

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA TÉCNICO – COMERCIAL
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES DE GENERACIÓN
EN BASE A RECURSOS RENOVABLES PARA AUTOCONSUMO
ELÉCTRICO DE EDIFICIOS DE CONDOMINIOS RESIDENCIALES
EN ECUADOR**

**ANÁLISIS NORMATIVO Y REGULATORIO DE ESQUEMAS DE
DESARROLLO DE GENERACIÓN RENOVABLE PARA
AUTOCONSUMO EN CONDOMINIOS RESIDENCIALES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

FREDDY MARCELO BOADA YÉPEZ

freddy.boada@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ

gabriel.salazar@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Freddy Marcelo Boada Yépez, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

FREDDY MARCELO BOADA YÉPEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Freddy Marcelo Boada Yépez, bajo mi supervisión.

DR. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

FREDDY MARCELO BOADA YÉPEZ

DR. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, y todo lo que representa, a los míos, los que siempre han estado conmigo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre por haberme inculcado el hábito de la lectura y el estudio, por ser faro en tiempos de penumbra, por ser responsable conmigo, por ser un verdadero amigo.

Agradezco a mi madre por el cariño y la preocupación.

Agradezco a Prometeo, que se ha dado el trabajo de conocerme y que, con ello, siempre ha sabido sacarme del abismo. Gracias por nunca dejarme solo, hermano, por amarme, por liberarme de la oscuridad que tenía mi mirada, por ayudarme a ser mejor.

Agradezco a mis mejores amigos, Polito, Marco, Yun, Gordo, Luisito, Pablito por haber compartido su tiempo conmigo.

Agradezco a mis amigos, Solsa, mi mánager de la universidad, Andrés, Erick, Fabri, Gabriel, Laurita, Mateo y Miguel Ángel, por vivir conmigo la odisea de estos años.

Agradezco a mis hermanos, Ian y Erick, por acompañarme en el camino; a mis sobrinos por alegrarme los días.

Agradezco a la vida por otorgarme esta oportunidad, y conocer y seguir queriendo a los míos, que me encontré y encontraron en el camino.

Gracias a los profesores que realmente se apasionaron por que aprenda.

Gracias al Dr. Gabriel Salazar por permitirme realizar el presente trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Descripción del Componente Desarrollado.....	3
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Sistema Eléctrico	5
2.2 Redes Eléctricas Inteligentes	6
2.3 Generación Distribuida.....	7
2.4 Esquemas Técnicos de Autoconsumo	8
2.5 Análisis Regulatorio en Ecuador	10
2.5.1 Constitución del Ecuador.....	11
2.5.2 LOSPEE.....	11
2.5.3 RGLOSPEE.....	12
2.5.4 Acuerdo Ministerial Nro. MEM-MEM-2023-0017-AM	12
2.5.5 Regulación Nro. ARCERNNR 008/23	13
2.6 Esquemas Comerciales de Autoconsumo.....	14
3 METODOLOGÍA	16
3.1 Esquemas de Autoconsumo Permitidos en Ecuador	16
3.1.1 Esquemas Técnicos de Autoconsumo.....	17
3.1.2 Esquemas Comerciales de Autoconsumo	18
3.2 Esquemas Técnicos y Comerciales para Autoconsumo de otros Países	22
3.2.1 Chile: Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo.....	22

3.2.2	Brasil: Marco Regulatorio de Generación Distribuida para Autoconsumo ...	25
3.2.3	Panamá: Procedimiento y Reglamento para Autoabastecimiento para Clientes del Sector Eléctrico	29
3.2.4	España: Real Decreto del Autoconsumo de Energía Eléctrica.....	32
3.3	Autoconsumo para Condominios: Experiencia Internacional	36
3.3.1	Chile	36
3.3.2	Brasil	36
3.3.3	Panamá.....	37
3.3.4	España	38
3.3.5	Cuadro Resumen	39
3.4	Propuesta de Mejora de Marco Normativo: Modelo de Condominio	40
3.4.1	Esquema Técnico de Autoconsumo	40
3.4.2	Esquema Comercial de Autoconsumo.....	41
3.4.3	Trámites	43
4	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
4.1	Ejemplo de Aplicación: Autoconsumo Local para Condominios.....	46
4.2	Conclusiones.....	47
4.3	Recomendaciones.....	49
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ESQUEMA DEL SISTEMA ELÉCTRICO CONVENCIONAL [6].	5
FIGURA 2.2. ESQUEMA EXPLICADO DE UNA RED ELÉCTRICA INTELIGENTE [8].	7
FIGURA 2.3. EJEMPLO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA [9].	7
FIGURA 2.4. EJEMPLO DE ESQUEMA DE AUTOABASTECIMIENTO MÚLTIPLE LOCAL [13].	10
FIGURA 2.5. MARCO NORMATIVO DE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNR 008/23 [14].	10
FIGURA 2.7. ESQUEMA GRÁFICO DE COMPENSACIÓN DEL CONSUMO DE UN HOGAR EN CASO DE (A) NET BILLING Y (B) NET METERING CON UN SISTEMA FOTOVOLTAICO (PV) [19].	15
FIGURA 3.1. ESQUEMAS TÉCNICOS DE AUTOCONSUMO EN ECUADOR [5].	17
FIGURA 3.2. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MODALIDAD 1A CUANDO INYECTA EXCEDENTES DE ENERGÍA [5].	18
FIGURA 3.3. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MODALIDAD 1A SIN INYECTAR EXCEDENTES DE ENERGÍA [5].	19
FIGURA 3.4. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MODALIDAD 1B [5].	19
FIGURA 3.5. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MODALIDAD 2A [5].	20
FIGURA 3.6. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MODALIDAD 2B [5].	20
FIGURA 3.7. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MODALIDAD 2C [5].	21
FIGURA 3.8. SISTEMA DE MEDICIÓN DE VARIOS SGDA EN UN CAMPO DE CONEXIÓN PARA AUTOABASTECIMIENTO COMÚN [5].	21
FIGURA 3.9. MODALIDADES PROPUESTAS DE AUTOABASTECIMIENTO PARA CONDOMINIOS (LOCAL Y REMOTO) [ELABORACIÓN PROPIA].	41
FIGURA 3.10. SISTEMAS DE MEDICIÓN PROPUESTOS PARA AUTOCONSUMOS LOCAL Y REMOTO EN CONDOMINIOS [ELABORACIÓN PROPIA].	42

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. CUADRO RESUMEN DE MARCOS REGULATORIOS PARA AUTOCONSUMO DE CHILE, BRASIL, PANAMÁ Y ESPAÑA [3], [20], [23], [26], [27].	39
TABLA 3.2. CATEGORÍAS DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA [5].	43
TABLA 3.3. VIDA ÚTIL DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN [5].	45
TABLA 4.1. PORCENTAJES DE REPARTO DEL EJEMPLO DE CÁLCULO [30].	46
TABLA 4.2. ENERGÍA ATRIBUIDA PARA EL MES DE ABRIL DEL EJEMPLO DE CÁLCULO [30].	47

RESUMEN

En el presente Trabajo de Integración Curricular (TIC), en cuestión de los sistemas de generación renovable para el autoabastecimiento, se analiza el marco normativo de Ecuador e investiga acerca de las modalidades técnicas y comerciales en Chile, Brasil, Panamá y España. En materia del desarrollo de autoconsumo en condominios, se estudia los mecanismos aplicados en mencionados países extranjeros y se efectúa la propuesta de mejora del marco normativo en Ecuador, presentando un método de prorrateo; adicionalmente, se desarrolla un ejemplo de cálculo.

PALABRAS CLAVE: generación renovable, autoconsumo, marco normativo, condominio, prorrateo.

ABSTRACT

In this Curricular Integration Project, concerning renewable generation systems for self-sufficiency, the normative framework of Ecuador is analyzed, and research is conducted on the technical and commercial modalities in Chile, Brazil, Panama, and Spain. Regarding the development of self-consumption in condominiums, the mechanisms applied in the mentioned foreign countries are studied, and a proposal for improving the regulatory framework in Ecuador is presented, introducing a prorating method; additionally, a calculation example is provided.

KEYWORDS: renewable generation, self-consumption, normative framework, condominium, prorating.

1 INTRODUCCIÓN

El paradigma de la transición hacia una energía sustentable en la actualidad ha provocado el surgimiento del autoconsumo eléctrico, una práctica que gana prominencia en el campo de la utilización de la energía que emplea recursos primarios renovables. Esta praxis involucra la generación de electricidad desde fuentes renovables, cuya aplicación principal yace en los paneles solares para uso del cliente final del servicio de energía eléctrica. Este concepto es particularmente pertinente en el contexto de los condominios, donde los esfuerzos colaborativos pueden impactar significativamente las formas en que la energía es consumida.

En Chile se ha identificado un potencial sustancial para ahorrar en el consumo de electricidad a nivel residencial, enfatizando la significancia de la integración de prácticas energéticas eficientes y tecnologías en edificios residenciales [1]. De manera similar, realizó una investigación en Cuenca, Ecuador, que resalta la necesidad de mejorar la eficiencia energética en edificios residenciales para conseguir los logros de sostenibilidad y reducir de forma general el consumo de electricidad [2]. Con ambos estudios, la investigación subraya el impacto positivo del autoconsumo eléctrico a nivel residencial. Por lo tanto, esta práctica motiva a los usuarios finales a generar su propia electricidad, reduciendo su dependencia de la red, y potencialmente disminuyendo sus costos de energía.

A pesar de su potencial, la implementación del autoconsumo eléctrico enfrenta desafíos técnicos y regulatorios, que incluyen la integración a la red, la medición, los esquemas comerciales de autoconsumo, y marcos legales [1]. Adicionalmente, [2] sugiere que, la viabilidad económica del autoconsumo eléctrico para condominios depende de factores como la inversión inicial, las tarifas eléctricas, y los incentivos disponibles, presentando oportunidades para disminuir los gastos en el sector residencial. Otra barrera significativa para la adopción del autoconsumo eléctrico en condominios es la falta de conocimiento en los clientes finales. Muchos residentes pueden no estar familiarizados con el concepto, los beneficios, y los ahorros potenciales asociados al autoconsumo [3].

En conclusión, el autoconsumo eléctrico para condominios representa una alternativa viable para reducir el consumo energético residencial y promover sostenibilidad. No solo se recalca el positivo impacto del ahorro energético, sino también los retos relativos a la tecnología, las regulaciones, y el conocimiento del usuario final.

1.1 Objetivo general

Investigar, estudiar y analizar el marco normativo y regulatorio que rige los esquemas de desarrollo de generación renovable destinados al autoconsumo en condominios residenciales.

1.2 Objetivos específicos

1. Examinar las normativas y regulaciones pertinentes para la implementación de sistemas de generación renovable destinada al autoabastecimiento en Ecuador, con el objeto de comprender las disposiciones que orientan la ejecución de estos proyectos, destacando aquellos aspectos que contribuyen al desarrollo del esquema de condominios; este análisis se lleva a cabo mediante la recopilación detallada de información, seguida de una evaluación crítica de los hallazgos.
2. Investigar los modelos técnicos y comerciales para la implementación de esquemas de generación para autoconsumo en otros países como Brasil, Panamá, Chile y España, para contrastarlos con los ecuatorianos, siguiendo la metodología de investigación adecuada.
3. Estudiar los modelos aplicados en otros países o modelos teóricos propuestos para el desarrollo de autoconsumo para condominios, con el fin de contrastarlos con los ecuatorianos, recopilando información para después analizarla.
4. Elaborar una propuesta de mejora del marco normativo de la generación distribuida para autoabastecimiento en Ecuador, que incluya un modelo de autoconsumo para condominios, con la finalidad de aplicar el análisis y la investigación de regulaciones similares en otros países de la región.

1.3 Alcance

El presente TIC consiste en el estudio de las normativas y las regulaciones relacionadas con la implementación de sistemas de generación renovable para el autoconsumo en Ecuador. Para ello, se recopilará la información correspondiente, y se la analizará posteriormente. Esto con el propósito de establecer bases sólidas de las disposiciones a seguir en la implementación de los proyectos de generación renovable para autoconsumo.

Además, con la finalidad de contrastar, se investigará los diferentes modelos técnicos y comerciales para la implementación de esquemas de generación para el autoconsumo en otros países, tales como Chile, Panamá, Brasil y España. Para el efecto, se establecerá y

aplicará una metodología de investigación adecuada. De manera similar, se examinará los modelos aplicados en otros países o los modelos teóricos propuestos para el desarrollo de autoconsumo para condominios. Para tal fin, se recopilará y analizará la información correspondiente. Consecuentemente, se los contrastará con los modelos de Ecuador.

Finalmente, se elaborará una propuesta de mejora de la regulación que rige la generación distribuida con el propósito de autoabastecimiento en Ecuador, que incluya un modelo de autoconsumo para condominios, con la finalidad de aplicar el análisis y la investigación de regulaciones similares en otros países.

1.4 Descripción del Componente Desarrollado

La energía renovable se define como la energía obtenida a partir de recursos primarios que, teóricamente, son inagotables, pues estas fuentes son relativamente abundantes o se regeneran dentro de un intervalo de tiempo. Las fuentes primarias de este tipo de energía son: el sol, la tierra y la luna. Para su utilización como recursos primarios de energía, se requiere un avance tecnológico correspondiente. Luego, en hogaño, varias tecnologías han sido desarrolladas para aprovechar los distintos tipos de energía renovable a gran y pequeña escala [4].

Ecuador, al contar con microclimas y gracias a su ubicación geográfica, presenta un gran potencial para implementar sistemas de generación renovable a través de paneles fotovoltaicos. Por consiguiente, un incremento en la competitividad del área industrial, una mejora de la eficiencia energética global del sector eléctrico, y un cambio en la preferencia de fuentes energéticas en la producción de electricidad alejándose del uso de combustibles fósiles pueden ser conseguidos [4].

Dentro de este contexto, el ente regulatorio de la energía eléctrica de Ecuador expidió la Regulación Nro. ARCERNNR-008/23, cuyo título es “Marco normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica”. Este documento establece las disposiciones para habilitar, instalar, conectar, operar, y mantener los Sistemas de Generación Distribuida para Autoabastecimiento (SGDA) de consumidores regulados; además, decreta las directrices para la cuantificación y el proceso de facturación de la electricidad. para este tipo de usuarios. El alcance de esta regulación aborda los siguientes componentes:

- El dimensionamiento y la caracterización de un SGDA para consumidores regulados;
- Las categorías de autoabastecimiento;

- Los pasos requeridos para tramitar la factibilidad de conexión, en el contexto de autoconsumo, y el certificado de habilitación;
- Las condiciones para instalar, conectar, operar, y mantener un SGDA; y
- La medición de la electricidad y el cálculo de la energía facturable para consumidores regulados con SGDA [5].

Las modalidades de autoconsumo que presenta [5] son cinco, siguiendo una clasificación de localidad y agrupamiento, como se enumera a continuación:

- La modalidad 1a es denominada “autoabastecimiento individual local”;
- La modalidad 1b es conocida como “autoabastecimiento múltiple local”;
- La modalidad 2a se constituye como “autoabastecimiento individual remoto”;
- La modalidad 2b es llamada “autoabastecimiento múltiple remoto con consumidores concentrados”; y
- La modalidad 2c, cuyo nombre es “autoabastecimiento múltiple remoto con consumidores dispersos”.

En consecuencia, en el presente TIC se estudia el marco regulatorio relacionado con la implementación de generación renovable no convencional para el autoconsumo en Ecuador; en la misma línea, se analiza los modelos técnicos y comerciales para implementar esquemas de generación para autoabastecimiento en otros países; consiguientemente, se examina los modelos, aplicados o teóricos, de otras naciones para el desarrollo de autoconsumo para condominios. Finalmente, dado que [5], una regulación, que aborda los esquemas de desarrollo de generación renovable para el autoconsumo en condominios residenciales en Ecuador, ha sido expedida, se propone una mejora de este marco normativo.

