

**ANEXO A**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

**Trabajo de Fin de Carrera Titulado:**

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN  
DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN  
DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”**

**Realizado por:**

**KATIA LILIAN ROSA**

**Director del Proyecto:**

**Dr. JAVIER MARTÍNEZ GÓMEZ, PhD.**

**Como Requisito para la Obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**Quito, octubre de 2020**

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

**ANEXO B**

**DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, KATIA LILIAN ROSA, con cédula de identidad # 171227478-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Katia Lilian Rosa

171227478-4

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”**

**ANEXO C**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA  
ELÉCTRICA QUITO”**

Realizado por:

**KATIA LILIAN ROSA**

Como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGÍSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA  
ENERGÉTICA**

Ha sido dirigido por el profesor

**Dr. JAVIER MARTÍNEZ GÓMEZ, PhD.**

Quien considera que se constituye un trabajo original de su autor



**Dr. JAVIER MARTÍNEZ GÓMEZ, PhD.**

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

**ANEXO D**

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**EDILBERTO LLANES CEDEÑO**

**JESÚS LÓPEZ VILLADA**

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado como apto para su defensa  
oral ante el tribunal examinador



PhD. EDILBERTO LLANES CEDEÑO



PhD. JESÚS LÓPEZ VILLADA

Quito, octubre de 2020

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

**ANEXO E**

**DEDICATORIA**

Dedicado a todos los compañeros y profesores de la Maestría de Ecoeficiencia Industrial que  
de manera directa o indirecta colaboraron con ideas.

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”**

**ANEXO F**

**AGRADECIMIENTO**

A William Mendoza, funcionario de la EEQ, por su apoyo y colaboración en la obtención de  
datos.

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

Para someter a:

To be submitted to:

**Análisis Multicriterio del Ingreso de Generación Distribuida Fotovoltaica en las Redes  
de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito**

Katia Lilian Rosa<sup>1</sup>, Javier Martínez Gómez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales  
Quito – Ecuador

La correspondencia en relación a esta tesis debe dirigirse a: Katia Lilian Rosa

Dirección electrónica: [fonn40@hotmail.com](mailto:fonn40@hotmail.com)

Título Corto o Running Title: Ingreso de Generación Fotovoltaica en Quito.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## **Resumen**

La generación distribuida fotovoltaica (GDFV) se populariza en todo el mundo y Quito se une a esta tendencia con un sistema eléctrico que incorpora nuevos modelos energéticos que evolucionan hacia flujos dinámicos, recursos energéticos distribuidos y automatización. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis multicriterio (técnico, económico-financiero y jurídico) del ingreso de la GDFV a las redes de distribución (RD) de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) como alternativa eficiente de producción de energía eléctrica para suplir el crecimiento de la demanda y mantener los índices de calidad. La corrida de flujos de potencia con el software CYME 7.2 paquete CYMDIST retrata las mejores ubicaciones de ingreso valorando el comportamiento de los niveles de voltaje en los nodos y cargas en los conductores. El dimensionamiento de la energía requerida con un método de optimización heurístico es comprobado por la herramienta en un horizonte de mediano plazo. El Global Solar Atlas determina el potencial del recurso y el ArcGIS identifica, con superposiciones de redes y mapas, los lugares de emplazamiento. El estudio capta el comportamiento de las redes de distribución en el año 2025 y los datos encontrados son insumos para el análisis de la integración de autoconsumidores y la proposición de dos escenarios (alivio y solución) de problemas técnicos. Los resultados sirven de referencia a que los organismos de planificación delimiten el marco legal para atraer inversiones que abastezcan los futuros consumos. Empleando buenas prácticas de integración se demuestra la viabilidad de construir un sistema con gran penetración. El escenario de alivio a mayor escala y los autoconsumidores, que tendrán recortadas sus planillas en 50% con contratos firmados por 20 años, consiguen ahorros para el sector eléctrico. Un potencial solar promedio de 1600 kWh/kWp en el Distrito Metropolitano de Quito hace atractiva la participación en este mercado.

*Palabras clave:* generación distribuida, fotovoltaica, redes de distribución, ubicación, dimensionamiento



# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## **Abstract**

Photovoltaic Distributed Generation (PVDG) is becoming popular around the world and Quito joins this trend with an electrical system that incorporates new energy models that are evolving towards dynamic flows, distributed energy resources and automation. The objective of this work is to carry out a multicriteria analysis (technical, economic-financial and legal) of the entry of the PVDG to the distribution networks of the Quito Electric Company (EEQ) as an efficient alternative for electricity production to supply demand growth and maintain quality indices. The analysis of the power flow with the CYME 7.2 software package CYMDIST portrays the best input locations evaluating the behavior of the voltage levels at nodes and loads on the conductors. A heuristic optimization method sizes the required energy that is checked by the software in a medium-term horizon. Global Solar Atlas determines the potential of the resource and ArcGIS identifies, with network and map overlays, the site locations. The study captures the behavior of the distribution networks in the year 2025 and the data obtained are inputs for the analysis of prosumers integration and the proposition of two scenarios (relief and solution) of technical problems. The results serve as a reference for planning agencies to define the legal framework to attract investments that will supply future consumptions. Employing good integration practices demonstrates the viability of building a system with great penetration. Large-scale relief scenarios and prosumers, who will have their bills cut by 50 % with a 20-year contract, achieve savings for the electricity sector. An average solar potential of 1600 kWh / kWp in the Metropolitan District of Quito makes attractive the participation in this market.

Keywords: distributed generation, photovoltaic, distributed networks, siting, sizing

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

## Contenido

1.	Introducción .....	14
1.1.	Las Políticas .....	16
1.2.	Utilizando Generación Distribuida.....	18
2.	Objetivos .....	20
2.1.	Objetivo General .....	20
2.2.	Objetivos Específicos.....	20
3.	Metodología .....	21
3.1.	Evaluación Criterios Jurídicos .....	21
3.1.1.	Selección de regulaciones .....	21
3.2.	Evaluación Criterios Técnicos.....	21
3.2.1.	Corrida los de flujos de potencia en CYMDIST .....	23
3.2.2.	Superposición de las redes con ArcGIS .....	23
3.2.3.	Búsqueda del potencial solar en Global Solar Atlas .....	23
3.2.4.	Correlación entre curvas típicas de demanda y perfiles generación fotovoltaica ..	23
3.2.5.	Corrida de flujos de potencia en CYMDIST con ingreso GDFV .....	23
3.3.	Evaluación Criterios Económicos-Financieros .....	23
3.3.1.	Cuantificación inversiones .....	23
3.3.2.	Cuantificación desempeño contable.....	24
4.	Resultados .....	24
4.1.	Resultados Criterios Jurídicos.....	24
4.1.1.	Regulaciones del Sector Eléctrico.....	24

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

4.2. Resultados Criterios Técnicos.....	26
4.2.1. Retrato de la situación en 2025 .....	26
4.2.2. Ubicación geográfica.....	27
4.2.3. Potencial Solar.....	27
4.2.4. Dimensionamiento de la GDFV .....	28
4.2.5. Comprobación .....	39
4.3.1. Valoración económica.....	42
4.3.2. Valoración Financiera .....	43
5. Discusión.....	48
6. Conclusiones .....	49
7. Recomendaciones.....	50
8. Bibliografía.....	52
9. Apéndices.....	57
9.1. Anexo G – Lectura primario 57E día de mayor demanda máxima coincidente.....	57
9.2. Anexo H – Precio escenarios diferentes plazos y respectivo VAN, TIR y LCOE....	57

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## Lista de Figuras

Figura 1. Categorías de límites de planificación EEQ .....	25
Figura 2. Topología redes primarias EEQ condiciones anormales funcionamiento 2025 .....	26
Figura 3. Importación ArcGIS de las parroquias del Distrito Metropolitano de Quito.....	27
Figura 4. Primario 57E en condiciones normales de funcionamiento 2020.....	30
Figura 5. Primario 57E en condiciones anormales de funcionamiento 2025 .....	30
Figura 6. Representación gráfica de las curvas de demandas diarias del primario 57E.....	31
Figura 7. Representación gráfica de la curva estadística promedio de demanda mensual.....	31
Figura 8. Representación gráfica perfil estadístico promedio de generación FV 1 MW .....	32
Figura 9. Representación gráfica reporte perfiles voltaje (2025) sin ingreso GDFV.....	33
Figura 10. Representación gráfica de los niveles de capacidad del conductor .....	34
Figura 11. Representación gráfica curva de demanda 2025 resultante escenario alivio.....	37
Figura 12. Representación gráfica curva de demanda 2025 resultante escenario solución .....	39
Figura 13. Reporte perfil voltaje Primario 57E con ingreso 3 MW FV .....	40
<i>Figura 14.</i> Reporte perfil voltaje Primario 57E con ingreso 7 MW FV .....	40
Figura 15. Primario 57E con ingreso de 3 MW FV y 77.000 Ah .....	41
Figura 16. Primario 57E con ingreso de 7 MW FV y 190.000 Ah .....	41
<i>Figura 17.</i> Perfiles de Generación .....	47

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”**

Lista de Tablas

Tabla 1. Potencial solar de los sectores que presentan problemas técnicos. ....	28
Tabla 2. Resumen de los datos técnicos del Primario 57E.....	34
Tabla 3. Análisis escenarios alivio y solución .....	45

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 1. Introducción

Los incentivos gubernamentales permitiendo el ingreso de consumidores como generadores distribuidos y los avances tecnológicos, hacen sencillas y económicas las instalaciones, llevando a un incremento de conexiones de sistemas de generación distribuida (en su mayoría fotovoltaica) en las redes de distribución (RD). Esta nueva realidad trae consigo cambios y desafíos para una óptima integración de estos recursos (Smith, J.; Rogers, B.; Taylor, J.; Roark, J.; Neenan, B.; Mimmagh, T.; Takayesu, E., 2016). Con la llegada de las solicitudes de interconexión se populariza el concepto autoconsumidores (consumidores que producen la energía que consumen), ellos tienen ahora, la opción de decidir sobre sus gastos eléctricos y estarán tan juntos o dispersos como es la red eléctrica.

La generación eléctrica ecuatoriana suma una capacidad efectiva de 8.048,11 MW y opera principalmente de manera centralizada con hidroeléctricas (62,58%) y térmicas (35,05%); las demás biomasa y biogás (1,77%), fotovoltaica (0,33%) y eólica (0,26%) (ARCONEL A. d., Estadística Anual del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2018), sin embargo, se avisa un cambio progresivo en esta configuración con tendencia hacia la incorporación de generación distribuida (GD).

Por generación distribuida (GD) se entiende la generación que se encuentra cercana a la carga, comprendiendo cogeneración, generación de emergencia, generación para horas pico, pequeñas centrales hidroeléctricas, generación fotovoltaica y eólica. El concepto de recursos energéticos distribuidos abarca GD y sistemas de almacenamiento.

El modelo tradicional utiliza generación centralizada (GC), sistema de transmisión (ST) robusto y resuelve los problemas de calidad con inversiones en activos por parte de las distribuidoras (cambios de conductores, compra de transformadores, construcción de subestaciones).

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

El nuevo modelo integra generación centralizada con generación distribuida y sistemas de almacenamiento, coordina el flujo de potencia bidireccional, incorpora autoconsumidores y promotores de proyectos en generación; pasando a necesitar un sistema de distribución robusto que requiere de información en tiempo real y automatización.

Este estudio es de carácter exploratorio y considera la entrada de generación distribuida fotovoltaica (GDFV) a las redes de distribución (RD) de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) en un contexto real para suplir el crecimiento de la demanda. Las simulaciones con CYMDIST, para mediano plazo (2025), retrata el comportamiento simultaneo de dos variables del sistema de distribución que son: niveles de voltajes en los nodos y cargas en los conductores. La herramienta importa a sus bases de datos tablas que incorporan los planes de expansión: propios (EEQ), del Municipio de Quito y de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) además de todas las restricciones para el óptimo funcionamiento del sistema. Las curvas de carga y los perfiles de generación, insertados en la metodología, llegan a soluciones acordes a la realidad de los sistemas de distribución (Peña, 2017).

Las regulaciones del sistema eléctrico son el hilo conductor de las condiciones técnicas, que obligatoriamente tienen que estar alineadas con el criterio jurídico.

Los resultados de la construcción de los escenarios (alivio y solución) son el indicativo de la viabilidad técnica del ingreso de la GDFV.

La valoración económica-financiera cuantifica las inversiones y los beneficios obtenidos para ambos escenarios definiendo su sustentabilidad a largo plazo.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 1.1. Las Políticas

El marco jurídico de la Regulación ARCONEL Nro.003/18 (ARCONEL A. d., Regulaciones Vigentes ARCONEL 003/18 Codificada, 2018) de octubre del 2018 despliega la oportunidad de participación de los consumidores en la producción de su propia energía. La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) no reporta tener generación fotovoltaica en 2018 (Empresa Eléctrica Quito, 2018) y hasta agosto del 2020 son apenas 378,11 kW proyectos instalados y 94,79 kW adicionales en solicitudes. Las microcentrales aisladas del Programa *Cero Viviendas sin Luz* no están incluidas en este estudio.

El proyecto de regulación en difusión externa denominado: “Marco normativo para la participación de la Generación Distribuida” será una puerta, aún más ancha, para la entrada de generación, con la condición de que la potencia máxima no exceda los 10 MW priorizando las centrales que utilicen Energía Renovable No Convencional (ERNCC) (ARCONEL A. d., Proyectos de Regulación (Difusión Externa), 2019).

Un análisis amplio de la expansión de las redes de distribución considera factores de crecimiento poblacional, aumento de la demanda, escasez de recursos, nuevas tecnologías, problemas sociales, inversiones, cobertura y calidad del servicio. El ingreso de GDFV es una alternativa adicional a la oferta de energía y bien ubicada, ayuda en el cumplimiento de los índices de calidad del servicio de distribución exigidos a la EEQ por la Regulación 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” (ARCONEL A. d., Regulaciones vigentes Regulación 005/18, 2018). Otros estudios comprueban que la eficiencia de los kW generados por la GDFV aliviando los problemas de calidad, es directamente proporcional a la distancia que se encuentra del lugar en donde se necesita el soporte (Smith, J.; Rogers, B.; Taylor, J.; Roark, J.; Neenan, B.; Mimmagh, T.; Takayesu, E., 2016).



## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

El ingreso del vehículo eléctrico será un consumidor masivo de energía sumados a los buses eléctricos que están en los planes del municipio. Las electrolinerías de carga rápida, que abastecerán estos consumos, serán grandes clientes y van a estar ubicadas principalmente en áreas densamente pobladas. Quitumbe, Marín, Ofelia, Bicentenario, se identifican como zonas de crecimiento, haciendo viables propuestas de utilización de los espacios públicos del municipio como parques y mercados para GDFV. Las parroquias con aumento acelerado de población o de demanda son monitoreadas de cerca para mantener los estándares de calidad requeridos.

La Ordenanza Metropolitana 003-Proyectos Eco-eficientes (Quito, 2019) busca incentivar a los constructores a cumplir hitos de eficiencia en sus edificaciones para acceder a pisos adicionales, principalmente en áreas de influencia del metro y de los BRTs (Bus Rapid Transit – Trolebús, Metro vía, Eco vía). Estos constructores son una fuente de posibles generadores fotovoltaicos, que ayudarían a suplir energía que tendrá que estar disponible en el sistema eléctrico; considerando que, el aumento del número de instalaciones de GDFV contribuye a disminuir las pérdidas y el costo total del sistema, solo hasta un determinado punto, a partir del cual nuevos integrantes son prácticamente insignificantes (M. A. El-Sayed; M. A. Alsaffar, 2016). Quito está en los comienzos de integración de GDFV y toda instalación contribuye positivamente.

Un retrato de las redes de distribución en el año 2025 y la construcción de dos escenarios futuros son fuente de información para el planteamiento de posibles políticas sobre el tema subsidios a la energía eléctrica en Ecuador; haciendo una analogía perfecta con el plan de acción eficiente (Martínez J., 2017). Los subsidios otorgados son diferenciados por tipo de cliente (residencial, industrial y comercial) y están claramente identificados en las más de 1.144.952 facturas emitidas por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ, 2018).

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

Incentivos para la instalación de GDFV están dados y asegurados dentro del marco jurídico de la Regulación 003/18 «Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica» (ARCONEL A. d., Regulaciones Vigentes ARCONEL 003/18 Codificada, 2018) que ofrece un contrato de 20 años en base al canje de energía, permitiendo que cada instalación produzca durante el día toda la energía consumida en las 24 horas. Existen muchos incentivos adicionales que se podrían incorporar como por ejemplo la Feed-in Tariff analizada en “Incentivo a la Generación Distribuida en el Ecuador” (Muñoz-Vizhñay., 2018).

Con una regulación vigente para GDFV, una regulación exigiendo calidad a las distribuidoras y un proyecto de regulación para la participación de GD, es hora de examinar con atención las oportunidades que se presentan en el sector eléctrico ecuatoriano.

### *1.2. Utilizando Generación Distribuida*

La posibilidad de que la central de GDFV sea modular, hace que el diseño y la construcción sean rápidos y a la medida, facilitando al consumidor la decisión de generar su propia energía. Los autoconsumidores conectados a la red son la manera más eficiente de conseguir generación en la relación costo/beneficio (Smith, J.; Rogers, B.; Taylor, J.; Roark, J.; Neenan, B.; Mimmagh, T.; Takayesu, E., 2016). Los beneficios son técnicos, económicos y ambientales siendo una alternativa para la expansión de las redes de distribución que tienen como consecuencia: menores desembolsos en subestaciones, reducción de pérdidas de potencia, mejora en los niveles de voltaje, menores costos de operación y mantenimiento, menores emisiones; logrando alcanzar un mejor desempeño de todo el sistema. Para obtener los máximos beneficios es relevante determinar la capacidad y la ubicación de las pequeñas centrales (M. A. El-Sayed; M. A. Alsaffar, 2016).

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

Las solicitudes de interconexión de generación distribuida (GD) tienen distintos tratamientos en el mundo. Por ejemplo, en Estados Unidos la Concesionaria *Consolidated Edison of New York* aplica aprobación expedita de las solicitudes de factibilidad de conexión para menores de 25 kW. Entre 25 kW y 2 MW es expedita cuando no superen el 67 % de la demanda mínima y no requieran de mejoras en la infraestructura existente; las demás requieren estudios adicionales para la aceptación final (NYSERDA, 2015).

Varias investigaciones consideran en el contexto de la generación distribuida (GD), principalmente la fotovoltaica, diversos conceptos que están contemplados en la herramienta CYMDIST utilizada por este estudio.

- Utilización de taps en los transformadores (Briglia, Alaggia, & Paganini, 2015)
- Minimización pérdidas (M. A. El-Sayed; M. A. Alsaffar, 2016), (Peña, 2017)
- Confiabilidad del sistema (Smith, J.; Rogers, B.; Taylor, J.; Roark, J.; Neenan, B.; Mimmagh, T.; Takayesu, E., 2016)
- Control de reactivos (Fu X., 2015)
- Distorsión armónicos (Daud, Kadir, Gan, & Abdullah, 2016).
- Medición de los incrementos de voltaje y utilizar las restricciones de las desviaciones aceptables como marco para delimitar la máxima integración de GDFV (Abad, Ma, Zhang, Ahmadyar, & Marzooghi, 2018).
- Medición del desempeño del sistema de distribución con GD en diferentes niveles de carga (poca, media y pico) (Ahmed, Kamel, Abdel-Mawgoud, & Yu, 2018).
- Medición de las caídas de voltaje que afectan la calidad de producto (Daud, Kadir, Gan, & Abdullah, 2016).

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

Analizar la integración la generación distribuida fotovoltaica (GDFV) en las redes de distribución (RD) de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) a partir de criterios técnicos, económicos y jurídicos como alternativa eficiente de producción de energía eléctrica para suplir el crecimiento de la demanda y mantener los índices de calidad.

### 2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos se alcanzan planteando una serie de acciones dentro del análisis multicriterio del ingreso de la GDFV:

- i. Evaluar el marco jurídico del sistema eléctrico por medio de las regulaciones vigentes y en difusión para la implementación de la GDFV.
- ii. Analizar la situación a mediano plazo (2025) de las redes de distribución de la Empresa Eléctrica Quito por medio del software CYMDIST, seleccionando las ubicaciones que resultan más beneficiadas con el ingreso de la generación distribuida fotovoltaica (GDFV).
- iii. Dimensionar la potencia de ingreso de la GDFV a partir del crecimiento de la demanda como alivio y solución de los problemas de voltaje y carga.
- iv. Realizar un análisis económico-financiero comparativo del precio/kWh entre los costos reales de la energía a sustituir en Ecuador y el LCOE de la GDFV con y sin sistemas de almacenamiento.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 3. Metodología

Las condiciones del mercado eléctrico ecuatoriano son el núcleo alrededor del cual se conduce este estudio aplicado que se basa en el análisis multicriterio para la integración de GDFV en las redes de distribución de la empresa Eléctrica Quito (EEQ). La parte técnica no funciona aislada del mundo regulatorio y económico, justificando la consideración de los tres razonamientos para una visión panorámica.

### 3.1. Evaluación Criterios Jurídicos

Los criterios jurídicos del sector eléctrico son de cumplimiento obligatorio y delimitan muchos criterios técnicos. Esta es la primera parte del análisis multicriterio.

#### 3.1.1. Selección de regulaciones

Revisar las regulaciones que imponen restricciones técnicas a las redes de distribución y al ingreso de la GDFV.

### 3.2. Evaluación Criterios Técnicos

Por la literatura revisada se asume que identificar la ubicación y el dimensionamiento, sincronizados con el crecimiento de la demanda, es relevante para obtener los mayores beneficios de la GDFV, ambos casos son evaluados con datos de la corrida de flujos de potencia que captan el comportamiento de los elementos que componen la red de distribución en diferentes situaciones y momentos en función de la energía demandada. La simulación identifica las ubicaciones con problemas técnicos y proporciona las demandas máximas que son los insumos para que un modelo de optimización heurístico defina el dimensionamiento.

Los estudios se realizaron con el software pagado CYME 7.2 paquete CYMDIST r5 desarrollado por Eaton y de propiedad de la EEQ. La herramienta de modelación y análisis de

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

simulaciones tiene una biblioteca que está cargada con consideraciones operativas y restrictivas aplicables al sistema de distribución, además de información GIS y tablas importadas de Access de Microsoft con cálculos propios de la EEQ para la proyección geoespacial de la demanda en un período de 5 años para la condición de demanda máxima coincidente. Sobre las proyecciones empleadas por la EEQ Dávila (2019) afirma que:

La metodología se centra en la determinación de la previsión de demanda eléctrica para varios niveles de cobertura, desde micro-áreas hasta grandes zonas operativas, tomando en consideración la relación que presentan variables geo-referenciadas de consumo, inventario eléctrico y socioeconómicas con la demanda eléctrica. La propuesta hace uso de un algoritmo de optimización multiobjetivo de ajuste logístico en las micro-áreas pertenecientes a conglomerados homogéneos, obtenidos a través de regresión especial ponderada. Dentro del método de optimización, la demanda saturada obtenida mediante el método de saturación de uso del suelo o con la determinación de capacidad de carga del ambiente es utilizada como asíntota superior para el ajuste logístico, el método está enfocado a minimizar la incompatibilidad de la demanda histórica y el desajuste de la demanda futura (p. resumen).

Se eligió el software CYMDIST como herramienta de simulación por estar homologada por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables para estudios de redes de distribución y conjuntamente se utiliza ArcGIS, sistema de información geográfica. El potencial solar se analiza con Global Solar Atlas avalado por el Banco Mundial y el dimensionamiento se calcula con programación lineal en Solver de Excel con el método Simplex.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 3.2.1. Corrida los de flujos de potencia en CYMDIST

Retrata el comportamiento de las redes de distribución en el año 2025, sincronizado con el aumento de la demanda, identificando en un análisis simultaneo de voltaje y carga la existencia de primarios con problemas técnicos.

## 3.2.2. Superposición de las redes con ArcGIS

Encuentra las ubicaciones geográficas de primarios con problemas técnicos en la superposición de redes y mapas con ArcGIS

## 3.2.3. Búsqueda del potencial solar en Global Solar Atlas

Identifica el potencial solar de las ubicaciones geográficas seleccionadas en la página de Global Solar Atlas.

## 3.2.4. Correlación entre curvas típicas de demanda y perfiles generación fotovoltaica

Dimensiona la potencia de la GDFV analizando el comportamiento conjunto de las curvas de demanda y los perfiles de generación en gráficos y Solver de Excel.

## 3.2.5. Corrida de flujos de potencia en CYMDIST con ingreso GDFV

Retrata la respuesta de la red (2025) ante el ingreso de diferentes potencias de GDFV.

Los cinco pasos de la evaluación técnica son la segunda parte del análisis multicriterio.

## 3.3. Evaluación Criterios Económicos-Financieros

La viabilidad económica-financiera es el incentivo a la participación de diferentes actores en el sector eléctrico siendo la tercera parte del análisis multicriterio.

### 3.3.1. Cuantificación inversiones

Los resultados encontrados en el dimensionamiento de la potencia de ingreso de GDFV son los datos de entrada para cuantificar las inversiones requeridas a precios referenciales de mercado.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 3.3.2. Cuantificación desempeño contable

Los resultados encontrados en Global Solar Atlas para el potencial FV sumados a los costos de inversión y mantenimiento determinan el precio de la energía en kWh utilizando el costo nivelado de energía (LCOE) como parámetro que será analizado en una corrida financiera.

## 4. Resultados

### 4.1. Resultados Criterios Jurídicos

#### 4.1.1. Regulaciones del Sector Eléctrico

El nuevo ente regulador del sector eléctrico ecuatoriano, a partir del decreto ejecutivo 1036 de mayo 2020, es la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) resultante de la fusión interinstitucional de las Agencias de Regulación y Control de Hidrocarburos, Minería y Electricidad. Las regulaciones que afectan a este estudio fueron publicadas por la extinta ARCONEL y se encuentran en vigencia.

##### 4.1.1.1. Regulación ARCONEL 005/18

“Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” con la resolución 058/18 imponen restricciones técnicas a las redes de distribución exigiendo niveles de voltaje límites de más o menos 8 y 6 % para bajo y medio voltaje respectivamente.

Las categorías de límites de planificación de la EEQ representadas en la Figura 1 están configuradas para que:

1. Los niveles de voltaje en los nodos de la red primaria se mantengan entre 0.95 y 1.05 p.u. por cuestiones de calidad. Aceptan pequeñas tolerancias.
2. Los niveles de carga en conductores y transformadores no superen el 65% de su capacidad de trabajo ofreciendo un respaldo para eventualidades.



# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

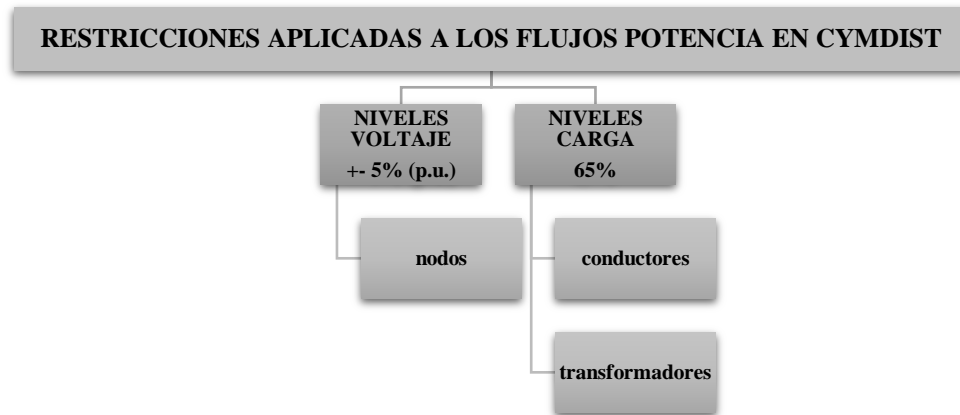


Figura 1. Categorías de límites de planificación EEQ

## 4.1.1.2. Regulación ARCONEL 003/18

“Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica” que con la resolución 057/18 imponen restricciones de potencia tope para el ingreso de la GDFV por tipos de consumidores conectados a la red:

- Residenciales (300 kW)
- Comerciales (1000 kW)
- Industriales (1000 kW)

## 4.1.1.3. Propuesta de Regulación para Generación Distribuida

La Propuesta de Regulación para Generación Distribuida, en difusión externa, da preferencia a energías renovables no convencionales, pero impone limitaciones a las potencias de ingreso\*:

- Potencia máxima menor a 10 MW
- 80% de la demanda mínima diurna y nocturna para bajo voltaje
- No supere la capacidad del tramo de menor calibre para medio voltaje

\*excepción proyectos incluidos en el Plan Maestro de Electricidad (PME)

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 4.2. Resultados Criterios Técnicos

### 4.2.1. Retrato de la situación en 2025

La con la corrida de flujos de potencia en CYMDIST para el año 2025 sincronizada con aumento de la demanda, retrata las redes de distribución del área de concesión la EEQ; en donde cada primario se encuentra identificado por su color propio, según el orden de salida de la subestación a la cual pertenecen, con excepción de los primarios que presentan condiciones anormales de funcionamiento (Figura 2). Los colores que diferencian a los primarios con problemas de voltaje y carga son rosados y morados respectivamente y fueron elegidos por cuestiones visuales. El interés del estudio es encontrar las ubicaciones que tienen los mayores beneficios con el ingreso de GDFV, por lo tanto, se concentra en los sectores que presentan bajo voltaje que son las que tienen las mayores pérdidas.

