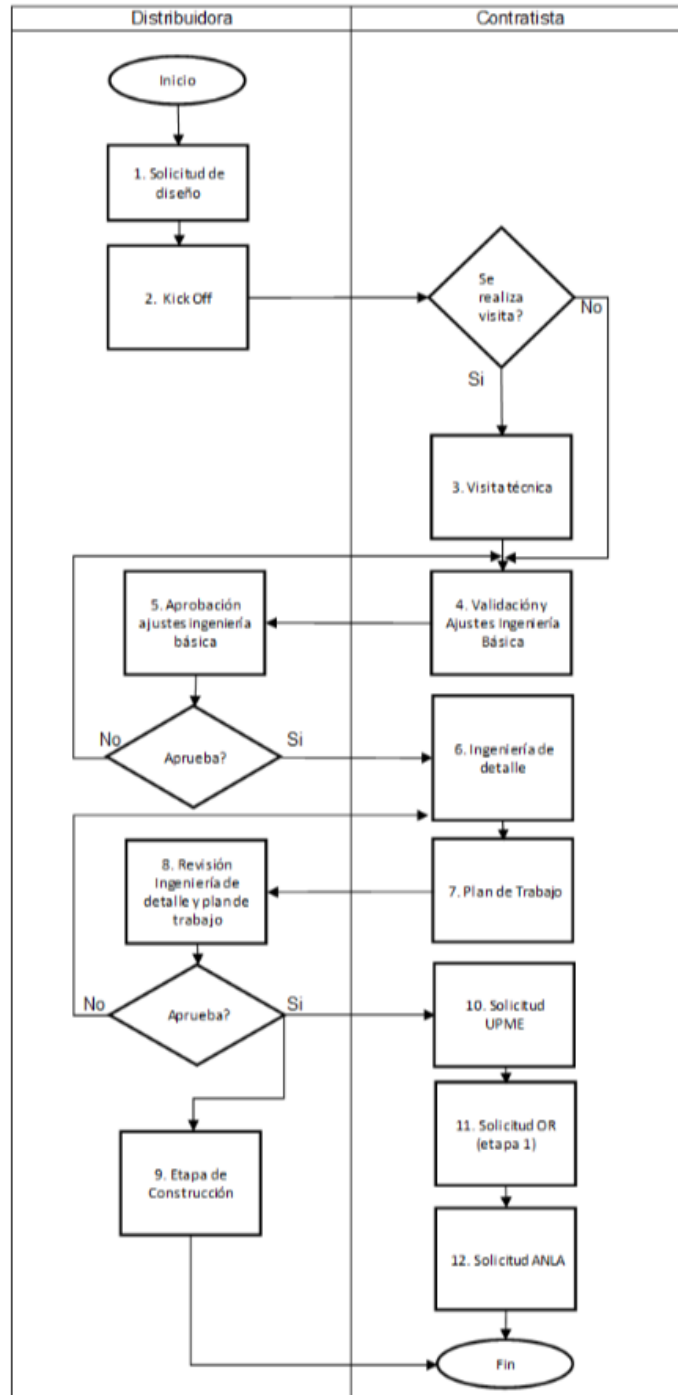


Figura 8: Diagrama de flujo de diseño de SFV. Fuente [52].

3.2.1.1.4 Construcción/instalación del sistema solar fotovoltaico

La construcción comprende la instalación de los equipos pertenecientes al sistema solar de acuerdo con lo definido en la etapa de diseño, para de esta manera garantizar el correcto funcionamiento de este.

Generación de Orden de Compra (OC)

Gestionar los siguientes documentos con la información definida en la etapa de diseño:

- Ficha de proyecto.
- Creación de orden interna.
- Adición presupuestal. (En caso de que el proyecto no se encuentre presupuestado)

Una vez se hayan recibido las aprobaciones pertinentes en cada uno de los formatos, la dirección de ingeniería debe gestionar la generación de la OC. La contratación de los aliados técnicos adicionales que sean necesarios para la ejecución de los costos adicionales también deberá ser gestionados por la dirección de ingeniería.

Generada la orden de compra, debe:

- Enviarla al contratista para su aceptación.
- Solicitar al contratista una cuenta de cobro por el 30% del valor total de la orden de compra, la cual deberá tener en cuenta los requerimientos pertinentes.
- Gestionar con el personal encargado el pago del anticipo.
- Firmar el acta de inicio de la orden de compra generada por parte de los administradores del contrato.
- Firmar el acta de definición de hitos de pago de la orden de compra generada, con el visto bueno de los administradores del contrato.

Suministro de equipos

El contratista debe gestionar y suministrar los equipos definidos en la etapa de diseño, lo cual incluye:

- Paneles solares
- Estructuras
- Inversores
- Cableado DC, cableado AC, protecciones, DPS, cajas de paso, tableros.
- Entre otros.

Definir Plan HSE

El contratista debe ejecutar el Plan HSE del proyecto, lo cual incluye la siguiente documentación (cuando aplique y de acuerdo con los lineamientos establecidos por Gestión de HSE de CEO:

1. Seguridad y salud en el trabajo:

- Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, Política de SST, Política de prevención de alcohol.
- Evaluación de estándares mínimos.
- Hoja de Vida del Coordinador HSE, lo cual debe incluir como mínimo la licencia en SO y el curso de 50 horas de gestión de SST.
- Matriz de Peligros y Riesgos.
- Matriz de requisitos legales y otros aplicables en SST.
- Reglamento de Higiene de Seguridad Industrial.
- Acta de conformación del COPASST.
- Acta de conformación del comité de convivencia.
- Plan de emergencias.
- Plan de trabajo anual. (debe incluir programa de capacitaciones e inspecciones)
- Procedimientos seguros para riesgo eléctrico.
- Procedimiento seguro para trabajos en altura.
- PESV.
- Plan de mejoramiento del SG-SST de acuerdo con la resolución 1111 del 2017.

2. Ambiental:

- Matriz de identificación de los Aspectos e Impactos ambientales.
- Matriz de requisitos legales y otros aplicables en Medio Ambiente
- Plan de Manejo Ambiental.
- Plan de Trabajo en medio ambiente.
- Plan de contingencias ambientales.
- Programas de gestión ambiental.
- Plan de capacitaciones.
- Plan de Inspecciones.

3. Otros:

Certificados calibración de equipos.

Adicional a lo anterior, se deben suministrar las hojas de vida de todo el personal que intervendrá en la ejecución de la obra para revisión y aprobación. Esta información debe ser remitida a la Dirección de ingeniería, vía correo electrónico.

Revisión Plan HSE

La dirección de ingeniería debe enviar el Plan HSE del contratista a Gestión de HSE para que esta determine la aprobación o no de este, vía correo electrónico. En caso de que no se apruebe el Plan HSE, el contratista debe realizar los ajustes indicados por el área HSE hasta recibir la respectiva aprobación para el inicio de actividades. Gestión de HSE autorizará el inicio de las actividades con la firma del acta de inicio.

Ejecución de adecuaciones

El contratista debe ejecutar las adecuaciones definidas en la etapa de diseño (cuando aplique), lo cual puede incluir:

- Adecuaciones eléctricas.
- Adecuaciones civiles.
- Adecuaciones para el cumplimiento de los requisitos HSE.
- Otras.

Revisión de adecuaciones

La dirección de ingeniería debe verificar que las adecuaciones realizadas por el contratista sean las definidas en la etapa de diseño y cumplan con la normatividad vigente, lo anterior deberá quedar consignado en las respectivas actas de avance (cuando aplique), en cumplimiento de las políticas de administración de contratos de CEO.

En caso de que se soliciten modificaciones a las adecuaciones realizadas, el contratista deberá efectuarlas hasta obtener la respectiva aprobación.

Instalación de equipos

El contratista debe instalar los equipos del sistema solar de acuerdo con lo definido en la etapa de diseño, lo cual incluye:

- Paneles solares.
- Estructuras.
- Inversores.
- Cableado DC, cableado AC, protecciones, DPS, cajas de paso, tableros.
- Entre otros.

Revisión de instalación

La dirección de ingeniería debe verificar que la instalación de los equipos se ajusta a lo definido en la etapa de diseño y cumple con la normatividad vigente, lo anterior deberá quedar consignado en las respectivas actas de avance (cuando aplique), en cumplimiento de las políticas de administración de contratos de CEO.

Solicitud OR (Etapa 2)

El contratista debe solicitar visita del OR donde se realizará la construcción del proyecto, lo cual debe contener como mínimo la siguiente información (etapa 2):

- Planos actualizados en base a lo construido.
- Autodeclaración de cumplimiento RETIE o Certificación RETIE.

En caso de requerirse ajustes para la aprobación del OR de la instalación, será responsabilidad del contratista efectuarlos.

Realizar puesta en servicio

La Dirección de ingeniería junto con el contratista realizan las verificaciones correspondientes para la puesta en servicio de las instalaciones.

De acuerdo con los resultados de la revisión y verificaciones realizadas, el contratista deberá realizar la revisión y corrección de parámetros no conformes durante la ejecución de las inspecciones o pruebas.

Lo anterior deberá contar con el visto bueno del director de ingeniería.

Registrar cliente en plan comercial

Realiza la creación del cliente en el plan comercial correspondiente para que se realice la facturación mensual de la energía generada.

Activar proyecto

Debe realizar la solicitud de ingreso del proyecto a las pólizas de CEO a través del personal encargado en proceso Gestión Jurídica.

Cierre de proyecto

La dirección de ingeniería deberá suscribir la respectiva acta de terminación con el contratista, en cumplimiento de las políticas de administración de contrato de CEO.

A continuación, se presenta diagrama de flujo del proceso de construcción y puesta en marcha de sistemas SFV en la Compañía Energética de Occidente.