2 MARCO TEÓRICO

En esta sección se describe las definiciones y los conceptos vinculados al presente TIC, tales como el sistema eléctrico, las redes eléctricas inteligentes, la generación distribuida, el autoconsumo y sus esquemas, el análisis regulatorio en Ecuador, y los esquemas comerciales de la generación para autoabastecimiento.

2.1 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico convencional actual puede ser descrito mayoritariamente por componentes aislados de generación, transmisión, subtransmisión, distribución, y el cliente, como se presenta en el esquema de la Figura 2.1 [6], donde se ilustra cada una de las etapas previamente nombradas del sistema eléctrico tradicional. Las características fundamentales de este sistema convencional que serán afectadas por los cambios requeridos para implementar las redes eléctricas inteligentes son las siguientes:

- Las fuentes centralizadas de generación;
- El flujo de energía de una sola dirección desde las fuentes a los consumidores;
- La participación pasiva de los clientes y su limitado conocimiento (factura recibida mensualmente) sobre el uso de la energía eléctrica;
- El monitoreo en tiempo real y el control son principalmente limitados a la generación y transmisión, y solo en algunas ocasiones, se extienden a las redes de distribución;
- y
- El sistema no es flexible, pues es complicado inyectar electricidad de fuentes alternativas en cualquier punto a lo largo de la red, o gestionar eficientemente los nuevos servicios deseados por los usuarios de la electricidad [7].

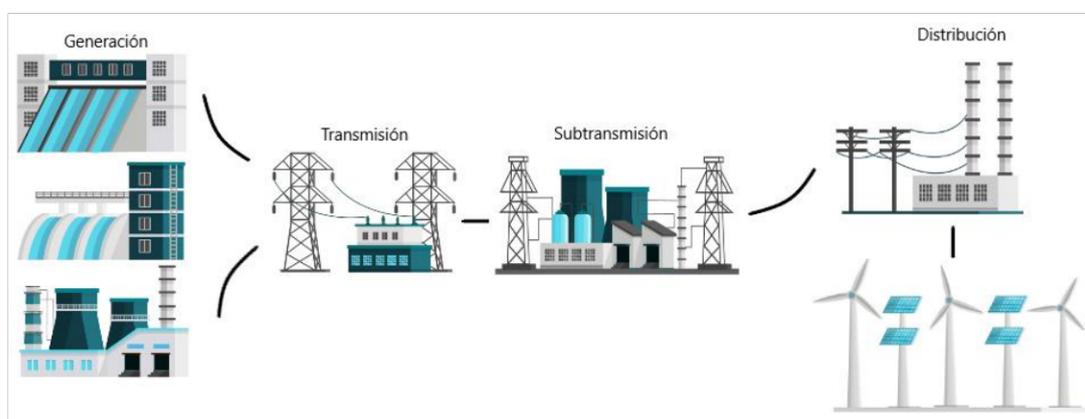


Figura 2.1. Esquema del sistema eléctrico convencional [6].

Estos atributos convencionales han satisfecho adecuadamente las necesidades de las utilidades de la electricidad y los usuarios en el pasado. Sin embargo, las nuevas exigencias de que los consumidores conozcan de energía, informática y ambiente; los cambios regulatorios; la disponibilidad de tecnologías más inteligentes; y la creciente demanda de electricidad requieren un sistema eléctrico del futuro que sea distinto en las cinco áreas listadas [7].

2.2 Redes Eléctricas Inteligentes

Una red eléctrica inteligente puede ser definida como un sistema eléctrico que emplea información de doble dirección, tecnologías de comunicación cibernéticamente segura, e computación inteligente en un componente integrado a través del espectro entero del sistema de energía desde la etapa de generación hasta el consumo de la electricidad, para conseguir un sistema limpio, seguro, confiable, resiliente, eficiente, y sostenible. Un esquema explicativo de una red eléctrica inteligente es presentado en la Figura 2.2 [8], donde se describe los elementos de este tipo de sistemas, como la gestión de la demanda, los procesadores, los sensores, el almacenamiento, la generación, entre otros. Las características de una red eléctrica inteligente son las siguientes:

- **Autosanción:** reparación automática o remoción de servicio de aparamenta que tenga fallos potenciales antes de que acaezcan, y reconfiguración del sistema para redespachar fuentes de energía con el fin de entregar electricidad a todos los consumidores.
- **Flexible:** la veloz y segura interconexión de generación distribuida y almacenamiento de energía en cualquier punto del sistema y cualquier instante.
- **Predictible:** uso de machine learning, proyecciones de clima, y análisis estocástico para proveer predicciones de los eventos más probables, de forma que, las acciones apropiadas sean tomadas para reconfigurar el sistema antes de que los peores escenarios ocurran.
- **Interactiva:** la información apropiada acerca del estado del sistema es entregada no solo a los operadores, sino también a los clientes, para permitir que todos los participantes principales del sistema de energía tengan un rol activo en el manejo óptimo de las contingencias.
- **Optimizada:** a través del conocimiento del estado de cada componente en tiempo real y del control de equipo para suministrar caminos de energía alternativos, es posible obtener una optimización autónoma del flujo de electricidad por el sistema.

- Segura: la necesidad de seguridad física y cibernética de los activos críticos es esencial al considerar la comunicación bidireccional y el alcance de la red eléctrica inteligente [7].

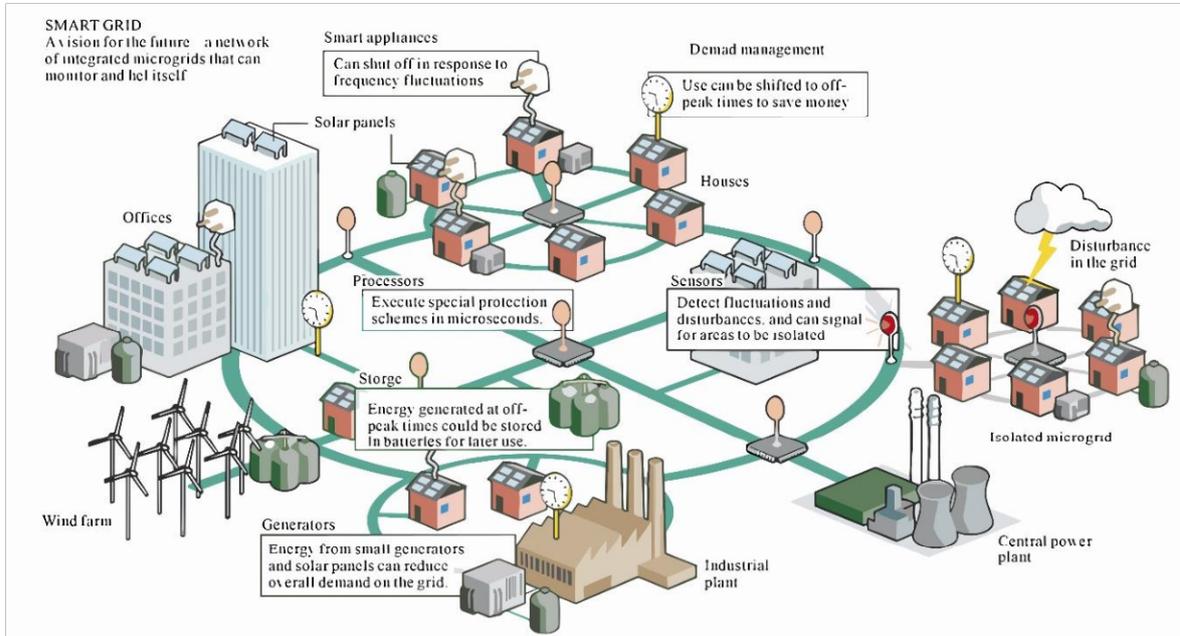


Figura 2.2. Esquema explicado de una red eléctrica inteligente [8].

2.3 Generación Distribuida

La generación distribuida (GD) es aquella generación de pequeño o mediano tamaño que puede conectarse inmersa o embebidamente en un sistema de distribución. Un ejemplo de GD es mostrado en la Figura 2.3 [9], donde se tiene una generación pequeña (sistema fotovoltaico a nivel residencial) conectada a una red de distribución. Se presenta como una opción significativa para suministrar el servicio de electricidad, con la capacidad de aumentar la confiabilidad y seguridad a corto, mediano y largo plazo. [10].



Figura 2.3. Ejemplo de generación distribuida [9].

La localización y el dimensionamiento de la GD en las redes de distribución es un problema complejo que requiere un análisis y modelamiento cuidadosos. En [11] se presenta información sobre este inconveniente, discutiendo los aspectos técnicos, el modelamiento de la carga, los impactos de GD, los modelos matemáticos, técnicas de solución, y metodologías aplicadas en la literatura, donde se hace énfasis en la necesidad de considerar los costos e incentivos económicos al evaluar la factibilidad de la integración de GD.

La integración de GD al sistema de potencia tiene implicaciones dinámicas. En [10] se investiga el impacto de la GD en el sistema de potencia colombiano utilizando un acercamiento dinámico. Se propone un modelo mental basado en el concepto de la teoría de retroalimentación y relaciones causa-efecto para evaluar las alternativas regulatorias. Esta investigación destaca la necesidad de desarrollar marcos regulatorios que consideren la influencia de la GD en el sistema eléctrico de potencia.

En conclusión, la literatura sobre GD provee información valiosa acerca de la ubicación, el dimensionamiento, los impactos, y la integración de la GD al sistema eléctrico. A pesar de ello, aún existen brechas de conocimiento que necesitan ser abordadas a través de investigación futura, incluyendo el desarrollo de marcos regulatorios, avances tecnológicos, y los impactos de integración de GD.

2.4 Esquemas Técnicos de Autoconsumo

El autoconsumo es descrito como la electricidad cuyas fuentes de energía son renovables, pudiendo o no ser vertida a la red de transmisión o distribución, y consumida por el dueño de la unidad de generación o por los usuarios asociados directamente por el productor [12].

Uno de los principales desafíos para el autoconsumo en hogares es la disparidad entre la generación y la demanda actual. La mayoría de la producción eléctrica toma lugar cuando los residentes no están en casa, persiguiendo su profesión u otras actividades cotidianas. Consecuentemente, se establece un término nuevo: la respuesta de demanda. Este concepto representa la práctica del manejo de la demanda eléctrica de manera tal que, el uso de la energía pico, de las fuentes renovables, que por naturaleza son variables, sea trasladado a los periodos fuera del pico, posibilitando una mayor tasa de autoconsumo o, mejor definido técnicamente, la adaptación de la demanda a los requerimientos operativos de la red. En este contexto, con el almacenamiento de la energía eléctrica y la respuesta de demanda, el autoconsumo puede ser aumentado y se puede obtener beneficios en términos de mitigar los costos crecientes de la red debido a la incorporación de fuentes de energía renovable [12].

En comparación con los hogares, las empresas comerciales pueden generalmente alcanzar mayores tasas de autoconsumo, dependiendo del tipo de negocio. Esto se debe a la alineación de las horas laborales con la producción desde energías renovables. Por consiguiente, las empresas pueden beneficiarse vastamente del autoconsumo si los costos de instalación son lo suficientemente bajos [12].

En cuestión de los esquemas de autoconsumo, según [5], se tiene una clasificación en conformidad con su localización y su grupalidad, como se describe a continuación:

- La modalidad 1a es denominada “autoabastecimiento individual local”, y se aplica cuando la instalación y el consumidor regulado se ubican en una misma propiedad. La particularidad de este tipo de autoconsumo radica en que el SGDA no debe verter excedentes de energía eléctrica al sistema de distribución.
- La modalidad 1b es conocida como “autoabastecimiento múltiple local”, y se emplea cuando la instalación y los consumidores regulados están localizados en un mismo predio. Este inmueble puede categorizarse como un condominio o una propiedad horizontal.
- La modalidad 2a se constituye como “autoabastecimiento individual remoto”, y se utiliza cuando la instalación y el consumidor regulado están ubicados en propiedades distintas. Cabe resaltar que, este inmueble no debe ser declarado condominio ni propiedad horizontal.
- La modalidad 2b es llamada “autoabastecimiento múltiple remoto con consumidores concentrados”, y se aplica cuando los usuarios regulados y el SGDA se localizan en predios distintos. La particularidad de esta clasificación es que, los consumidores regulados deben estar concentrados en una misma propiedad definida como condominio o propiedad horizontal.
- La modalidad 2c, cuyo nombre es “autoabastecimiento múltiple remoto con consumidores dispersos”, es empleada cuando la instalación y los consumidores regulados relacionados con el SGDA se ubican en propiedades distintas, estando los usuarios regulados dispersos. No obstante, la pertenencia de los consumidores regulados debe corresponder a una misma persona jurídica.

Finalmente, un ejemplo de uno de los esquemas técnicos de autoconsumo es ilustrado en la Figura 2.4 [13], donde se muestra un edificio de condominios que cuenta con una planta fotovoltaica para su propio consumo eléctrico ubicado en el mismo inmueble; esta modalidad es el autoabastecimiento múltiple local.

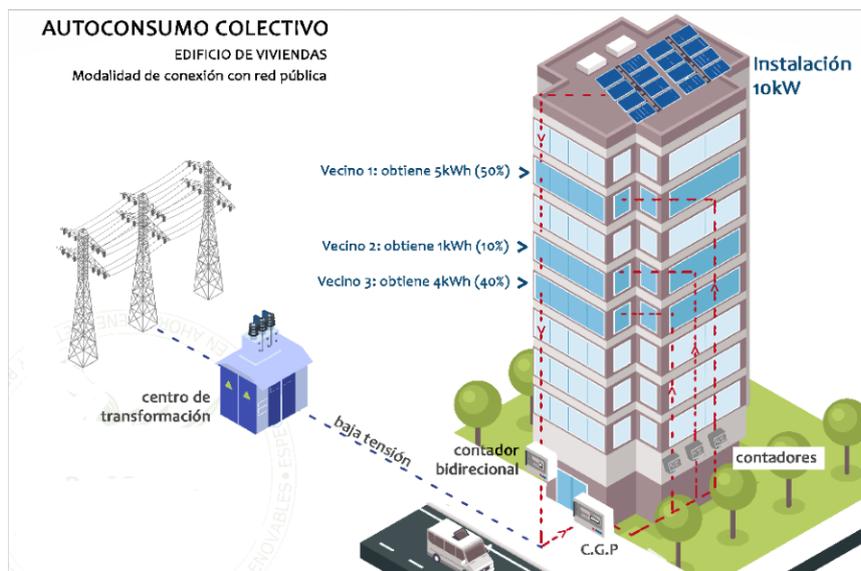


Figura 2.4. Ejemplo de esquema de autoabastecimiento múltiple local [13].

2.5 Análisis Regulatorio en Ecuador

Para analizar el marco normativo en Ecuador sobre esquemas de desarrollo de generación renovable para autoconsumo en condominios residenciales, es necesario revisar el marco legal y regulatorio presentado en la Figura 2.5 [14], incluyendo la Constitución del Ecuador, la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), el Reglamento General de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (RGLOSPEE), el Acuerdo Ministerial Nro. MEM-MEM-2023-0017-AM, y la Regulación Nro. ARCERNNR 008/23.



Figura 2.5. Marco normativo de la Regulación Nro. ARCERNNR 008/23 [14].

