

Proyecto:

Estimación del Límite Técnico permisible para la penetración de energías renovables y generación distribuida en el Sistema Eléctrico

Código:

VIE 5402-1341-1901

Departamento Académico Responsable:

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Investigador Responsable:

Dr-Ing. Gustavo Adolfo Gómez Ramírez

Otros Investigadores:

M.Sc. Rebeca Solís Ortega

Informe Final

Índice

1. Datos generales	3
2. Cumplimiento de los objetivos	4
3. Plan de difusión	7
3.1. Presentaciones	7
3.2. Artículos científicos	8
4. Participación estudiantil	9
5. Proyectos de Graduación	10
6. Ejecución presupuestaria	10
7. Limitaciones o problemas encontrados	10
8. Observaciones generales y recomendaciones	11
9. Anexos	11
9.1. Anexo #1: Publicaciones	11
9.2. Anexo #2: Trabajos finales de graduación	11
9.3. Anexo #3: Difusión de Proyectos de Investigación	12

1. Datos generales

1. **Código del Proyecto:** VIE 5402-1341-1901
2. **Nombre del proyecto:** Estimación del Límite Técnico permisible para la penetración de energías renovables y generación distribuida en el Sistema Eléctrico.
3. **Escuela responsable:** Ingeniería Electromecánica.
4. **Otras escuelas participantes:** Matemática.
5. **Instituciones participantes externas al ITCR:**
 - Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC).
 - COOPESANTOS R.L.
 - Universidad Anhalt, Alemania
 - Universidad de Concepción, Chile
6. **Investigador coordinador:** Dr-Ing. Gustavo Adolfo Gómez Ramírez
7. **Investigadores colaboradores:**
 - M.Sc. Rebeca Solís Ortega
8. **Porcentaje de Avance:** 100 %
9. **Período de ejecución:** 01/01/2023 al 31/12/2024

2. Cumplimiento de los objetivos

Objetivo general: Dimensionar la capacidad del Sistema Eléctrico Nacional en cuanto a una alta penetración de energías renovables y generación distribuida para la determinación de límites técnicos permisibles a partir del modelado y simulación de la Red de Transmisión y distribución.

Objetivo específico	Actividades	Productos	Fecha	Avance
OE1: Realizar el modelado de una red de distribución con todos los componentes a partir de herramientas de simulación para la determinación de las capacidades técnicas del sistema.	Obtener datos para la construcción de una red de distribución con la información proporcionada por las empresas distribuidoras.	1. Modelo de una red de distribución. 2. Matriz de escenarios de penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos en una red de distribución.	03/23	100 %
	Desarrollar estudios y análisis de flujos de potencia, análisis de perfiles de tensión a escenarios de integración de fuentes de generación distribuida a las redes de distribución construidas usando ETAP.		06/23	100 %
OE2: Analizar los efectos de la penetración de energías renovables y generación distribuida en una red de distribución a partir del análisis de perfiles de tensión y cargabilidad de las líneas.	Determinar capacidades máximas de transferencia de potencia en tramos de circuitos.	1. Límites Técnicos para una red de distribución.	09/23	100 %
	Determinar límites máximos y mínimos de perfiles de tensión ante la integración de generación distribuida y penetración de vehículos eléctricos.		12/23	100 %

Objetivo específico	Actividades	Productos	Fecha	Avance
OE3: Estimar los efectos de la penetración de energías renovables y generación distribuida en la red de transmisión a partir del análisis de la estabilidad.	Realizar estudios de flujos de potencia con perfiles a 24 horas de la integración de generación distribuida.	1. Modelo de una red de transmisión. 2. Matriz de escenarios de penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos en una red de transmisión.	03/24	100 %
	Realizar estudios de análisis de estabilidad transitoria ante una alta penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos simulando condiciones extremas de operación.		06/24	100 %
OE4: Proponer una hoja de ruta para la integración de generación distribuida el sistema eléctrico de potencia de Costa Rica.	Determinar las condiciones extremas de operación a nivel del sistema de transmisión para maximizar la integración de generación distribuida y vehículos eléctricos bajo condiciones extremas de operación y en estado de contingencia.	1. Límites Técnicos para una red de Transmisión. 2. Hoja de Ruta para la integración de energías renovables y generación distribuida en Sistema Eléctrico Nacional.	12/24	100 %

A continuación, se muestran las publicaciones de referencias donde se evidencia el cumplimiento de cada uno de los objetivos.

Objetivo específico	Publicación de referencia	Cumplimiento
OE1: Realizar el modelado de una red de distribución con todos los componentes a partir de herramientas de simulación para la determinación de las capacidades técnicas del sistema.	Solis-Ortega, R., Gómez Ramírez, G. A., Sáenz-González, K. J., Ellis-Rodríguez, A. J., & Navarro-Alpizar, W. J. (2025). Evaluación del comportamiento de la demanda en el modelado de las redes de distribución. <i>Revista Tecnología En Marcha</i> , 38(1), Pág. 115–127. https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7050	100 %
OE2: Analizar los efectos de la penetración de energías renovables y generación distribuida en una red de distribución a partir del análisis de perfiles de tensión y cargabilidad de las líneas.	Solis-Ortega, R., Gómez-Ramírez, G. A., Brenes-Fallas, D., Morales-Hernández, J. P., & Umaña-Mondragón, M. (2025). Modelado de Redes de Distribución usando ETAP. <i>Revista Tecnología En Marcha</i> , 38(2), Pág. 48–62. https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7104	100 %
OE3: Estimar los efectos de la penetración de energías renovables y generación distribuida en la red de transmisión a partir del análisis de la estabilidad.	G. A. Gómez-Ramírez, L. García-Santander, M. Zubiaga Lazkano, and C. Meza, “Increasing Flexibility in Vulnerable Power Grids using Electrochemical Storage,” <i>Heliyon</i> , vol. 10, no. 16, p. e35710, 2024. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22253	100 %
OE4: Proponer una hoja de ruta para la integración de generación distribuida el sistema eléctrico de potencia de Costa Rica.	Gómez-Ramírez, G.A.; García-Santander, L.; Rojas-Morales, J.R.; Lazkano-Zubiaga, M.; Meza, C. Electrochemical Storage and Flexibility in Transfer Capacities: Strategies and Uses for Vulnerable Power Grids. <i>Energies</i> 2024, 17, 5878. https://doi.org/10.3390/en17235878	100 %

Los trabajos finales de graduación que se detallan en la sección 5 contribuyen al cumplimiento del OE1 y OE2.