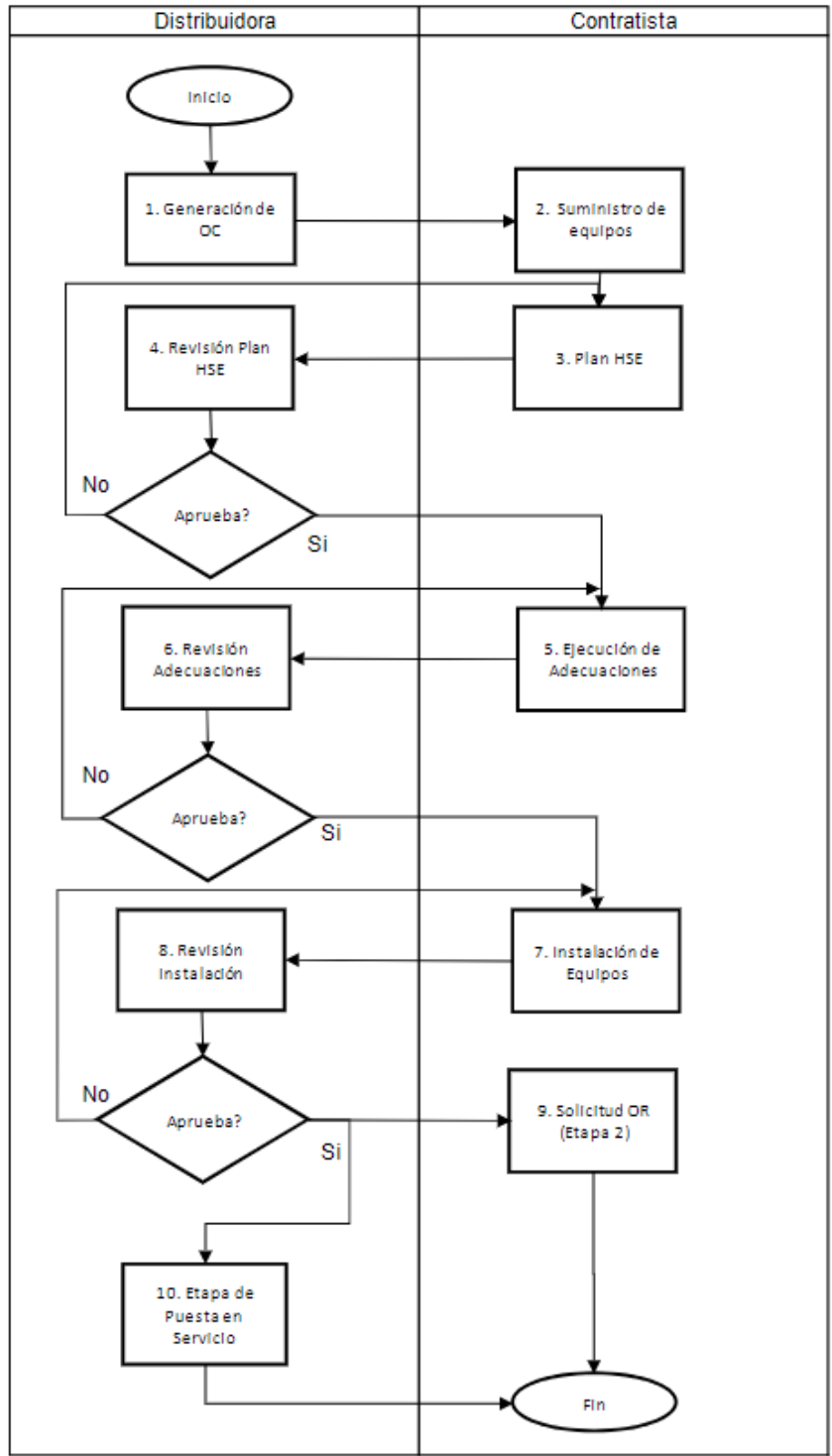


Figura 9: Diagrama de flujo de construcción y puesta en marcha de SFV. Fuente [52].

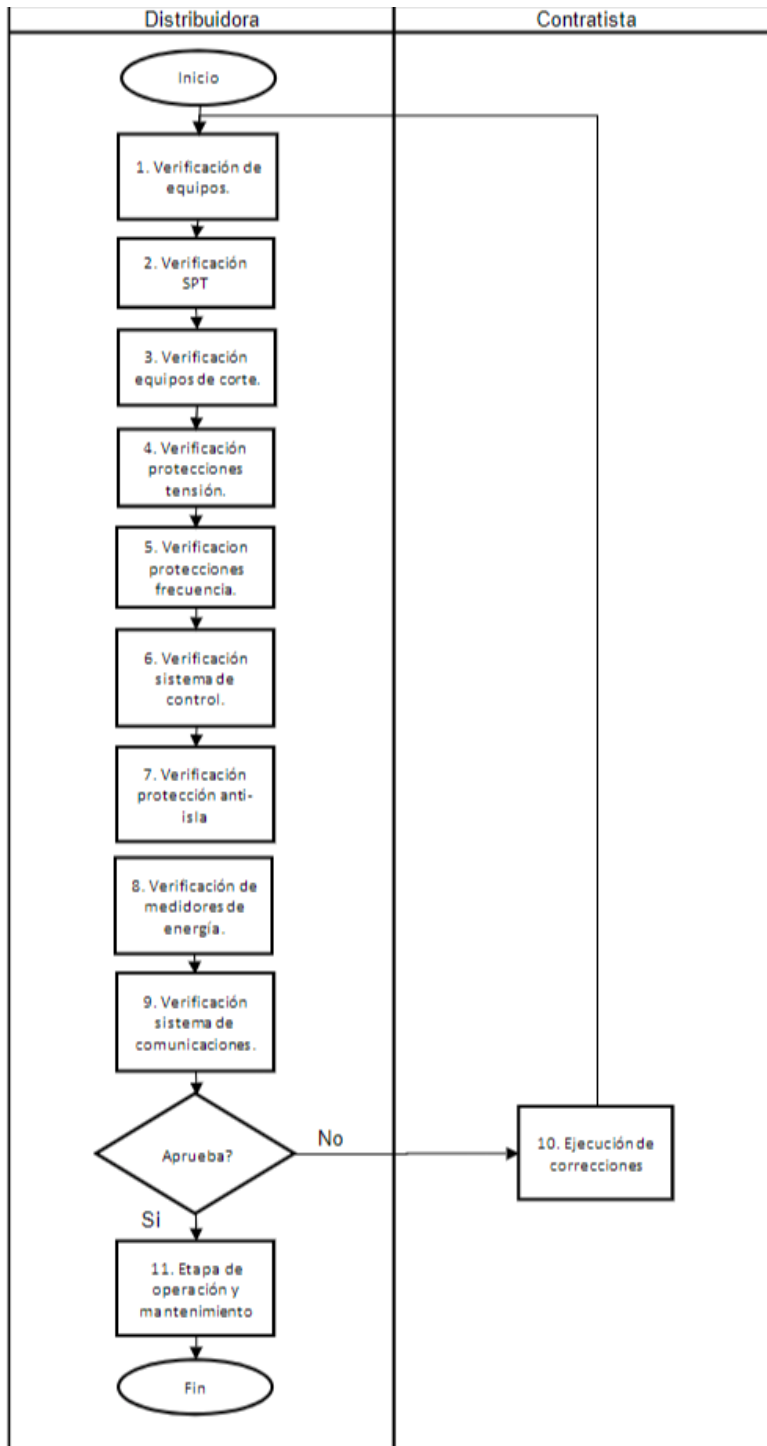


Figura 10: Diagrama de flujo de puesta en servicio. Fuente [52].

3.2.1.1.5 Operación del sistema solar fotovoltaico

La fase operacional corresponde al periodo en el que se espera que el proyecto genere los flujos de efectivo neto que permiten recuperar el capital invertido durante

la duración de la oferta mercantil. Esto incluye el monitoreo remoto del proyecto 24/7 y el acceso a la información en la plataforma online, así como la ejecución de los mantenimientos que permitan preservar el sistema solar fotovoltaico y garantizar su correcto funcionamiento durante la duración de la oferta.

A continuación, se presenta la arquitectura de comunicación actual que tiene la siguiente topología, variando en cantidad de inversores según la potencia instalada:

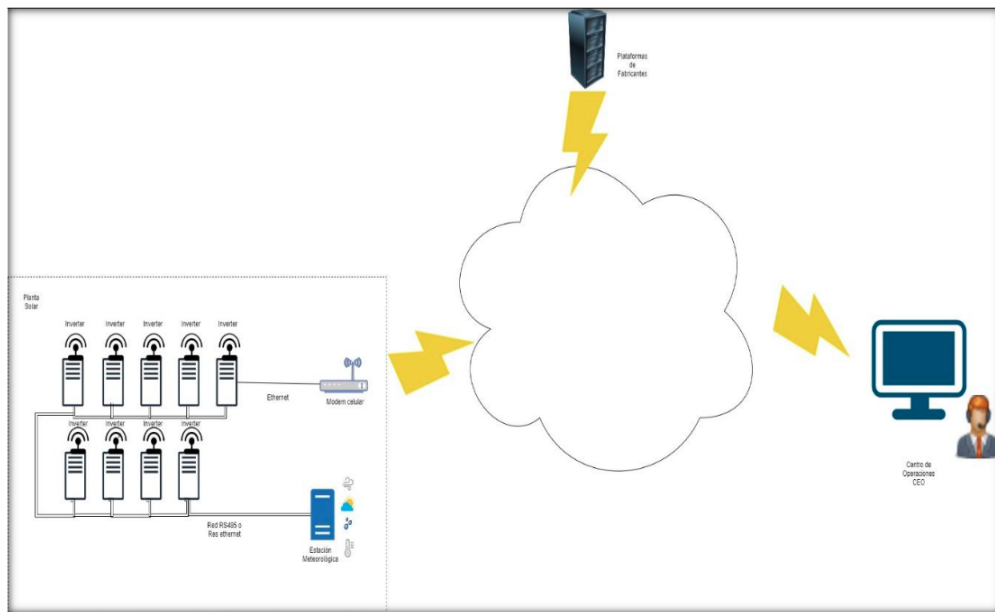


Figura 11: Arquitectura de comunicación SFV. Fuente [52].

En ella se evidencia normalmente un BUS RS485 o bus ethernet que permite la integración de cada uno de los inversores y la estación meteorológica (si la hay), paso seguido se tiene un modem celular que permite la comunicación de los inversores con las plataformas web de cada fabricante. El protocolo de comunicaciones que se usa es Modbus TCP o Modbus RTU.

Revisiones periódicas

El Profesional del centro de operaciones realiza una revisión semanal de cada una de las plantas ingresando al aplicativo específico con el fin de verificar que no se haya presentado alguna alarma durante la semana.

Señales de monitorización

Dentro de las señales a monitorear se tienen tres clases:

Señales digitales en inversores:

- Falla a tierra
- Sobre voltaje DC

- Red desconectada
- Apagado manual
- Sobre temperatura
- Baja frecuencia
- Baja tensión AC
- Baja temperatura
- Falla de memoria o error de comunicación
- Falla Hardware
- Fallas MPPTs

Señales Análogas instantáneas de medidas:

- Corriente fase A
- Corriente fase B
- Corriente fase C
- Tensión de línea AB
- Tensión de línea BC
- Tensión de línea CA
- Tensión de fase A
- Tensión de fase B
- Tensión de fase C
- Potencia Activa AC
- Potencia Reactiva AC
- Potencia Aparente AC
- Corriente DC
- Potencia DC
- Temperatura de Gabinete
- Temperatura de Inversor
- Irradiancia, si aplica

Señales contadores:

- Energía Activa AC

Reportes de desempeño

Mensualmente los Profesionales técnicos de proyectos y/o el Profesional de calidad de la energía envía reportes a los clientes internos para las plantas solares en las que se haya acordado según el formato y modelo definido. Así mismo, se calculan los indicadores de desempeño y se dan alertas sobre las desviaciones a las que haya lugar al responsable de la dirección de Mantenimiento y de la dirección de Ingeniería designados con copia a los respectivos directores.

El indicador de desempeño se ha designado como indicador de cumplimiento y es expresado en porcentaje, a continuación, se describe su fórmula de cálculo:

$$\text{Cumplimiento de Generación (\%)} = \frac{\text{Generación Real} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right)}{\text{Generación Diseñada} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right)} * 100$$

Figura 12: Ecuación de cumplimiento de generación. Fuente [52]

3.2.1.2 Identificación de áreas de mejora y planteamiento del problema

A partir de la información recolectada en la entrevista y en común acuerdo con el equipo de Servicios Energéticos se identificaron las siguientes áreas de mejora:

Dado el gran crecimiento que ha obtenido la compañía en el desarrollo de sistemas solares fotovoltaicos, existe también una constante evolución de los procesos y del personal contratado con el fin de entregar a los clientes una propuesta de valor en todas las fases de la implementación sistemas solares fotovoltaicos, ya que el mercado presenta fuertes competidores, siendo el servicio postventa la parte crítica y que tiene un mayor rango de mejora

Contratos de respaldo:

Un aspecto fundamental son los contratos de respaldo pues permite a través de un contrato bilateral entre el operador de red (OR) y el cliente, reservar una capacidad de uso en la red para respaldar el suministro de energía al usuario ya que, la generación solar está sujeta a variaciones estacionales, climáticas y diarias, lo que puede afectar la disponibilidad de energía en ciertos momentos.