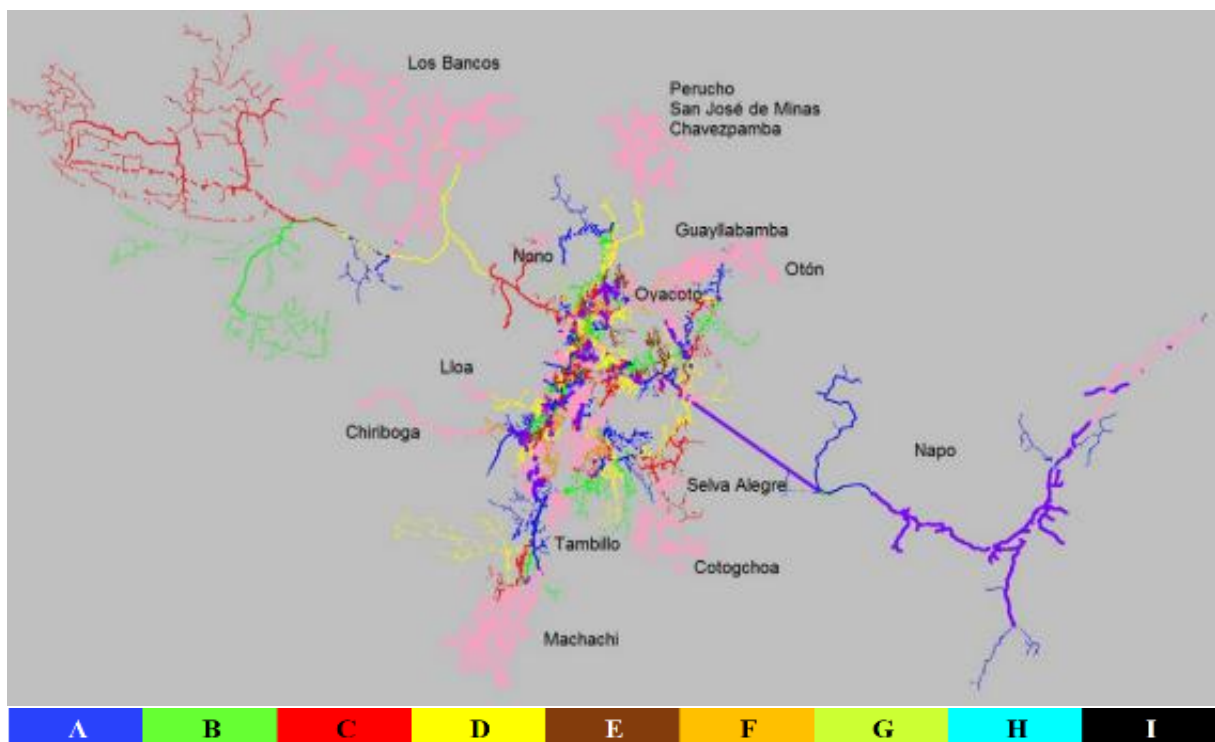


Figura 2. Topología redes primarias EEQ condiciones anormales funcionamiento 2025

Fuente: Base de datos CYMDIST



“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

Tabla 1. Potencial solar de los sectores que presentan problemas técnicos.

SECTORES PROBLEMAS	POTENCIAL SOLAR	UBICACIÓN
Voltaje	kWh/kWp	DMS
San José de Minas	1466	00°10'42''N,78°24'22''W
Perucho	1505	00°06'45''N,78°25'07''W
Chavezpamba	1489	00°07'37''N,78°24'47''W
Guayllabamba	1680	00°03'15''S,78°20'58''W
Otón	1615	00°01'22''S,78°15'18''W
<b>Calderón</b>	<b>1723</b>	<b>00°02'55''S,78°25'23''W</b>
Oyacoto	1660	00°06'03''S,78°23'27''W
Centro Histórico	1647	00°13'13''S,78°30'02''W
Centro Financiero	1663	00°10'58''S,78°29'03''W
Selva Alegre	1630	00°20'12''S,78°25'34''W
Cotogchoa	1589	00°22'43''S,78°27'01''W
Machachi	1511	00°31'32''S,78°34'48''W

#### 4.2.4. Dimensionamiento de la GDFV

Dimensionar la potencia de ingreso de GDFV para resolver los problemas de voltaje y carga de todo el sistema de distribución de la EEQ, en dos escenarios (alivio y solución), es una tarea demasiado extensa para este estudio, por lo tanto, para simplificación se elige un único alimentador de las redes de distribución de la EEQ.

Con un método heurístico de comparación de curvas en Excel más optimización con programación lineal en Solver se definen los dimensionamientos para los escenarios.

##### 4.2.4.1. Simplificación

La elección del primario 57E de la subestación Pomasqui obedece a varias consideraciones:

- Abastece a Calderón
- Gran crecimiento de la demanda
- Radiación solar favorable

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

- Saturación térmica de la subestación Pomasqui
- Nivel de voltaje de 22,8 kV
- Curva de demanda típicamente residencial

Escoger un primario que abastece a un tramo de la mayor parroquia del Ecuador con alta tasa de crecimiento y potencial solar de 1.723 kWh/kWp son razones válidas; a las cuales se suman justificativos operativos de estar emplazado en una subestación que está llegando a la saturación térmica, trabaja en 22,8 kV y presenta una curva de demanda típicamente residencial. La saturación térmica tiene influencia directa en una menor vida útil de los equipos y la tensión de 22,8 kV es la más común entre los primarios del área de concesión, además de ser la tensión a la que se pretende migrar todos los alimentadores para una operación interconectada. Trabajar en malla ofrece una gran flexibilidad al sistema por la posibilidad de las reconfiguraciones de carga, sea por crecimiento, manutención o contingencias. El consumo residencial representa aproximadamente  $2/3$  de la demanda de la distribuidora y consecuentemente el comportamiento típico de esta curva será similar a la mayoría de primarios.

El primario 57E capturado en CYMDIST para el año 2020 tiene el propósito de visualizar el alimentador cuando se encuentra representado por su color propio (café) como identificación del quinto primario (E) que sale de la subestación Pomasqui (57) (Figura 4) y su retrato en el año 2025 identifica tramos con problemas técnicos de voltaje y carga que están representados por los colores rosado y morado respectivamente (Figura 5) para los cuales hay que encontrar correctivos. Se observa que primarios aledaños también presentan problemas.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

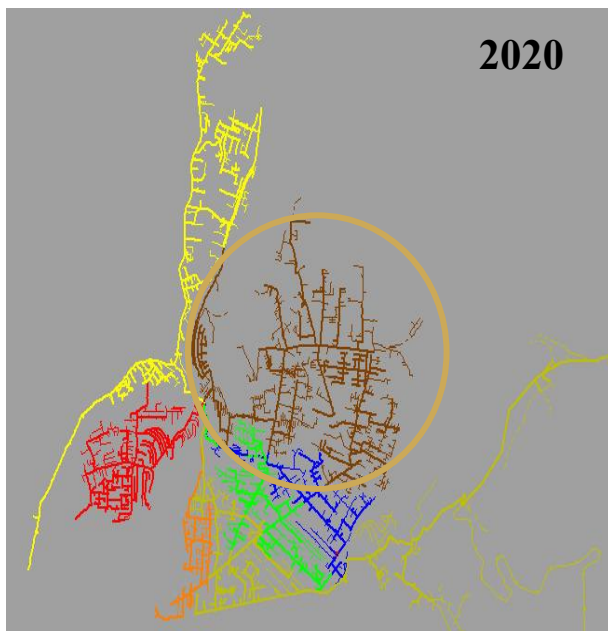


Figura 4. Primario 57E en condiciones normales de funcionamiento 2020

Fuente: Base de datos CYMDIST

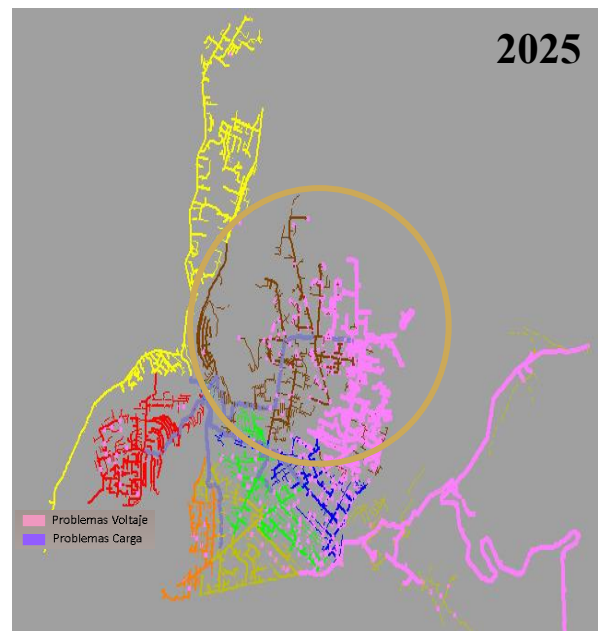


Figura 5. Primario 57E en condiciones anormales de funcionamiento 2025

Fuente: Base de datos CYMDIST

## 4.2.4.2. Curvas de demanda

Encontrar los correctivos con ingreso de GDFV implica un análisis de las curvas de demanda en el tiempo. Los datos se seleccionan de las lecturas de junio 2020 y de la simulación CYMDIST a 2025. El día 23 de junio de 2020 presentó a las 19:15h la mayor demanda máxima coincidente (9.224,21 kW)), por lo tanto, las lecturas tomadas en este día de situación crítica (Anexo G) son el referente para construir la curva típica del año. La demanda máxima coincidente prevista para 2025 es de 16.160 kW, retratada en la simulación. Este dato sirve de parámetro para determinar la tasa de crecimiento y proyectar la curva. La tasa de crecimiento compuesta es dada por la fórmula 1:

$$Tasa\ Crecimiento\ Compuesta = \left( \frac{ValorFinal}{Valor\ Inicial} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (1)$$



# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 4.2.4.3. Perfil de generación fotovoltaica

El perfil estadístico típico de generación fotovoltaica diaria para 1MW en el sector de Calderón (Figura 8), se construyó en base a mediciones reales (5 años) de la central FV más cercana, aplicando el ajuste diferencial del potencial solar entre ambas localidades encontrado en Global Solar Atlas.

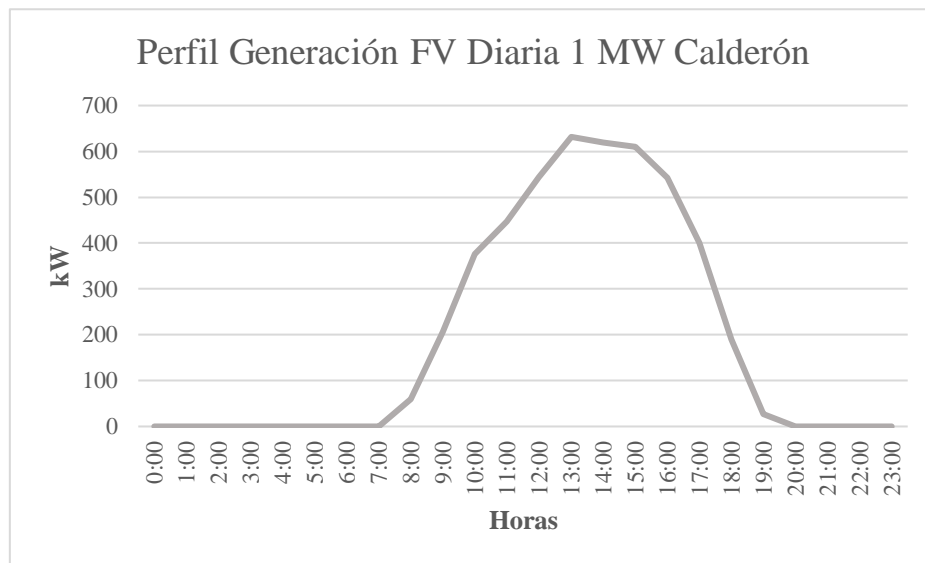


Figura 8. Representación gráfica perfil estadístico promedio de generación FV 1 MW

## 4.2.4.4. Definición de potencia requerida

Para definir la potencia requerida es necesario primero entender cuáles son los parámetros de funcionamiento óptimo y definir qué voltajes y demandas se encuentran fuera de los límites de tolerancia.

El perfil de voltaje del CYMDIST sin ingreso de GDFV para el año 2025 retrata valores de tensión fuera de los límites de más menos 5 % aceptables por calidad (Figura 9).

Los valores de tensión indicados en la representación gráfica corresponden al lado de bajo voltaje de los transformadores, sin embargo, la relación en porcentajes es la misma para el lado de medio voltaje, donde 120 V es la referencia para 22.860 V, 126 V corresponde a 24.000 V (1.05 p.u.) y 114 V corresponde a 21.700 V (0.95 p.u.).