3. Plan de difusión

3.1. Presentaciones

Se refiere a actividades de divulgación científica como ponencias, charlas u otras similares.

Nombre	Tipo	Lugar y Fecha del evento	Comité científico
Resultados de la investigación aplicada: Ponencia para estudiantes de Escuela de Ingeniería Electromecánica (anexo 9.3)	Charla PELTEC	TEC, Campus Central Cartago, 14/11/2023	NO
Resultados de la investigación aplicada: Ponencia para académicos y otros interesados (anexo 9.3)	Coloquio Investigación en Ingeniería (Doctorado)	Edificio Schneider, Escazú, San José, 15/11/2023	NO
Miembros del Consejo de Escuela de Ingeniería Electromecánica	Presentación de informes semestrales.	Escuela de Ingeniería Electromecánica	NO
Ponencia para Universidad de Concepción-Chile	Congreso Internacional BioBío Energía 2024	3-4 de diciembre de 2024, Concepción, Chile	NO
Perspectivas integradas sobre la sostenibilidad energética: Vehículos eléctricos, energías renovables y mantenimiento predictivo.	Coloquios Virtuales de Matemática Aplicada	Lunes 13 de mayo de 2024. ITCR	NO

3.2. Artículos científicos

Nombre	Estado	Indexación	Revista	Comité científico
Electrochemical Storage and Flexibility in Transfer Capacities: Strategies and Uses for Vulnerable Power Grids	Publicado	Web of Science	MDPI-Energies	SI
Increasing Flexibility in Vulnerable Power Grids using Electrochemical Storage	Publicado	Web of Science	HELIYON	SI
Evaluación del comportamiento de la demanda en el modelado de las redes de distribución	Publicado	Scielo	Tecnología en Marcha	SI
Modelado de Redes de Distribución usando ETAP	Publicado	Scielo	Tecnología en Marcha	SI
El Futuro Energético de Costa Rica: Integración de Energías Renovables y Generación Distribuida	Publicado	No aplica	Pendiente de publicar	NO

4. Participación estudiantil

Durante el año 2023 se cuenta con los siguientes estudiantes para el desarrollo del proyecto:

No	Estudiante	Carné	Trabajo asignado	Condición
1	Diego Gómez Hidalgo	2021472926	Procesamiento de Datos	Ad-Honorem
2	Kervyn Sáenz González	2017146766	Análisis de Red-JASEC	Práctica de Especialidad
3	Alfredo Ellis Rodríguez	2018102438	Análisis de Red-JASEC	Práctica de Especialidad
4	William Navarro Alpízar	2017162301	Análisis de Red-COOPESANTOS	Práctica de Especialidad
5	Edgar Darío Brenes Fallas	2018067102	Análisis de Red-JASEC	Práctica de Especialidad
6	José Pablo Morales Hernández	2018172188	Análisis de Red-JASEC	Práctica de Especialidad
7	Marlon Umaña Mongragón	2018153886	Análisis de Red-COOPESANTOS	Práctica de Especialidad

5. Proyectos de Graduación

De acuerdo con la vinculación que se ha realizado con los estudiantes, se han logrado los siguientes trabajos de graduación:

No	Estudiante	Carné	Escuela	Anexo
1	Kervyn Sáenz González	2017146766	Ingeniería Electromecánica	ver enlace
2	Alfredo Ellis Rodríguez	2018102438	Ingeniería Electromecánica	ver enlace
3	William Navarro Alpízar	2017162301	Ingeniería Electromecánica	ver enlace
4	Edgar Darío Brenes Fallas	2018067102	Ingeniería Electromecánica	ver enlace
5	José Pablo Morales Hernández	2018172188	Ingeniería Electromecánica	ver enlace
6	Marlon Umaña Mongragón	2018153886	Ingeniería Electromecánica	ver enlace

Los trabajos Finales de Graduación evidencian el cumplimiento del objetivo específico 1 y 2.

6. Ejecución presupuestaria

De acuerdo con el oficio CIE-012-2023 para el proyecto no cuenta con presupuesto.

7. Limitaciones o problemas encontrados

Se logró avanzar sin contratiempos de acuerdo con lo planificado.

8. Observaciones generales y recomendaciones

Este es el **informe final** de ejecución del proyecto. Sin embargo, a pesar que cuando se planteó el proyecto, se mencionó que solo se iba a hacer una publicación, se lograron 4.

9. Anexos

A continuación se indica el detalle de los anexos, los cuales sustituyen al informe general denominado Documento 1.

9.1. Anexo #1: Publicaciones

1. Solis-Ortega, R., Gómez Ramírez, G. A., Sáenz-González, K. J., Ellis-Rodríguez, A. J., & Navarro-Alpízar, W. J. (2024). Evaluación del comportamiento de la demanda en el modelado de las redes de distribución. *Revista Tecnología En Marcha*, 38(1), Pág. 115–127. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7050>
2. Solis-Ortega, R., Gómez-Ramírez, G. A., Brenes-Fallas, D., Morales-Hernández, J. P., Umaña-Mondragón, M. (2025). Modelado de Redes de Distribución usando ETAP. *Revista Tecnología En Marcha*, 38(2), Pág. 48–62. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7104>
3. G. A. Gómez-Ramírez, L. García-Santander, M. Zubiaga Lazkano, and C. Meza, “Increasing Flexibility in Vulnerable Power Grids using Electrochemical Storage,” *Heliyon*, vol. 10, no. 16, p. e35710, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22253>
4. Gómez-Ramírez, G.A.; García-Santander, L.; Rojas-Morales, J.R.; Lazkano-Zubiaga, M.; Meza, C. Electrochemical Storage and Flexibility in Transfer Capacities: Strategies and Uses for Vulnerable Power Grids. *Energies* 2024, 17, 5878. <https://doi.org/10.3390/en17235878>
5. Pendiente de publicar en InvestigaTEC

9.2. Anexo #2: Trabajos finales de graduación

1. Sáenz González, K. (2023). Estudio del comportamiento de una red de distribución monofásica en 34, 5 kv para el análisis de la penetración de recursos distribuidos de generación solar en la red eléctrica de jasec, mediante la aplicación de la ley 10086. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. <https://hdl.handle.net/2238/14440>.
2. Ellis Rodríguez, A. (2023). Análisis de los efectos resultantes por la integración de una nueva planta de energía solar fotovoltaica a la red de distribución de Cocorí y la adquisición de un sistema de almacenamiento de energía para la gestión de la inyección de potencia. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. <https://hdl.handle.net/2238/14455>.