Todos los autogeneradores con una capacidad instalada igual o superior a 100kW deben contratar capacidad de respaldo de la red en común acuerdo con el OR [21], siendo un punto crítico actualmente pues el cliente no cuenta con el suficiente acompañamiento por parte de CEO de cuál debe ser la capacidad de respaldo optima que debe contratar para así blindar su proceso además de verificar si los cobros por parte del OR se encuentran dentro de lo establecido por la regulación y así mantener los ahorros que se han visto afectados para autogeneradores que se encuentran en otro mercado.

Informe mensual de generación:

El servicio post venta es fundamental en la propuesta de valor que la Compañía Energética de Occidente ofrece a sus clientes autogeneradores de energía solar, abarcando desde la facturación hasta el mantenimiento preventivo y correctivo de sus sistemas solares fotovoltaicos.

El informe de generación mensual es un documento importante para los clientes solares, ya que proporciona información clave sobre el desempeño de sus sistemas

de generación solar. Sin embargo, el proceso de elaboración de este informe es manual, tedioso y requiere mucho tiempo de parte del equipo de Servicios Energéticos de CEO, lo que genera generar retrasos en la entrega del informe y dificultar el análisis de los datos.

3.2.2 Revisión de la regulación vigente

La fase de revisión de la regulación es una etapa importante en el desarrollo del modelo de cálculo para los autogeneradores solares. El objetivo de esta fase es analizar la regulación vigente sobre los contratos de respaldo con el fin de identificar los requisitos y parámetros que deben ser considerados en el modelo.

En el marco legal del presente documento en el anexo 1 se detallan ampliamente las diferentes regulaciones y leyes que dictaminan las diferentes definiciones, condiciones y ecuaciones que todo operador de red debe cumplir a la hora de suscribir y liquidar un contrato de respaldo con un autogenerador. De modo que se establece la Resolución CREG 015 de 2018 en su capítulo 10 como el documento base para el desarrollo del modelo de cálculo objetivo. Además, se consulta al área de regulación y al profesional de conexiones de la Compañía Energética de Occidente sobre la regulación aplicada actualmente por la compañía en su papel de operador de red en el departamento del Cauca, coincidiendo con la revisión documental, obteniendo las siguientes conclusiones.

Durante los primeros cinco años de aplicación de los ingresos y cargos calculados con base en la Resolución CREG 015 de 2018, el pago anual por respaldo de transición será el resultante de las siguientes expresiones.

$$CRP_{u,n,t} = \text{máx} [CRT_{u,n,t}, CR_{u,n,0}]$$

Se toma el máximo entre $CRT_{u,n,t}$ y $CR_{u,n,0}$.

Donde:

$CRP_{u,n,t}$:

Costo de respaldo a pagar por el usuario u , en el nivel de tensión n , en el año t [39].

$CRT_{u,n,t}$:

Costo de respaldo de transición para el usuario u , en el nivel de tensión n , en el año t [39].

$CR_{u,n,0}$:

Costo de respaldo contratado por el usuario u , en el nivel de tensión n , en el año cero (0). Es el valor anual pagado por dicho usuario en el año anterior al del primer año de aplicación de cargos con base en esta resolución. En caso de no existir ningún pago, se debe calcular con base en el numeral 10.1 [39].

Para obtener el máximo, se calcula cada expresión individualmente.

$$CR_{u,n,t} = CR_{u,n,0} + b * \left(\frac{CRES P_{u,n} - CR_{u,n,0}}{5} \right)$$

Donde:

$$CRES P_{u,n} = Dt_{n,j,m-1,t} * (365) * h * Pot_u$$

CRES $P_{u,n}$:

Costo anual de respaldo de red del usuario u en el nivel de tensión n , en pesos [37].

D $t_{n,j,m,t}$:

Cargo por uso del nivel de tensión n del OR j en el mes m del año t en el que se realiza el cálculo del respaldo, en \$/kWh. Para el caso de nivel de tensión 4 es igual a $Dt_{4,R,m,t}$ [37].

h:

Cantidad de horas del día en las que la carga del circuito o subestación del OR j donde se requiere el respaldo es igual o superior al 95% de la máxima, según la curva definida según lo establecido en el numeral 10.4 [37].

Pot $_u$:

Es la potencia definida por el usuario u , en kW, sobre la cual se requiere respaldo [37].

Por otra parte:

$$CR_{u,n,0} = I_{TOTAL} + AOM_{TOTAL}$$

Donde:

$$I_{TOTAL} = [(I_T * CT_r) + I_L + I_E] * \frac{IPP_m}{IPP_0}$$

I $_r$:

Corresponde al costo de la capacidad de transformación requerida para el servicio de respaldo. La tarifa por unidad de potencia es de 12.400 \$/kVA-año (pesos de diciembre de 2007), independientemente del Nivel de Tensión al cual esté conectado el usuario [39].

CTr:

Capacidad de transformación (kVA), requerida para el servicio de respaldo [39].

L:

Corresponde a las inversiones en líneas que son utilizadas para prestar el servicio de respaldo en proporción a la capacidad de respaldo requerida, en el nivel de tensión que se encuentra la conexión [39].

IE:

Corresponde a las inversiones en equipos que son utilizados para prestar el servicio de respaldo en proporción a la capacidad de respaldo requerida, en el nivel de tensión que se encuentra la conexión [39].

Se infiere también que, a partir del quinto año, el costo se determinará solo por la variable **CRES**_{u,n} pues se cancelan el resto de los términos de la ecuación, cumpliendo con el periodo de transición establecido. Es importante poner la atención en la variable h para su cálculo pues si se analiza la ecuación es directamente proporcional al costo por respaldo de la red. La resolución CREG 015 de 2018 define el cálculo de esta variable mediante la determinación de las curvas de carga del circuito o subestación al cual se conecta el usuario, según los siguientes parámetros:

- A. La curva de carga se debe construir con base en la potencia promedio de cada hora, determinada a partir de las lecturas de energía o potencia disponibles. Un criterio para determinar estos períodos de carga se basa en el porcentaje de carga que se presenta en el sistema en una hora particular, referida a la carga máxima de la curva de carga [37].
- B. Los datos a utilizar deben corresponder a los registrados en los días hábiles del mes de septiembre anterior al mes de solicitud de respaldo [37].
- C. Se deben especificar los rangos de horas donde la potencia es igual o superior al 95% de la carga máxima [37].
- D. Para el nivel de tensión 1, las curvas pueden obtenerse de los equipos de medida instalados en el transformador de nivel de tensión 1 o puede utilizarse la del circuito de media tensión al cual se conecta dicho transformador [37].

El OR tendrá la obligación de justificar detalladamente el nivel de congestión en cada una de las horas de los circuitos de la red de distribución a su cargo en donde se supera el límite establecido en el numeral relativo a la capacidad nominal del circuito [37].

3.2.3 Muestreo de clientes con sistemas solares fotovoltaicos de la CEO

La presente sección presenta, la identificación de clientes objetivo a impactar mediante apoyo al proceso de legalización incluyendo la suscripción de contrato de respaldo, por solicitud expresa del equipo de Servicios Energéticos. Una vez realizadas las entrevistas con el equipo de Servicios Energéticos se establece a Olímpica, que constituye el cliente mas grande de CEO, cuyo proceso de legalización presenta un aspecto de mejora pues mantiene un retraso considerable en varias etapas del proceso de legalización, sobresaliendo la suscripción del contrato de respaldo, lo que ha incurrido en sobrecostos y bajas en la legalización.

Se ha realizado el acompañamiento enfocado en el cliente Olímpica en su fase contractual de 5 MWp fase #2, con la construcción de sistemas solares fotovoltaicos en 30 sedes distribuidas en todo el territorio nacional y de la fase 8 MWp Fase #3 con 55 sedes. El proceso de legalización de las tiendas se encontraba detenido en muchos casos por poder suscribir un contrato de respaldo acorde a los requerimientos tanto del OR como del cliente Olímpica, razón por la cual fue necesaria la estandarización de un contrato de respaldo por cada OR para así optimizar los tiempos de legalización, de modo que no se vieran afectados los ahorros al incurrir en cobros por reactiva que al momento de legalizar el sistema se exoneran según el Decreto 0929 de 2023 expedido por el Ministerio de Minas y Energía y la Presidencia de la Republica [53] y que además los cargos por el respaldo de la red se encuentren dentro de la regulación.

Para el seguimiento del estatus de legalización se implementa un tablero en Power Bi con el fin de presentar de manera más dinámica los avances en las reuniones periódicas con el cliente.

A continuación, se presentan tableros de Power Bi de estatus de legalización de sistemas SFV en la Compañía Energética de Occidente.

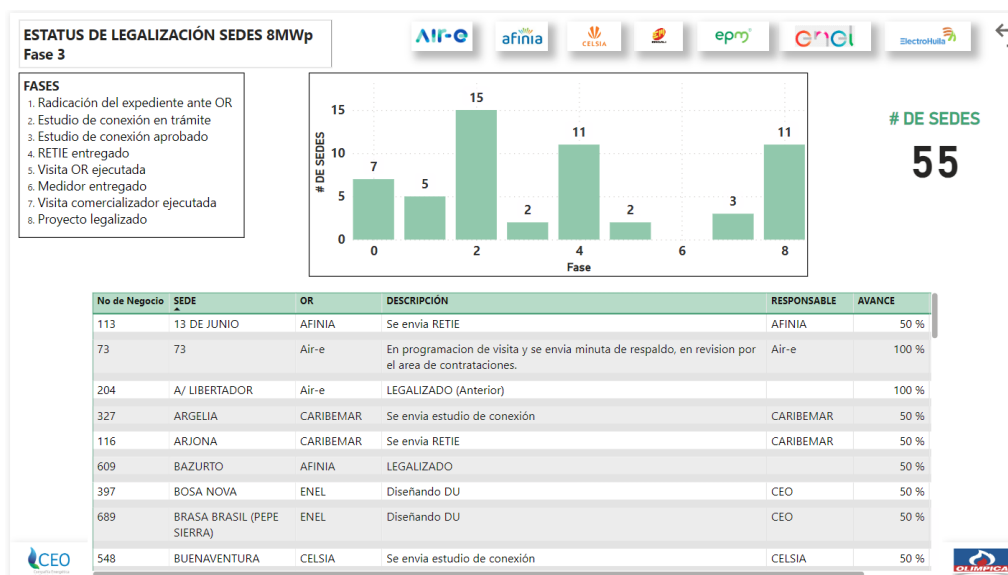


Figura 13: Power Bi de estatus de legalización. Fuente [Elaboración propia].