“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”



Figura 9. Representación gráfica reporte perfiles voltaje (2025) sin ingreso GDFV

Fuente: Base de datos CYMDIST

El nivel de capacidad operativa del conductor (funcionamiento óptimo) es 65% de la capacidad de trabajo programada a la salida de la subestación (máxima aceptable) y la capacidad nominal (100%) está definida por la corriente máxima que soporta el conductor (Figura 10). La potencia activa (P) de un primario trifásico es la multiplicación de la raíz cuadrada de tres por voltaje (U) por corriente (I) por  $\cos \emptyset$  expresado en la fórmula 2:

$$P = \sqrt{3} UI \cos \emptyset \quad (2)$$

La corriente máxima con conductor calibre 4/0 AWG a 22,86 kV es 397 A. El  $\cos \emptyset$  (factor potencia) ideal es igual a 1, parámetro utilizado en este estudio. La corriente programada por la EEQ a la salida de la subestación es 300 A. De la ecuación se determina que:

- La capacidad nominal es 15.719 kW \*
- La capacidad de trabajo programada es 11.878 kW
- La capacidad operativa es 7.720 kW

\*La capacidad nominal es apenas un referente en este estudio porque las distribuidoras no trabajan al límite de las capacidades de sus equipos por confiabilidad.

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”**

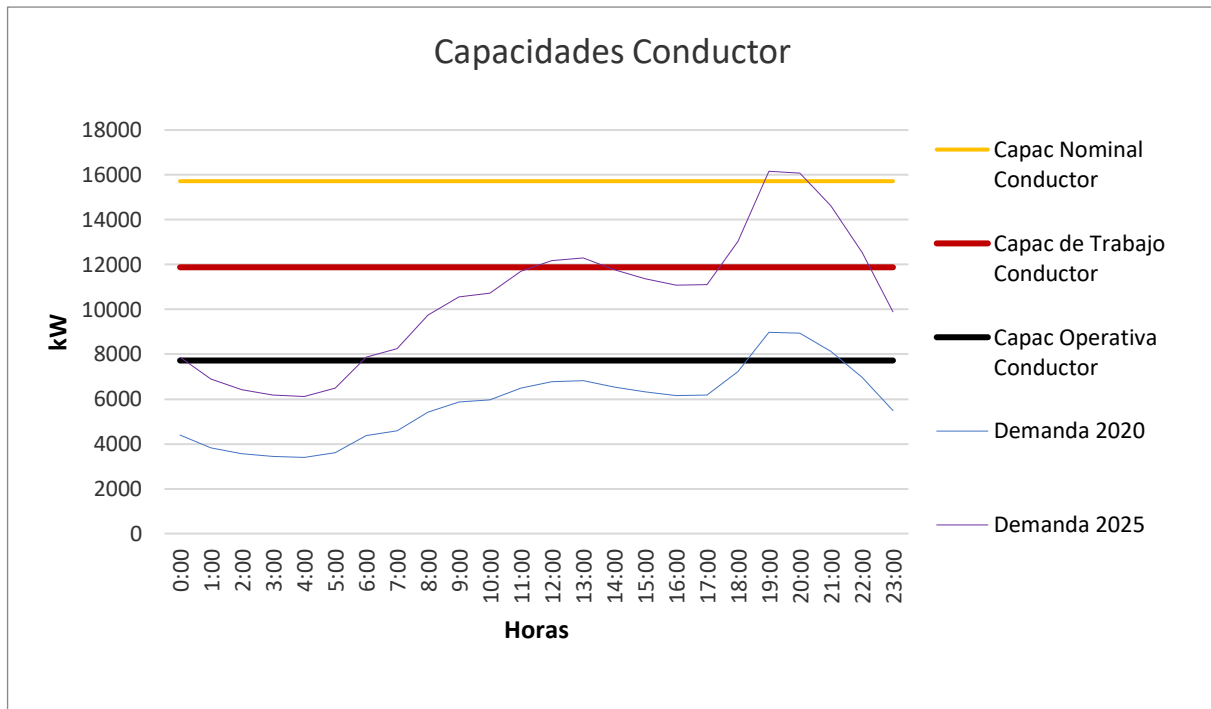


Figura 10. Representación gráfica de los niveles de capacidad del conductor

Los datos técnicos del Primario 57E se encuentran de forma resumida en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de los datos técnicos del Primario 57E

<b>Información del Primario 57E - 2020</b>	
Nivel tensión (kV)	22,8
Conductor	4/0
Corriente Programada (A)	300
Corriente Nominal (A)	397
Conductor	4/0
Longitud (km)	10
Curva demanda	Residencial
Capacidad Operativa (kW)	7715
Capacidad de Trabajo (kW)	11870
Capacidad Nominal (kW)	15678
Demanda máxima (kW)	9224
Demanda mínima (kW)	2968
Tasa crecimiento compuesta (%)	11,84

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

En la representación gráfica de la figura 6 se identifica que los consumos pico del año 2020 están entre las 18:00 y 21:00 horas y superan ligeramente la capacidad operativa; por lo contrario, las cargas del 2025 presentan la franja horaria de 6:00 a 24:00 horas fuera de la capacidad de trabajo e inclusive nominal del conductor.

Con ingreso de GDFV se pretende mejorar los perfiles de bajo voltaje (0.95 p.u.) y abastecer demandas. Para suplir las demandas que se encuentran fuera del horario de generación fotovoltaica (FV) se incluye el concepto de almacenamiento expresado en Amperios hora (Ah).

Se dimensiona las baterías utilizando la fórmula de potencia activa para encontrar la corriente, con la cual se define la capacidad de almacenamiento ( $C_{bat}$ ) como la razón entre los amperios (A) por tiempo para el factor de descarga (FD) expresado en la fórmula 3:

$$C_{bat} = \frac{A \cdot t}{FD} \quad (3)$$

El factor de descarga aplicado en este estudio es de 50 %.

#### 4.2.4.5. Escenarios

El CYMDIST define en que año y en donde se presentan caídas de voltaje, la demanda y los horarios que requieren soporte; pero desconsidera los perfiles de generación típicos de cada tecnología; sea hidroeléctrica, térmica, solar, eólica o baterías.

Por la falta del software ideal para construir los escenarios dinámicos propuestos, se propone un método heurístico que dimensiona la potencia requerida en un análisis mixto de programación lineal con Solver y gráficos en Excel considerando las restricciones de los perfiles de producción energética y curvas de demanda. En este punto se desconsideran las complejidades de los flujos de potencia y se asume que los elementos del sistema son suficientemente robustos para soportar entradas de generación.

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

Toda energía producida tiene su costo y la integración de recursos energéticos distribuidos para abastecer el crecimiento la demanda y mantener el buen funcionamiento de la red debe partir de la premisa de ingresar potencias de generación que colaboren positivamente con un sistema que funciona apegado a normas de cumplimiento de calidad.

Retratado el funcionamiento de las redes, se comprende que el ingreso ideal de generación, es la que provee energía que disminuya la demanda neta con mínimos ajustes, evitando o postergando inversiones en ampliación.

Empresas eléctricas no pueden confiar en la incorporación de generación por parte de los consumidores para resolver sus problemas técnicos, porque no tienen ningún control sobre ellos, aun cuando existen políticas de incentivos; pero pueden invertir o conseguir socios estratégicos para paliar los problemas, para lo cual se plantean dos escenarios:

- Alivio
- Solución

### 4.2.4.5.1. Alivio

Para alcanzar un alivio en el funcionamiento anormal de un primario con curva de demanda típicamente residencial que sobrepasa la capacidad operativa del conductor y que presenta caídas de voltaje, se necesita una alternativa que suba los voltajes y aproxime la curva de demanda a la línea de funcionamiento ideal.

El escenario de alivio propuesto considera la potencia de ingreso de GDFV hasta la demanda mínima. Según propuesta de regulación, los datos de demanda mínima del primario deben ser tomados de las lecturas de los últimos 6 meses para baja tensión; sin embargo, este estudio utiliza como referencia apenas el mes de junio 2020 dejando constancia de que el año 2020 es un caso atípico debido a la pandemia del SARS-CoV-2. La misma propuesta de

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

regulación limita el ingreso de GDFV a la potencia que no supere la capacidad del tramo de menor calibre del conductor para media tensión.

La demanda mínima diurna es 2.968 kW y nocturna 3.150 kW, que por aproximación y facilidad de comprobación se considera en 3000 kW. El paquete CYMDIST utilizado por la EEQ no contempla el módulo de análisis de integración y considera la entrada de generación por su capacidad nominal durante las 24 horas. Con el ingreso de 3 MW FV inyectados directamente a la red y 3 MW FV adicionales almacenados en baterías para 77.000 Ah, se obtiene una curva de demanda resultante para el 2025 como la representada en la Figura 11.

La curva de demanda resultante sigue sobre la capacidad operativa del conductor, siendo un indicativo de que se necesitan correcciones adicionales. Esta situación genera multas a la EEQ si ocurren problemas de calidad reflejando que el ingreso de GDFV con potencia limitada a la demanda mínima representa apenas un alivio parcial a la red. Recordando que el sistema trabaja al 65% de la capacidad de sus equipos y que las demandas fueran proyectadas para máximas coincidentes; el primario tiene condiciones de trabajar con esta esta propuesta, pero en contingencias no tiene capacidad de dar soporte a los alimentadores aledaños restando confiabilidad a todo el sistema.

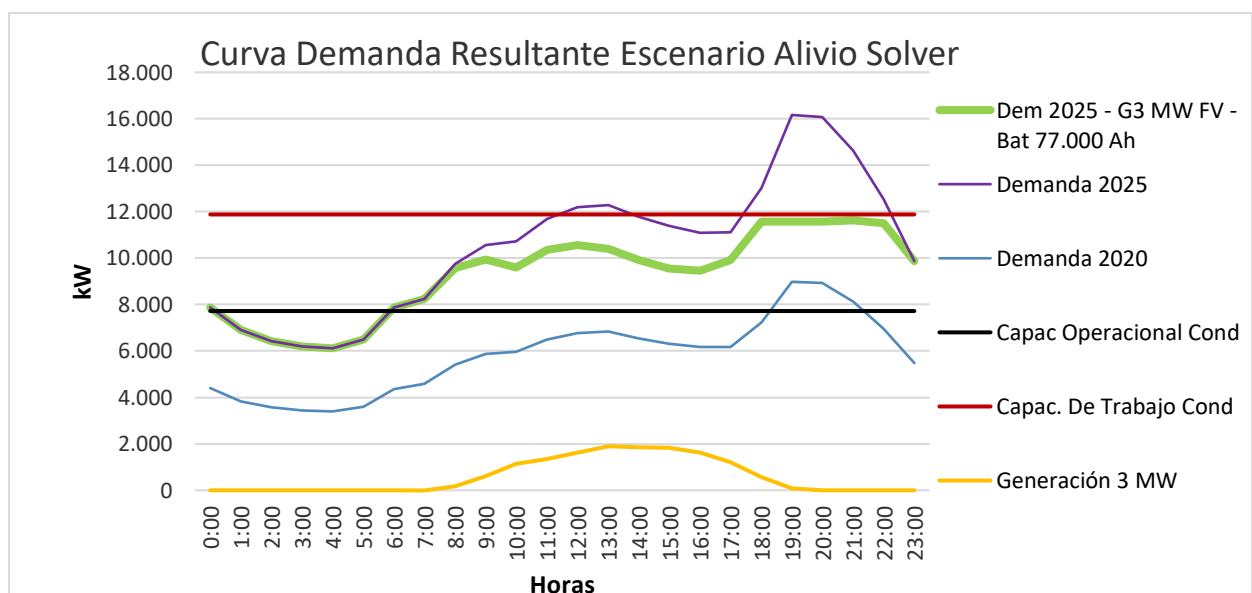


Figura 11. Representación gráfica curva de demanda 2025 resultante escenario alivio

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 4.2.4.5.2. Solución

El escenario de solución de los problemas técnicos, en primarios que sobrepasan la capacidad operativa del conductor y que presentan caídas de voltaje, considera alternativas que suban los voltajes y que dejen la curva de demanda coincidente con la capacidad operativa del conductor, inclusive las demandas de las horas pico. El escenario de solución solo es posible si se desconsideran las restricciones jurídicas impuestas por la propuesta de regulación que limita el ingreso de generación a la demanda mínima.

Para llevar el primario a condiciones normales de funcionamiento se dimensiona la GDFV necesaria a través de una optimización con Solver de Excel en donde se atribuyen valores estimados a la energía de la red, FV y de almacenamiento en búsqueda de una minimización de los costos. Se construye un cuadro con los resultados de Solver con el ingreso creciente de potencia de generación hasta conseguir suplir las demandas que sobrepasan la capacidad operativa del primario, identificando la cantidad de energía despachada y la cantidad disponible para almacenamiento. Se encuentra que la mejor solución está en el ingreso de 7 MW FV que alimentan directamente a la red y 7 MW FV adicionales que cargan baterías para almacenar 180.000 Ah. El faltante de energía para abastecer la demanda con una tolerancia del 1 %, adicional a los 7 MW, es cargado con la disponibilidad nocturna de energía hasta alcanzar la capacidad operativa del conductor, haciendo necesario añadir 10.000 Ah en baterías.