2.5.1 Constitución del Ecuador

Con respecto a la Constitución del Ecuador, se describe los artículos 313, 314, 315, 316 y 413 que se vinculan con el servicio público de energía eléctrica:

- El artículo 313 estipula que el Estado conserva la potestad de administración, regulación, control y gestión de las áreas estratégicas, siguiendo los principios de precaución, eficiencia, prevención y sostenibilidad ambiental, considerando a la energía, en todas sus manifestaciones, como un sector estratégico.
- El artículo 314 dicta que el suministro de servicios públicos, como el de la electricidad, es una responsabilidad del Estado, guiándose por los principios de accesibilidad, generalidad, continuidad, obligatoriedad, eficiencia, uniformidad, responsabilidad, universalidad, regularidad, y calidad.
- El artículo 315 establece que existe la posibilidad de que el Estado cree corporaciones gubernamentales para la administración de áreas estratégicas y servicios públicos. Estas entidades deberán operar con estándares de calidad, regulación y autonomía financiera. Adicionalmente, la ley será la encargada de supervisar la intervención de compañías estatales en empresas de tipo mixto.
- El artículo 316 proclama que el Estado tiene la potestad de incluir a empresas mixtas, en las cuales posea una mayoría de acciones, en zonas estratégicas y servicios públicos, siempre en consonancia con el interés nacional y considerando los plazos y límites establecidos para cada área de estrategia. Además, de manera excepcional, el Estado puede permitir que la iniciativa privada y la economía popular y solidaria lleven a cabo estas actividades.
- El artículo 413 promulga que es responsabilidad del Estado promover la eficiencia energética, así como el desarrollo y la aplicación de tecnologías y prácticas ambientalmente sostenibles. Además, fomenta las energías renovables de bajo impacto que no comprometan la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico ni el acceso al agua [15].

2.5.2 LOSPEE

Siguiendo con el marco normativo, se caracteriza a la LOSPEE y sus artículos 26 y 68:

- La LOSPEE es la normativa que asegura la observancia de los principios de la constitución en la prestación del servicio público de electricidad.

- El artículo 26 establece la promoción del uso de tecnologías limpias y energías alternativas, en concordancia con lo estipulado en la Constitución, cuya propuesta es el desarrollo de una red eléctrica sostenible basado en el aprovechamiento de recursos renovables de energía. Además, dispone que la electricidad generada a partir de este tipo de energía recibirá un tratamiento preferente, según lo expedido por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR).
- El artículo 68, en el literal a) de su segundo numeral, dictamina que vender, revender o enajenar potencia y/o energía eléctrica es considerado como una infracción grave del usuario final o consumidor, con excepción de los casos permitidos por la LOSPEE [16].

2.5.3 RGLOSPEE

Continuando con el marco jurídico, se detalla el RGLOSPEE y sus artículos 3, 15, y 24, relacionados con la generación distribuida:

- El RGLOSPEE declara las directrices para la implementación de la LOSPEE, regulando los derechos, las obligaciones y las responsabilidades de las instituciones, los usuarios y los miembros del sector eléctrico.
- El artículo 3 precisa que la generación distribuida se refiere a centrales de generación de dimensiones reducidas, ubicadas en proximidad al punto de consumo y conectadas al sistema eléctrico de la empresa distribuidora.
- El artículo 15 decreta que una de las consideraciones para la planificación del sistema eléctrico de distribución es la generación distribuida.
- El artículo 24 establece que, los consumos propios de los autogeneradores, los grandes consumidores, y los consumidores regulados tienen la facultad de instalar SGDA, usando energía renovable no convencional, así como también dicta que, los SGDA para consumidores regulados pueden verter excedentes energéticos a la red de distribución, que serán compensados según los esquemas dispuestos por la ARCERNNR [17].

2.5.4 Acuerdo Ministerial Nro. MEM-MEM-2023-0017-AM

Con el objeto de viabilizar, incentivar y generar las óptimas condiciones para el autoabastecimiento de usuarios a través de la planta de generación distribuida, el Ministerio de Energía y Minas expidió el Acuerdo Ministerial Nro. MEM-MEM-2023-0017-AM. En este

documento, se establece disposiciones a ser aplicadas por la ARCERNNR para la modificación de su regulación de autoconsumo con generación distribuida de usuarios finales [18].

Entre las consideraciones generales de [18] se encuentra:

- Para los consumidores no regulados, la capacidad de la planta de generación dependerá de su consumo máximo registrado y la potencia del sistema al que se enlaza. Para los consumidores regulados, acogidos a un sistema de medición mensual de energía, la potencia máxima es de 2 MW.
- Se introduce las definiciones de los distintos esquemas técnicos de autoconsumo, tales como individual o remoto, local o múltiple.
- Se prohíbe la comercialización de la energía, lo que implica que los sistemas de generación distribuida por instalarse abastecerán únicamente a los usuarios finales.
- Las empresas distribuidoras serán responsables de la aprobación de los esquemas de conexión y la factibilidad, además de la autorización de las instalaciones de generación distribuida.

2.5.5 Regulación Nro. ARCERNNR 008/23

Finalmente, se expide la Regulación Nro. ARCERNNR 008/23 que detalla el marco normativo de los SGDA de consumidores regulados de la electricidad. Dentro de este documento se encuentran las disposiciones para habilitar, instalar, conectar, operar, y mantener los SGDA de consumidores regulados; además, en la misma línea, establece los lineamientos de mensura y cobro de la electricidad. La estructura de la regulación es la siguiente:

- El capítulo 1 describe los aspectos generales, como el objetivo, alcance, ámbito de aplicación, las siglas y los acrónimos, y las definiciones.
- El capítulo 2 trata sobre los SGDA de consumidores regulados, resaltando la caracterización, conexión, propiedad, el límite de potencia nominal, los voltajes de conexión y sus categorías, el dimensionamiento, las modalidades de autoabastecimiento, y responsabilidades.
- El capítulo 3 habla acerca de la factibilidad de conexión y el certificado de habilitación, haciendo énfasis en el representante técnico, la factibilidad de

conexión, el certificado de habilitación, la revocatoria del certificado de habilitación, y el pago por trámites.

- El capítulo 4 aborda la instalación, pruebas, y conexión de un SGDA, contando con las secciones de construcción e instalación, pruebas y conexión, y daños a terceros.
- El capítulo 5 analiza la operación, el mantenimiento, y el incremento de potencia, recalcando los requisitos operativos, la operación de un SGDA con aparata para almacenar energía, el mantenimiento, y el incremento de potencia nominal.
- El capítulo 6 examina el sistema de mensura, el balance energético, y la facturación, haciendo hincapié en el sistema de mensura, la energía neta y facturable, la energía generada por un SGDA, y la facturación.
- El capítulo 7 trata sobre las infracciones y sanciones.
- Finalmente, se expone las disposiciones generales, transitorias, y los anexos [5].

2.6 Esquemas Comerciales de Autoconsumo

Los esquemas comerciales de autoconsumo, descritos a continuación, son net metering y net billing.

Net metering se constituye como una política eléctrica que permite a los usuarios, dueños de un sistema de generación distribuida, compensar parcial o totalmente su consumo eléctrico con su producción local. Esto es posible a través del uso de un medidor, que es capaz de girar en dos direcciones, en ocasiones dos medidores, mostrando el consumo de la red o, en su defecto, el exceso durante un periodo de tiempo. Este exceso de generación o consumo de la red es entonces valorado en el final del periodo, usualmente con una tarifa minorista. Esta política promueve la generación distribuida puesto que, la tarifa minorista pagada al dueño del sistema de autoconsumo es más alta que lo que recibe un generador convencional por la misma electricidad. La tarifa minorista que recibe el dueño del sistema de autoconsumo incluye también el pago por la infraestructura de distribución, convirtiéndose implícitamente en un subsidio para el avance de la generación distribuida [19].

Net billing es una variante de net metering, donde el consumo mensurado es conservado en un registro diferente que el de sobrante energético vertido a la red eléctrica. El exceso de energía y el consumo son valorados por separado y a precios distintos. El precio por consumo de energía es toda la tarifa minorista, mientras que el excedente de energía es usualmente valorado solo a un costo evadido, es decir, el costo público de generación de

electricidad más las pérdidas evitadas. Por ende, la discrepancia entre estos dos costos se atribuye al pago correspondiente a la infraestructura de distribución, que bajo net billing es dirigido a la empresa distribuidora en lugar del dueño del sistema de autoconsumo. Finalmente, para resumir los conceptos de net metering y net billing, se presenta la Figura 2.6 [19], donde se evidencia que, net metering es una compensación energética que resulta más conveniente puesto que es un subsidio implícito para la generación distribuida al incluir el pago por la infraestructura eléctrica, mientras que net billing no considera este pago, provocando una menor retribución financiera.

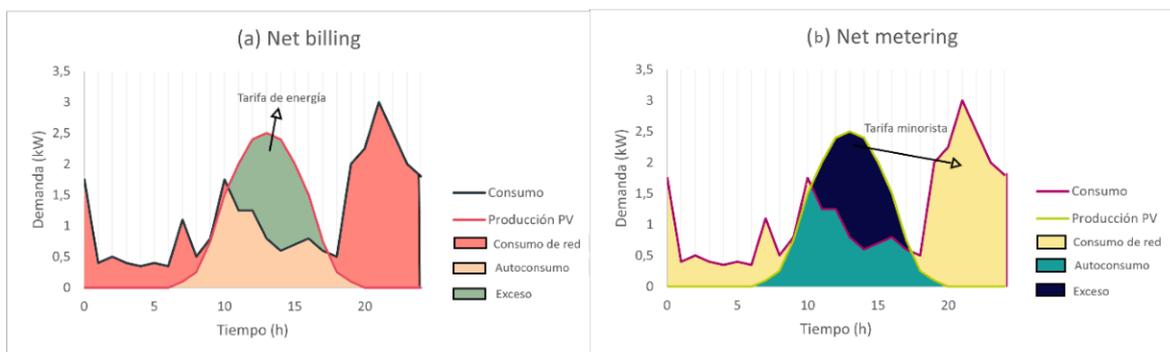


Figura 2.6. Esquema gráfico de compensación del consumo de un hogar en caso de (a) net billing y (b) net metering con un sistema fotovoltaico (PV) [19].

3 METODOLOGÍA

En este apartado, el enfoque y el diseño empleados para el desarrollo del TIC son descritos, teniendo como base la consulta bibliográfica y de documentos regulatorios. Este encuadre es fundamental para conseguir los objetivos planteados, que se centran en la investigación y el análisis del marco normativo y regulatorio que rige los esquemas de desarrollo de generación renovable destinados al autoconsumo en condominios residenciales.

El enfoque asumido en el presente trabajo es mayoritariamente cualitativo, cuyo centro es la revisión y el análisis crítico de la literatura existente y las normas relacionadas con los esquemas de generación renovable para el autoconsumo en condominios. A través de la caracterización cualitativa de la investigación, se alcanza una comprensión contextualizada y profunda del tema; de esta manera, se proporciona un fundamento robusto para el desarrollo del componente.

La clasificación de este trabajo se constituye como exploratoria y descriptiva. La fase exploratoria consta de la identificación de las tendencias y los conceptos clave en la literatura y las regulaciones respectivas. Consiguientemente, en la etapa de descripción se caracteriza detalladamente los elementos importantes para el desarrollo del componente.

La técnica principal para recolectar la información es la consulta de documentos regulatorios y la revisión bibliográfica. Una base sólida de conocimientos para el fundamento del componente del TIC es construida mediante la búsqueda exhaustiva de bibliotecas digitales y repositorios regulatorios.

El procedimiento de análisis de la información recolectada es efectuado por medio de un enfoque crítico y comparativo. Luego, se evalúa la consistencia y se contrasta los marcos regulatorios con relación a la generación renovable de autoconsumo para condominios. Esta técnica permite la extracción de conclusiones significativas y el respaldo de la propuesta desarrollada en el componente del TIC. Finalmente, se propone una mejora al marco normativo de Ecuador para el desarrollo de esquemas de generación renovable para el autoconsumo en condominios.

3.1 Esquemas de Autoconsumo Permitidos en Ecuador

El marco regulatorio que determina los esquemas técnicos y comerciales de autoconsumo en Ecuador es [5]. En consecuencia, se explica a continuación cada una de estas modalidades.

3.1.1 Esquemas Técnicos de Autoconsumo

La Figura 3.1 ilustra los cinco tipos técnicos de autoconsumo en Ecuador [5], cuya caracterización se realiza seguidamente. La clasificación de los esquemas técnicos se efectúa según siguientes los criterios: si es individual o múltiple y si es local o remoto.

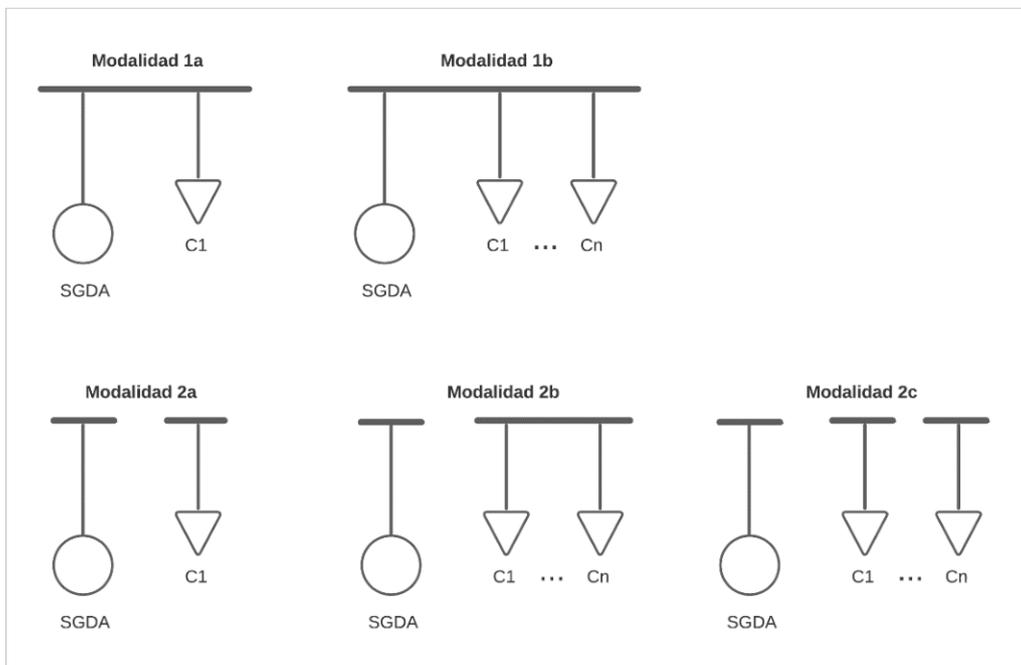


Figura 3.1. Esquemas técnicos de autoconsumo en Ecuador [5].

- **Autoabastecimiento individual local (modalidad 1a):** La ubicación del SGDA y el usuario regulado es la misma propiedad. Cabe resaltar que, para este esquema, es posible la inyección o no de excedentes energéticos al sistema de distribución.
- **Autoabastecimiento múltiple local (modalidad 1b):** La localización del SGDA y los consumidores regulados es el mismo inmueble, si este es categorizado como condominio o propiedad horizontal.
- **Autoabastecimiento individual remoto (modalidad 2a):** El usuario regulado y el SGDA están posicionados en distintos predios, si la ubicación del consumidor regulado no está clasificada como condominio o propiedad horizontal.
- **Autoabastecimiento múltiple remoto con consumidores concentrados (modalidad 2b):** Los inmuebles donde se localizan el SGDA y los consumidores regulados son diferentes; estos últimos deben estar concentrados en un solo predio categorizado como condominio o propiedad horizontal.

- **Autoabastecimiento múltiple remoto con consumidores dispersos (modalidad 2c):** Los inmuebles donde se ubican el SGDA y los consumidores regulados son diferentes; estos últimos deben estar dispersos, perteneciendo a la misma persona jurídica [5].