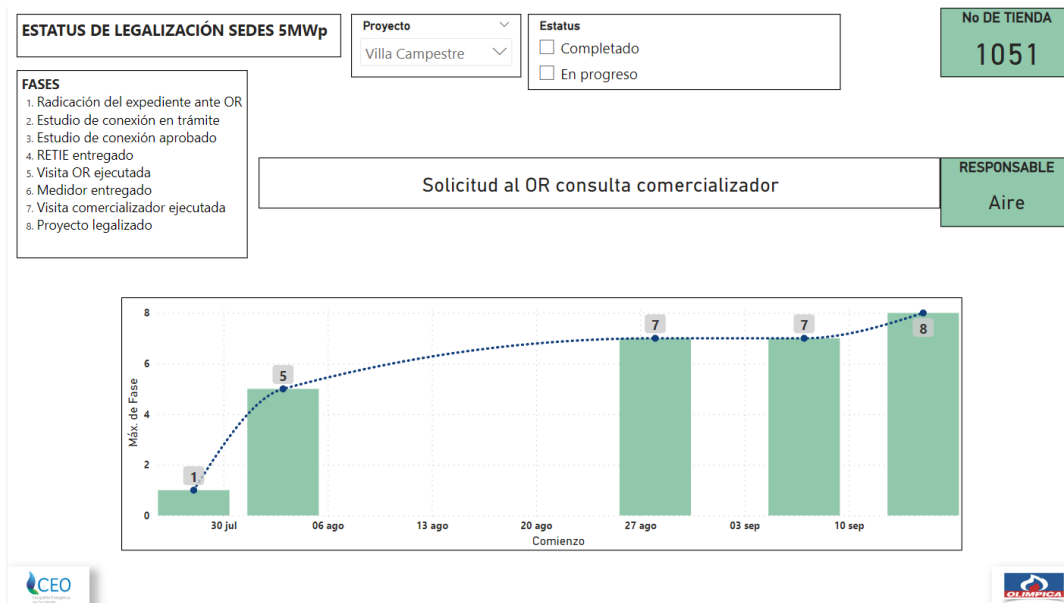


Figura 14: Power Bi de estatus de legalización. Fuente [Elaboración propia].

3.2.4 Modelo de cálculo de costos por respaldo para los clientes solares de la CEO

Una vez se selecciona el cliente objetivo se procede a establecer el modelo de cálculo para los costos por contrato de respaldo de modo que se pueda implementar para dar viabilidad a futuros proyectos que implementen sistemas solares fotovoltaicos con capacidad instalada mayor a 100 kWp.

El modelo de cálculo que se presenta a continuación es el resultante de la implementación de la resolución CREG 015 de 2018 para su uso en el cálculo de los costos por respaldo de la red para los clientes con sistemas solares fotovoltaicos de la Compañía Energética de Occidente.

El modelo utiliza una interfaz clara y descriptiva para facilitar su uso por parte del equipo de Servicios Energéticos para entregar información precisa a los clientes para la suscripción del contrato de respaldo de red de los clientes con su operador de Red.

El primer tablero implementa el cálculo de los costos teniendo en cuenta lo establecido en la resolución CREG 015 de 2018 y modificado mediante la resolución CREG 36 de 2019, de modo que se pueda usar para cualquier cliente sin importar cual sea su operador de red pues incluye de manera clara el periodo de transición establecido que tiene un impacto importante en el resultado del cálculo.

Dando cumplimiento a las cláusulas contractuales con el cliente Olímpica no se expone dicha información en este apartado, por lo que para fines educativos se selecciona el cliente Fareva, multinacional francesa, líder mundial en la

subcontratación de manufactura para los sectores farmacéuticos, cosméticos, Ingredientes farmacéuticos activos, maquillaje y cuidado personal e industrial, que llegó a Colombia en el año 2019 y quien cuenta con un sistema solar fotovoltaico de 2 MWp construido por Celsia en el municipio de Villa Rica, Cauca, de modo que se encuentra dentro del mercado del departamento del Cauca, donde CEO es operador de red y por tanto han suscrito un contrato de respaldo [54].

En el ejercicio presentado en la figura 15 se tiene el cálculo del costo de respaldo de red para el cliente Fareva Villa Rica SAS. Una vez integran los resultados de los tableros siguientes, se obtiene como resultado para el año 2023 un costo anual de **\$14.629.735** y se observa que el periodo de transición queda sin efecto pues la variable b en este caso corresponde a 5.

A continuación, se presenta tablero de costos por respaldo de la red, incluyendo la transición definida por la Resolución CREG 015 de 2018.

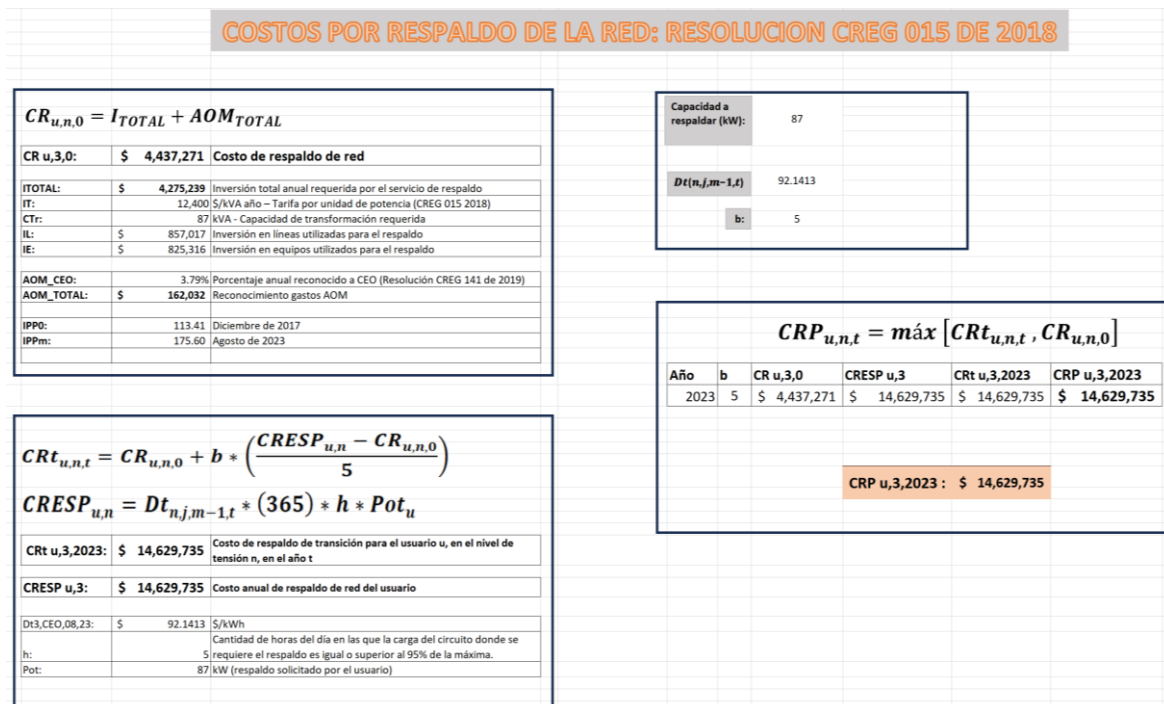


Figura 15: Modelo de Cálculo Costos Por Respaldo de Red. Fuente [Elaboración propia].

La variable h se calcula mediante la información entregada por el OR, en este caso CEO proporciona la demanda promedio por hora en el circuito al cual está conectado el SFV de Fareva, encontrando 5 horas en las cuales la carga del circuito es mayor o igual al 95% de la carga máxima. Es importante destacar que una vez superados los 5 años de transición definidos por la variable b, la variable h es directamente proporcional a los costos por respaldo de la red.

A continuación, se presenta tablero para la determinación de la variable h para el cálculo de costos por respaldo de la red mediante la curva de cargabilidad del circuito o subestación donde se requiere el respaldo.

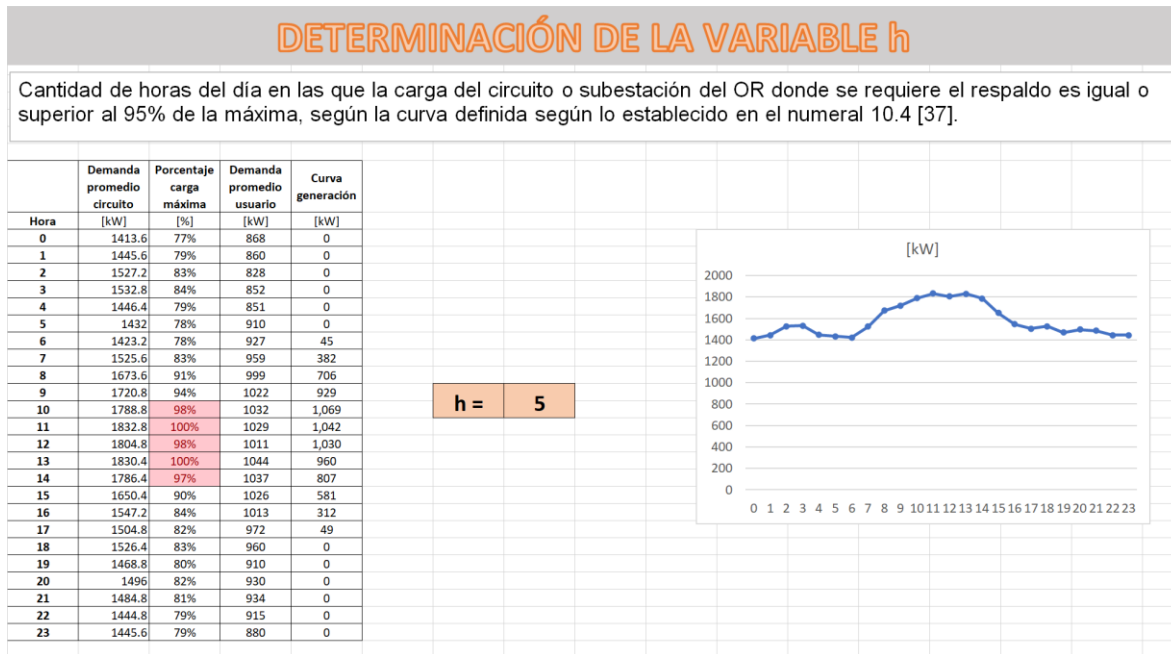


Figura 16: Determinación de la variable h. [Elaboración propia]

El tablero de la figura 17 relaciona las inversiones en líneas y equipos que son utilizadas para prestar el servicio de respaldo en proporción a la capacidad de respaldo requerida, en el nivel de tensión que se encuentra la conexión. Esta información debe ser proporcionada por el operador de red según lo establecido en la resolución CREG 015 de 2018.

INVERSIÓN EN LINEAS Y EQUIPOS

Inversión respaldo en líneas (Capítulo 15. UC para valoración de activos BRA inicial)										
UC	Descripción UC	Valor instalado \$ Dic 2007	Cantidad [km]	Capacidad [A]	Respaldo [A]	Relación Pcr	VI Años	Tasa %	I _L	
N3L116	km de conductor (3 fases) de cobre aislado XLP o EPR, 35 kV- 4/0 AWG	\$ 261,654,000	0.05	355	1.49	0.42%	45	12.09%	\$ 6,678	
N3L82	Canalización 4*6"	\$ 512,465,000	0.05	355	1.49	0.42%	45	12.09%	\$ 13,079	
N3EQ5	Reconector - N3	\$ 60,774,000	2	355	1.49	0.42%	45	12.09%	\$ 62,043	
N3L60	Poste de concreto de 14 m 750 kg Poste simple - Circuito sencillo - suspensión	\$ 3,943,000	132	355	1.49	0.42%	45	12.09%	\$ 265,673	
N3L61	Poste de concreto de 14 m 750 kg Poste simple - Circuito sencillo - retención	\$ 6,953,000	88	355	1.49	0.42%	45	12.09%	\$ 312,321	
N3L89	km de conductor (3 fases) ACSR 4/0 AWG	\$ 25,204,000	15.33	355	1.49	0.42%	45	12.09%	\$ 197,223	
									\$ 857,017	
Inversión respaldo en equipos (Capítulo 15. UC para valoración de activos BRA inicial)										
UC	Descripción UC	Valor instalado \$ Dic 2007	Cantidad Un	Capacidad [A]	Respaldo [A]	Relación Pcr	VI Años	Tasa %	I _E	
N3S11	Celda de llegada o salida - subestación tipo interior-aire	\$ 260,919,000	2	669	1.49	0.22%	35	12.09%	\$ 143,151	
N4T6	Transformador trifásico (OLTC) lado de alta en el nivel 4 capacidad final de 31 a 40 MVA	\$ 2,484,204,000	1	669	1.49	0.22%	35	12.09%	\$ 681,468	
N3EQ9	Transición aérea - subterránea - N3	\$ 2,540,000	1	669	1.49	0.22%	35	12.09%	\$ 697	
									\$ 825,316	

Figura 17: Inversión en líneas y equipos. Fuente [Elaboración propia].