El escenario de solución propuesto engloba 14 MW FV y baterías por 190.000 Ah, resultando en la curva de demanda representada en la Figura 12.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

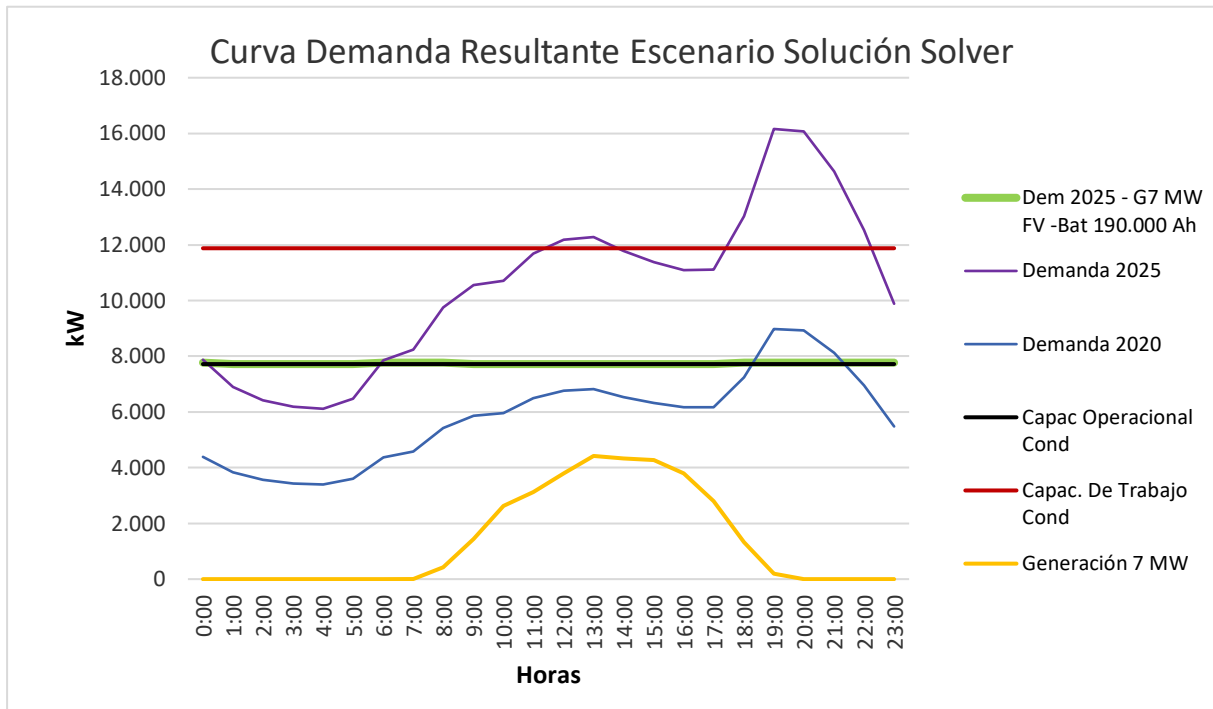


Figura 12. Representación gráfica curva de demanda 2025 resultante escenario solución

## 4.2.5. Comprobación

Una vez encontradas las potencias requeridas en GDFV y almacenamiento para alivio (3 MW) y solución (7 MW) se simulan los escenarios en CYMDIST para comprobación, siempre con números enteros para los MW de generación ingresados.

En el reporte del perfil de voltaje sin ingreso de GDFV representado en la Figura 9 del apartado 4.2.4.4., se visualiza que los voltajes comienzan a caer a partir del km 5 contados a partir de la salida de la subestación. Con el ingreso de 3 MW de generación FV y almacenamiento de 77.000 Ah se comprueba que la red presenta alivios y las caídas de voltaje son menores pasando a presentarse en los nodos a 7,5 km (Figura 13).

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

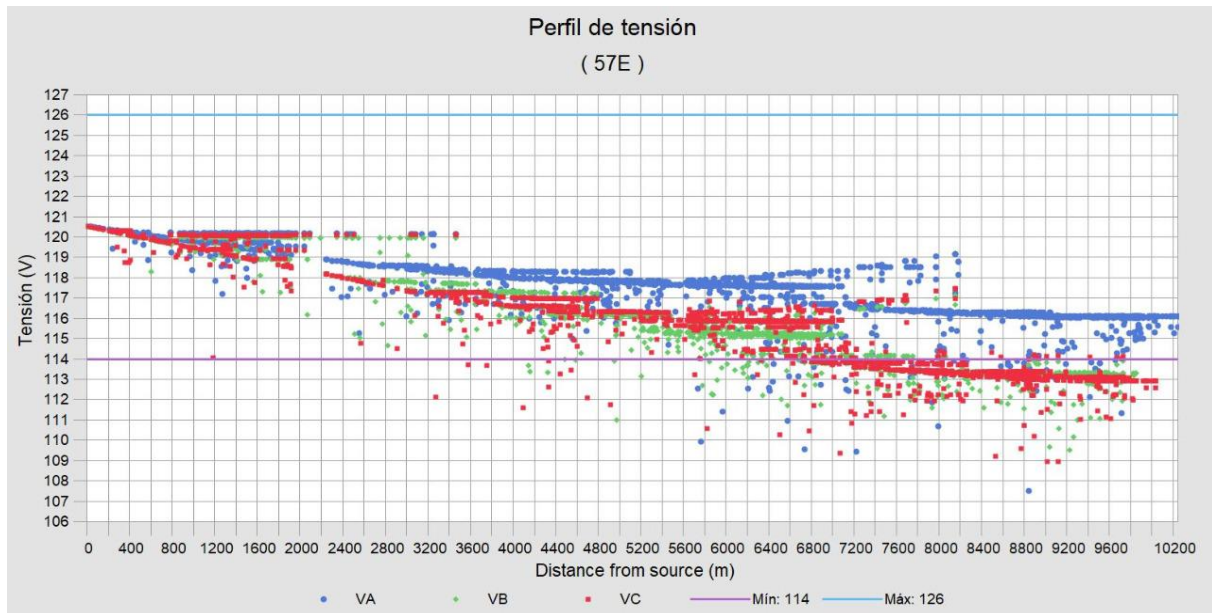


Figura 13. Reporte perfil voltaje Primario 57E con ingreso 3 MW FV

Fuente: Base de datos CYMDIST

El reporte del perfil de voltaje para el ingreso de 7 MW de generación FV se encuentra dentro del límite de 0.95 p.u. a 1.05 p.u. para toda la extensión del primario (Figura 14).

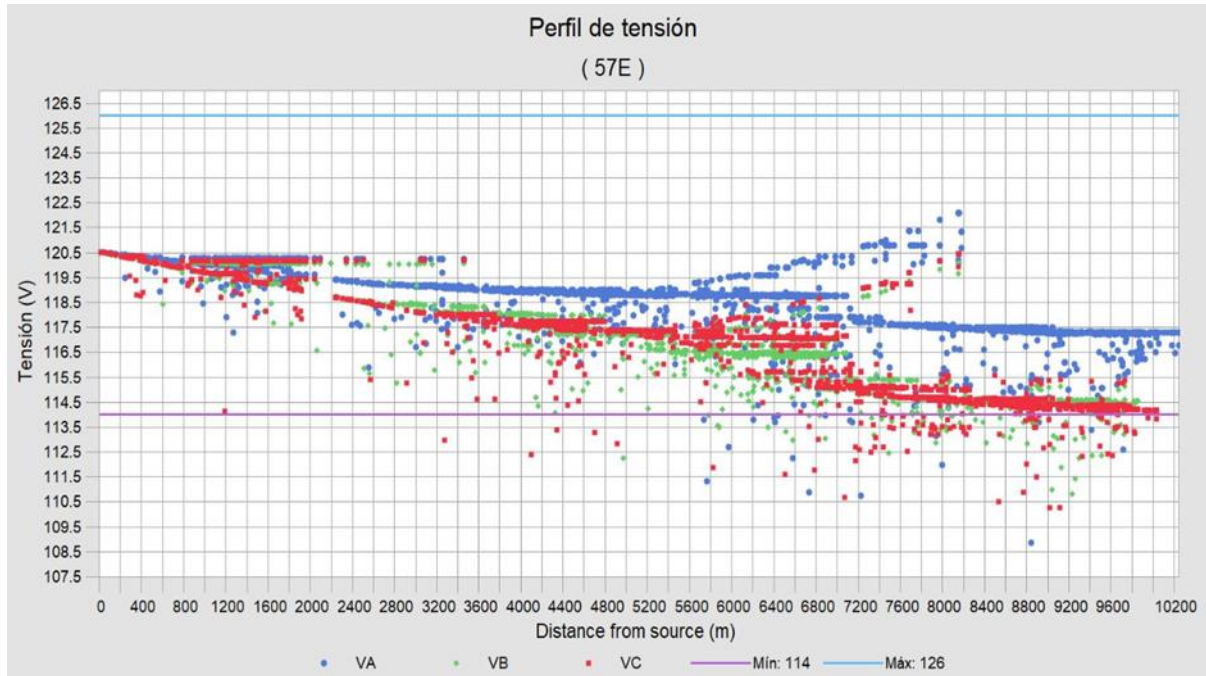


Figura 14. Reporte perfil voltaje Primario 57E con ingreso 7 MW FV

Fuente: Base de datos CYMDIST

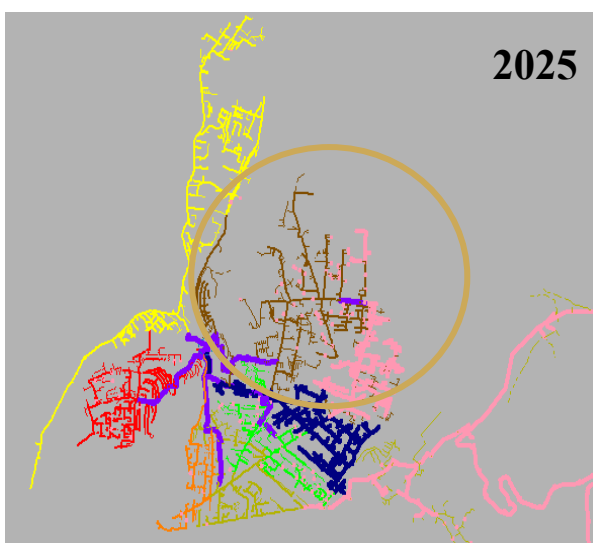


## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

Las correcciones conseguidas para el ingreso de los escenarios de alivio y solución se visualizan gráficamente en las figuras 15 y 16 respectivamente.

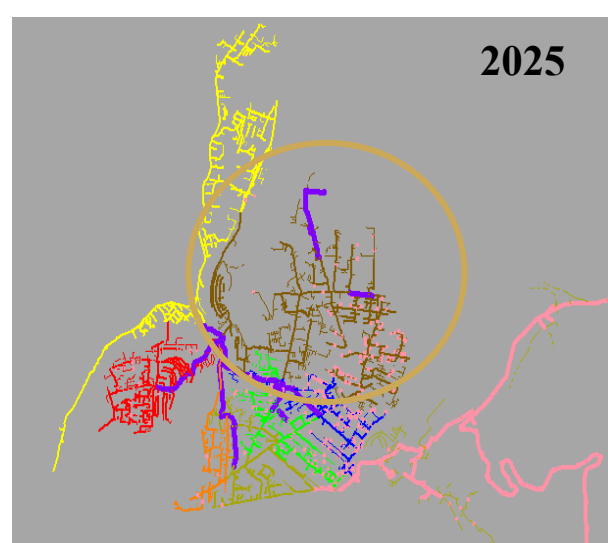
En la captura del comportamiento del primario 57E para el escenario de alivio se encuentra que la parte superior derecha de la red deja de presentar problemas de voltaje, en comparación con la Figura 5 del apartado 4.2.4.2.; sin embargo, las caídas de tensión persisten aguas abajo por el ingreso insuficiente de generación. Se observa un tramo mínimo con alertas de sobrecarga por calibre de conductor menor al recomendado que supera el 65% de la capacidad operativa del primario

La captura del comportamiento del primario 57E con el ingreso del escenario de solución representa la red sin problemas de caídas de voltaje en toda su extensión. Existen alertas de sobrecarga que están siendo ocasionadas por calibre insuficiente del conductor en dos tramos pequeños. Limitar el ingreso de generación al tramo de menor calibre, cuando el cambio de conductor es una actividad cotidiana en las redes de distribución, es un criterio desproporcionado con la realidad del sistema. La consideración adecuada sería condicionar el cambio del conductor al proponente de la generación.



*Figura 15.* Primario 57E con ingreso de 3 MW FV y 77.000 Ah

Fuente: Base de datos CYMDIST



*Figura 16.* Primario 57E con ingreso de 7 MW FV y 190.000 Ah

Fuente: Base de datos CYMDIST

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 4.3. Resultados Criterios Económicos-Financieros

Los resultados de los criterios económicos-financieros hacen una valoración del ingreso de autoconsumidores y de GDFV con y sin almacenamiento identificando su sostenibilidad con la cuantificación:

- Costo inversión (viabilidad económica)
- Desempeño contable (viabilidad financiera)

### 4.3.1. Valoración económica

Este estudio de carácter aplicado hace un análisis de la integración de la GDFV valorando el costo de la inversión.

#### 4.3.1.1. Precios unitarios de referencia

Están expresados en dólares (USD) y estiman el capital necesario para:

- Estudios, cálculos, diseños y planos
- Suministros y materiales
- Construcción, montaje y puesta en marcha
- Operación y mantenimiento
- Retirada y disposición final de los equipos o reversión

Los valores propuestos son de carácter referencial y no contemplan ningún arreglo a la red de distribución. Se estiman los precios en base a cotizaciones de mercado, sin embargo, solamente estudios definitivos determinan los costos reales.

Se asume que el costo de la instalación FV para autoconsumo hasta 1 MW, varía en dólares entre \$1,50 y \$0,80 por kWp según la dimensión.

Los costos decrecen para sistemas a mayor escala y en la comparación de los escenarios propuestos, se asume que el costo del MW FV es igual al costo de las baterías para almacenar

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

la energía producida por este MW. Por lo tanto, el sistema completo comprende dos instalaciones FV (una para despacho y una para almacenamiento) y un grupo de baterías costando tres veces el valor de la instalación FV estándar. Los precios de referencia para tres y siete MW fotovoltaicos están en 700.000 y 650.000 dólares por MW respectivamente, sin considerar la inversión en terrenos y líneas de evacuación.

### 4.3.2. Valoración Financiera

Análisis contable de viabilidad y rentabilidad de los capitales utilizados en inversión y mantenimiento.

Los autoconsumidores tienen una valoración financiera en donde los costos se compensan linealmente con un pliego tarifario que tiene muchas categorías, lo que hace difícil predecir exactamente el ahorro de cada sistema, sea residencial, comercial o industrial. Generalizando, se estima el repago en algo menos de 10 años y una regulación que ofrece un contrato a 20 años, lo que corresponde a un ahorro del 50 % en la planilla de los autoconsumidores de Quito. Se exceptúa de esta generalización a los consumidores residenciales superiores a 500 kWh mes que tienen tarifas incrementales significativas con las cuales se compensa en menor tiempo el costo de la instalación de un sistema FV.