3. Navarro Alpízar, W. (2023). Estudio del comportamiento de una red de distribución en 19.9 kV para el análisis de la penetración de recursos distribuidos de generación solar en Coopesantos R.L. mediante la aplicación de la Ley 10086. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. <https://hdl.handle.net/2238/14454>.
4. Brenes Fallas, E. (2023). Modelado y simulación de una red de distribución en media tensión de Cartago para JASEC, de acuerdo con el cumplimiento de la Ley 10086. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. <https://hdl.handle.net/2238/14946>.
5. Umaña Mondragón, M. (2023). Evaluación del comportamiento de la red eléctrica de Coopesantos R.L mediante el análisis de la penetración de recursos distribuidos de generación solar, en sistemas de potencia conforme a la Ley 10086. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. <https://hdl.handle.net/2238/14948>.

9.3. Anexo #3: Difusión de Proyectos de Investigación

Anexo 1.1: Presentaciones en marco de coloquio en ingeniería.

Anexo 1.2: Listas de Asistencias.

Anexo 1.3: Presentaciones Congreso Internacional de Energía BioBío.

Proyectos de Investigación de Ingeniería

Resultados de la Investigación Aplicada

Gustavo Adolfo Gómez Ramírez M.Sc. *Coordinador-investigador*
Rebeca Solís Ortega M.Sc. *Investigadora*

Doctorado Académico en Ingeniería
TEC-UCR

2023

SESLab
Laboratorio de Investigación
Centrado en la Sostenibilidad

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

CFS

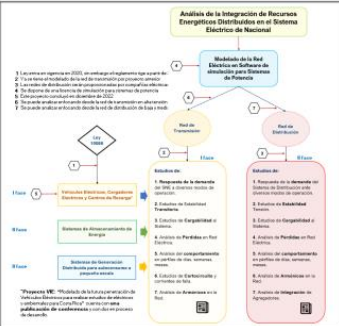
1

Agenda

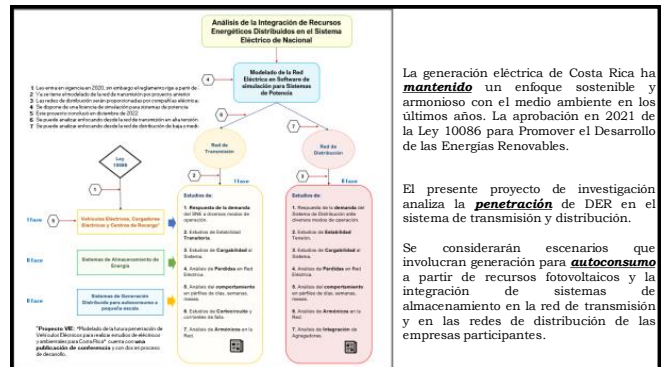
- **Proyecto 1:** Modelado de la futura penetración de Vehículos Eléctricos para realizar estudios de eléctricos y ambientales para Costa Rica (Finalizado 2020 – 2022).
- **Proyecto 2:** Estimación del Límite Técnico permisible para la penetración de energías renovables y generación distribuida en el Sistema Eléctrico (En curso 2023-2024).
- **Proyecto 3:** Mantenimiento predictivo: desarrollo de sistemas de diagnóstico y pronóstico (Aprobado 2024-2025).

2

Contexto



3



La generación eléctrica de Costa Rica ha **mantenido** un enfoque sostenible y armonioso con el medio ambiente en los últimos años. La aprobación en 2021 de la Ley 10086 para Promover el Desarrollo de las Energías Renovables.

El presente proyecto de investigación analiza la **penetración** de DER en el sistema de transmisión y distribución.

Se considerarán escenarios que involucren generación para **autoconsumo** a partir de recursos fotovoltaicos y la integración de sistemas de almacenamiento en la red de transmisión y en las redes de distribución de las empresas participantes.

4

Finalizado

Proyecto 1: Modelado de la futura penetración de Vehículos Eléctricos para realizar estudios de eléctricos y ambientales para Costa Rica.

Escuelas involucradas:

- Escuela de Ingeniería Electromecánica
- Escuela de Matemática

Equipo de Investigación:

- M.Sc. Gustavo Adolfo Gómez Ramírez (coordinador)
- M.Sc. Rebeca Solís Ortega
- Dr. Gustavo Richmond Navarro
- Luis Ross Lépiz (estudiante IEM)
- Carlos Arias Arguedas (estudiante IFI)

Instituciones participantes:
ICE
UCR: Dr. Oscar Núñez Mata

5

Objetivos de la investigación

Calcular el futuro mercado de VEs mediante un modelo matemático de estimación y predicción, para el análisis del impacto eléctrico y ambiental en Costa Rica.