3.1.2 Esquemas Comerciales de Autoconsumo

3.1.2.1 Sistemas de Medición según Esquemas Técnicos de Autoconsumo

El sistema de medición de electricidad para la modalidad 1a, cuando el SGDA inyecta excedentes al sistema de distribución, es ilustrado en la Figura 3.2 [5]; en la Figura 3.3 se muestra el sistema de mensura si el SGDA no inyecta excedentes [5]. En los dos casos, se debe disponer de dos medidores: uno aguas arriba de la barra de conexión del SGDA y la carga y otro para mensurar la energía de la carga. Cuando el SGDA inyecta excedentes a la red, el primer medidor debe ser bidireccional; cuando no inyecta, no es necesario [5].

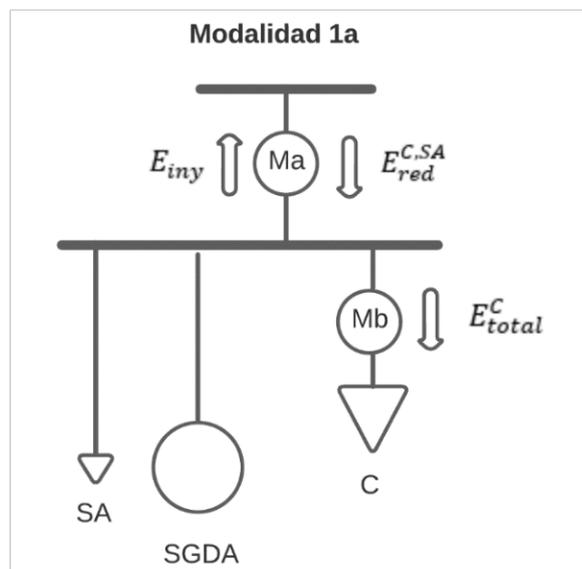


Figura 3.2. Sistema de medición de la modalidad 1a cuando inyecta excedentes de energía [5].

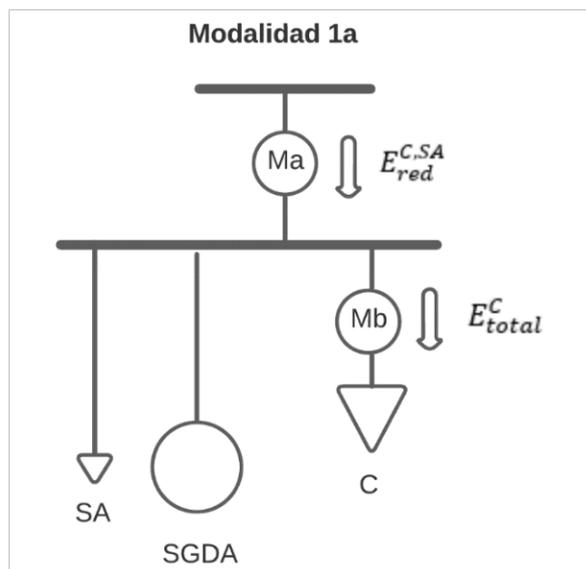


Figura 3.3. Sistema de medición de la modalidad 1a sin inyectar excedentes de energía [5].

En la Figura 3.4 se dibuja el esquema de medición de la modalidad 1b [5]. Se puede observar que, el medidor del SGDA debe ser bidireccional y se debe disponer de un medidor unidireccional en cada una de las cargas [5].

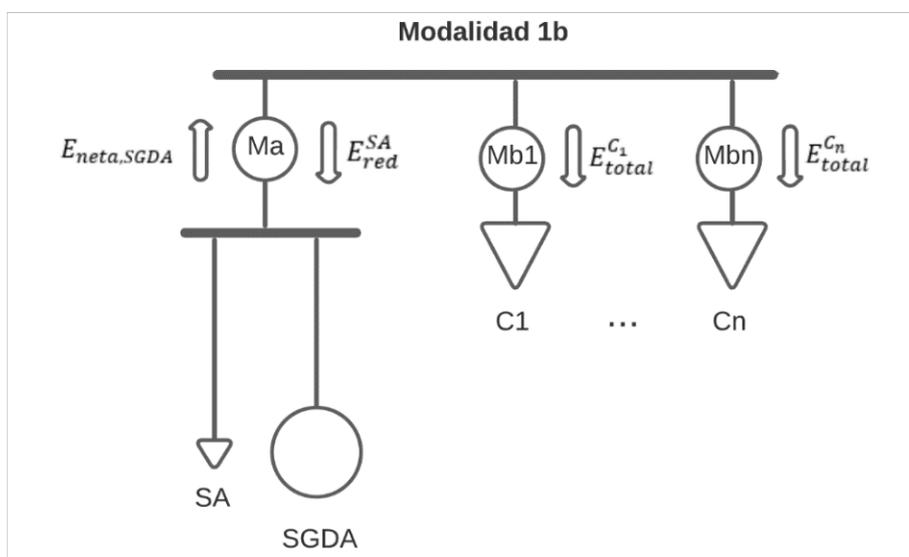


Figura 3.4. Sistema de medición de la modalidad 1b [5].

En la Figura 3.5 se ilustra el esquema del sistema de mensura de la modalidad 2a [5]. Es posible visualizar que, para el SGDA se instala un medidor bidireccional y para la carga un solo medidor unidireccional [5].

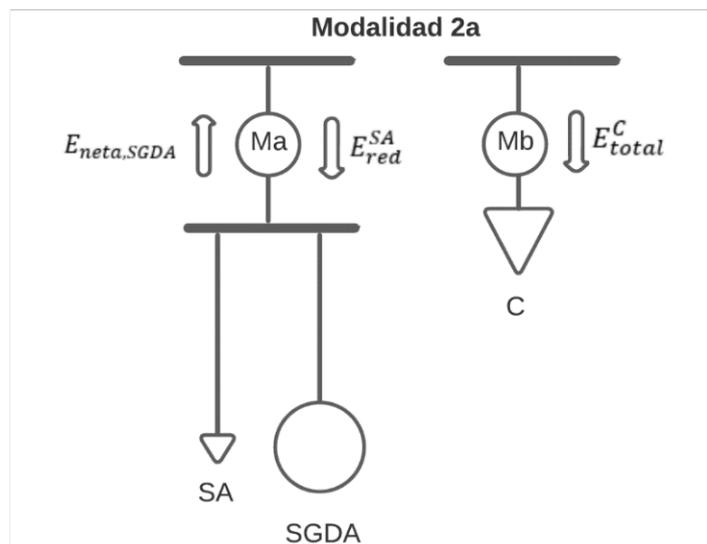


Figura 3.5. Sistema de medición de la modalidad 2a [5].

En la Figura 3.6 se esquematiza el sistema de medición de la modalidad 2b [5], donde se evidencia que, un medidor bidireccional debe ser colocado en el SGDA y medidores unidireccionales para cada consumidor concentrado [5].

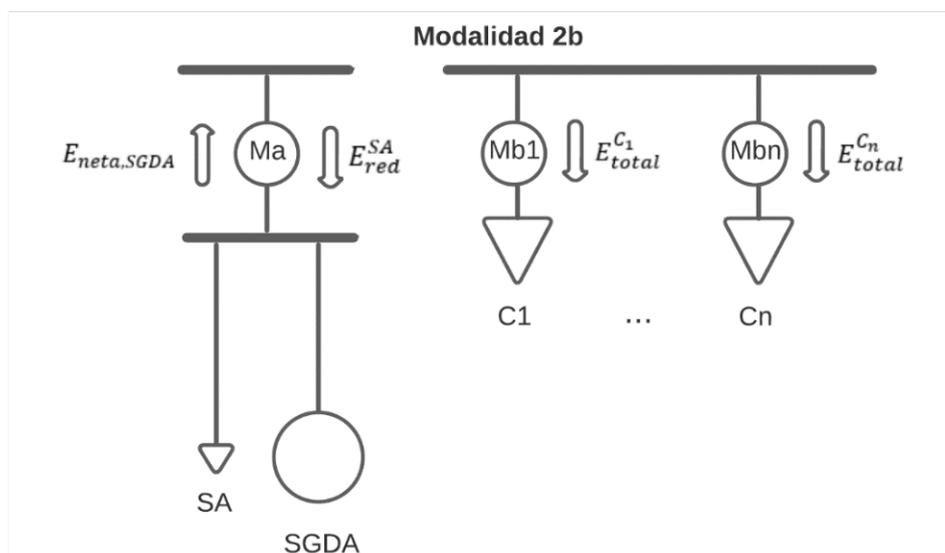


Figura 3.6. Sistema de medición de la modalidad 2b [5].

En la Figura 3.7 se presenta el diagrama del sistema de medición de la modalidad 2c [5], donde se instala un medidor bidireccional para el SGDA y medidores unidireccionales para cada uno de los consumidores dispersos [5].

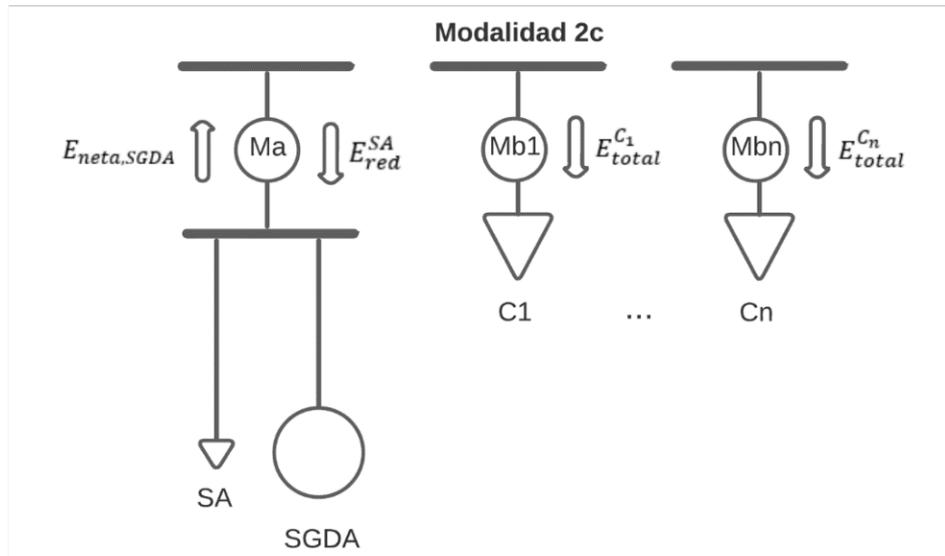


Figura 3.7. Sistema de medición de la modalidad 2c [5].

En la Figura 3.8 se dibuja el diagrama del sistema de mensura de varios SGDA conectados en un área de conexión para el autoabastecimiento compartido [5]. Se puede observar que, aguas arriba se conecta un medidor bidireccional y, para cada SGDA, se instala un medidor unidireccional [5].

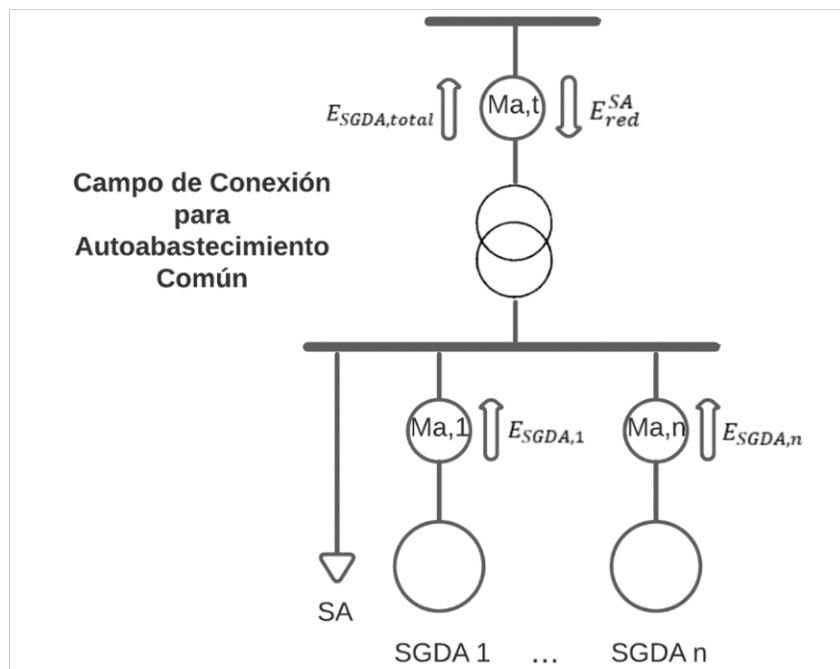


Figura 3.8. Sistema de medición de varios SGDA en un área de conexión para autoabastecimiento compartido [5].

En suma, en todos los esquemas de medición se debe conectar al menos un medidor bidireccional en el SGDA, o aguas arriba del campo de conexión, mientras que, para los demás elementos de generación y consumo, solo se requiere de medidores

unidireccionales. Cabe subrayar que, para las modalidades remotas, la generación y el consumo deben formar parte de la misma zona de concesión de la empresa de distribución [5].

3.1.2.2 Balance de Energía y Facturación

La energía neta del mes i ($E_{net,i}$) es calculada con la resta entre la energía absorbida de la red y la energía inyectada. Cabe recalcar que, para cada categoría establecida en el pliego tarifario vigente de Ecuador, este valor es obtenido de diferente forma. Sin embargo, en esencia, la energía mensual neta es este balance entre energía absorbida e inyectada. En consecuencia, se sigue las siguientes disposiciones para la facturación de la energía.

- Si $E_{net,i} \leq 0$, lo que significa que, existen excedentes de energía eléctrica vertidos al sistema, la distribuidora no factura al consumidor por energía consumida; por el contrario, otorga un crédito de energía del mes i (CE_i) igual a $E_{net,i}$.
- Si $E_{net,i} > 0$, $CE_i = 0$, pues no existen excedentes de energía inyectados.

Por lo tanto, el esquema comercial de autoconsumo en Ecuador es net metering. Para los consumos múltiples, el representante legal deberá definir el porcentaje de reparto para cada uno de los participantes, sumando un total de 100 % y contando con la posibilidad de su actualización cada seis meses. De manera adicional, si uno o varios SGDA se conectan a un sistema de distribución en medio voltaje a través de un transformador, y el sistema de mensura se instale en el lado de bajo voltaje del transformador, se descontará un 2 % de la energía a modo de compensación por las pérdidas de energía activa de transformación [5].

3.2 Esquemas Técnicos y Comerciales para Autoconsumo de otros Países

En este numeral se detalla los esquemas técnicos y comerciales para el autoconsumo en los siguientes países: Chile, Brasil, Panamá y España.

3.2.1 Chile: Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo

El reglamento de Chile se aplica a los usuarios que tengan a disposición para su consumo propio una planta de generación de electricidad, cuyo recurso primario sea renovable no convencional, o de sistemas eficientes de cogeneración colectiva o individual. El límite de la capacidad instalada de estas plantas generadoras es de 300 kW [20].

Las fuentes renovables de energía primaria no convencionales, según [21], son: la biomasa; energía hidráulica, cuya potencia no supere los 20 000 kW; energía geotérmica; energía eólica; energía solar; energía mareomotriz; entre otros. Finalmente, se define a una instalación de cogeneración eficiente como aquella en la que, en un procedimiento energético único de alto rendimiento, se genera electricidad y calor, teniendo un límite de 20 000 kW para la potencia máxima suministrada.

3.2.1.1 Esquemas Técnicos de Equipamientos de Generación

La clasificación operativa de los sistemas de generación es:

- Individual;
- Individual con descuentos remotos; y
- Conjunto, demostrando que la propiedad colectiva exista.

Para la generación conjunto, con la finalidad de ejercer el derecho de inyectar la energía generada al sistema de distribución por medio del enlace conectado al equipamiento de generación, los miembros que conforman la agrupación deben formar parte del mismo sistema de distribución que el del área de concesión del servicio público de distribución. Luego, en cuestión del prorrateo, los propios miembros de la agrupación declaran este porcentaje para cada participante del esquema de generación conjunto, sumando un total de 100 % [20].