Las instalaciones propuestas para los escenarios toman parámetros de referencia como:

- Potencia instalada
- Factor de planta calculado del potencial solar (1720 kWh/kWp) con un ajuste por el desempeño de todos los componentes resultando en un factor de planta del 19,38 %.
- Energía producida resultante de la potencia instalada por el factor de planta por 365 días
- Los ingresos disminuyen en 0,05 % anual debido a la degradación de los paneles solares
- Tasa interés y riesgo país (BCE, 2020)
- Tasa descuento por costo promedio ponderado de capital (WACC) calculada en 8, 51%

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

- Amortización del préstamo calculado por tasa efectiva con pagos mensuales a partir de la tasa nominal de 9 %
- Costos operativos oscilando entre 4 y 8 % incluyendo fijos y variables
- Tiempo de repago del préstamo en 10 años
- Rentabilidad esperada del inversor, por condiciones de mercado, estimado en 12 %
- Impuesto a la renta de 25 %
- Participación de trabajadores 5%

El análisis de viabilidad toma como base el valor del precio de la energía para generación y como referencia de sustitución el valor de \$ 0,09549 representando la suma del precio de la energía desglosado para generación y transmisión, a partir del precio total de \$ 0,1546/ kWh publicado en la resolución ARCONEL 056/18 “Análisis y Determinación del Costo del Servicio Público de Energía Eléctrica período enero- diciembre 2018”. (ARCONEL A. d., Resolución ARCONEL 056/18, 2018)

La publicación expresa el valor de la energía por rubros que comprende:

- Generación: US\$ 0,08209/kWh
- Transmisión: US\$ 0,01339/kWh
- Distribución: US\$ 0,05912/kWh

El precio de venta del kWh está calculado usando el parámetro del costo nivelado de la energía (LCOE) según la publicación Metodología para la Determinación de Precios de Reserva de los Procesos Públicos Selección ([ARCONEL, 2018](#)).

El LCOE es sensible al factor de planta, tasas de descuento, costos inversión y operación y representa la tarifa mínima de equilibrio expresada en USD/kWh, propios de cada proyecto, basados en las suposiciones del modelo y la tasa de descuento seleccionada.

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”**

La fórmula 4 representa el LCOE siendo la razón entre el valor actual neto (VAN) del total de costos (ct) de capital, operación y mantenimiento de una planta en particular, para el valor presente neto de la electricidad generada (ge) por esa planta durante su vida operacional expresada:

$$LCOE = \frac{VAN_{ct}}{VAN_{ge}} \quad (4)$$

La identificación de precios mínimos por kWh que hacen el LCOE viable (menor a 1) dentro de los parámetros de referencia fijados están identificados en el Anexo H para contratos a diferentes plazos.

El análisis prepara una lista resumida de la integración de escenarios propuestos a 25 años y autoconsumidores a 20 años, en donde los costos y beneficios del ingreso de GDFV son cuantificados monetariamente en función de la energía producida y almacenada (Tabla 3).

Tabla 3. *Análisis escenarios alivio y solución*

Primario 57E								
Escenario		Alivio			Solución			
Año		2020	2025		2025			
Demanda Máxima Coincidente	kW	9,224	16,160		16,160			
Demanda Escenarios	kW		11,878		7,720	7,797		
Potencia kW FV	kW		3,000	3,000	6,000	7,000	7,000	14,000
Capacidad Baterías	Ah		77,000	77,000	77,000	180,000	180,000	190,000
Horas Sol Día	h	4.652	4.652	4.652	4.652	4.652	4.652	4.652
			Diurno	Nocturno	D:N	Diurno	Nocturno	D:N
Necesidad Total Primario	kW	144,055	142,056	109,257	251,313	142,056	109,257	251,313
Inversión	USD		2,100,000	4,200,000	6,300,000	4,550,000	9,100,000	13,650,000
Generación FV kW		-	13,956	13,956	27,912	32,564	32,564	71,621
Precio Generación	USD	0.08209	1,146	1,146	2,291	2,673	2,673	5,879
Precio Transmisión	USD	0.01340	187	187	374	436	436	960
Precio Distribución	USD	0.05912	825	825	1,650	1,925	1,925	4,234
Precio Total kWh	USD	0.15461	2,158	2,158	4,315	5,035	5,035	11,073
Precio a Sustituir (Gen+Trans)	kWh	0.09549	1,333	1,333	2,665	3,110	3,110	6,839
Precio LCOE por kWh 25 años	USD/kWh		0.09773	0.17189	0.12496	0.08117	0.15004	0.11138
Precio Energía LCOE	USD/kWh		1,364	2,399	3,488	2,643	4,886	7,977

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”**

continuación tabla 3.

		Alivio 2025					Solución 2025
Ahorro o Desembolso Diario Precio LCOE vs. Generación	USD	218	1,253	1,197	-30	2,213	2,098
Ahorro o Desembolso Diario Precio LCOE vs. Sustituir	USD	31	1,066	823	-466	1,776	1,138
Ahorro o Desembolso Diario Precio LCOE vs.Total	USD	-794	241	-828 *	-2,392	-149	-3,096
Ahorro o Desembolso Anual Precio LCOE vs. Generación	USD	79,669	457,436	436,754	-10,935	807,644	765,685
Ahorro o Desembolso Anual Precio LCOE vs. Sustituir	USD	11,410	389,177	300,237	-170,206	648,374	415,388
Ahorro o Desembolso Anual Precio LCOE vs.Total	USD	-289,743	88,023	-302,071	-872,898	-54,318	-1,130,097
Ahorro o Desembolso 25 años Precio LCOE vs. Gen	USD	1,991,731	11,435,895	10,918,860	-273,375	20,191,105	19,142,115
Ahorro o Desembolso 25 años Precio LCOE vs. Sustituir	USD	285,261	9,729,425	7,505,921	-4,255,138	16,209,342	10,384,712
Ahorro o Desembolso 25 años Precio LCOE vs.Total	USD	-7,243,583	2,200,582	-7,551,766	-21,822,439	-1,357,960	-28,252,429
Ahorro o Desembolso Diario por kWh \$ LCOE vs. Gen	USD	0.01564	0.08980	0.04287	-0.00092	0.06795	0.02929
Ahorro o Desembolso Diario por kWh \$ LCOE vs. Sustituir	USD	0.00224	0.07640	0.02947	-0.01432	0.05455	0.01589
Ahorro o Desembolso Diario por kWh \$ LCOE vs. Total	USD	-0.05688	0.01728	-0.02965	-0.07344	-0.00457	-0.04323
Ahorro o Desembolso Anual por kWh \$ LCOE vs. Gen	USD	5.70860	32.77700	15.64755	-0.33580	24.80175	10.69085
Ahorro o Desembolso Anual por kWh \$ LCOE vs. Sustituir	USD	0.81760	27.88600	10.75655	-5.22680	19.91075	5.79985
Ahorro o Desembolso Anual por kWh \$ LCOE vs. Total	USD	-20.76120	6.30720	-10.82225	-26.80560	-1.66805	-15.77895
Ahorro o Desembolso 25 años por kWh \$ LCOE vs. Gen	USD	142.715	819.425	391.189	-8.395	620.044	267.271
Ahorro o Desembolso 25 años por kWh \$ LCOE vs. Sust	USD	20.440	697.150	268.914	-130.670	497.769	144.996
Ahorro o Desembolso 25 años por kWh \$ LCOE vs. Total	USD	-519.030	157.680	-270.556	-670.140	-41.701	-394.474
Ahorro del Sistema con Autoconsumidores	USD/kWh	-0.09549	El Estado Ecuatoriano ahorra 0,09549 por cada kWh inyectado				
Ahorro Autoconsumidores	%	-50	El autoconsumidor ahorra linealmente 50% de su planilla en contratos a 20 años				

\*Números negativos representan ahorros.

Resultados de los escenarios planteados comparados con el precio a sustituir no se viabilizan a 25 años.

Sistemas fotovoltaicos a mayor escala son viables en escenarios de alivio comparados con el precio a sustituir.

El análisis financiero encuentra que los escenarios, tal cual propuestos, son viables apenas comparados con el precio total de la energía; sin embargo, considerando el precio de sustitución, se viabiliza en escenario de alivio con el ingreso de 7 MW FV sin baterías. Los proyectos FV son una tendencia mundial de migración a las ERNC por su fuerte componente ambiental, haciendo que el desarrollo de centrales de potencia menor a la demanda máxima contemplada dentro del horario de los perfiles de generación y bajo la capacidad de trabajo del conductor sea atractivo para la EEQ y el Sistema Nacional. La reconfiguración de cargas entre primarios aledaños, que trabajan en malla, ofrece una gran flexibilidad al sistema, para el caso en que la absorción no pueda ser completa. Para ejemplificar se representa en la figura 17 los perfiles dinámicos de demanda y generación del Primario 57E con el ingreso de varias potencias FV.

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

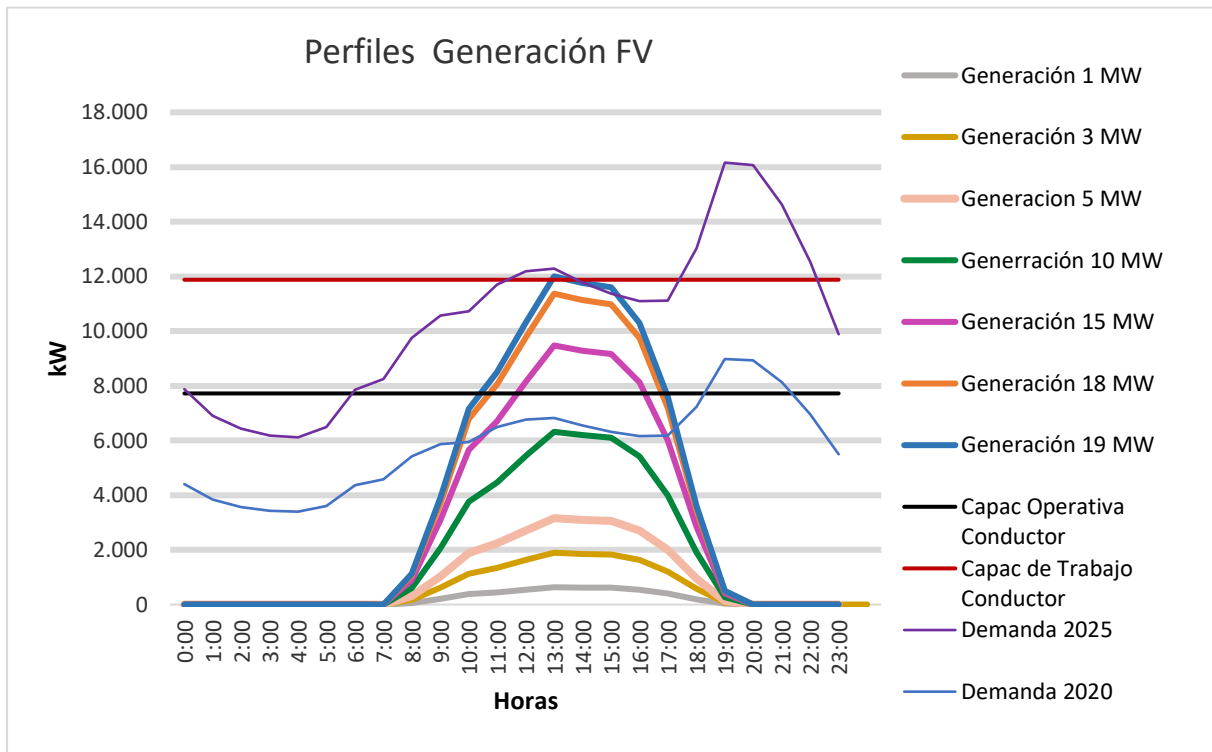


Figura 17. Perfiles de Generación

Los escenarios toman en consideración apenas los valores cuantificables de los beneficios; sin embargo, es posible enumerar varias bondades de la integración de GDFV, que no tienen una expresión monetaria, pero traen intrínsecamente el concepto de sostenibilidad:

- Infraestructura verde con gran capacidad de resiliencia, quiere decir, la infraestructura está planificada, diseñada, construida y operada para adaptarse y mitigar los efectos inciertos del cambio climático, no produce gases de efecto invernadero, no causa daño a los ecosistemas y trae beneficios a las personas y a la comunidad como alternativa eficiente de generación eléctrica para suplir demandas crecientes y problemas técnicos.
- Por participación de privados es transparente y competitiva; en donde el riesgo técnico y financiero, de operación y mantenimiento son mayormente asumidos por gestores.
- Innovación para servir de ejemplo a que los usuarios adieran al sistema de generación FV para autoconsumo propuesto en la Regulación ARCONEL No. 003/18.
- La energía solar genera empleos

# “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

## 5. Discusión

- i. Los escenarios se comparan con el precio de la energía a sustituir (precio generación + transmisión), parámetro tomado de la publicación del precio real medio ponderado de todas las energías; sin embargo, otra comparación viable sería con el precio de la energía térmica que sustituye, en donde resultaría económicamente más favorecida la GDFV.
- ii. Muchos datos son necesarios para tener información completa que represente la complejidad y particularidad de cada primario que son geográfica y eléctricamente distintos (Smith et al., 2016), siendo necesarios los perfiles dinámicos para calcular de manera eficiente la máxima generación aceptable en el sistema de distribución sin afectar la confiabilidad o calidad.
- iii. La intermitencia de la generación fotovoltaica asociada a las fluctuaciones de la demanda requiere un operador que disponga de herramientas para coordinar ambos casos estocásticos y mantener la calidad del servicio (E. Briglia; S. Alaggia; F. Paganini, 2015). Colectar la mayor cantidad de datos del sistema para automatizar las decisiones es imprescindible en estos nuevos modelos energéticos.
- iv. Medir el desempeño del sistema de distribución con GD en diferentes niveles de carga (poca, media y pico) (Ahmed, Kamel, Abdel-Mawgoud, & Yu, 2018) resulta vital pues señala diferentes perspectivas dentro de la actuación dinámica de cargas y generación; aunque la incorporación de GDFV apoya al sistema eléctrico como un todo, inclusive cuando los niveles de carga son poca o media; porque el alivio que produce la generación permite almacenar agua en los embalses de las hidroeléctricas que tendrán mayor capacidad de entrega de energía en la hora pico; no es una opción ilimitada, pero válida porque se está en los comienzos de la integración FV a nivel nacional.



## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

- v. El almacenamiento distribuido en baterías o súper-capacitores como alternativa para mitigar los impactos negativos del ingreso masivo de energía FV (Li, Ayyanar, & Vittal, 2016) y como beneficio adicional a la mitigación, empata el abastecimiento con la demanda proporcionando la flexibilidad de solucionar las cargas en el tiempo, así como las redes de transmisión proporcionan la solución de las cargas en el espacio.

### 6. Conclusiones

En función de la complejidad de los flujos de potencia y del sistema de distribución, la incorporación progresiva de sistemas fotovoltaicos proporciona tiempo para reaccionar frente a los impactos desconocidos de un ingreso masivo. Se deja trazado un camino con hallazgos iniciales que pueden ser reproducidos y aplicados en un entorno de redes dinámicas.

- i. El marco jurídico delimita los criterios técnicos y es la manera de incentivar o restringir el ingreso de GDFV. Las regulaciones deberían concentrarse en lineamientos macro y dejar que las potencias de ingreso de generación sean analizadas por las distribuidoras para cada solicitud específica. Se comprobó que restringir la potencia a 1 MW para autoconsumidores, considerar la demanda mínima como tope o limitar la potencia de ingreso a la capacidad del tramo con menor calibre no favorecen al sistema.
- ii. Técnicamente las mejores ubicaciones para el ingreso de GDFV son los sectores de bajo voltaje y altas demandas. Se identifica Calderón como el sector estrella del área de concesión de la EEQ, por presentar alta tasa de crecimiento poblacional y un excelente potencial solar.
- iii. La potencia de ingreso de GDFV es técnicamente factible hasta los límites de la capacidad de trabajo del conductor pues la flexibilidad de los sistemas que operan en malla hace posible redireccionar flujos cuando existan excedentes, sin embargo, la zona

## “ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

ideal es hasta la capacidad operativa del conductor. Para que el sistema de distribución justifique su existencia y sea viable, el dimensionamiento óptimo es aquel que consiga dejar los niveles de voltaje entre 0.95 y 1.05 p.u. y consiga suplir las demandas que superan el límite de operatividad. Para alcanzar este nivel de disponibilidad, con generación FV, es inevitable considerar almacenamiento en baterías que todavía no son económicamente viables comparadas con el precio a sustituir.

- iv. La GDFV es económicamente beneficiosa pues contribuye a disminuir el costo total del sistema, principalmente con los autoconsumidores; por eso, se hace necesario incentivar el aumento del número de instalaciones. Con recursos escasos, autoconsumidores ahorran al sistema 9,549 centavos de dólar por cada kW ingresado, siendo la manera más económica de conseguir generación. Los proyectos FV a mayor escala son viables comparados con los precios de generación y transmisión a sustituir.

### **7. Recomendaciones**

El camino a recorrer es todavía largo en el ingreso de la GDFV en las redes de distribución de la EEQ y se encontró que sería útil incorporar consideraciones:

- i. La regulación en difusión externa para GD, debería llamarse Regulación para Recursos Energéticos Distribuidos (RED).
- ii. Facilitar, simplificar y agilizar el trámite de ingreso de autoconsumidores. No vincular el proyecto a la propiedad del inmueble, aceptar proyectos comunitarios, solicitud en formulario virtual, estratificación de las solicitudes en expeditas y con estudios.
- iii. Incorporar el criterio de que todo trámite sea expedito hasta 25 kW y que cada distribuidora pueda definir condiciones de ingreso para potencias mayores.

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”**

- iv. El módulo de análisis de la capacidad de integración es útil para calcular de manera exacta el ingreso de generación, sabiendo que los problemas de la integración aparecen cuando se llega a los límites de capacidad.
  
- v. Asociación Público Privada como alternativa para conseguir generación.

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

## 8. Bibliografía

Abad, M. S., Ma, J., Zhang, D., Ahmadyar, A. S., & Marzooghi, H. (2018). Probabilistic Assessment of Hosting Capacity in Radial Distribution Systems. (págs. 1935-1947). Sydney, Australia: IEEE Journals.

Abdel-mawgoud, H., Kamel, S., Ebeed, M., & Aly, M. M. (2018). An efficient hybrid approach for optimal allocation of DG in radial distribution networks. *2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)* (págs. 311-316). Aswan, Egypt: IEEE Conferences.

Ahmed, I. M., Kamel, S., Abdel-Mawgoud, H., & Yu, J. (2018). Optimal Allocation of PV Based DG in Distribution Networks at Different Load Levels. *2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)* (págs. 649-654). Aswan, Egypt: IEEE Conferences.

ARCONEL. (12 de 2018). Obtenido de [https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/Methodolog%C3%ADa\\_Precios\\_Reservasellada.pdf](https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/Methodolog%C3%ADa_Precios_Reservasellada.pdf)

ARCONEL, A. d. (2018). *Estadística Anual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Obtenido de Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018: [www.regulacionelectrica.gob.ec/boletines-estadisticos/](http://www.regulacionelectrica.gob.ec/boletines-estadisticos/)

ARCONEL, A. d. (28 de diciembre de 2018). *Regulación 005/18*. Obtenido de "Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

ARCONEL, A. d. (22 de 10 de 2018). *Regulaciones Vigentes ARCONEL 003/18 Codificada*.

Obtenido de "Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica": <https://www.regulacioneolica.gob.ec/regulaciones/>

ARCONEL, A. d. (28 de 12 de 2018). *Regulaciones vigentes Regulación 005/18* . Obtenido

de "Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica": [www.regulacioneolica.gob.ec/regulaciones/](http://www.regulacioneolica.gob.ec/regulaciones/)

ARCONEL, A. d. (27 de diciembre de 2018). *Resolución ARCONEL 056/18*. Obtenido de

"Aprobación del Costo Total del Servicio Público de Energía Eléctrica": <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/056-18-Aprobacion-del-Costo-Total-del-Servicio-Publico-de-Energia-Elctrica.pdf>

ARCONEL, A. d. (2019). *Proyectos de Regulación (Difusión Externa)*. Obtenido de

Propuesta de Regulación DNRT -010/19 "Marco normativo para la participación de la Generación Distribuida": [www.regulacioneolica.gob.ec/proyectos-de-regulacion-difusion-externa/](http://www.regulacioneolica.gob.ec/proyectos-de-regulacion-difusion-externa/)

BCE, B. C. (17 de 09 de 2020). *Información Económica BCE*. Obtenido de

<https://www.bce.fin.ec/index.php/informacioneconomica>

Briglia, E., Alaggia, S., & Paganini, F. (2015). Economic operation of distribution networks with distributed generation and quality of service. *2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM)* (págs. 387-392). Montevideo, Uruguay: IEEE Conferences.

CONELEC, C. N. (2011). Tratamiento para la producción de energía con recursos energéticos

renovables no convencionales. (págs. <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp->

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

content/uploads/downloads/2015/10/CONELEC\_004\_11\_ERNC.pdf). Quito, Ecuador: CONELEC.

Daud, S., Kadir, A. F., Gan, C. K., & Abdullah, A. R. (2016). Optimal allocation and sizing of photovoltaic-based distributed generation for voltage dip improvement. *2016 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)* (págs. 89-94). Melaka, Malaysia: IEEE Conferences.

Dávila, R. (enero de 2019). *Proyección espacial de la demanda eléctrica a mediano plazo en empresas de distribución en el Ecuador*. Obtenido de Biblioteca EPN :

[https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=72159&query\\_desc=kw%2Cwrd1%3A%20ricardo%20davila%20arias#](https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=72159&query_desc=kw%2Cwrd1%3A%20ricardo%20davila%20arias#)

EEQ, E. E. (2018). Obtenido de <http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/eeq-en-cifras>

Empresa Eléctrica Quito . (2018). EEQ en cifras. (págs.

<https://www.eeq.com.ec:8443/nosotros/eeq-en-cifras>). Quito, Ecuador: EEQ.

Fu X., C. H. (2015). Optimal allocation and adaptive VAR control of PV-DG in distribution networks. *Scopus*, 173-182.

J. Le Baut, P. Z. (2017). Probabilistic evaluation of the hosting capacity in distribution networks. *IEEE Conferences*. IEEE.

J. Smith; M. Rylander; L. Rogers; R. Dugan. (2015). It's All in the Plans: Maximizing the Benefits and Minimizing the Impacts of DERs in an Integrated Grid. (págs. 20-29). IEEE Power and Energy Magazine.

Li, Q., Ayyanar, R., & Vittal, V. (2016). Convex Optimization for DES Planning and Operation in Radial Distribution Systems With High Penetration of Photovoltaic

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

- Resources. *IEEE Transactions on Sustainable Energy* (págs. 985-995). Tempe, Arizona, USA: IEEE Journals.
- Lin, W., & Bitar, E. (2018). Decentralized Stochastic Control of Distributed Energy Resources. *IEEE Transactions on Power Systems* (págs. 888-900). Ithaca, NY, USA: IEEE Journals.
- M. A. El-Sayed; M. A. Alsaffar. (2016). Two Stage Methodology for Optimal Siting and Sizing of Distributed Generation in Medium Voltage Network. *IEEE Conferences* (págs. 118,123). Kuwait: IEEE .
- Martínez J., M.-H. J. (2017). Analysis of energy, CO2 emissions and economy of the technological migration for clean cooking in Ecuador. *Scopus Energy Policy*, 182-187.
- Muñoz-Vizhñay., J. P.-M.-C. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. (págs. 60-68). Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología; (19).
- NYSERDA, N. Y. (septiembre de 2015). *Interconnection of Distributed Generation in New York State: A Utility Readiness Assessment Final Report*. Obtenido de [http://www3.dps.ny.gov/W/PSCWeb.nsf/96f0fec0b45a3c6485257688006a701a/dcf68efca391ad6085257687006f396b/\\$FILE/83930296.pdf/EPRI%20Rpt%20-%20Interconnection%20of%20DG%20in%20NY%20State-complete%20-%20Sept%202015.pdf](http://www3.dps.ny.gov/W/PSCWeb.nsf/96f0fec0b45a3c6485257688006a701a/dcf68efca391ad6085257687006f396b/$FILE/83930296.pdf/EPRI%20Rpt%20-%20Interconnection%20of%20DG%20in%20NY%20State-complete%20-%20Sept%202015.pdf)
- Peña, G. I. (03 de Abril de 2017). *Alocação de equipamentos de controle de tensão em redes de distribuição considerando recursos energéticos distribuídos*. Obtenido de Biblioteca Digital USP - Tesis y Disertaciones: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-04082017-160645/es.php>

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”

Quito, C. M. (02 de mayo de 2019). *quito.gob.ec*. Obtenido de

[http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20MUNICIPALES%202019/ORD-MET-2019-003-PROYECTOS%20ECO-EFICIENTES-ZUAE.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20MUNICIPALES%202019/ORD-MET-2019-003-PROYECTOS%20ECO-EFICIENTES-ZUAE.pdf)

Smith, J.; Rogers, B.; Taylor, J.; Roark, J.; Neenan, B.; Mimmagh, T.; Takayesu, E. (2016).

Time and Location: What Matters Most When Valuing Distributed Energy Resources.

*IEEE Power and Energy Magazine*, (pág. 37).



“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

**9. Apéndices**

*9.1. Anexo G – Lectura primario 57E día de mayor demanda máxima coincidente*

*9.2. Anexo H – Precio escenarios diferentes plazos y respectivo VAN, TIR y LCOE*

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

ANEXO G

Lecturas primario 57E día de mayor demanda máxima coincidente en 2020

DÍA	HORA	Avg. W	Avg. VAR	PF
23/6/2020	0:00:00	4.398,57	1.363,97	95
23/6/2020	0:15:00	4.204,79	1.317,32	95
23/6/2020	0:30:00	4.058,30	1.308,88	95
23/6/2020	0:45:00	3.908,98	1.269,24	95
23/6/2020	1:00:00	3.830,65	1.271,38	95
23/6/2020	1:15:00	3.772,62	1.262,74	95
23/6/2020	1:30:00	3.668,72	1.233,64	95
23/6/2020	1:45:00	3.611,48	1.234,24	95
23/6/2020	2:00:00	3.569,09	1.203,58	95
23/6/2020	2:15:00	3.545,33	1.203,92	95
23/6/2020	2:30:00	3.495,83	1.207,67	94
23/6/2020	2:45:00	3.473,15	1.207,64	94
23/6/2020	3:00:00	3.437,29	1.189,57	94
23/6/2020	3:15:00	3.441,90	1.190,00	94
23/6/2020	3:30:00	3.407,15	1.167,04	95
23/6/2020	3:45:00	3.386,07	1.145,38	95
23/6/2020	4:00:00	3.397,03	1.144,54	95

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

23/6/2020	4:15:00	3.405,12	1.143,52	95
23/6/2020	4:30:00	3.442,47	1.139,85	95
23/6/2020	4:45:00	3.518,78	1.116,49	95
23/6/2020	5:00:00	3.603,41	1.118,58	95
23/6/2020	5:15:00	3.833,17	1.122,35	96
23/6/2020	5:30:00	4.002,46	1.138,54	96
23/6/2020	5:45:00	4.197,80	1.154,29	96
23/6/2020	6:00:00	4.367,63	1.163,14	97
23/6/2020	6:15:00	4.341,22	1.157,27	97
23/6/2020	6:30:00	4.305,65	1.178,53	96
23/6/2020	6:45:00	4.402,31	1.213,61	96
23/6/2020	7:00:00	4.580,82	1.253,73	96
23/6/2020	7:15:00	4.764,60	1.324,83	96
23/6/2020	7:30:00	4.917,46	1.371,48	96
23/6/2020	7:45:00	5.200,92	1.492,11	96
23/6/2020	8:00:00	5.420,07	1.550,15	96
23/6/2020	8:15:00	5.522,70	1.596,03	96
23/6/2020	8:30:00	5.600,81	1.660,92	96
23/6/2020	8:45:00	5.666,26	1.736,20	96
23/6/2020	9:00:00	5.868,57	1.838,82	95