Analizar la información disponible del modelo

Desarrollar un modelo de estimación de VEs

Validar el modelo establecido para la estimación

Calcular el impacto ambiental y en la cargabilidad

6

Publicaciones científicas	Estado: publicado
La contaminación originada por el sector de transporte es un motivo de preocupación ya que en Costa Rica la cantidad de automóviles está aumentando considerablemente, alcanzado la tercera densidad vehicular más alta de América Latina. La flota vehicular tiende a ser antigua lo que resulta en una considerable producción de emisiones per cápita mayor debido a su tecnología, siendo sus efectos perjudiciales para la salud. Cerca del 35% de los combustibles fósiles son para abastecer la flota vehicular privada lo que se traduce en una emisión de estimada en 3,194,000 TON-CO2 equivalente. Los vehículos eléctricos emergen como una potencial solución al problema ambiental.	Arias-Argüedas, C., Richmond-Navarro, G., & Gómez-Ramírez, G. (2023). Crecimiento de la flota vehicular en Costa Rica y sus emisiones de gases de efecto invernadero. <i>Investiga. TEC</i>, 16(46), 11-15. Crecimiento de la flota vehicular en Costa Rica y sus emisiones de gases de efecto invernadero Carlos Arias Argüedas Gustavo A. Gómez-Ramírez Rebeca Solís-Ortega

7

Publicaciones científicas	Estado: publicado
Electric Vehicle Penetration Modelling for Costa Rica Power System Gustavo A. Gómez-Ramírez, and Rebeca Solís-Ortega Abstract—Road-based transportation is the main contributor to air pollution in the world. In this regard, electric vehicles (EVs) provide a viable and clean alternative. This paper shows a mathematical model to forecast EV penetration. It also presents an application to Costa Rica Power System. A review of three forecasting methods is presented. These methods are analyzed and two of them are used to predict EVs penetration in the country for the next five years. Also, a framework of network conditions to integrate this type of technology is evaluated. ETAP software is employed to analyze the feasibility and demand response of the results obtained in the EVs penetration. One scenario (the high bound) shows that by year 2025, 10315 EVs will be in circulation. This participation represents a 2.11% of the power grid. So that, new opportunities to research and analysis are also opening for the power system under various study scenarios that can aid in power planning. The present paper provides an application and implementation to large power systems that can be used in other systems of the same size. Keywords—Electric vehicles, Forecasting methods, Power planning, Response demand, Load management, Demand-side management, Power system management.	Gómez-Ramírez, G. A., & Solís-Ortega, R. (2021). Electric Vehicle Penetration Modelling for Costa Rica Power System. In 2021 IEEE CHILECON Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON) (pp. 1-6). IEEE.

8

Electric Vehicle Penetration Modelling for Costa Rica Power System	Estado: publicado
En el estudio, se introdujeron tres metodologías de predicción y se aplicaron con el propósito de evaluar la futura penetración de vehículos eléctricos en Costa Rica. Los resultados arrojaron valores máximos y mínimos que resultarán valiosos en la planificación del sistema.	Fig. 7. Annual Revenue Prediction 2022-2025 using ETAP Se identificó que la capacidad del sistema eléctrico puede adaptarse a una penetración de VE del 2.11% en el 2025.

9

Publicaciones científicas	Estado: aceptado
Impact of Electric Vehicles on Power Transmission Grids Gustavo A. Gómez-Ramírez*, Rebeca Solís-Ortega*, Luis Alberto Bana-López* *Electromechanical Engineering School, Costa Rica Institute of Technology, Turkey, 2023 Costa Rica *Information School, Costa Rica Institute of Technology, Turkey, 2023 Costa Rica Abstract This paper presents a methodology for assessing the impact of electric vehicles (EVs) on the power transmission grid of the Costa Rica Power System. The methodology considers penetration scenarios, user preferences, charging habits, and expected fleet growth. Using ETAP software, the study simulates power flow, demand behavior, and voltage levels in the presence of high penetration of electric vehicles. The analysis covers a five-year horizon and focuses on voltage and demand profiles in 2025, 2030, and 2040. The results indicate a decline in voltage profiles that reaches dangerous levels after 2030, primarily in the distribution grid, and an increase in demand by 420 MW for 2040 in the most severe scenario. The analysis also reveals several key findings in the identification of problems in the electrical infrastructure starting in 2030 and a major bottleneck in accommodating the increase in EVs by 2040. (b) the need to evaluate stability in transmission grids considering loadability and voltage; (c) the importance of accounting for distributed infrastructure, driven by public policies, to meet future energy requirements and strengthen transmission networks; (d) the importance of accounting for both EV growth and electric infrastructure improvements in system analysis; and (e) the verification that the system's performance will fall within the extreme demand values presented in the analysis. The study emphasizes the importance of considering a broader range of scenarios and variability in penetration, especially user charging behavior, to enable decision-makers to plan for the challenges and opportunities associated with the widespread adoption of EVs in a country's power grid.	Figure 1: Methodology for analyzing EVs impact on a region's power system

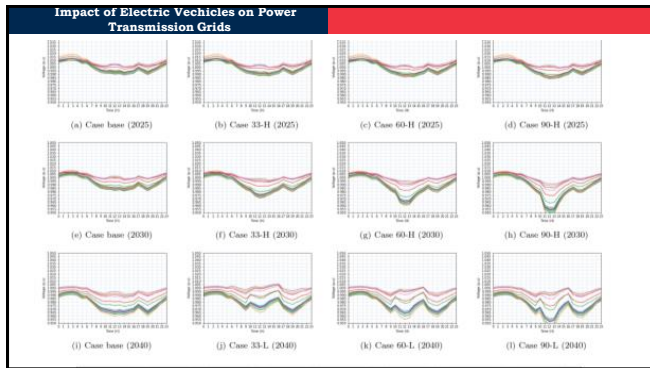
10

Impact of Electric Vehicles on Power Transmission Grids	Estado: publicado																														
Figure 3: EVs forecasting curves with Gompertz model (taking data since 2011) Table 4: Costa Rica EV Forecast <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Lower bound</th> <th>Middle bound</th> <th>Higher bound</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2025</td> <td>9576</td> <td>11438</td> <td>11767</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>20871</td> <td>35309</td> <td>38847</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>33360</td> <td>93657</td> <td>136441</td> </tr> </tbody> </table> Figure 4: Costa Rica Power System Modelled using ETAP	Year	Lower bound	Middle bound	Higher bound	2025	9576	11438	11767	2030	20871	35309	38847	2040	33360	93657	136441	Quantity of Modeled Components <table border="1"> <thead> <tr> <th>Description</th> <th>Element</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Buses</td> <td>498</td> </tr> <tr> <td>Transmission Lines</td> <td>138</td> </tr> <tr> <td>Power Transformer</td> <td>277</td> </tr> <tr> <td>Generators</td> <td>109</td> </tr> <tr> <td>Power Loads</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td>Interconnections</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Description	Element	Buses	498	Transmission Lines	138	Power Transformer	277	Generators	109	Power Loads	122	Interconnections	5
Year	Lower bound	Middle bound	Higher bound																												
2025	9576	11438	11767																												
2030	20871	35309	38847																												
2040	33360	93657	136441																												
Description	Element																														
Buses	498																														
Transmission Lines	138																														
Power Transformer	277																														
Generators	109																														
Power Loads	122																														
Interconnections	5																														