3.2.1.2 Medición del Vertido de Energía

La responsable de mensurar el vertido de energía eléctrica de la planta de generación es la empresa distribuidora, a través de la instalación de un medidor bidireccional. Además, para el caso de las generaciones con descuentos remotos o conjunta, la repartición mensual del vertido entre los diferentes consumidores debe cumplir las disposiciones siguientes:

- La suma de los porcentajes asignados debe ser igual a 100 %; y
- El porcentaje mensual asignado no puede ser menor al valor calculado de 3.1 [20], definiendo el porcentaje mínimo de repartición mensual (P_{min}).

$$P_{min} = \frac{0,5 \text{ (kW)}}{\text{Capacidad Instalada Generación (kW)}} (100) (\%) \quad (3.1)$$

Es relevante mencionar que, para los usuarios que tengan un equipamiento de generación cuya aparamenta general de mensura está localizada en el enlace de la alimentación

principal y, si existe medición del consumo de otros usuarios conectados aguas abajo de dicho empalme, las empresas distribuidoras deben colocar un medidor general de doble dirección en el enlace de principal alimentación y un medidor exclusivo para la mensura del equipamiento de generación [20].

3.2.1.3 Esquemas Comerciales de Equipamientos de Generación

El balance de energía mensual es obtenido de restar el consumo del vertido. Las inyecciones de energía valorizadas por la distribuidora serán restadas de los costos por la provisión de electricidad de la facturación respectiva al mes en el que se efectuaron las inyecciones. Si existe un remanente en beneficio del cliente, este se restará en la o las facturas siguientes. Adicionalmente, acorde con las reglas de repartición de inyecciones de la generación conjunto, las aportaciones de energía deben deducirse de los costos de suministro eléctrico en las facturas relacionadas con los identificadores vinculados a los propietarios del equipo de generación conjunto; ocurre lo mismo para la generación individual con descuentos remotos. Finalmente, los usuarios con equipamientos de generación no podrán entregar suministro eléctrico a terceros a través de sus excedentes energéticos [20].

Si los excedentes de inyecciones de energía no pudieron ser deducidos de las facturas respectivas, la empresa distribuidora deberá abonarlos al cliente, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- a. Que el origen de los excedentes no sea el equipamiento de generación conjunto;
- b. Que el origen de los excedentes no sea el equipamiento de generación individual con descuentos remotos, con la excepción de que este equipamiento esté relacionado con inmuebles o instalaciones cuya persona jurídica no tenga fines de lucro;
- c. Que la planta generadora haya sido diseñada, en condiciones normales, para que sus inyecciones de energía no produzcan remanentes que no se puedan descontar;
y
- d. Que los excedentes no provengan de incrementos en la capacidad de generación que no hayan satisfecho la cláusula anterior.

Si los excedentes provienen de equipamientos de generación cuyos dueños son usuarios residenciales con una potencia menor o igual a 20 kW, o personas jurídicas sin fines de lucro con una potencia menor o igual a 50 kW, los incisos c y d dejan de ser una exigencia [20].

Es importante señalar que, existe una condición sobre la máxima capacidad de vertido con derecho a pago ($Cap_{max\ pago}$) para un sistema fotovoltaico, instalado como mínimo hace 12 meses. La capacidad de inyección de la planta fotovoltaica debe ser menor o igual que $Cap_{max\ pago}$, obtenida con 3.2 [20]. Donde F_n es la facturación anual promedio en dólares, fp es el factor de planta instalado, y TE_c es la tarifa de costos por suministro de energía en dólares por kWh [20].

$$Cap_{max\ pago} = \frac{F_n (\$)}{fp * 8760 (h) * TE_c \left(\frac{\$}{kWh}\right)} \quad (\text{kW}) \quad (3.2)$$

Para calcular F_n , la empresa de distribución deberá tener en cuenta la sumatoria, en un periodo de los tres últimos años o fracción, de cada uno de los cargos de suministro de energía eléctrica mensuales, según se indica en 3.3 [20]. Donde m es el número de meses del cálculo (12, 24 o 36), la suma de los costos por electricidad (representados como subíndice k) es la sumatoria de los cargos por electricidad del mes k sin IVA. En el caso de que la instalación ya tenga un equipo de generación, esta suma deberá tomar en cuenta los descuentos correspondientes a las inyecciones y remanentes [20].

$$F_n = \frac{\sum_{k=1}^m (\text{Suma de cargos suministro eléctrico})_k}{m} * 12 (\$) \quad (3.3)$$

3.2.2 Brasil: Marco Regulatorio de Generación Distribuida para Autoconsumo

El marco regulatorio de generación distribuida para autoconsumo de Brasil cuenta con dos normativas vigentes:

- La Resolución Normativa N° 482, del 17 de abril de 2012; y
- La Resolución Normativa N° 687, del 24 de noviembre de 2015.

El primer documento define los términos generales para que la microgeneración y minigeneración distribuida tengan acceso a los sistemas eléctricos de distribución y al sistema de compensación de energía eléctrica, mientras que el segundo modifica la Resolución Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012, y los módulos 1 y 3 de los Procedimientos de Distribución (PRODIST). Consecuentemente, esta resolución modifica lo siguiente de la N° 482:

- Los artículos 2, 4, 6, 7, 8, 10, 13, y 15;
- Los párrafos 1 y 2 del artículo 5;
- La inserción del artículo 6A; y

- La inserción del artículo 13A y 13B.

Por ende, se llevará a cabo el estudio de ambas normativas tomando en consideración todas las modificaciones enunciadas [22], [23].

3.2.2.1 Esquemas Técnicos de Autoconsumo

Previa a la definición de los esquemas técnicos, se explica las definiciones más importantes en cuestión de la generación distribuida para el autoabastecimiento en Brasil:

- **Cogeneración:** Proceso caracterizado por la producción simultánea de energía térmica y de vapor, y energía eléctrica, cuya única fuente de combustible es el gas natural, los residuos de la industria, la biomasa, entre otros.
 - **Fuentes Renovables de Energía:** Recurso primario natural y renovable que puede ser empleado en el proceso de generación de electricidad. Su clasificación es: el viento, la energía mareomotriz, la biomasa, y la luz solar.
- **Microgeneración distribuida:** El generador de energía eléctrica central, cuya potencia sea igual o inferior a 75 kW, debe emplear cogeneración calificada o fuentes renovables de electricidad. Además, debe estar conectado a la red de distribución a través de instalaciones de unidades de consumo.
- **Minigeneración distribuida:** La instalación generadora de energía eléctrica, cuya potencia se encuentre entre 75 kW y 5 MW para cogeneración calificada u otras fuentes renovables de electricidad (o 3 MW para fuentes hídricas), debe estar conectada al sistema de distribución mediante infraestructuras de unidades consumidoras [23].

Acto seguido, se caracteriza los esquemas técnicos de autoconsumo:

- **Desarrollo con unidades de consumo múltiple:** Es una modalidad caracterizada por utilizar la energía eléctrica de manera independiente, donde cada instalación de uso individual es una unidad consumidora y las infraestructuras que atienden las áreas de uso común son consideradas como una unidad consumidora separada, a cargo del condominio, del administrador o dueño de la empresa, con micro o minigeneración distribuida, y siempre que las unidades consumidoras estén ubicadas en un mismo predio o en predios contiguos.
- **Generación compartida:** Es una tipología identificada por la agrupación de usuarios en la misma zona de concesión, mediante una cooperativa o un consorcio. Este grupo está compuesto por una persona jurídica o natural que posee una

unidad consumidora con mini o microgeneración distribuida en un lugar distinto al de las demás instalaciones consumidoras.

- **Autoconsumo a distancia:** Se refiere a una modalidad caracterizada por unidades consumidoras de propiedad de la misma persona jurídica, incluyendo casa matriz y sucursal, o personas físicas que tengan unidades consumidoras con micro o minigeneración distribuidas en un local distinto de las unidades consumidoras, aunque dentro de la misma área de concesión en el que se compensará el excedente de energía [23].

Una vez revisadas las definiciones más relevantes de [23], se concluye que, la generación distribuida para el autoconsumo en Brasil puede tener una capacidad instalada máxima de 75 kW, para una microgeneración distribuida; por otro lado, para una minigeneración distribuida, se debe contar con una capacidad instalada mayor a 75 kW y menor o igual a 3 MW, para fuentes hídricas, o menor o igual a 5 MW para cogeneración calificada. Adicionalmente, las modalidades de esta generación distribuida, determinadas en las definiciones son:

- Autoconsumo local individual (micro o minigeneración distribuida);
- Autoconsumo local múltiple, que incluye condominios (desarrollo con unidades de consumo múltiple);
- Autoconsumo remoto de múltiples consumidores (generación compartida); y
- Autoconsumo remoto de múltiples consumidores propiedades de la misma persona jurídica (autoconsumo a distancia).

3.2.2.2 Esquemas Comerciales de Autoconsumo

En primer lugar, se describe el sistema de compensación de energía eléctrica como el mecanismo en el cual la energía activa vertida por una instalación consumidora con micro o minigeneración distribuida se transfiere, mediante un préstamo sin costo, al distribuidor local. Consiguientemente, esta energía se compensa con el consumo de energía eléctrica activa [23].

Luego, los siguientes consumidores responsables de cada unidad consumidora podrán adherirse al sistema de compensación de energía eléctrica:

- Con micro o minigeneración distribuida;
- Integrante de una empresa con múltiples unidades consumidoras;

- Generación compartida; y
- Autoconsumo a distancia.

De esta manera, para llevar a cabo la compensación, la energía activa vertida a la red de distribución por la instalación de consumo se transferirá como un préstamo sin costo a la distribuidora. La unidad consumidora acumulará un crédito equivalente a la cantidad de energía activa que podrá consumir durante un período de 60 meses, donde, luego de este plazo, los créditos de energía activa serán revertidos sin que el consumidor tenga derecho a su compensación. Adicionalmente, la distribuidora no incluirá a los consumidores en el sistema de compensación de energía si detecta que el consumidor ha arrendado terrenos, lotes e inmuebles cuando el valor de la renta o arrendamiento se dé en reales por unidad de energía eléctrica [23].

Para la clasificación como empresa con múltiples unidades consumidoras, generación compartida, o autoconsumo a distancia, el excedente energético que no haya sido compensado en la propia unidad consumidora podrá utilizarse para compensar el consumo de otras unidades consumidoras. Además, el titular de la unidad de consumo donde se encuentra instalada la generación distribuida deberá definir el porcentaje de excedente de energía que será asignado a cada unidad consumidora que participe del sistema de compensación de energía eléctrica [23].

En cuestión de la medición de energía eléctrica, la distribuidora es técnica y financieramente responsable del sistema de medición de microgeneración distribuida, de acuerdo con los Procedimientos de Distribución, detallados en [23]. Adicionalmente, los costos de adecuación del sistema de medición de la minigeneración distribuida y la generación compartida son cubiertos por el interesado. El sistema de mensura debe satisfacer las mismas especificaciones que las unidades consumidoras con conexión al mismo nivel de voltaje que la micro o minigeneración distribuida. Además, debe contar con la capacidad de realizar una medición bidireccional de energía eléctrica, es decir, medir tanto el consumo como la generación de energía. La medición bidireccional puede lograrse mediante dos medidores de una sola dirección: uno para medir la energía eléctrica activa consumida y otro para medir la generada. Esto se aplicará si esta alternativa resulta ser la de menor costo o si hay una solicitud por parte del titular de la unidad consumidora con micro o minigeneración distribuida [23].

El excedente energético es la resta entre la energía que se inyecta y la que se consume, exceptuando los proyectos que se acojan a la modalidad de unidades consumidoras múltiples, donde el excedente es netamente la energía inyectada. El excedente de energía

sin compensar en la propia unidad de consumo puede ser empleado para la compensación de otras propiedades consumidoras, si se tiene los esquemas de empresa con múltiples unidades consumidoras, generación compartida o autoconsumo a distancia. Si el consumidor y la generación distribuida están localizadas en distintas ubicaciones, la factura considera el consumo de energía, deduciendo el porcentaje de exceso energético previamente destinado a esta unidad consumidora y cualquier crédito por energía acumulada en facturaciones previas [23].

La definición del porcentaje de excedente energético destinado a cada consumidor que forme parte del sistema de compensación de energía debe ser efectuada por el titular de la unidad de consumo donde esté instalada la generación distribuida, si se trata de una empresa con múltiples consumidores o generación compartida. Dentro del sistema de compensación de energía, para cada unidad de consumo, la compensación debe ocurrir prioritariamente en la estación tarifaria donde ocurrió la generación, y, postreramente, en las demás estaciones tarifarias. De forma adicional, para unidades consumidoras conectadas a un voltaje primario cuyo sistema de medición está instalado en el secundario de los transformadores, se debe deducir la pérdida por transformación de la energía inyectada por esta unidad de consumo [23]. Esta deducción será de 1 % para suministros en voltajes mayores a 44 kV y de 2,5 % para suministros con voltajes iguales o inferiores a 44 kV [24], aunque esta última disposición fue derogada por [25], sirve de referencia para la consideración de las pérdidas en transformadores.

3.2.3 Panamá: Procedimiento y Reglamento para Autoabastecimiento para Clientes del Sector Eléctrico

El marco normativo para el autoabastecimiento de clientes del sector eléctrico en Panamá consta de dos documentos:

- Procedimiento para Autoconsumo con Fuentes Nuevas, Renovables y Limpias; y
- Reglamento de Autoabastecimiento para Clientes del Sector Eléctrico.

El primer texto declara las directrices que los clientes deben seguir con el propósito de cubrir su consumo eléctrico a través de plantas de generación de energía renovable y limpia, y vender los excedentes energéticos si existiesen. Este procedimiento es aplicado a los clientes de las empresas de distribución, cuyo propósito es minimizar su consumo energético del Sistema Interconectado Nacional o del Sistema Aislado, al emplear las mencionadas instalaciones generadoras con fuentes renovables y limpias [26]. El segundo documento establece las pautas de cuantificación de las compensaciones aplicadas al

autoabastecimiento en períodos de alerta por racionamiento por falta de oferta de generación eléctrica [27].

Resulta relevante subrayar que, las fuentes nuevas, renovables y limpias están definidas por [28] como los recursos provenientes de fuentes hídricas, biomasa, solares, geotérmicas, eólicas, entre otras, que sean utilizadas para la generación de energía eléctrica.

3.2.3.1 Esquemas Técnicos de Autoconsumo

En primera instancia, los clientes que empleen generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables y limpios no participarán en el mercado eléctrico, ni venderán energía a terceros. A su vez, se prohíbe la división de la carga de todo cliente regulado en distintas cuentas para una misma finca o propiedades conexas. Por consiguiente, se clasifica las plantas de generación según su capacidad instalada, en materia de cumplimiento de los requisitos de instalación de una central generadora:

- De hasta 500 kW;
- Mayor que 500 y menor que 2500 kW; y
- Mayor a 2500 kW.

En este contexto, se establece que la totalidad de la capacidad instalada de las instalaciones de generación de los clientes no debe ser mayor al 10 % de la demanda en MW máxima anual o el 2 % del consumo en GWh máximo anual. Cada tres años, la ASEP verificará este porcentaje, con el fin de incrementar este límite a futuro. Adicionalmente, la capacidad instalada de una planta fotovoltaica deberá corresponder a la potencia instalada antes del inversor en corriente continua y la potencia generada después del inversor en corriente alterna (kWp/kWac). El resto de las instalaciones generadoras tendrá una capacidad instalada correspondiente a su dato de placa. Por lo tanto, el único esquema del presente procedimiento es el autoconsumo local e individual [26].