El valor del AOM está establecido para cada nivel de tensión y representa el porcentaje anual reconocido al OR en la remuneración de la actividad de distribución, aplicada a la inversión requerida para la prestación del servicio de capacidad de respaldo.

A continuación, se presentan valores AOM reconocidos al OR.

AOM				
Valor de AOM base para cada nivel de tensión de CEO (CREG 141 de 2019)				
AOM en niveles tensión	Valor diciembre 2017	AOM reconocido a CEO	%	
AOM nivel tensión 4	\$ 5,611,186,959	\$ 147,134,096,406	3.81%	
AOM nivel tensión 3	\$ 6,661,550,024	\$ 175,921,662,790	3.79%	
AOM nivel tensión 2	\$ 17,954,835,846	\$ 494,886,033,120	3.63%	
AOM nivel tensión 1	\$ 7,912,571,418	\$ 222,738,077,112	3.55%	

Figura 18: AOM. Fuente [Elaboración propia].

3.3 Interfaz de Reporte de Generación Mensual

La presente sección enmarca el desarrollo para el cumplimiento del objetivo específico encaminado a la implementación de una interfaz que permita a los clientes autogeneradores de energía solar de la Compañía Energética de Occidente conocer oportunamente su generación mensual de modo que se agilice y simplifique el proceso de reporte mensual de generación solar a cargo del equipo de Servicios Energéticos, facilitando la recopilación de datos y mejorando la precisión y oportunidad de la información proporcionada por la Compañía Energética de Occidente mediante la implementación de un software con disponibilidad inmediata.

3.3.1 Identificación de requerimientos

La fase de identificación de los requerimientos técnicos y funcionales es una etapa fundamental en el desarrollo de cualquier proyecto de software. En esta fase, se recopila la información necesaria para definir los requisitos que debe cumplir el sistema.

En el caso del desarrollo de una interfaz para clientes autogeneradores de energía solar de la Compañía Energética de Occidente, los principales objetivos son los siguientes:

- Permitir a los clientes conocer oportunamente su generación mensual.
- Agilizar y simplificar el proceso de reporte mensual de generación solar a cargo del equipo de Servicios Energéticos.

Para identificar estos requerimientos, se realizaron las siguientes actividades:

- Entrevistas con el equipo de Servicios Energéticos.
- Revisión del estado actual de los reportes:
El informe de generación mensual se genera mediante una hoja de Excel que demanda manualidad, tiempos largos de ejecución y errores en los datos presentados, lo que deriva en intermitencia en la entrega de información relevante para los clientes.

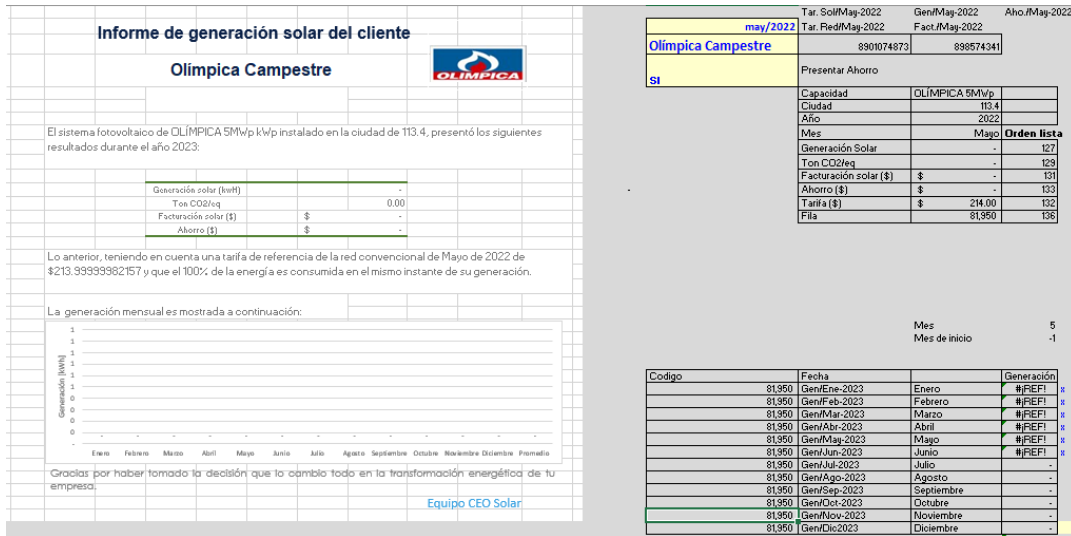


Figura 19: Estado Actual de los Reportes de Generación. Fuente [52].

3.3.1.1 Requerimientos técnicos y funcionales

Se presentan a continuación los requerimientos resultantes:

- La interfaz debe ser accesible a través de un navegador web.
- La interfaz debe utilizar un lenguaje de programación de fácil aprendizaje y mantenimiento.
- La interfaz debe ser escalable para soportar un número creciente de usuarios.
- La interfaz debe permitir a los clientes consultar la generación mensual de energía solar mediante SFV e incluir histórico de los 6 últimos meses.
- La interfaz debe presentar los detalles de cada proyecto, como su potencia y ubicación.
- La interfaz debe permitir a los clientes observar las Ton CO2/eq dejados de emitir por la implementación del sistema solar fotovoltaico.
- La interfaz debe incluir la facturación solar en pesos colombianos del mes en cuestión o de los meses a consultar, además de un estimado de ahorros generados respecto al CU convencional.
- La interfaz debe presentar el porcentaje de cumplimiento de generación respecto a las condiciones contractuales definidas para cada cliente.

- La interfaz debe ser clara, visualmente agradable y fácil de entender, además de incluir el logo de la compañía y las imágenes publicitarias del área de servicios energéticos.
- La herramienta tecnológica a implementar debe ser de fácil acceso y además contar con licenciamiento por parte de CEO.

3.3.1.2 Elección del software

Una vez identificados los requerimientos se procede a la elección de la herramienta tecnológica o software a implementar en el desarrollo.

La Compañía Energética de Occidente ha decidido utilizar Power BI para el desarrollo de la interfaz para clientes autogeneradores de energía solar por las siguientes razones:

- Disponibilidad: Power BI está disponible en la suscripción de Microsoft 365 de la empresa.
- Facilidad de uso: Power BI es una herramienta fácil de aprender y usar, incluso para usuarios con poca experiencia en análisis de datos.
- Flexibilidad: Power BI es una herramienta flexible que se puede utilizar para una variedad de propósitos.

Power BI es una herramienta de inteligencia empresarial que permite a los usuarios visualizar y analizar datos de manera efectiva.

Power BI es una colección de servicios de software, aplicaciones y conectores que funcionan conjuntamente para convertir orígenes de datos sin relación entre sí en información coherente, interactiva y atractiva visualmente. Sus datos podrían ser una hoja de cálculo de Excel o una colección de almacenes de datos híbridos locales y basados en la nube. Power BI permite conectarse con facilidad a los orígenes de datos, visualizar y descubrir qué es importante y compartirlo con cualquiera o con todos los usuarios que desee [55].

Power BI consta de varios elementos que funcionan de manera conjunta, empezando por estos tres conceptos básicos:

- Aplicación de escritorio de Windows llamada Power BI Desktop [55].
- Servicio de software como servicio (SaaS) en línea denominado servicio Power BI [55].
- Aplicaciones para Power BI Mobile para dispositivos Windows, iOS y Android [55].

Estos tres elementos (Power BI Desktop, el servicio y las aplicaciones móviles) están diseñados para crear, compartir y usar información empresarial de la forma que le resulte más eficaz [55].

A continuación, se presentan los 3 servicios que ofrece Power Bi.

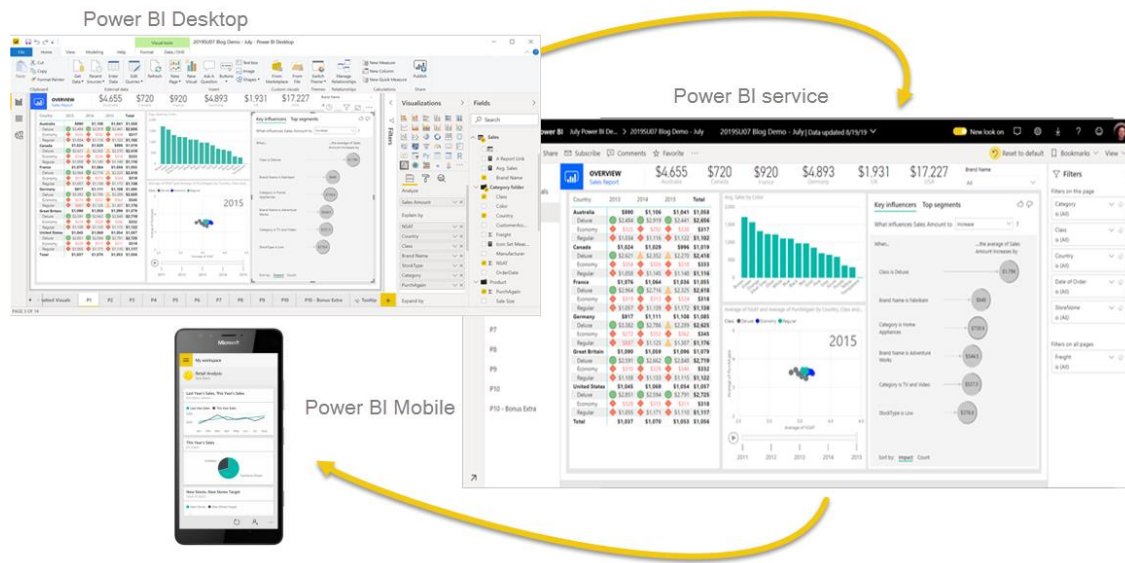


Figura 20: Power Bi. Fuente [55].

3.3.2 Recopilación de bases de datos de los clientes solares de la CEO

En esta fase, se identifica y documenta la información que se necesitará para generar los reportes según los requerimientos anteriormente definidos:

3.3.2.1 Información del cliente y proyecto

Uno de los requerimientos fundamentales es la inclusión de los datos generales y contractuales de los diferentes clientes y proyectos que actualmente factura la Compañía Energética de Occidente. En esta fase se requiere generar una base de datos, incluyendo 121 proyectos que hasta se encuentran generando hasta el momento y permitir el ingreso de los proyectos que a futuro se energizarán.

Para la base de datos de información general de los clientes se definen los siguientes campos:

- Producto (ID interno)
- Cliente (Nombre del proyecto)
- Tipo de proyecto (Fase del proyecto)
- Municipio (Ubicación)
- Departamento: (Ubicación)
- País: (Ubicación)
- Potencia

Por solicitud del equipo de Servicios Energéticos se genera la base de datos mediante la implementación de Excel, proporcionando una fuente de datos

importante para el desarrollo de los procesos del área al unificar la información relevante.