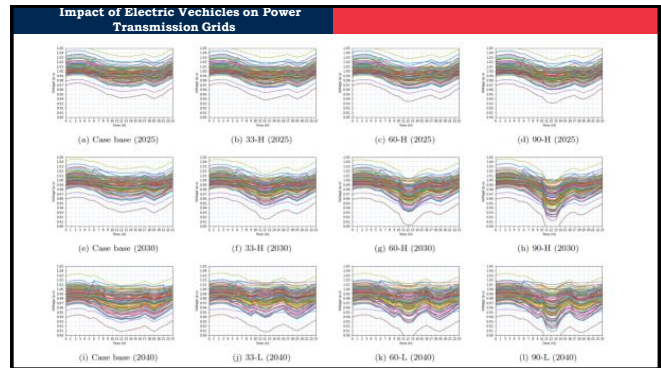
11

Impact of Electric Vehicles on Power Transmission Grids	Estado: publicado																														
Figure 3: EVs forecasting curves with Gompertz model (taking data since 2011) Table 4: Costa Rica EV Forecast <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Lower bound</th> <th>Middle bound</th> <th>Higher bound</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2025</td> <td>9576</td> <td>11438</td> <td>11767</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>20871</td> <td>35309</td> <td>38847</td> </tr> <tr> <td>2040</td> <td>33360</td> <td>93657</td> <td>136441</td> </tr> </tbody> </table> Figure 4: Costa Rica Power System Modelled using ETAP	Year	Lower bound	Middle bound	Higher bound	2025	9576	11438	11767	2030	20871	35309	38847	2040	33360	93657	136441	Quantity of Modeled Components <table border="1"> <thead> <tr> <th>Description</th> <th>Element</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Buses</td> <td>498</td> </tr> <tr> <td>Transmission Lines</td> <td>138</td> </tr> <tr> <td>Power Transformer</td> <td>277</td> </tr> <tr> <td>Generators</td> <td>109</td> </tr> <tr> <td>Power Loads</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td>Interconnections</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Description	Element	Buses	498	Transmission Lines	138	Power Transformer	277	Generators	109	Power Loads	122	Interconnections	5
Year	Lower bound	Middle bound	Higher bound																												
2025	9576	11438	11767																												
2030	20871	35309	38847																												
2040	33360	93657	136441																												
Description	Element																														
Buses	498																														
Transmission Lines	138																														
Power Transformer	277																														
Generators	109																														
Power Loads	122																														
Interconnections	5																														