3.2.3.2 Esquemas Comerciales de Autoconsumo

Entre los equipos de las instalaciones generadoras que se acojan a este procedimiento se debe instalar un medidor eléctrico de energía activa (kWh) exclusivo de instalación generadora. La precisión de este elemento debe ser ± 2 % como mínimo. El responsable de su instalación es el cliente. Por otro lado, la empresa de distribución, a su costo, debe conectar un medidor de doble dirección a todo usuario que se sujete al presente procedimiento. Para sistemas trifásicos y una demanda mayor que 100 kW, el medidor

instalado por la distribuidora es bidireccional, pero con características adicionales como memoria masiva para recolección de datos, funciones de calidad de energía, entre otras [26].

La conexión a la red de distribución debe ser efectuada con un medidor que mensione el consumo de electricidad del cliente y la inyección de energía de la planta de generación. Luego, el esquema comercial de autoconsumo aplicado es net metering. Para ello, la empresa de distribución determina el saldo neto, obtenido como la resta entre la energía generada y la recibida, del medidor para cada mes de facturación [26].

El autoconsumidor tiene derecho a acumular un exceso de créditos, en kWh, en intervalos de años o semestres, estableciendo un porcentaje máximo de 25 %, con fundamento en un análisis histórico del consumo. Si existen los créditos acumulados, los pagos correspondientes se realizarán a favor del usuario a través de cheque, ACH, o serán acreditados en dinero a la cuenta eléctrica del consumidor. Adicionalmente, los remanentes de energía no serán comercializados entre clientes ni con otros prestadores del servicio eléctrico [26].

Los consumidores finales de una empresa distribuidora que no quieran acogerse a [26], pero sí deseen autoconsumir a través de equipos de generación conectados a sus instalaciones, tendrán la facultad de hacerlo si se cuenta con la autorización de la empresa de distribución, quien verifica que el usuario satisfaga las siguientes condiciones:

- La desconexión automática del usuario del sistema de distribución cuando se genere con su planta y/o la implementación de dispositivos que aseguren en todo momento que no se inyecte energía a las redes de la distribuidora; y
- La seguridad de las instalaciones y que no afecten a la operación del sistema de distribución.

3.2.3.3 Compensación por Energía Autoabastecida en Períodos de Alerta por Racionamiento

Para recibir los incentivos y compensaciones económicas, cuando se prevé una escasez de generación, el cliente debe tener una demanda mayor o igual que 15 kW y autoabastecerse con plantas de emergencia con una capacidad mayor o igual que 15 kW. El reglamento [27] no puede ser aplicado para autogeneradores y cogeneradores debidamente certificados. Si las plantas de emergencia no poseen un sistema de medición instalado por la empresa de distribución, el monto de incentivo será disminuido de 0,15 a 0,07 B/kWh.

El objetivo del incentivo por ahorro de energía es decrementar la demanda de los consumidores del sector eléctrico, cuya demanda sea mayor o igual que 15 kW mensuales. La cuantificación del ahorro de energía se define como la reducción en el consumo energético del cliente, tomando como referencia su consumo actual. Consecuentemente, la energía ahorrada será compensada a los clientes en la forma de un crédito en su factura [27].

La compensación económica por utilizar plantas de emergencia se calcula con 3.4 [27], donde kWh es la energía generada por la planta de emergencia dentro del período de aplicación del presente reglamento, en kWh; Costo Combustible es el precio del diesel $\frac{B}{litro} * \frac{1 litro}{3,5 kWh}$; O&M son los costos por operación y mantenimiento, valorados en 0,05 B/kWh; y el Incentivo ASEP es de 0,15 B/kWh.

$$\text{Compensación económica} = \text{kWh} * (\text{Costo Combustible} + \text{O\&M} + \text{Incentivo ASEP}) \quad (3.4)$$

En caso de que las fuentes de las plantas de emergencia sean distintas al combustible (eólicas, biomasa, etc.), la compensación económica sólo reconocerá el valor O&M y el Incentivo ASEP. Con ello, la energía generada por la planta de emergencia deberá ser compensada de dos formas: un crédito en su factura, o un pago directo al cliente. Resulta relevante resaltar que, solo los clientes que hayan logrado autoabastecerse por lo menos el 50 % del tiempo establecido como periodo de alerta por racionamiento se les reconocerá la compensación económica en periodo de racionamiento, y que, los incentivos por ahorro de energía no serán aplicados cuando ocurra el estado de racionamiento [27].

3.2.4 España: Real Decreto del Autoconsumo de Energía Eléctrica

El marco regulatorio de España con respecto al autoabastecimiento de energía eléctrica está contenido en [3], cuyo objeto establece lo siguiente:

- Las disposiciones de técnicas, administrativas y económicas para los esquemas de autoconsumo de electricidad;
- La definición de instalaciones cercanas con respecto al autoconsumo;
- La introducción del autoabastecimiento colectivo e individual;
- La modalidad de compensación simplificada entre la recepción e inyección de energía; y
- La organización, el alistamiento y notificación de información al registro de administración de autoabastecimiento eléctrico.

De allí, se describe, seguidamente, los esquemas técnicos y comerciales de autoconsumo para España.

3.2.4.1 Esquemas Técnicos de Autoconsumo

Las modalidades técnicas de autoconsumo se clasifican de la siguiente manera:

- **Modalidad de Suministro con Autoconsumo sin Excedentes:** Una instalación de autoabastecimiento que impide, a través de aparataje física instalada, el vertido de excedentes energéticos al sistema de distribución. Para este esquema solo se considera un sujeto, que es el consumidor [29].
- **Modalidad de Suministro con Autoconsumo con Excedentes:** Una instalación de autoconsumo que, aparte de generar energía para el autoabastecimiento, entregan excedentes energéticos al sistema de distribución. Para este esquema se considera dos sujetos: el productor y el consumidor [29]. Esta clasificación se subdivide en dos:
 - **Modalidad con Excedentes Acogida a Compensación:** Esta tipología es aplicada cuando el consumidor y el productor voluntariamente elijan adoptar un esquema compensativo de remanentes, bajo las siguientes consideraciones:
 - i. El origen de la fuente primaria de energía debe ser renovable.
 - ii. El límite del total de la potencia de las plantas de producción asociadas es de 100 kW.
 - iii. El cliente debe vincularse mediante un único contrato de consumo con una empresa de comercialización.
 - iv. El productor y consumidor deben suscribir un contrato bajo la modalidad de compensación de remanentes por autoabastecimiento.
 - v. La infraestructura productiva no debe regirse bajo un sistema de compensación adicional o específico [3].
 - **Modalidad con Excedentes no Acogida a Compensación:** Este esquema es aplicado cuando no se cumpla alguna condición del esquema con excedentes acogida a compensación o si voluntariamente el usuario no desee adoptar la mencionada clasificación [3].

Además de los esquemas de autoconsumo definidos, este puede categorizarse como individual o colectivo. Para la clasificación de autoabastecimiento grupal, los usuarios participantes, asociados a la misma planta generadora, deben adoptar un mismo mecanismo de autoabastecimiento y notificar de forma individual a la empresa eléctrica de distribución un solo acuerdo suscrito por todos los participantes, tomando en consideración los parámetros de reparto. En este contexto, se define el coeficiente de reparto horario ($\beta_{h,i}$), que, para cada miembro del autoabastecimiento grupal, tiene valores que consten en un acuerdo suscrito por todos los miembros y comunicado a la distribuidora. El valor de $\beta_{h,i}$ puede ser determinado en base a la potencia de facturación, el aporte económico para la planta de generación de cada uno de los consumidores, o a través de cualquier otro criterio, cumpliendo el acuerdo de los participantes y que la sumatoria de los coeficientes sea igual a uno. Además, en función de la hora, $\beta_{h,i}$ puede ser variable, y estos coeficientes pueden ser cambiados dentro de un periodo mínimo de cuatro meses. Finalmente, la opción de constitución de una comunidad de energías renovables para la ejecución del autoconsumo colectivo es permitida si los requisitos para estas energías son satisfechos [3].

Es importante resaltar que, para cualquier modalidad de autoabastecimiento, el propietario y el consumidor de la central de generación pueden ser personas jurídicas o físicas distintas. Para el esquema de autoabastecimiento sin remanentes, el titular del punto de abastecimiento y la instalación de generación será el consumidor; si se trata de este esquema, pero colectivo, la propiedad de la planta de producción deberá ser compartida entre todos los usuarios asociados. Para la modalidad de autoconsumo con excedentes, se considerará como consumidores a los titulares de las instalaciones de generación [3].

En materia de la conexión y el acceso al sistema, las plantas generadoras, cuyos usuarios se hayan adoptado al esquema de autoabastecimiento sin excedentes, no deberán obtener permisos de conexión y acceso. A su vez, se trata de esta manera a las instalaciones productoras con una potencia menor o igual que 15 kW, cuyos consumidores se acojan al mecanismo de autoabastecimiento con remanentes, y que se localicen en suelo urbanizado. Para las demás instalaciones, son requeridos los permisos de conexión y acceso al sistema eléctrico [3].

3.2.4.2 Esquemas Comerciales de Autoconsumo

Los usuarios que adopten cualquier modalidad de autoabastecimiento deben conectar un instrumento de medición bidireccional en el punto de conexión, o en cada uno de los puntos

de conexión, de ser el caso. De forma adicional, las plantas generadoras deben contar con un equipo de medición de la generación neta para los casos siguientes:

- a. El autoabastecimiento es colectivo.
- b. La generación es una instalación cercana a través de la red.
- c. La generación no tiene como fuente primaria energía renovable o residuos, o no es cogeneración.
- d. La instalación cuenta con una potencia nominal mayor o igual que 12 MVA [3].

Sin embargo, los usuarios, bajo el esquema de autoabastecimiento individual con remanentes sin compensación, pueden optar por el siguiente sistema de medición:

- a. Medidor bidireccional que mensione la energía por hora generada.
- b. Medidor que mensione la energía total consumida.

Si hay más de una planta productora, cuyos titulares sean personas físicas o jurídicas distintas, se deberá instalar un medidor de generación neta a cada una de estas; no obstante, esta disposición es opcional si el titular es el mismo. Finalmente, el equipo bidireccional puede ser reemplazado por dos instrumentos: uno que mensione la generación bruta y otro, el consumo de servicios auxiliares [3].

En materia comercial, a todo productor que adopte cualquier modalidad de autoabastecimiento se le aplicará las tarifas para acceder a los sistemas de distribución y transporte, así como los costos asociados al sistema eléctrico. De forma voluntaria, los usuarios acogidos al esquema de autoabastecimiento colectivo sin excedentes pueden sujetarse al mecanismo de compensación simplificada [3].

La compensación simplificada es un mecanismo, aplicado al final de cada periodo de facturación, a través del cual es posible obtener una retribución económica por la energía que se ha producido y no ha sido consumida. Las instalaciones de generación que pueden beneficiarse de este esquema pueden ser individuales o colectivas. La compensación depende del tipo del contrato de suministro:

- Dentro del mercado regulado, el precio de los excedentes energéticos está dado por la hora a la que fueron inyectados, restando el costo de los desvíos. El precio varía en función de la hora y del día, acorde con las tarifas.
- Dentro del mercado liberalizado, el precio de los excedentes de energía es el acordado con la comercializadora [3].

En suma, el esquema comercial de autoabastecimiento es net billing.

3.3 Autoconsumo para Condominios: Experiencia Internacional

En este apartado, se recoge la experiencia internacional del autoconsumo para condominios de Chile, Brasil, Panamá y España; al final, se elabora un cuadro resumen.

3.3.1 Chile

Una instalación de generación para el autoconsumo debe tener como fuente primaria un recurso renovable no convencional o, en su defecto, puede implementarse una cogeneración individual o colectiva. La capacidad de la planta generadora no debe superar los 300 kW. La modalidad técnica de autoabastecimiento para condominios es la tipo conjunto, que debe ejecutarse en el mismo área de concesión del servicio de distribución. El prorrateo es determinado por los miembros del esquema, sumando un total de 100 %. Adicionalmente, se establece un porcentaje mínimo de repartición mensual, dado por 3.1 [20].

La medición de la energía eléctrica es realizada mediante un medidor bidireccional. El balance energético consecuente es la diferencia entre el consumo y las inyecciones de electricidad. Para la generación conjunto, el vertido de energía es descontado de los cargos por servicio eléctrico de cada uno de los participantes asociados, acorde con el reparto ya definido. Los usuarios con plantas generadoras no pueden entregar excedentes a terceros. En caso de que los excedentes no puedan ser descontados, serán pagados al cliente bajo ciertas condiciones. En otras palabras, se tiene un esquema comercial de net metering, aunque, si los excedentes no pueden ser descontados, se recurre a la modalidad de net billing. Además, si el equipamiento de generación es una planta fotovoltaica, se establece una capacidad de inyección máxima de pago, a través de 3.2 [20].

3.3.2 Brasil

Una planta de generación para autoconsumo debe contar con un recurso primario renovable o clasificarse como cogeneración. Según su capacidad, se dividen en dos: la micro y minigeneración distribuida. La microgeneración distribuida tiene una máxima capacidad de 75 kW, mientras que la minigeneración distribuida cuenta con un límite inferior de 75 kW y uno superior de 5 MW, para cogeneración y energía renovable, o de 3 MW para fuentes hídricas [23].

Las modalidades de autoconsumo son: local individual, local múltiple (incluye condominios o desarrollo con unidades de consumo múltiple), remoto de múltiples consumidores

(generación compartida), y remoto de múltiples consumidores propiedades de la misma persona jurídica (autoconsumo a distancia) [23].

La medición debe realizarse con un instrumento bidireccional; no obstante, también puede efectuarse con dos medidores unidireccionales: uno para medir el consumo y otro para mensurar la generación. Adicionalmente, si el medidor está instalado en el secundario del transformador, se debe deducir la pérdida por transformación de la energía inyectada [23]. Esta deducción es de 1 % para instalaciones con voltajes mayores a 44 kV y de 2,5 % para instalaciones con voltajes iguales o inferiores a 44 kV [24], aunque esta última disposición fue derogada por [25], sirve de referencia para la consideración de las pérdidas en transformadores.

La compensación de los excedentes energéticos es ejecutada a través de net metering. Para la generación de condominios, el titular de la unidad de consumo debe determinar el porcentaje de vertido que es destinado a cada consumidor partícipe del esquema. El excedente de energía es la diferencia entre lo inyectado y lo consumido, con excepción de la modalidad de condominio, donde el excedente es netamente la energía inyectada. La compensación del vertido energético es efectuado a través del porcentaje de repartición previamente asignado a cada unidad consumidora [23].

3.3.3 Panamá

La generación apropiada para el autoabastecimiento es la renovable, clasificada en conformidad con su capacidad instalada, en materia de los requisitos de instalación de plantas de generación: menor o igual que 500 kW, mayor que 500 kW y menor o igual que 2500 kW, y mayor que 2500 kW. Se establece que la totalidad de la capacidad instalada de las centrales de generación de los usuarios no supere el 10 % de la demanda máxima anual en MW o el 2 % del consumo máximo anual en GWh. Dentro de un periodo de tres años, la entidad regulatoria verificará estos porcentajes a fin de incrementarlos a futuro. Además, se dictamina que la capacidad instalada de un generador fotovoltaico debe corresponder a la potencia antes del inversor y la potencia luego de este (kWp/kWac) [26].

El único esquema de autoconsumo es el local individual, además de no permitir la venta de energía a terceros. La medición se debe realizar con un instrumento exclusivo para la planta de generación y un aparato bidireccional general. Como modelo comercial se emplea el net metering, a través del balance entendido como la resta entre la energía generada y la recibida para cada mes [26].