A continuación, se presenta recopilación de información importante de los clientes con sistemas SFV de la Compañía Energética de Occidente.

3.3.2.2 Generación esperada del sistema SFV

Cada cliente de la compañía Energética de Occidente suscribe un contrato para el suministro de energía eléctrica para autoconsumo a partir de sistema solar fotovoltaico, donde se especifica la generación estimada en kWh/año partiendo de la potencia del sistema y de su ubicación geográfica por la irradiancia solar estimada de cada zona del país. Por tal razón es necesario el suministro de esta generación para obedecer al requerimiento de la presentación del porcentaje de cumplimiento de generación mensual del sistema.

Para la base de datos de generación estimada se definen los siguientes campos:

- Producto (ID interno)
- Cliente (Nombre del proyecto)
- Inicio de contrato (Fecha de energización del sistema)
- Generación estimada para cada año dentro de la duración de cada contrato.

Además de 3 campos formulados que entregan la generación esperada anual dependiendo del año de contrato en que se encuentre cada cliente.

A continuación, se presenta bases de datos de generación esperada de los sistemas SFV.

- Facturación Solar (Columna formulada)
- Tarifa solar
- Ton CO₂/Eq (Columna Formulada)
- Tarifa convencional
- Facturación convencional (Columna Formulada)

El cálculo de la emisión de CO₂ se realiza según lo definido por la Resolución 320 de 2022 establecida por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME donde actualiza el factor de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional así [56]:

0.504 tonCO₂eq/MWh

Figura 23: Factor de emisión de CO₂. Fuente[56].

A continuación, se presenta plantilla de cargue de generación y facturación de los clientes con sistemas SFV de la Compañía Energética de Occidente.

Una vez se comprenden los aspectos generales de su funcionamiento se procede a la vinculación de las bases de datos creadas para así hacer uso de ellas en el entorno.

A continuación, se presenta apartado de vinculación de bases de datos generadas en Power Bi.

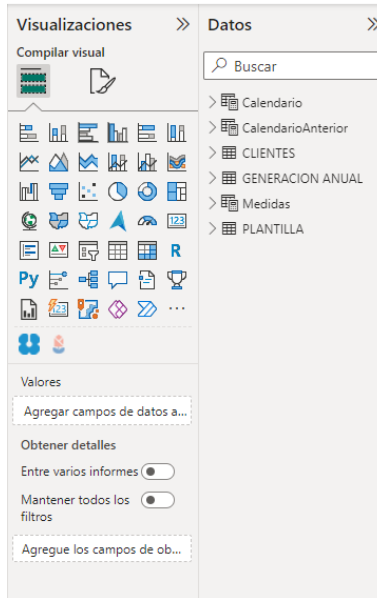


Figura 25: Vinculación de bases de datos. Fuente [Elaboración propia].

PRODUCTO	CLIENTE	TIPO DE PROYECTO	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	PAIS	POTENCIA	UBICACION
89842523	Promigas	PROMIGAS SEDE 1	Barranquilla	ATLANTICO	COLOMBIA	1968	COLOMBIA ATLANTICO Barranquilla
89842564	Hotel Tierra de Oro	HOTEL TIERRA DE ORO	Santander de Quilichao	CAUCA	COLOMBIA	602	COLOMBIA CAUCA Santander de Quilichao
89841593	ValleRies	VALLE RIES	Villa Rica	CAUCA	COLOMBIA	132,06	COLOMBIA CAUCA Villa Rica
89842709	Clinica del Cauca - Reina Victoria	CLINICA REINA VICTORIA	Popayán	CAUCA	COLOMBIA	165	COLOMBIA CAUCA Popayán
898472914	CDM Transformadores	CDM TRANSFORMADORES	San José de Cúcuta	NORTE DE SANTANDER	COLOMBIA	99	COLOMBIA NORTE DE SANTANDER San José de Cúcuta
898462707	Olimpica Yopal	OLIMPICA 1MWp	Yopal	CASANARE	COLOMBIA	235.62	COLOMBIA CASANARE Yopal
898462717	Olimpica Neiva	OLIMPICA 1MWp	Neiva	HUILA	COLOMBIA	126.63	COLOMBIA HUILA Neiva
898462722	Olimpica Amantotto	OLIMPICA 1MWp	Neiva	HUILA	COLOMBIA	84.47	COLOMBIA HUILA Neiva
898462715	Olimpica Guacarí	OLIMPICA 1MWp	Guacarí	VALLE DEL CAUCA	COLOMBIA	76.045	COLOMBIA VALLE DEL CAUCA Guacarí
898473507	Olimpica Fonseca	OLIMPICA 1MWp	Fonseca	LA GUAJIRA	COLOMBIA	84.47	COLOMBIA LA GUAJIRA Fonseca
898473517	Olimpica Zuanza	OLIMPICA 1MWp	Santa Marta	MAGDALENA	COLOMBIA	75.71	COLOMBIA MAGDALENA Santa Marta
898473709	Olimpica El Banco	OLIMPICA 1MWp	El Banco	MAGDALENA	COLOMBIA	126.63	COLOMBIA MAGDALENA El Banco
898473505	Olimpica Calamar	OLIMPICA 1MWp	Calamar	GUAVIARE	COLOMBIA	79.06	COLOMBIA GUAVIARE Calamar
898473515	Olimpica Mamatoco	OLIMPICA 1MWp	Santa Marta	MAGDALENA	COLOMBIA	84.47	COLOMBIA MAGDALENA Santa Marta
898478707	Olimpica Pivijay	OLIMPICA 1MWp	Pivijay	MAGDALENA	COLOMBIA	84.47	COLOMBIA MAGDALENA Pivijay
898473979	Colombina	COLOMBINA	Santander de Quilichao	CAUCA	COLOMBIA	1960	COLOMBIA CAUCA Santander de Quilichao
89855363	Malambo	MALAMBO	Malambo	ATLANTICO	COLOMBIA	548.1	COLOMBIA ATLANTICO Malambo
898540406	Olimpica La Bonga	OLIMPICA 3MWp	Santa Marta	MAGDALENA	COLOMBIA	175.2	COLOMBIA MAGDALENA Santa Marta
898540412	Olimpica Las Torres	OLIMPICA 3MWp	Barranquilla	ATLANTICO	COLOMBIA	157.5	COLOMBIA ATLANTICO Barranquilla
898540392	Olimpica Chiquinquira	OLIMPICA 3MWp	Barranquilla	ATLANTICO	COLOMBIA	78.3	COLOMBIA ATLANTICO Barranquilla
898540400	Olimpica Boscón	OLIMPICA 3MWp	Boscón	CESAR	COLOMBIA	63	COLOMBIA CESAR Boscón
898540409	Olimpica Las Palmas	OLIMPICA 3MWp	Barranquilla	ATLANTICO	COLOMBIA	169.2	COLOMBIA ATLANTICO Barranquilla
898540520	Olimpica Malambo	OLIMPICA 3MWp	Malambo	ATLANTICO	COLOMBIA	77.4	COLOMBIA ATLANTICO Malambo
898540630	Olimpica Plato	OLIMPICA 3MWp	Plato	MAGDALENA	COLOMBIA	115.2	COLOMBIA MAGDALENA Plato
898540420	Olimpica Santa Loma	OLIMPICA 3MWp	Neiva	HUILA	COLOMBIA	115.2	COLOMBIA HUILA Neiva
898540942	Olimpica Montería	OLIMPICA 3MWp	Montería	CÓRDOBA	COLOMBIA	115.2	COLOMBIA CÓRDOBA Montería
898540944	Olimpica Suroeste	OLIMPICA 3MWp	Suroeste	SUCRE	COLOMBIA	252.9	COLOMBIA SUCRE Suroeste
898541647	Olimpica Aguachica	OLIMPICA 3MWp	Aguachica	CESAR	COLOMBIA	288.9	COLOMBIA CESAR Aguachica
898541649	Olimpica Pedro de Heredia	OLIMPICA 3MWp	Cartagena de Indias	BOLÍVAR	COLOMBIA	83.7	COLOMBIA BOLÍVAR Cartagena de Indias
898539000	Olimpica Magangué	OLIMPICA 3MWp	Magangué	BOLÍVAR	COLOMBIA	270.6	COLOMBIA BOLÍVAR Magangué
898539088	Olimpica Villa Campesino	OLIMPICA 3MWp	Puerto Colombia	ATLANTICO	COLOMBIA	115.2	COLOMBIA ATLANTICO Puerto Colombia
898540000	Olimpica Tangaraco	OLIMPICA 3MWp	Barranquilla	ATLANTICO	COLOMBIA	115.2	COLOMBIA ATLANTICO Barranquilla
898550752	Olimpica Valledupar	OLIMPICA 3MWp	Valledupar	CESAR	COLOMBIA	283.5	COLOMBIA CESAR Valledupar
898538325	Olimpica Sabana Grande	OLIMPICA 3MWp	Sabana Grande	ATLANTICO	COLOMBIA	79.2	COLOMBIA ATLANTICO Sabana Grande
898538386	Olimpica San Fernando	OLIMPICA 3MWp	Cartagena de Indias	BOLÍVAR	COLOMBIA	115.2	COLOMBIA BOLÍVAR Cartagena de Indias
898538392	Olimpica Maicao	OLIMPICA 3MWp	Maicao	LA GUAJIRA	COLOMBIA	128.7	COLOMBIA LA GUAJIRA Maicao
898558572	Olimpica Los Riales	OLIMPICA 3MWp	Santand	ATLANTICO	COLOMBIA	144.49	COLOMBIA ATLANTICO Santand
898552798	Olimpica Villa Santos	OLIMPICA 3MWp	Barranquilla	ATLANTICO	COLOMBIA	112.5	COLOMBIA ATLANTICO Barranquilla

Figura 26: Vinculación de bases de datos. Fuente [Elaboración propia].

La llave o relación interna que utiliza CEO en todos sus procesos es el producto, que es un ID de manejo interno, por lo que los datos en Power Bi tienen la misma llave entre bases de datos.

A continuación, se presenta interfaz de relaciones o llaves entre las bases de datos en Power Bi.

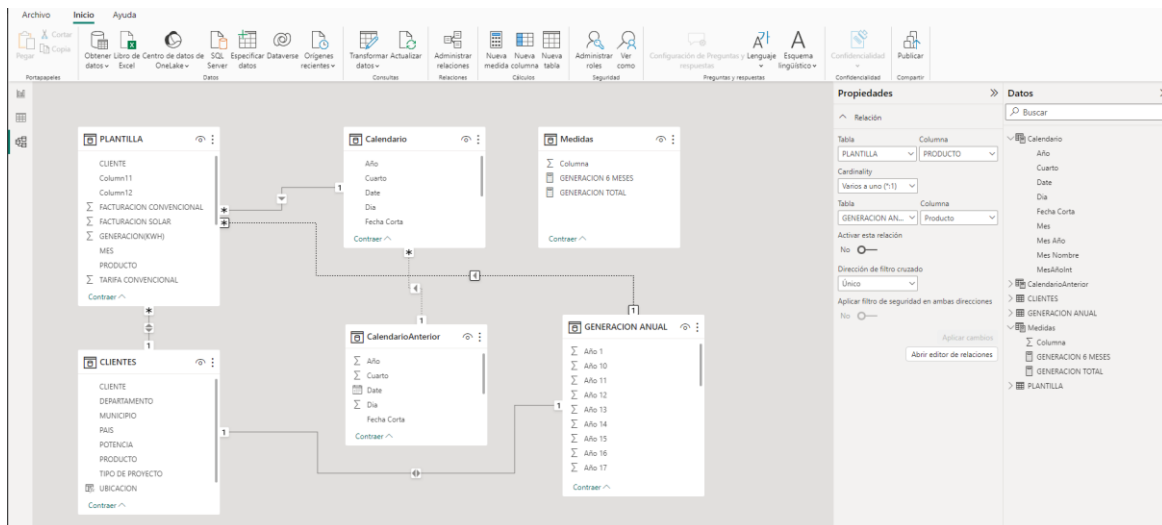


Figura 27: Relaciones entre tablas. Fuente [Elaboración propia].