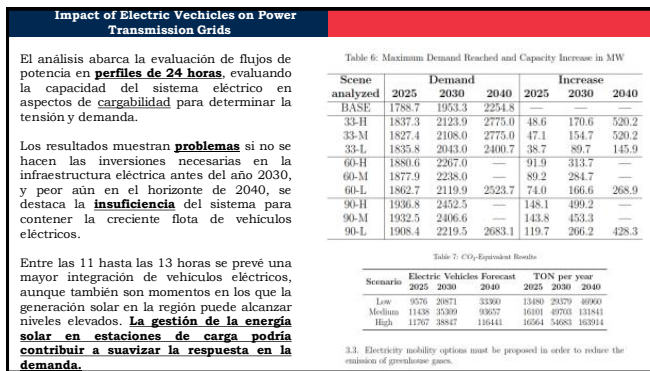
12



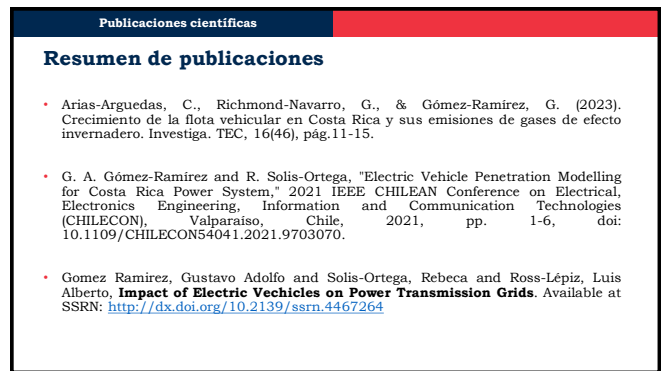
13



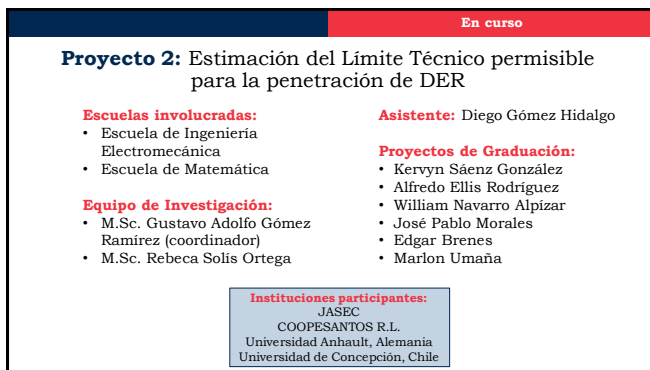
14



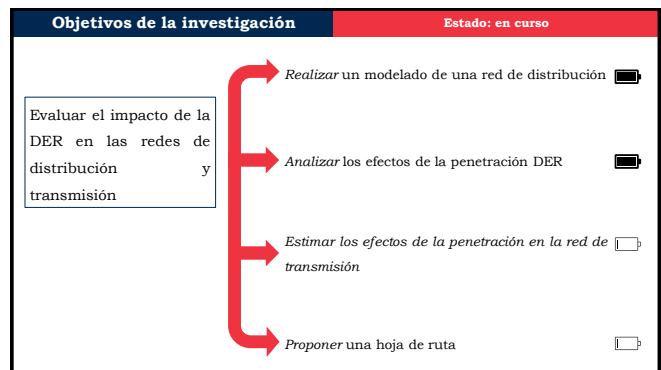
15



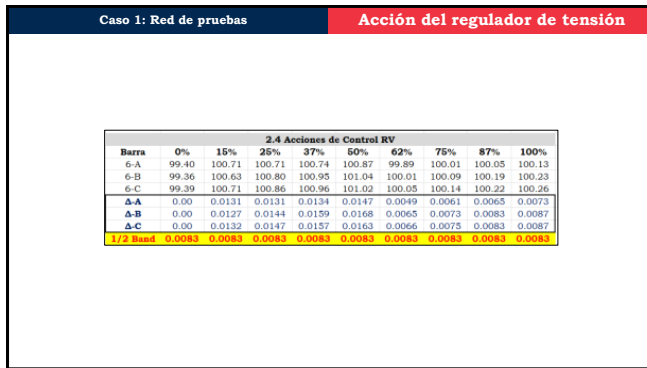
16



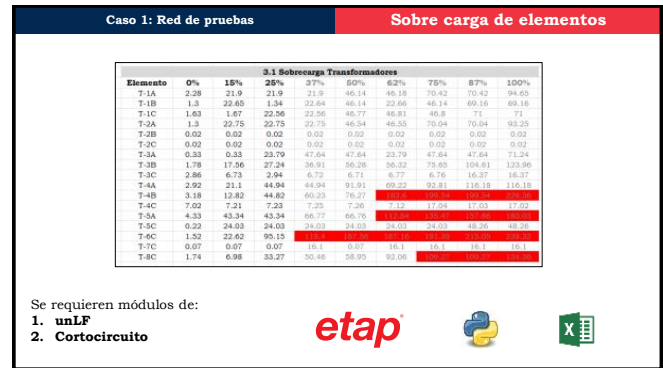
17



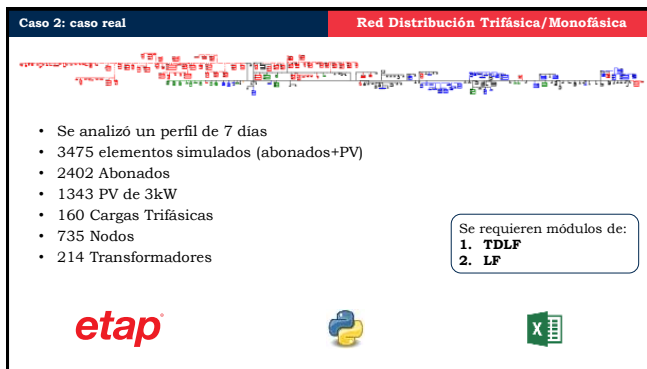
18



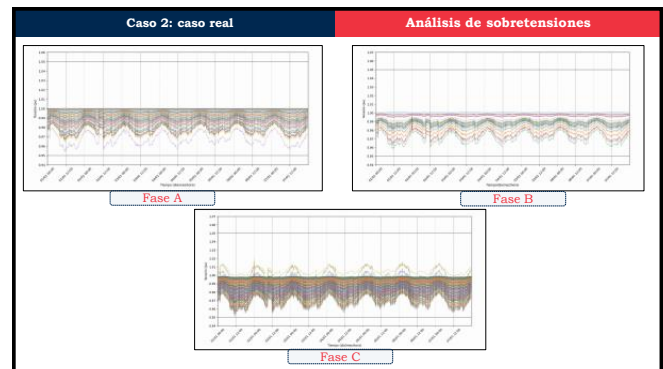
31



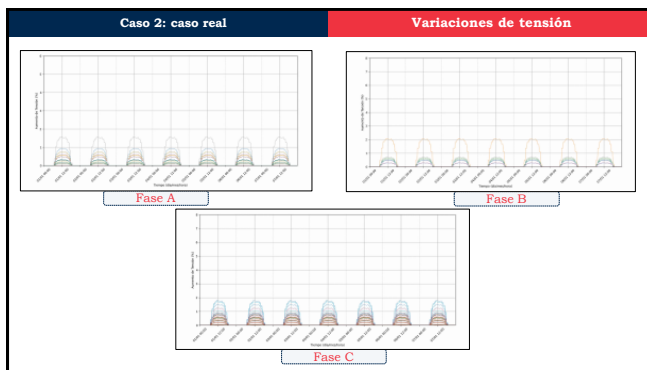
32



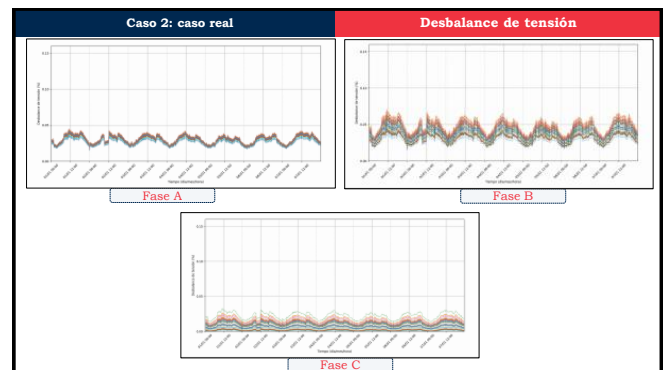
33



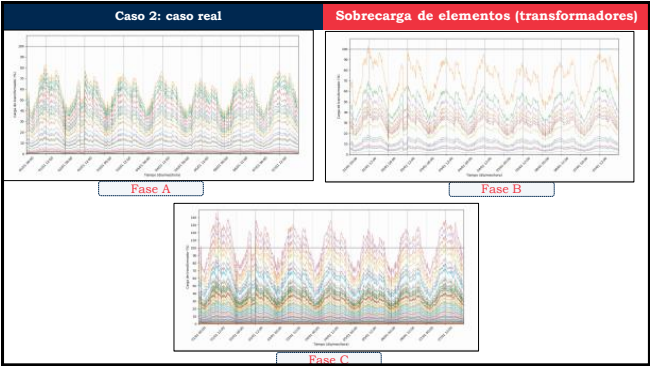
34



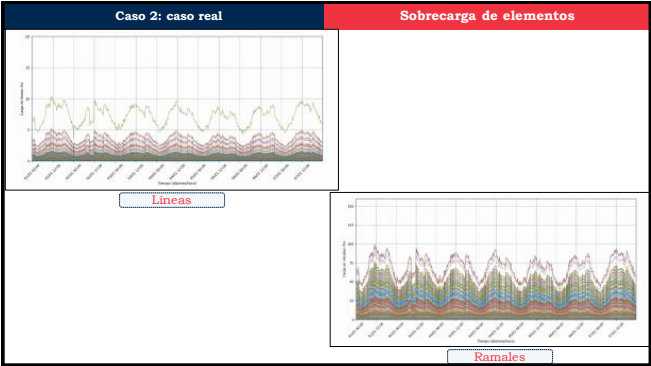
35



36



37



38

Inicio 2024

Proyecto 3: Mantenimiento predictivo: desarrollo de sistemas de diagnóstico y pronóstico.

Escuelas involucradas:

- Escuela de Ingeniería Electromecánica

Equipo de Investigación:

- Dr. Juan José Montero Jiménez (coordinador)
- Dr. Juan José Rojas Hernández
- M.Sc. Gustavo Adolfo Gómez Ramírez

Instituciones participantes:

ISAE-SUPAERO, Francia
Universidad Anhalt, Alemania
UCR
SOELMEC

39

Objetivos de la investigación

Estado: en curso

Desarrollo de sistemas de mantenimiento predictivo para el diagnóstico y pronóstico de equipos

- Desarrollo de metodología para abarcar la etapa conceptual de sistemas de mantenimiento predictivo.
- Realizar una minería de datos para determinar patrones de diagnósticos y pronósticos en los casos de estudio disponibles
- Desarrollo de modelos de diagnóstico para la detección incipiente de condición anormal.
- Desarrollo de modelos de pronóstico para cálculo de vida útil remanente.

40

Comentarios finales

41

Proyectos de Investigación de Ingeniería

Resultados de la Investigación Aplicada

Gustavo Adolfo Gómez Ramírez M.Sc. *Coordinador-investigador*

Rebeca Solís Ortega M.Sc. *Investigadora*

Doctorado Académico en Ingeniería

TEC-UCR

2023

SESLab

TEC | Tecnológico de Costa Rica

CFS

42

Lista de asistentes

Evento: Coloquio de Ingeniería: "Resultados de investigación Doctoral del señor Gustavo Gómez"

Número	Nombre	Empresa	Contacto	Firma
1	Sergio Pacheco	CFS	sergio.pacheco@cfs.cr	[Firma]
2	Isaac Luviano	ETAP	@etapcr isaac.luviano	[Firma]
3	Hugo Castro	ETAP	hugo.castro@etapcr	[Firma]
4	Lealie Gonzalez C.	ICE-DDC	lgonzalez@ice.go.cr	[Firma]
5	Yanyala Maria Ymarina	ICE-DDC	ymoraji@ice.go.cr	[Firma]