Se establece un límite de exceso de créditos energéticos dentro de periodos anuales o semestrales del 25 %. Mencionados créditos acumulados serán pagados al consumidor. Los usuarios cuyo deseo no es adoptar [26], pero sí autoabastecerse, deben implementar dispositivos que eviten el vertido de energía y/o desconectarse de la red de distribución cuando su planta genere. Finalmente, se define una compensación por energía autoabastecida en periodos de alerta por racionamiento [27].

A pesar de que Panamá no cuente con un esquema de autoconsumo para condominios, resulta relevante analizar su regulación, puesto que se establece ciertas particularidades que pueden mejorar el marco regulatorio de Ecuador, como el límite de la capacidad de las plantas generadoras a nivel nacional o la compensación por energía autoabastecida en periodos de alerta por racionamiento.

3.3.4 España

De las dos modalidades de autoconsumo, aquella aplicada a los condominios es la tipología con excedentes acogida a compensación, cuyos requisitos incluyen fuentes renovables y un límite de potencia de 100 kW. Además, se habla del autoconsumo individual y colectivo; para el último caso, los usuarios deben adoptar un mismo esquema de autoabastecimiento [3].

Se define un coeficiente de reparto horario determinado por un acuerdo entre los participantes del autoconsumo colectivo. Dicho coeficiente puede ser obtenido en base a la potencia de facturación, el aporte económico para la planta generadora, o mediante cualquier otro criterio, cumpliendo con un acuerdo entre los participantes y que la suma de estos valores sea igual a la unidad. Sumado a esto, dependiendo de la hora, el coeficiente de reparto puede variar, y el establecimiento de estos valores puede ser actualizado cada cuatro meses [3].

Todas las modalidades de autoconsumo deben contar con un medidor bidireccional en el punto de conexión; además, se debe contar con un medidor de la generación neta si: el autoabastecimiento es colectivo, la instalación es cercana a través de la red, la fuente de la generación no es renovable o residuos o no es cogeneración, y la planta productora es mayor o igual que 12 MVA [3].

A todo productor que se acoja a cualquier modalidad de autoconsumo se le aplicará las tarifas por acceder a los sistemas de distribución y transporte y cargos de la red eléctrica. La compensación simplificada se trata de un esquema que otorga una retribución

económica por la energía producida y no consumida, que depende del tipo de contrato de suministro:

- En el mercado regulado, los excedentes cuentan con un precio dependiente de la hora de su ocurrencia, deduciendo los desvíos. El precio varía en función del día y la hora, acorde con las tarifas.
- En el mercado liberalizado, el precio del vertido energético es acordado con la comercializadora [3].

3.3.5 Cuadro Resumen

Por último, en la Tabla 3.1 se presenta el cuadro resumen de las regulaciones aplicables para el autoconsumo en Chile, Brasil, Panamá y España, incluyendo los tipos de generación y su capacidad máxima, las modalidades de autoconsumo, los tipos de compensación, y las particularidades [3], [20], [23], [26], [27].

Tabla 3.1. Cuadro resumen de marcos regulatorios para autoconsumo de Chile, Brasil, Panamá y España [3], [20], [23], [26], [27].

País	Tipos de Generación	Capacidad Instalada Máxima	Modalidades de Autoconsumo	Tipos de Compensación	Particularidades
Chile	- Renovable no convencional. - Cogeneración	300 kW	- Individual. - Individual con descuentos remotos. - Conjunto.	- Net metering. - Net billing (bajo ciertas condiciones).	- Porcentaje mínimo de repartición. - Capacidad de inyección máxima de pago para plantas fotovoltaicas.
Brasil	- Renovable. - Cogeneración	- Microgeneración: 75 kW. - Minigeneración: 75 kW a 5 MW (3 MW hídricos).	- Local individual. - Local múltiple. - Remoto de múltiples consumidores. - Remoto de múltiples consumidores de una sola persona jurídica.	- Net metering.	- Pérdidas por transformador (solo referencia). - Excedente es netamente lo inyectado para condominios (local múltiple).
Panamá	- Generación renovable.	- De hasta 500 kW. - Mayor que 500 y menor que 2500 kW.	- Local individual.	- Net metering. - Net billing (para créditos acumulados).	- Límite de la capacidad de las plantas generadoras a nivel nacional.

		- Mayor a 2500 kW.			- Compensación por energía autoabastecida en periodos de alerta por racionamiento. - Definición de capacidad instalada máxima de generador fotovoltaico.
España	- Para compensación: renovable	100 kW	- Sin excedentes. - Con excedentes: compensado y no compensado. - Individual o colectivo.	- Net billing.	- El prorrateo puede definirse con cualquier método y puede depender de la hora. - Aplicación de peajes de acceso a distribución y transporte y cargos de la red. - Compensación depende del tipo de contrato de suministro.

3.4 Propuesta de Mejora de Marco Normativo: Modelo de Condominio

En la presente sección, se desarrolla la propuesta del marco normativo del esquema de autoconsumo para condominios, tomando en consideración las modalidades de autoabastecimiento, el tipo del sistema de medición, la clasificación de la compensación, el prorrateo, entre otras particularidades. Cabe resaltar que, de acuerdo con [26], [27], se podría implementar un límite de la capacidad de la generación distribuida a nivel nacional, realizando los estudios eléctricos pertinentes, además de la compensación por la energía autoabastecida en periodos de alerta por racionamiento, analizando las implicaciones económicas pertinentes; no obstante, el desarrollo de estas dos propuestas está fuera del alcance del presente TIC.

3.4.1 Esquema Técnico de Autoconsumo

La modalidad de autoabastecimiento de condominio necesariamente requiere múltiples unidades de consumo; además, la localización de la planta generadora y los consumidores puede ser diferente. En consecuencia, se propone que el esquema técnico de

autoconsumo para condominios pueda ser local y remoto, considerando varios consumidores, como se ilustra en la Figura 3.9, donde se presenta los dos esquemas de autoconsumo para condominios: local y remoto. Resulta relevante destacar que, para la modalidad remota, los predios de generación y consumo deben estar dentro de la misma zona de concesión de la distribuidora. El fundamento de esta propuesta yace en la experiencia internacional previamente descrita, pues acorde con [3], [20], [23], en Chile, Brasil y España actualmente es posible emplear el autoconsumo local y remoto múltiple.

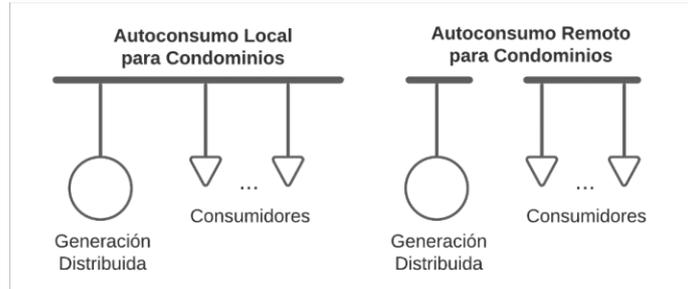


Figura 3.9. Modalidades propuestas de autoabastecimiento para condominios (local y remoto) [Elaboración propia].

3.4.2 Esquema Comercial de Autoconsumo

En primer lugar, se plantea la instalación de un único instrumento de medición bidireccional para la mensura de la energía generada y la consumida, como se revisó en [20], [23] para Chile y Brasil en la modalidad de autoconsumo en condominio. En la Figura 3.10, se muestra los esquemas posibles de los sistemas de medición para los mecanismos de autoconsumo en condominios (local y remoto).

Por consiguiente, con el antecedente de que, según [17], está prohibido la venta, reventa o enajenación de la potencia y/o energía eléctrica por el consumidor, se establece que el único esquema comercial posible para Ecuador es net metering, obteniendo un balance energético definido por la diferencia entre la energía recibida de la vertida. En otras palabras, si el balance es negativo, se tendrá excedentes en forma de créditos de energía; por el contrario, si el balance es positivo, se tendrá un crédito energético que será descontado de la facturación del mes en cuestión, en función del porcentaje asignado acorde con el prorrateo definido en el siguiente numeral. Adicionalmente, se puede acumular créditos energéticos por excedentes en un periodo de 36 meses; luego de este intervalo, todos los créditos de energía serán reestablecidos a cero, librando a la distribuidora de la responsabilidad de compensarlos.

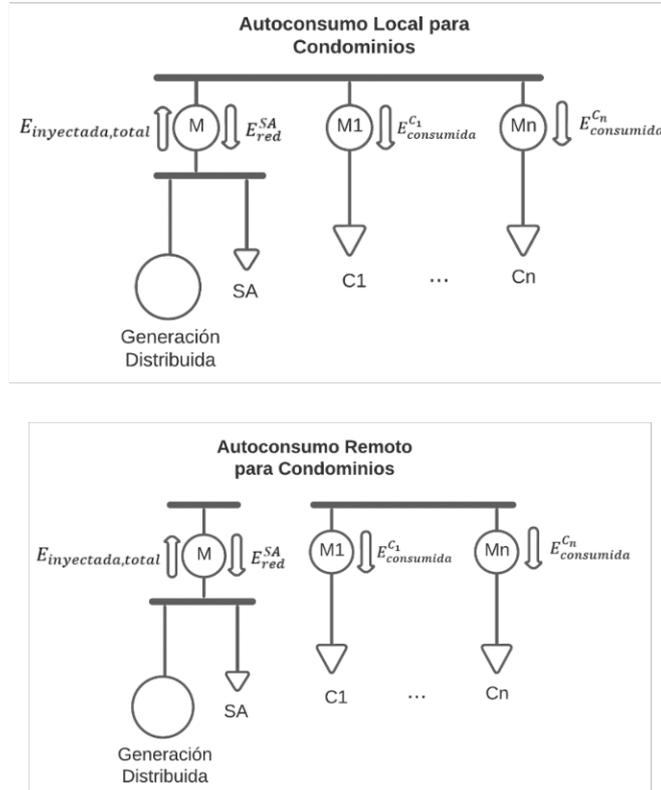


Figura 3.10. Sistemas de medición propuestos para autoconsumos local y remoto en condominios [Elaboración propia].

3.4.2.1 Prorrateo

En cuestión del prorrateo, se sugiere que, tal como se examinó en [3], la repartición de los ingresos obtenidos del autoabastecimiento sea determinada en base a los consumos energéticos de los participantes de la presente modalidad, logrando un acuerdo entre todos los usuarios finales. Esta repartición, denotada con el coeficiente β_j , está dada por 3.5, donde E_j es la energía consumida por el j -ésimo usuario. Consecuentemente, a través de 3.6 se halla la energía total atribuida al consumidor j para el i -ésimo mes ($E_{total,i}^{Cj}$), donde $E_{consumida,i}^{Cj}$ es la energía neta consumida por el usuario j en el mes i , $E_{consumida,i}^{SA}$ es la energía total consumida por los servicios auxiliares en el i -ésimo mes y $E_{inyectada,i}^{GD}$ es la energía neta inyectada por la generación distribuida para el mes i .

$$\beta_j = \frac{E_j}{\sum E_j} (100) (\%) \quad (3.5)$$

$$E_{total,i}^{Cj} = E_{consumida,i}^{Cj} + \frac{\beta_j}{100} (E_{consumida,i}^{SA} - E_{inyectada,i}^{GD}) \quad (3.6)$$

Si los patrones de consumo de alguno de los usuarios llegase a cambiar, la actualización de los porcentajes asignados a cada consumidor puede ser actualizada cada cuatro meses.

3.4.2.2 Incentivo Económico

Acorde con lo analizado de [23], con la finalidad de promover las instalaciones de generación distribuida para el autoconsumo de condominios, el excedente de energía es netamente lo inyectado; en otras palabras, no se restará la energía inyectada de la consumida, sino todo aquello generado por la planta de producción será asignado como crédito energético por excedentes. Esto es válido para los dos tipos de autoconsumo en condominios: local y remoto, a diferencia de lo establecido en [23] (solo local).

3.4.2.3 Pérdidas por Transformación

Si el sistema de mensura es conectado en el lado de bajo voltaje del transformador que conecta a la generación distribuida con la red, se deberá deducir las pérdidas por transformación, tomando como referencia a [23], en 2,5 % si la instalación es de medio voltaje ($0,6 \text{ kV} < V_n \leq 40 \text{ kV}$) o bajo voltaje ($V_n \leq 0,6 \text{ kV}$), siguiendo los voltajes definidos en [5].

3.4.3 Trámites

Los documentos necesarios para la conexión de una planta de generación distribuida para autoconsumo de condominios son dos: la factibilidad de conexión y el certificado de habilitación. El trámite varía según el voltaje de conexión y la potencia nominal, como lo indica la Tabla 3.2 [5]. Para obtenerlos, es necesario efectuar los trámites respectivos, que son descritos seguidamente, en días hábiles [5].

Tabla 3.2. Categorías de sistemas de generación distribuida [5].

Nivel de Voltaje (V_n)	Potencia nominal (P_n)	Categoría
Bajo voltaje ($V_n \leq 0,6 \text{ kV}$)	$P_n \leq 5 \text{ kW}$ (monofásica)	1
	$P_n \leq 10 \text{ kW}$ (bifásica)	
	$P_n \leq 50 \text{ kW}$ (trifásica)	
Medio voltaje ($0,6 \text{ kV} < V_n \leq 40 \text{ kV}$)	$P_n \leq 2 \text{ MW}$ si hay inyección de energía	2
	P_n menor a capacidad aprobada por la distribuidora si no hay inyección de energía	

3.4.3.1 Factibilidad de Conexión

Tomando como punto de partida el recibimiento del formulario, se procederá de acuerdo con lo siguiente para la categoría 1 [5]:

- a. La distribuidora tiene tres días para aceptar el inicio del trámite. Si esta requiere de información adicional, el solicitante tendrá tres días para completar la información.

- b. El solicitante dispondrá de tres días para entregar la información necesaria para el análisis técnico por la distribuidora.
- c. La distribuidora efectuará su análisis técnico en un plazo de quince días. Dentro de este intervalo, esta otorgará, si es el caso, la factibilidad de conexión.
- d. En la factibilidad de conexión, la distribuidora definirá las condiciones operativas y el esquema de conexión del sistema de generación distribuida.
- e. Partiendo del informe de la distribuidora de la factibilidad de conexión, el solicitante contará con 7 días para comunicar la aceptación o no de las condiciones de la factibilidad de conexión.
- f. La vigencia de la factibilidad de conexión es de seis meses.

Para la categoría 2, partiendo de la recepción del formulario [5]:

- a. La distribuidora tendrá tres días para aceptar el inicio del trámite; si se necesita de información extra, el solicitante deberá entregarla en tres días.
- b. La distribuidora, en un plazo de tres días, entregará la información técnica de su sistema para efectuar los estudios eléctricos correspondientes.
- c. El solicitante dispondrá de veinticinco días para la entrega de los estudios técnicos.
- d. La revisión de los estudios técnicos por la distribuidora deberá realizarse en 10 días; si se halla inconsistencias o errores, esta notificará al solicitante, cuyo plazo de entrega de correcciones es de 3 días.
- e. Dentro del intervalo temporal del literal d, la distribuidora concederá, si corresponde, la factibilidad de conexión.
- f. En la factibilidad de conexión, la distribuidora determina el diagrama de conexión y las disposiciones de operación del sistema de generación distribuida, y las adecuaciones al sistema de distribución.
- g. En un plazo de 7 días, luego de la notificación de la factibilidad de conexión, el solicitante informará a la distribuidora la aceptación o negación de las condiciones definidas en la factibilidad de conexión.
- h. La factibilidad de conexión tendrá una vigencia de seis meses.