Una vez cargada toda la información necesaria se procede al diseño de cada parte de la interfaz con el objetivo de cumplir los requerimientos:

1. Información del cliente

Se implementan el nombre del cliente, la potencia, la ubicación, el mes de generación y se incluye la georreferenciación mediante mapa coroplético. A continuación, se presenta ubicación y formato dentro del informe de generación.

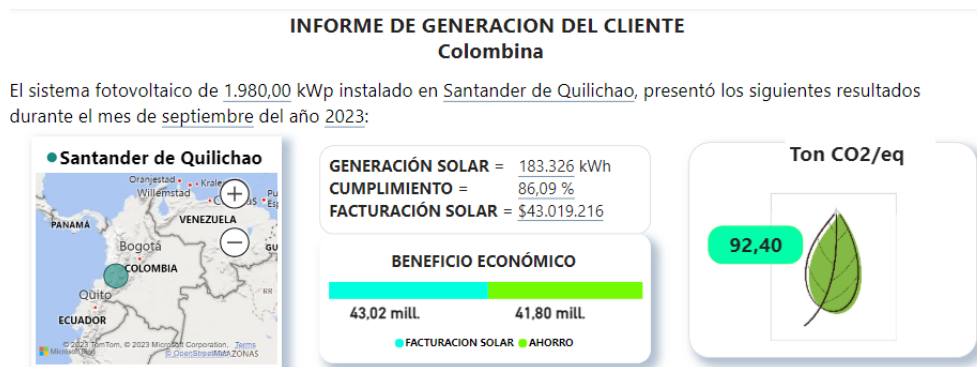


Figura 28: Información general del cliente. Fuente [Elaboración propia].

2. Generación y facturación solar mensual

Se implementan la generación solar, el porcentaje de cumplimiento de generación, la facturación solar y el ahorro con referencia en la tarifa

convencional del cliente. A continuación, se presenta ubicación y formato dentro del informe de generación.

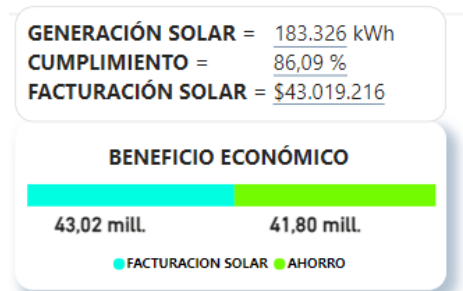


Figura 29: Generación mensual. Fuente [Elaboración propia].

El beneficio económico se calcula teniendo en cuenta una tarifa de referencia de la red convencional para septiembre de 2023 de \$463 y que el 100% de la energía es consumida en el mismo instante de su generación.

Figura 30: Ahorros. Fuente [Elaboración propia].

3. Ton CO₂/Eq

Se implementa el cálculo de emisión de CO₂ equivalentes según requerimiento de diseño del equipo de Servicios Energéticos. A continuación, se presenta ubicación y formato dentro del informe de generación.

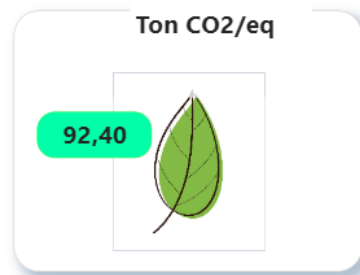


Figura 31: Ton CO₂/eq. Fuente [Elaboración propia].

4. Generación de los últimos 6 meses

Para implementar el histórico de generación de cada cliente para los últimos 6 meses, tal como lo indica el requerimiento, se generan dos medidas tipo calendario en los datos de Power Bi. A continuación, se presentan códigos, ubicación y formato dentro del informe de generación del histórico de generación.

```

1 Calendario =
2 var _min = MIN(PLANTILLA[MES])
3 var _max = MAX(PLANTILLA[MES])
4 return
5 ADDCOLUMNS(CALENDAR(_min,_max),
6 "Año",YEAR([Date]),
7 "Mes",MONTH([Date]),
8 "Mes Año",FORMAT([Date],"mmmm")&"-"&YEAR([Date]),
9 "Día",DAY([Date]),
10 "Cuarto",QUARTER([Date]),
11 "Mes Nombre",FORMAT([Date],"MMMM"),
12 "MesAñoInt",YEAR([Date])*100+MONTH([Date]),
13 "Fecha Corta",FORMAT([Date],"dd/mm/yyyy")
14 )

```

Figura 32: Medidas calendario. Fuente [Elaboración propia].

Se hace necesario también la creación otra medida que permita extraer la generación de los últimos 6 meses tomando como referencia el mes de generación que se requiera sin afectar las demás visuales de la interfaz.

```

1 GENERACION 6 MESES =
2 var ReferenciaFechas = MAX(Calendario[Date])
3 var FechasAnterior = DATESINPERIOD(CalendarioAnterior[Date],ReferenciaFechas,-6,MONTH)
4 var Calculo6Meses = CALCULATE([GENERACION TOTAL],REMOVEFILTERS(Calendario),KEEPFILTERS(FechasAnterior),USERELATIONSHIP(Calendario
[Date],CalendarioAnterior[Date]))
5 return
6 Calculo6Meses

```

Figura 33: Medida de histórico de generación. Fuente [Elaboración propia].

Al final se obtiene el resultado que se muestra a continuación:

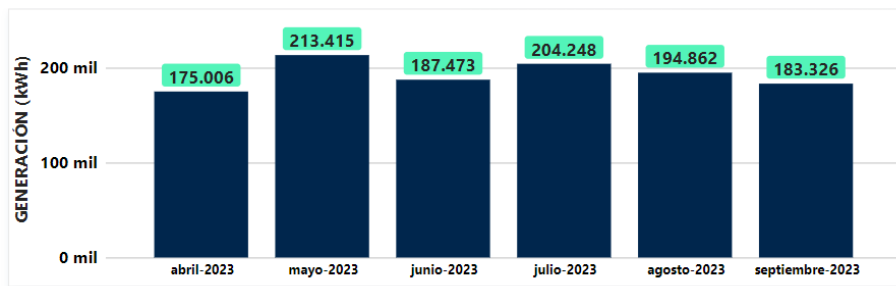


Figura 34: Gráfico de generación. Fuente [Elaboración propia].

5. Logo de CEO y publicidad de CEO solar:

Se presentan a continuación imágenes y textos alusivos a las campañas publicitarias de CEO solar según requerimiento:



Figura 35: CEO solar. Fuente [Elaboración propia].

Gracias por haber tomado la decisión que lo cambio todo en la transformación energética de tu empresa.

Equipo CEO Solar

Figura 36: Mensaje CEO solar. Fuente [Elaboración propia].

La interfaz resultante al final de las validaciones y cambios realizados conjuntamente con el equipo de Servicios Energéticos se presenta a continuación:

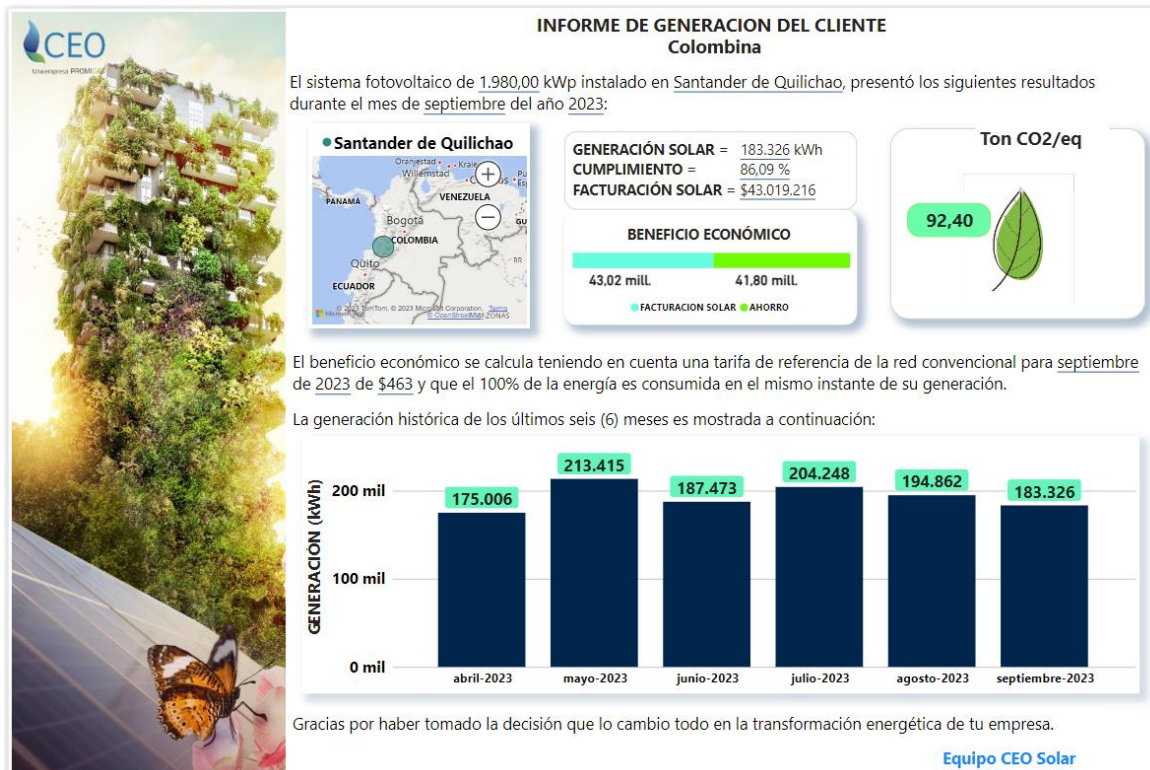


Figura 37: Interfaz de reporte de generación mensual. Fuente [Elaboración propia].

3.3.4 Pruebas de funcionamiento y capacitación

Las bases de datos se alimentan con la generación de junio de 2022 hasta fecha con el fin de tener un espectro amplio en el histórico de generación. Se realizan pruebas de funcionamiento y cumplimiento de requerimientos para todos los clientes, obteniendo resultados exitosos, de modo que de inmediato se procede a efectuar la capacitación al Profesional Comercial de Servicios Energéticos para el uso del desarrollo mediante la herramienta Power BI.

Una vez hay total entendimiento del sistema por parte del encargado del área de Servicios Energéticos se implementa para el envío del reporte mensual desde el mes de mayo de 2023 hasta la fecha, presentando conformidad por parte de la Compañía Energética de Occidente representada en el coordinador y el profesional del área de Servicios Energéticos.

Una vez el desarrollo es aprobado por la Dirección de Servicios Energéticos, se traslada la solicitud al área correspondiente para la publicación del tablero de Power Bi en línea para que cada cliente mediante credenciales únicas creadas con anterioridad pueda acceder a su reporte de generación mensual, de modo que la información se encuentre segura.

4 CONCLUSIONES

En la presente sección se presenta un análisis de los resultados obtenidos y se mencionan las principales contribuciones del trabajo de grado.