6	Edwin Espinoza	Aresep	espinozame@aresep.go.cr	[Firma]
7	Caterina Leandro S.	CFS	caterina.leandro@cfs.cr	[Firma]
8	José Pablo Martínez Ceballos	ICE Generación	jmartinez@ice.go.cr	[Firma]



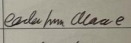
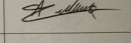
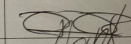
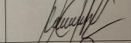
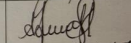
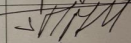
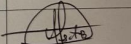
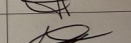
Número	Nombre	Empresa	Contacto	Firma
9	Oscar Campos Gonzalez	ICE	Ocampos@ice.go.cr 2000-7087	[Firma]
10	Juan Diego Rojas Vargas	ICE	jdrojas@ice.go.cr 2000-5711	[Firma]
11	Manuel Rojas	Schneider	#3165434	[Firma]
12	Fernando Rojas Fonseca	Schneider Electric	fernando.rojasfonseca@se.com 7131.1724	[Firma]
13	Heaven Saenz Gonzalez	Coopelusa	hsaenz@coopelusa.co.cr	[Firma]
14	Andy Jimenez Oros	Coopelusa R.L.	anjimenez@coopelusa.co.cr	[Firma]
15	Henry Guenara Becerra	Providencia Consultores	H.Guenara@providencia.co.cr	[Firma]
16	Sofia Prado Sotera	CFS	sotera.cfs@cfs.cr	[Firma]
17	Marcos José Cuevas Berroa	CFS	marco.cuevas@cfs.cr	[Firma]





Número	Nombre	Empresa	Contacto	Firma
18	Dgo. Quiros	CFS	87090056	
19	Pedro Rinos	CFS	87090058	
20	Korva/Luis	SE	87296340	
21	Jaime González Mora	ICE	88416720	
22	Diego A. Domínguez	Coopaguacaste	84792801	
23	Yuri Alvarado	Coopexmarcar	877133742	
24	Jennifer Camacho	Coopaguacaste	62013095	
25	Tony Delgado Carvajal	MOPT	86843789	
26	Luis Gustavo Villalba Arango	CNFL	2295-5912	
27	Juan Martínez Bolog	CNFL	83049944	



Número	Nombre	Empresa	Contacto	Firma
28	Roger Alonso González Solís	CNFL	2295 5732	
29	Carlos Luis Abara Carconte	cooperantus	89262570	
30	William Navarro Alpízar	Cooperantus R.L.	60073888	
31	Ronald Castillo Cruz	Cooperantus R.L.	85827584	
32	Roy Quirós Cedeno	CNFL	2295-5692	
33	Alexander Ortega Buford	ICE LIMAT	88157068	
34	Rodrigo Rojas	ICE - UNA	88223824	
35	Gerald Soto	ESPH	62241166	
36	Angelo Gómez Avendaño	ESPH	83366570	



Número	Nombre	Empresa	Contacto	Firma
37	Luis Garín Santander	Universidad de Concordia	luis.garin@udec.r +569 82498094	
38	Marta Valente Retana	Alimentos Heur	mvalen98@gmail.com 86082056	
40	Gustavo Obando Vargas	ICE	gobandov@ice.gac.r	
41				
42				
43				
44				
45				
46				