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

23/6/2020	9:15:00	6.006,00	1.896,55	95
23/6/2020	9:30:00	6.093,92	1.938,27	95
23/6/2020	9:45:00	6.246,08	1.934,29	95
23/6/2020	10:00:00	5.953,48	1.918,41	95
23/6/2020	10:15:00	6.216,06	2.028,24	95
23/6/2020	10:30:00	6.319,97	2.027,68	95
23/6/2020	10:45:00	6.353,51	2.083,43	95
23/6/2020	11:00:00	6.495,41	2.141,16	95
23/6/2020	11:15:00	6.583,42	2.153,85	95
23/6/2020	11:30:00	6.722,80	2.137,08	95
23/6/2020	11:45:00	6.785,22	2.159,42	95
23/6/2020	12:00:00	6.767,28	2.098,11	95
23/6/2020	12:15:00	6.713,96	2.051,09	96
23/6/2020	12:30:00	6.848,06	2.033,00	96
23/6/2020	12:45:00	7.010,33	2.012,12	96
23/6/2020	13:00:00	6.827,24	1.987,81	96
23/6/2020	13:15:00	6.737,22	1.997,23	96
23/6/2020	13:30:00	6.669,33	2.007,65	96
23/6/2020	13:45:00	6.678,65	2.050,98	96
23/6/2020	14:00:00	6.541,20	2.057,62	95

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

23/6/2020	14:15:00	6.504,95	2.112,79	95
23/6/2020	14:30:00	6.480,97	2.165,23	95
23/6/2020	14:45:00	6.362,66	2.191,63	94
23/6/2020	15:00:00	6.319,27	2.217,61	94
23/6/2020	15:15:00	6.205,84	2.178,71	94
23/6/2020	15:30:00	6.190,67	2.175,96	94
23/6/2020	15:45:00	6.211,75	2.176,60	94
23/6/2020	16:00:00	6.162,33	2.165,64	94
23/6/2020	16:15:00	6.077,53	2.137,00	94
23/6/2020	16:30:00	6.138,15	2.139,38	94
23/6/2020	16:45:00	6.192,81	2.089,98	95
23/6/2020	17:00:00	6.173,39	2.045,61	95
23/6/2020	17:15:00	6.270,37	1.986,40	95
23/6/2020	17:30:00	6.525,32	1.948,10	96
23/6/2020	17:45:00	6.745,32	1.911,10	96
23/6/2020	18:00:00	7.234,46	1.882,46	97
23/6/2020	18:15:00	7.714,81	1.907,10	97
23/6/2020	18:30:00	8.245,42	1.973,56	97
23/6/2020	18:45:00	8.647,24	2.003,31	97
23/6/2020	19:00:00	8.978,19	2.002,42	98

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

<b>23/6/2020</b>	<b>19:15:00</b>	<b>9.224,21</b>	<b>1.994,49</b>	<b>98</b>
23/6/2020	19:30:00	9.201,22	2.000,13	98
23/6/2020	19:45:00	9.145,20	1.994,44	98
23/6/2020	20:00:00	8.931,71	1.967,57	98
23/6/2020	20:15:00	8.646,14	1.927,11	98
23/6/2020	20:30:00	8.549,26	1.926,44	98
23/6/2020	20:45:00	8.374,08	1.900,96	97
23/6/2020	21:00:00	8.125,95	1.872,34	97
23/6/2020	21:15:00	7.762,85	1.799,92	97
23/6/2020	21:30:00	7.453,42	1.779,68	97
23/6/2020	21:45:00	7.229,73	1.749,08	97
23/6/2020	22:00:00	6.962,27	1.713,55	97
23/6/2020	22:15:00	6.610,80	1.631,03	97
23/6/2020	22:30:00	6.138,00	1.579,47	97
23/6/2020	22:45:00	5.766,72	1.518,77	97
23/6/2020	23:00:00	5.488,74	1.482,94	96
23/6/2020	23:15:00	5.158,27	1.426,22	96
23/6/2020	23:30:00	4.852,44	1.366,41	96
23/6/2020	23:45:00	4.643,20	1.325,29	96

“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”

ANEXO H

Precio escenarios en diferentes plazos y respectivos VAN, TIR y LCOE con descuento 8,51%

TECNOLOGÍA ESCENARIOS	PRECIO kWh	TIEMPO AÑOS	VAN	TIR	ENERGÍA WACC	COSTOS WACC	LCOE
3 MW FV \$700.000/MW \$2.100.000	0,08209	15	-710.670	2,25%	3.111.131	3.821.801	1,228
		20	-562.437	4,38%	3.520.889	4.083.326	1,160
		25	-468.201	5,49%	3.786.523	4.254.724	1,124
		30	-408.346	6,10%	3.958.727	4.367.072	1,103
	0,09510	15	-387.936,36	5,22%	3.604.197	3.992.134	1,108
		20	-198.303,86	7,12%	4.078.896	4.277.200	1,049
		25	-77.229,50	8,03%	4.386.629	4.463.859	1,018
		30	23,83	8,51%	4.586.124	4.586.100	1,000
	0,09773	15	-324.393,91	5,78%	3.703.872	4.028.266	1,088
		20	-126.392,41	7,63%	4.191.698	4.318.090	1,030
		25	107,32	8,51%	4.507.942	4.507.834	1,000
		30	80.877,77	8,97%	4.712.954	4.632.076	0,983
	0,10236	15	-212.530,20	6,74%	3.879.344	4.091.874	1,055
		20	204,55	8,51%	4.390.281	4.390.077	1,000
		25	136.255,42	9,34%	4.721.507	4.585.252	0,971
		30	223.217,60	9,76%	4.936.232	4.713.014	0,955
	0,11116	15	83,34	8,51%	4.212.856	4.212.772	1,000
		20	240.820,79	10,14%	4.767.719	4.526.898	0,949
		25	395.025,02	10,86%	5.127.420	4.732.395	0,923
		30	493.755,50	11,22%	5.360.605	4.866.849	0,908
3 MW FV 77.000 Ah \$1.400.000/MW \$4.200.000	0,08209	15	-	-9,32%	3.111.131	6.559.919	2,1085
		20	3.448.787,73	-5,81%	3.520.889	6.856.008	1,9472
		25	3.335.119,14	-3,62%	3.786.523	7.050.382	1,8620
		30	3.263.858,69	-2,23%	3.958.727	7.178.003	1,8132
	0,16653	15	3.219.276,30	5,19%	6.311.325	7.096.610	1,1244
		20	-785.285,00	7,10%	7.142.571	7.545.489	1,0564
		25	-402.917,64	8,02%	7.681.444	7.838.912	1,0205
		30	-157.467,50	8,51%	8.030.780	8.030.743	1,0000
	0,17189	15	37,08	5,75%	6.514.464	7.170.248	1,1007
		20	-655.784,03	7,62%	7.372.465	7.628.825	1,0348
		25	-256.360,47	8,51%	7.928.682	7.928.535	1,0000
		30	146,72	8,97%	8.289.262	8.124.443	0,9801
	0,18127	15	164.819,26	6,73%	6.869.956	7.299.114	1,0625
		20	-429.157,33	8,51%	7.774.778	7.774.664	1,0000
		25	114,57	9,35%	8.361.349	8.085.377	0,9670
		30	275.971,59	9,77%	8.741.605	8.288.417	0,9482
	0,19904	15	453.188,07	8,51%	7.543.422	7.543.245	1,0000
		20	177,04	10,15%	8.536.944	8.050.949	0,9431
		25	485.995,33	10,88%	9.181.016	8.382.507	0,9130
		30	798.509,75	11,24%	9.598.550	8.599.060	0,8959
		30	999.490,17				

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”**

6 MW FV 77,000 Ah \$1.050.000/MW \$6.300.000	0,08209	15	-					
		20	3.378.349,20	-1,73%	6.222.262	9.600.611	1,543	
		25	3.050.872,49	0,79%	7.041.778	10.092.651	1,433	
		30	2.841.786,44	2,21%	7.573.047	10.414.833	1,375	
	0,12092	15	2.708.374,20	3,06%	7.917.453	10.625.827	1,342	
		20	1.181.040,65	5,18%	9.165.500	10.346.541	1,129	
		25	-606.440,00	7,09%	10.372.662	10.979.102	1,058	
		30	-237.150,59	8,02%	11.155.230	11.392.381	1,021	
	0,12496	15	116,91	8,51%	11.662.547	11.662.430	1,000	
		20	-986.016,06	5,75%	9.471.421	10.457.437	1,104	
		25	-385.729,28	7,62%	10.718.875	11.104.604	1,036	
		30	211,71	8,51%	11.527.563	11.527.351	1,000	
	0,13201	15	-645.157,91	6,72%	10.006.101	10.651.259	1,064	
		20	22,32	8,51%	11.323.975	11.323.953	1,000	
		25	415.066,44	9,35%	12.178.316	11.763.249	0,966	
30		681.995,39	9,77%	12.732.160	12.050.164	0,946		
0,14537	15	687.529,12	9,78%	12.740.840	12.053.311	0,946		
	20	414,09	8,51%	11.018.763	11.018.349	1,000		
	25	730.620,74	10,15%	12.470.012	11.739.391	0,941		
	30	1.200.785,05	10,88%	13.410.815	12.210.030	0,910		
7 MW FV \$650.000/MW \$4.550.000	0,08209	15	1.503.446,84	11,24%	14.020.711	12.517.264	0,893	
		20	-657.671,20	5,96%	7.259.306	7.916.977	1,091	
		25	-218.599,93	7,81%	8.215.408	8.434.008	1,027	
		30	63.233,10	8,69%	8.835.221	8.771.988	0,993	
	0,07870	15	244.073,31	9,14%	9.237.029	8.992.955	0,974	
		20	-848.781,78	5,19%	6.959.524	7.808.306	1,122	
		25	-434.881,13	7,10%	7.876.143	8.311.024	1,055	
		30	-169.365,48	8,03%	8.470.361	8.639.726	1,020	
	0,08117	15	896,63	8,51%	8.855.575	8.854.679	1,000	
		20	-709.536,02	5,76%	7.177.949	7.887.485	1,099	
		25	-277.295,72	7,62%	8.123.336	8.400.632	1,034	
		30	109,00	8,51%	8.736.203	8.736.094	1,000	
	0,08552	15	178.078,46	8,97%	9.133.507	8.955.429	0,981	
		20	-464.305,64	6,73%	7.562.624	8.026.930	1,061	
		25	233,25	8,51%	8.558.676	8.558.442	1,000	
30		298.576,22	9,35%	9.204.387	8.905.811	0,968		
0,09376	15	490.119,33	9,77%	9.622.983	9.132.864	0,949		
	20	222,72	8,51%	8.291.296	8.291.073	1,000		
	25	525.943,29	10,15%	9.383.319	8.857.375	0,944		
	30	863.948,59	10,88%	10.091.246	9.227.297	0,914		
7 MW FV 180.000 Ah \$1.300.000/MW \$9.100.000	0,08209	15	1.081.203,66	11,23%	10.550.174	9.468.971	0,898	
		20	6.117.227,64	-4,87%	7.259.306	13.376.533	1,843	
		25	5.753.046,00	-2,00%	8.215.408	13.968.454	1,700	
		30	5.520.993,91	-0,29%	8.835.221	14.356.215	1,625	
	0,14502	15	5.373.244,29	0,78%	9.237.029	14.610.273	1,582	
		20	1.710.146,77	5,17%	12.824.272	14.534.419	1,133	
		25	-878.712,28	7,09%	14.513.320	15.392.032	1,061	
		30	-343.753,57	8,02%	15.608.281	15.952.035	1,022	
	0,15004	15	361,72	8,51%	16.318.113	16.317.752	1,000	
		20	1.427.145,27	5,74%	13.268.196	14.695.341	1,108	
		25	-558.437,48	7,61%	15.015.712	15.574.149	1,037	
		30	684,45	8,51%	16.148.576	16.147.892	1,000	
			30	360.464,06	8,98%	16.882.980	16.522.516	0,979



**“ANÁLISIS MULTICRITERIO DEL INGRESO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
FOTOVOLTAICA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA  
QUITO”**

14 MW FV 180.000 Ah \$975.000/MW \$13.650.000	0,15880	15	-933.302,02	6,72%	14.042.852	14.976.154	1,066
		20	448,44	8,51%	15.892.396	15.891.947	1,000
		25	601.735,67	9,35%	17.091.402	16.489.666	0,965
		30	988.849,82	9,77%	17.868.683	16.879.833	0,945
	0,17536	15	264,68	8,51%	15.507.271	15.507.006	1,000
		20	1.056.972,51	10,15%	17.549.688	16.492.716	0,940
		25	1.737.969,47	10,89%	18.873.729	17.135.760	0,908
		30	2.176.757,16	11,25%	19.732.067	17.555.310	0,890
	0,08209	15	5.723.719,08	0,69%	14.518.611	20.242.330	1,3942
		20	4.854.891,09	2,98%	16.430.816	21.285.707	1,2955
		25	4.297.416,63	4,22%	17.670.443	21.967.859	1,2432
		30	3.939.851,92	4,93%	18.474.058	22.413.910	1,2133
	0,10761	15	2.567.794,80	5,17%	19.032.133	21.599.927	1,1349
		20	1.319.996,76	7,09%	21.538.800	22.858.797	1,0613
		25	-516.846,88	8,02%	23.163.800	23.680.647	1,0223
		30	-17,86	8,51%	24.217.241	24.217.259	1,0000
	0,11138	15	2.142.728,81	5,74%	19.698.903	21.841.632	1,1088
		20	-838.946,56	7,61%	22.293.388	23.132.335	1,0376
		25	496,28	8,51%	23.975.319	23.974.823	1,0000
		30	540.852,99	8,98%	25.065.666	24.524.813	0,9784
0,11799	15	1.397.453,95	6,73%	20.867.961	22.265.415	1,0670	
	20	4.486,30	8,52%	23.616.420	23.611.934	0,9998	
	25	907.562,16	9,35%	25.398.167	24.490.605	0,9643	
	30	1.489.170,32	9,78%	26.553.223	25.064.052	0,9439	
0,13040	15	1.768,60	8,51%	23.062.820	23.061.052	0,9999	
	20	1.587.996,41	10,15%	26.100.358	24.512.361	0,9392	
	25	2.610.540,59	10,89%	28.069.506	25.458.965	0,9070	
	30	3.269.596,65	11,25%	29.346.048	26.076.452	0,8886	