4.1 Contribuciones del trabajo de grado

El presente trabajo de grado tiene los siguientes aportes:

- Identificación de los procesos y oportunidades de mejora del área de Servicios Energéticos de la Compañía Energética de Occidente.
- Marco legal enmarcado en el desarrollo de la generación eléctrica mediante FNCER en Colombia.
- Modelo de cálculo de los costos por contrato de respaldo para los clientes autogeneradores de energía mediante sistemas solares fotovoltaicos de la CEO aplicando lo establecido en la resolución CREG 015 de 2018 permitiendo brindar una asesoría regulatoria a los clientes.
- Interfaz de seguimiento en Power Bi de estatus de legalización para los clientes con sistema SFV de la CEO, aportando un estatus de fácil acceso y entendimiento para todos los actores implicados en el proceso y así cumplir con los tiempos regulatorios.
- Consolidación de bases de datos de los clientes en operación con sistemas SFV de la CEO.
- Interfaz en Power Bi para seguimiento interno de la generación y tarifas aplicadas a los clientes.
- Interfaz de informe de generación para los clientes autogeneradores mediante sistema SFV de la Compañía Energética de Occidente, reduciendo los tiempos de proceso y facilitando el acceso de los clientes a la información.

4.2 Conclusiones

Se presentan a continuación las conclusiones que arroja el desarrollo del presente trabajo de grado:

- Aunque la implementación de FNCER en la generación de energía eléctrica ha crecido sustancialmente en Colombia, aún existen grandes desafíos técnicos, económicos, sociales y políticos para desarrollar el gran potencial que tiene el país.
- La Compañía Energética de Occidente es un gran referente a nivel nacional en el desarrollo de proyectos de generación eléctrica mediante sistemas

solares fotovoltaicos con más de 32 MWp de capacidad instalada, aun así, actualmente tiene oportunidades de mejora en los tiempos del proceso de legalización, situación que afecta los ahorros de los clientes y los ingresos de la compañía.

- Los operadores de red, responsables de poner a disposición de los autogeneradores las herramientas para el proceso de legalización, aún tienen muchas falencias en los tiempos de respuesta, lo que imposibilita la entrada masiva de proyectos de generación solar al SIN.
- La regulación existente para el costo de contrato de respaldo de la red y más específicamente la resolución CREG 015 de 2018 y sus modificaciones, no presentan inequívocamente algunas disposiciones que tienen un alto impacto en los costos, de modo que se prestan para interpretaciones diversas de cada parte en cuestión. Ejemplo de ello es la variable h dentro del modelo de cálculo aportado por la resolución CREG 015 de 2018 la cual es determinante pues si se analiza la ecuación es directamente proporcional al costo por respaldo de la red, pues se evidenció que se pueden incluir dentro de la curva de carga las horas no solares donde los SFV no necesitarían respaldo de la red. En este caso se considera la regulación debe incluir de manera clara la toma de decisión por parte del autogenerador las horas en que necesita el respaldo de la red, llegando incluso a ser cero en ocasión de que estas horas no estén por encima del 95 % de carga máxima del circuito al cual se encuentra conectado.
- La herramienta Power Bi tiene un gran potencial en la implementación del análisis y visualización de datos de compañías de todas las áreas por su versatilidad, interactividad y diseño visualmente atractivo, siendo imperativo para los ingenieros en automática industrial acceder durante su proceso educativo a este tipo de herramientas que permiten destacar en el ambiente laboral.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. Gonzalez, "Estudio para la Hoja de Ruta de la Transición Energética Colombia 2050", Colombia Inteligente, 2023.
- [2] Corredor. G, "Colombia y la transición energética", Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá - Facultad de Derecho y Ciencias Políticas y Sociales - Departamento de Ciencias Políticas, 2018.
- [3] "La transición energética justa en Colombia seguirá avanzando de manera gradual", Minenergia. [En línea]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia-seguir%C3%A1-avanzando-de-manera-gradual/>.
- [4] P. M. Tejada Guzmán, "Energías renovables en Colombia: avances para la transición energética", Asociación Ambiente y Sociedad, 2022.
- [5] M. A. Planas Marti y J. Cárdenas, "La matriz energética de Colombia se renueva", Energía para el Futuro, 2019.
- [6] Invest in Colombia, "Colombia y su potencial en fuentes de energía renovables", 2018.
- [7] A. Martínez O., "Transición Energética y Retos del sector energético en Colombia", Fedesarrollo, 2021.
- [8] P. M. Tejada Guzmán, "Energías renovables en Colombia: avances para la transición energética", Asociación Ambiente y Sociedad, 2022.
- [9] "Quiénes Somos - Compañía Energética de Occidente - Popayán - Colombia". Compañía Energética de Occidente - Popayán – Colombia, [En Línea]. Disponible: <https://www.ceoesp.com.co/quienes-somos>.
- [10] "Ceo renovable - Compañía Energética de Occidente - Popayán - Colombia". Compañía Energética de Occidente - Popayán – Colombia, [En Línea]. Disponible: <https://www.ceoesp.com.co/ceo-renovable>.
- [11] H. Orjuela. Electricidad Para No Electricistas. Editorial Lecat Ltda, 2019.
- [12] M.E. Raffino. (2020, Jun 14). Energía Eléctrica. [En línea]. Disponible: <https://concepto.de/energia-electrica/#ixzz6ELqvhtOK>.

- [13] M. Teórico, Uson.mx. [En línea]. Disponible: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22832/Capitulo2.pdf>.
- [14] B. Brinkworth, "Energía solar para el hombre", Madrid: Herman Blume, 2004.
- [15] L. Rodriguez S, "Protocolo de Kioto debate sobre ambiente y desarrollo en las discusiones sobre cambio climático", Gestión y Ambiente, vol. 10, nº 2, pp. pp.119-128, 2007.
- [16] A. Arrieta, "Panorama y futuro energético mundial", Ingeniería y sociedad, 2017, pp. 26-29.
- [17] Gutierrez, Alejandro y Garcia, John, Fuentes De Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos Y Almacenamiento En Colombia: Una Revisión De La Normatividad (Renewable Energy Sources, Distributed Energy Resources And Energy Storage In Colombia: A Review Of Regulations), 2021. Disponible: <https://ssrn.com/abstract=3768871> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3768871>
- [18] L. Moriana, "ENERGÍAS RENOVABLES y NO RENOVABLES: ejemplos y resumen", ecologiaverde.com, 2018.
- [19] "Energía Solar - Concepto, tipos, usos, ventajas y desventajas".
- [20] Wikipedia contributors, "Energía solar," Wikipedia, The Free Encyclopedia, [En línea], Disponible: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_solar&oldid=155196321.
- [21] M. N. I. Sarkar, L. G. Meegahapola, and M. Datta, "Reactive power management in renewable rich power grids: A review of grid-codes, renewable generators, support devices, control strategies and optimization algorithms," IEEE Access, vol. 6, pp. 41 458–41 489, 2018.
- [22] B. Parida, S. Iniyana, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 90, pp. 499-522, 2019.
- [23] N. Rathore, N.L. Panwar, F. Yettou, and A. Gama, "A Comprehensive Review on Different Types of Solar Photovoltaic Cells and Their Applications," International Journal of Ambient Energy, vol. 41, no. 5, pp. 487-504, 2020.
- [24] L. L. Kazmerski, Ed., Advances in Solar Energy: An Annual Review of Research and Development, Volume 3, Routledge, 2017.

- [25] S. Sharma, K.K. Jain, and A. Sharma, "Solar Cells: In Research and Applications—A Review," *Materials Sciences and Applications*, vol. 6, pp. 1145-1155, 2015.
- [26] K. Sarah, "A Review of Solar Photovoltaic Technologies," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 9, no. 7, pp. 287-292, 2020.
- [27] Hybrid Energy PR, "Tipos de instalaciones de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaico," Hybrid Energy Puerto Rico, 2020.
- [28] L. Peña, "Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red," *ilumin | Cursos de Energía Solar - Cursos Fotovoltaicos*, 2023.
- [29] O. Planas, *Plantas fotovoltaicas: conoce los diferentes tipos y su funcionamiento*, 2023.
- [30] "CARGA O CAPACIDAD INSTALADA". CREG. <https://www.creg.gov.co/carga-o-capacidad-instalada>.
- [31] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución 174 de 2021", 2021.
- [32] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución 070 de 1998", 1998.
- [33] S. Account. "Así funciona el mercado regulado y el no regulado". *Eficiencia energética comprometida con el medio ambiente*, [En Línea]. Disponible: <https://vatia.com.co/as237-funciona-el-mercado-regulado-y-el-no-regulado>.
- [34] A. Simola, A. Kosonen, T. Ahonen, J. Ahola, M. Korhonen y T. Hannula, "Optimal dimensioning of a solar PV plant with measured electrical load curves in Finland", *Sol. Energy*, vol. 170, pp. 113–123, agosto de 2018.
- [35] F. Yilmaz y Y. Eren, "A novel load profile generation method based on the estimation of regional usage habit parameters with genetic algorithm", *Electric Power Syst. Res.*, vol. 217, p. 109165, 2023.
- [36] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución 107 de 2006", 2006.
- [37] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución 015 de 2018", 2018.
- [38] "Contrato por capacidad de respaldo de la Red". EDEQ Grupo EPM. <https://www.edeq.com.co/contrato-por-capacidad-de-respaldo-de-la-red>.

- [39] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución 36 de 2019", 2019.
- [40] Elaboración equipo de Servicios Energéticos de la Compañía Energética de Occidente (CEO).
- [41] REN21, "Renewables 2020 Global Status Report", Paris: REN21 Secretariat, 2020.
- [42] M. Giraldo, R. Vacca Ramírez, y A. Urrego Quintanilla, «LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS ¿UNA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA?», PDV, vol. 9, n.º 1 (13), feb. 2018.
- [43] IRENA, "Renewable Energy Statistics 2021", Abu Dhabi: IRENA, 2021.
- [44] Gobierno de Colombia, "Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia", Bogotá: Gobierno de Colombia, 2020.
- [45] Ministerio de Minas y Energía, "Energías Renovables No Convencionales en Colombia", Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2020.
- [46] DNP, "Colombia multiplicará 100 veces su producción energética a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovables en 2023", 2022.
- [47] "3 desafíos para las energías renovables en Colombia," Universidad EAN, [En línea], 2023.
- [48] W. C. Patiño, "Energías renovables en Colombia: situación, retos y proyectos," Impacto TIC, 2023.
- [49] Compañía Energética de Occidente, "Historia", Compañía Energética de Occidente - Popayán - Colombia, [En línea], Disponible: <https://www.ceoesp.com.co/web/corporativo-ceo/historia>.
- [50] "CEO Solar, empresas y gobierno", Compañía Energética de Occidente, [En línea], Disponible: <https://uatpaginaceo.ceoesp.com.co/web/empresas-y-gobierno/energ%C3%ADa-solar>.
- [51] Congreso de Colombia, "Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional", Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia, 13 de mayo de 2014.
- [52] Elaboración interna área de Servicios Energéticos de la Compañía Energética de Occidente.

- [53] Presidencia de la República, "Decreto 929 de 2023", Bogotá, Colombia, 07 de junio de 2023.
- [54] J. Manuel, U. Torres, P. Paolo, and Z. Vargas, "DISEÑO DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA EMPRESA FAREVA VILLA RICA S.A.S EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA", Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2022.
- [55] "¿Qué es Power BI?", Microsoft.com. [En línea]. Disponible: <https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>.
- [56] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Resolución 320 de 2022", 2022.