3.4.3.2 Certificado de Habilitación

Con el propósito de obtener el certificado de habilitación, para las categorías 1 y 2 de los sistemas de generación distribuida, se sigue el proceso detallado a continuación [5]:

- a. Partiendo de la notificación de la factibilidad de conexión, el solicitante tiene seis meses para pedir el inicio de trámite del certificado de habilitación; consecuentemente, se deberá entregar a la distribuidora la información relativa al sistema de generación distribuida.
- b. En un plazo de siete días, luego de conceder la información del literal a, la distribuidora deberá revisar estos documentos. Si existiese alguna observación o ajuste, el solicitante tiene siete días para solventarlos.
- c. Dentro de siete días, la distribuidora desarrollará un informe para aprobar y emitir el certificado de habilitación, de ser el caso.
- d. La vigencia del certificado de habilitación es la vida útil de la tecnología de generación de la planta de producción, como se indica en la Tabla 3.3 [5].

Tabla 3.3. Vida útil de las tecnologías de generación [5].

Tecnología	Vida útil (años)
Fotovoltaica	25
Eólica	25
Biomasa	20
Biogás	20
Hidráulica	30

4 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se desarrolla un ejemplo de aplicación de la modalidad local propuesta del autoabastecimiento para condominios; a su vez, se redacta las conclusiones y recomendaciones del TIC.

4.1 Ejemplo de Aplicación: Autoconsumo Local para Condominios

En [30] se efectúa el diseño de una planta de autoabastecimiento colectivo fotovoltaico, que generará electricidad a la comunidad de Concha Espina en Madrid, España. La capacidad instalada del generador fotovoltaico es de 37,8 kWp, cuya estimación anual de energía es de 52,4 MWh. Esta producción energética abastece un 38 %, aproximadamente, del consumo de los 27 departamentos y 2 locales del edificio de condominios, y un 35 % del consumo de las áreas comunes.

Dado que no ha sido posible obtener los datos suficientes de los 27 hogares y 2 locales comerciales, se ha estimado una demanda anual, asumiendo que estos consumos presentan un mismo comportamiento; además, se estimó la demanda anual para cuatro consumos comunes. En consecuencia, en la Tabla 4.1 se presenta los porcentajes de reparto calculados con 3.5 [30]. Finalmente, en la Tabla 4.2 se muestra la energía total atribuida a los cinco tipos de abastecimiento para el mes de abril, hallados con 3.6, asumiendo que los servicios auxiliares no registran ningún consumo y que la estimación de la producción de la planta fotovoltaica en este mes es de 5290 kWh [30].

Tabla 4.1. Porcentajes de reparto del ejemplo de cálculo [30].

Tipo de Consumo	Estimación de Demanda (kWh/año)	Porcentaje de Reparto (%)
Común A	1281	1,1237
Común B	1089	0,9553
Común C	10682	9,3702
Común D	13948	12,2351
Hogares (27) y 2 locales	3000	2,6316
Total	114000	100

Tabla 4.2. Energía atribuida para el mes de abril del ejemplo de cálculo [30].

Tipo de Consumo	Energía consumida (kWh)	Energía atribuida (kWh)	Incentivo Económico (kWh)
Común A	51	-8,4437	-59,4437
Común B	43	-7,5354	-50,5354
Común C	425	-70,6836	-495,6836
Común D	555	-92,2368	-647,2368
Hogares (27) y 2 locales	300	160,7884	-

Para el mes de abril del presente ejemplo de cálculo, de la Tabla 4.1, se evidencia que el 23,6843 % de la energía producida por la generación distribuida será destinada a las áreas comunes del condominio, mientras que el 76,3157 % será atribuida a los 27 hogares y 2 locales, contando cada usuario con un 2,6316 %. De la Tabla 4.2, se observa que la energía atribuida a las zonas comunes del edificio serán considerados como excedentes en abril; consiguientemente, acorde con el incentivo económico propuesto, el excedente es netamente la energía inyectada. La producción energética asignada a las casas y los locales será descontada como un crédito energético de la facturación del mes de abril.

4.2 Conclusiones

- En materia de los sistemas de generación renovable para el autoabastecimiento, se cumplió con el análisis del marco normativo de Ecuador; y la investigación de las modalidades técnicas y comerciales en Chile, Brasil, Panamá y España. En cuestión del desarrollo de autoconsumo en condominios, se realizó el estudio de los esquemas aplicados en estos países extranjeros y la propuesta de mejora del marco normativo en Ecuador; adicionalmente, se desarrolló un ejemplo de cálculo.
- El marco normativo en Ecuador para sistema de generación renovable de autoconsumo abarca la Constitución del Ecuador, la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, el Reglamento General de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, y la Regulación Nro. ARCERNR 008/23.
- De los dos esquemas comerciales de autoconsumo eléctrico estudiados (net metering y net billing), aquel que resulta más conveniente para el consumidor es net metering pues presenta un subsidio implícito al incluir el pago por la infraestructura de distribución.
- En Ecuador, la generación distribuida para el autoconsumo tiene una capacidad máxima de 2 MW, con excepción aquella que no inyecta energía a la red. Está

permitido el autoconsumo eléctrico local y remoto, tanto para consumos individuales como para usuarios múltiples, ya sean concentrados o dispersos. En este contexto, el sistema de medición se compone de un instrumento bidireccional, exceptuando la modalidad que no inyecta excedentes energéticos (medidor unidireccional). Se aplica el mecanismo comercial de net metering, pues en el país no se permite la venta de energía por el consumidor; para ello, se calcula, en el periodo de facturación (mensual), un balance energético cuyo valor es la resta de la energía absorbida de la inyectada. Si este balance es negativo, se otorga al usuario un crédito energético; si es positivo, se descuenta el crédito energético de la facturación. Además, no se presenta un método de prorrateo para consumos múltiples y dicta que la deducción por pérdidas de transformación es de 2 %, de ser el caso.

- En Chile, para el autoconsumo, se requiere de una generación renovable no convencional o una cogeneración, teniendo 300 kW como límite de potencia instalada. Las modalidades de autoabastecimiento son: individual, individual con descuentos remotos y conjunto. Los tipos de compensación son: net metering y net billing, bajo ciertas condiciones. Las particularidades de este marco regulatorio son: el porcentaje mínimo de repartición y la capacidad de inyección máxima de pago para plantas fotovoltaicas. Adicionalmente, no se establece un método de prorrateo para consumos múltiples.
- En Brasil, para el autoconsumo, se necesita de una generación renovable o cogeneración, estableciendo dos tipos según su capacidad instalada máxima: microgeneración (75 kW) y minigeneración (75 kW a 5 MW, o 3 MW para fuentes hídricas). Se presenta cuatro esquemas de autoabastecimiento: local individual, local múltiple, remoto múltiple, y remoto múltiple de una sola persona jurídica. El modelo comercial de autoconsumo es net metering. Las particularidades de este marco regulatorio son: las pérdidas por transformador (solo como referencia, pues han sido revocadas) y que, para el esquema local múltiple (condominios), el excedente de energía es netamente lo inyectado. De forma adicional, no se presenta un método de prorrateo para consumos múltiples.
- En Panamá, para el autoconsumo, se requiere de una generación renovable, clasificándola según su potencia máxima para satisfacer requisitos de conexión. El único esquema técnico de autoabastecimiento es el local individual. El mecanismo de compensación es net metering y, para los créditos acumulados, net billing. Las particularidades de este marco regulatorio yacen en el límite de la capacidad de las

plantas de generación a nivel nacional, la compensación por energía autoabastecida en periodos de alerta por racionamiento y la definición de la capacidad instalada máxima para generadores fotovoltaicos.

- En España, para el autoconsumo compensado, se necesita de generación renovable con una capacidad máxima de 100 kW. Se tiene las modalidades de autoabastecimiento siguientes: sin excedentes, con excedentes compensados, y con excedentes no compensados, además de los esquemas individual y colectivo. El mecanismo económico para compensar los excedentes es net billing. Las particularidades de este marco regulatorio son: el prorrateo puede definirse con cualquier método, recomendando como metodologías la potencia contratada y aportes económicos para la instalación de la producción, y puede depender de la hora; la aplicación de tarifas por acceder a la red de distribución y transporte y cargos del sistema; y la compensación depende del tipo de contrato de suministro.
- En la propuesta de mejora, se establece que: el autoconsumo para condominios sea local y remoto; el sistema de medición sea un único instrumento bidireccional; el mecanismo de compensación sea net metering, incentivando a la generación distribuida, donde el balance energético es la diferencia entre lo consumido y lo inyectado, si se tiene excedentes estos serán netamente la energía inyectada; el prorrateo se calcule en base a los consumos energéticos de los participantes, y pueda ser actualizado cada cuatro meses; las pérdidas por transformación sean de 2,5 %, para bajo y medio voltaje; y la acumulación de créditos energéticos tenga un plazo de 36 meses. Además, se optimizó los trámites para la implementación de generación distribuida de autoconsumo. Finalmente, se realizó un ejemplo de cálculo para un edificio de condominios en Madrid, España, aplicando el prorrateo y la compensación propuestos.

4.3 Recomendaciones

- Se sugiere analizar, partiendo del caso panameño, el límite de la capacidad de las plantas generadoras a nivel nacional, como impacto de la integración de energías renovables a largo plazo en Ecuador.
- Tomando como referencia a Panamá, se recomienda explorar la alternativa de la compensación por energía autoabastecida en periodos de alerta por racionamiento y sus implicaciones económicas en Ecuador.

- Para el prorrateo de la propuesta de mejora del marco normativo del modelo de autoconsumo para condominios, resulta favorable realizar un estudio energético con intervalos temporales considerables (años); de esta manera, se analiza el comportamiento de consumo de los involucrados, permitiendo hallar adecuadamente la repartición de la energía asignada.
- En caso de que, una vez finalizada la construcción de un condominio o conjunto residencial, esta propiedad esté parcialmente habitada, la planta de generación distribuida para autoconsumo podrá entrar en operación cuando se tenga el 50 % de ocupación. Además, el prorrateo de la energía eléctrica generada deberá ser actualizado mensualmente hasta que la propiedad esté completamente habitada.
- El dimensionamiento de la planta de generación distribuida para autoconsumo no debe orientarse a la obtención del máximo beneficio del incentivo económico propuesto, sino a abastecer la demanda energética anual.
- Intensificar las campañas de divulgación acerca los beneficios y procedimientos de la implementación de sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento, dirigidas a desarrolladores de vivienda y propietarios de condominios.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Marshall, “El Consumo Eléctrico Residencial en Chile en 2008”, *Cuadernos de Economía*, vol. 47, pp. 57–89, 2010, doi: <http://doi.org/10.4067/S0717-68212010000100003>.
- [2] M. Baquero y M. Quesada, “Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador”, *MASKANA*, vol. 7, pp. 147–165, 2016, doi: <http://doi.org/10.18537/MSKN.07.02.11>.
- [3] BOE, “Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.”, España, BOE-A-2019-5089, abr. 2019.
- [4] G. Salazar y H. Arcos, “Análisis Técnico y Económico de la Implementación del Net Metering para diferentes tipos de Consumidores de Electricidad en el Ecuador”, *Revista Técnica “energía”*, vol. 18, núm. I, pp. 86–94, 2021, doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n1.2021.464>.
- [5] ARCERNNR, “Marco normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica”, Quito, REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-008/23, nov. 2023.
- [6] Freepik, “Concepto ortogonal de generación de energía”. Consultado: el 11 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.freepik.es/vector-gratis/concepto-ortogonal-generacion-energia_10155383.htm#query=generación%20eléctrica&position=4&from_view=search&track=ais&uid=8af0d9cb-875b-4485-89c8-d736bfe24fae#position=4&query=generación%20eléctrica
- [7] H. Gharavi y R. Ghafurian, “Smart Grid: The Electric Energy System of the Future”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, núm. 6, jun. 2011, doi: 10.1109/JPROC.2011.2124210.
- [8] T. Vijayapriya y D. Kothari, “Smart Grid: An Overview”, *Smart Grid and Renewable Energy*, vol. 2, pp. 305–311, 2011, doi: <http://dx.doi.org/10.4236/sgre.2011.24035>.
- [9] P. San Juan, “¿Que es la generación distribuida? #GeneracionDistribuida”, sep. 2017. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.suriaenergy.com/que-es-la-generacion-distribuida>
- [10] S. Quintero y J. Jiménez, “Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico”, *Tecnura*, vol. 17, pp. 77–89, 2013, doi: <http://doi.org/10.14483/UDISTRITAL.JOUR.TECNURA.2013.1.A07>.
- [11] C. Bordons, F. Garcia-Torres, y L. Valverde, “Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable”, *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, vol. 12, pp. 117–132, 2015, doi: <http://doi.org/10.1016/J.RIAI.2015.03.001>.
- [12] J. Dheler *et al.*, “Self-Consumption of Electricity from Renewable Sources”, *Europe’s Energy Transition*, pp. 225–236, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809806-6.00027-4>.
- [13] Cambio Energético, “AUTOCONSUMO COLECTIVO CON TRES EJEMPLOS PRÁCTICOS: COMUNIDAD DE VECINOS, POLÍGONO INDUSTRIAL Y ZONA

RESIDENCIAL”. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/ejemplos-practicos-autoconsumo-colectivo/>

[14] D. García, G. Benítez, A. Vázquez, y M. Rodríguez, “La generación distribuida y su regulación en el Ecuador”, *Brazilian Journal of Business*, vol. 3, núm. 3, pp. 2017–2030, 2021, doi: 10.34140/bjbv3n3-001.

[15] Asamblea Nacional, “Constitución de la República del Ecuador”, 2008. Consultado: el 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://bivicce.corteconstitucional.gob.ec/local/File/Constitucion_Enmiendas_Interpretaciones/Constitucion_2008.pdf

[16] Asamblea Nacional, “Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica”, 2015. Consultado: el 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/ENERGET-LEY_ORGANICA_DEL_SERVICIO_PUBLICO_DE_ENERGIA_ELECTRICA-1-20-DE-AGOSTO-DE-2020.pdf

[17] Asamblea Nacional, “Reglamento a Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica”, 2019. Consultado: el 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/ENERGET-REGLAMENTO_A_LEY_ORGANICA_DEL_SERVICIO_PUBLICO_DE_ENERGIA_ELECTRICA-1-20-DE-AGOSTO-DE-2020.pdf

[18] F. Santos Alvite, “ACUERDO Nro. MEM-MEM-2023-0017-AM”, Ministerio de Energía y Minas, Quito, sep. 2023.

[19] D. Watts, M. Valdés, D. Jara, y A. Watson, “Potential residential PV development in Chile: The effect of Net Metering and Net Billing schemes for grid-connected PV systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1037–1051, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.201>.

[20] Ministerio de Energía, “Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo”, Chile, 2020.

[21] Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción; Subsecretaría de Economía, Fomento y Reconstrucción, “Ley General de Servicios Eléctricos, en Materia de Energía Eléctrica”, Chile, feb. 2007.

[22] ANEEL, “RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012”, Brasil, abr. 2012.

[23] ANEEL, “RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015”, Brasil, nov. 2015.

[24] ANEEL, “RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010”, Brasil, sep. 2010.

[25] ANEEL, “RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 863, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2019”, Brasil, dic. 2019.

[26] ASEP, “Procedimiento para Autoconsumo con Fuentes Nuevas, Renovables y Limpias”, Panamá, ago. 2016.

[27] ASEP, “REGLAMENTO DE AUTOABASTECIMIENTO PARA CLIENTES DEL SECTOR ELÉCTRICO”, Panamá, dic. 2014.

[28] Asamblea Legislativa, “Ley N° 45 - Ley para promover las energías renovables”, Panamá, ago. 2004.

[29] BOE, “Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico”, España, BOE-A-2013-13645, dic. 2013.

[30] D. Arredondo Bonilla, “DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO COLECTIVO SOLAR EN UNA COMUNIDAD DE VECINOS EN MADRID”, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2021.