Día 2 Público en General TEC | Tecnológico de Costa Rica
 www.tec.ac.cr

No.	Nombre	Firma
1	María Laura Sojo Araya	
2	Harold Campos	
3	Javier López Solís	
4	María José Angulo C	
5	Jesús Sánchez Alfaro	
6	Maximiliano Brumbyer J. Jara	
7	Freddy Arce Sánchez	
8	Guadalupe Lara Madrigal	
9	Rony Guzmán Salas	
10	Juan Gabriel Rúa Ariza Pérez Acuña	
11	Gabriel Barrientos Barrios	
12	Sebastián Martínez Serbellini	
13	Juan Diego Gómez Hódarley	
14	José Francisco Pérez Guardiola	
15	Fabrizio Umaña Blanco	Fabrizio

Día 2 Sistemas de Potencia TEC | Tecnológico de Costa Rica
 www.tec.ac.cr

No.	Nombre	Firma
1	José Pablo Varela Bonilla	
2	Keyner Araya Porteguez	
3	José Andrés Arrieta M	
4	Giován Tenorio Alvarado	
5	Keithlyn Valerio Montiel	
6	Ariana Muñoz Noya	
7	Alejandra Valera Cordero	
8	Alejandra Ouedo Muñoz	
9	Minor Serrano Machiz	
10	Myller Trigueros Opota	
11	Sebastián Aguilar Sánchez	
12	Marvin Mejías Núñez	
13	Henry Álvarez Noguera	

energía Chile 12º Congreso Internacional 12th International Congress DECEMBER 03 - 04 2024 CONCEPCIÓN - CHILE Facultad de Ingeniería Universidad de Concepción CIE

Mejorando la flexibilidad de las Capacidades de Transferencia de Potencia mediante el uso de Almacenamiento Electroquímico en Redes Eléctricas Vulnerables

Dr-Ing. Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez
Instituto Tecnológico de Costa Rica
2024

DEMANDA transelec CONECTA arauco coe EREBOI tetsur

1

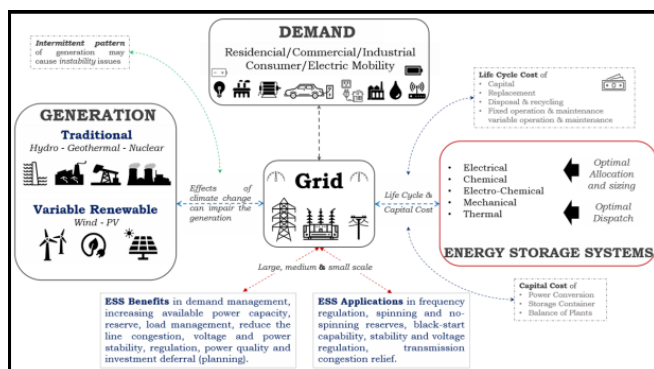
energía Chile 12º Congreso Internacional 12th International Congress DECEMBER 03 - 04 2024 CONCEPCIÓN - CHILE Facultad de Ingeniería Universidad de Concepción CIE

AGENDA

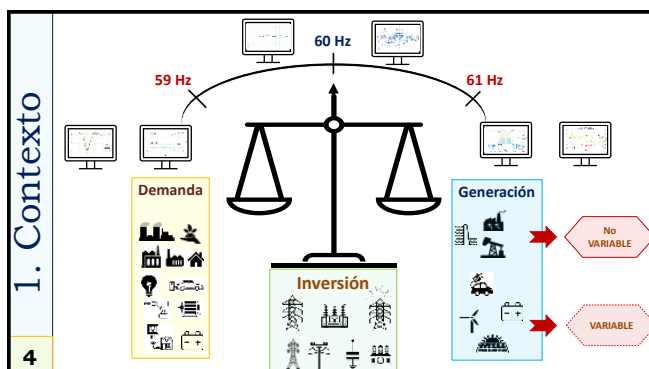
1. Contexto
2. Estrategias para Integración de BESS
3. Conclusiones
4. Comentarios Finales

DEMANDA transelec CONECTA arauco coe EREBOI tetsur

2



3



4

El desarrollo de una *metodología científica* para incrementar la *flexibilidad* de las redes eléctricas interconectadas, mediante la *integración óptima* de BESS, aborda un **problema crucial** en la evolución de las redes hacia una *mayor penetración* de DER, BESS y VEs.

5

5

Este enfoque no solo mejora la **estabilidad** de las redes débiles, sino que también ofrece un marco para la *toma de decisiones estratégicas* en la *planificación* y *operación* de sistemas eléctricos.



6

6

2. Estrategias para la integración de BESS

Metodología de Incremento de Flexibilidad.

Implementación de metodología.

Gómez-Ramírez, Gustavo Adolfo, Carlos Mesa, Gonzalo Mora-Jiménez, José Rodrigo Rojas Morales, and Luis García-Santander. 2023. "The Central American Power System: Achievements, Challenges, and Opportunities for a Green Transition," *Energies* 16, no. 11: 4328. doi: [10.3390/en16114328](https://doi.org/10.3390/en16114328)

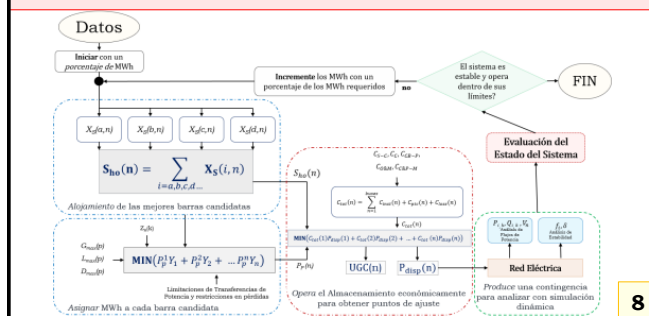
G. A. Gómez-Ramírez, L. García-Santander, M. Zubiaga Luikano, and C. Mesa, "Increasing Flexibility in Vulnerable Power Grids using Electrochemical Storage," *Helvoly*, vol. 10, no. 16, p. e35710, 2024. doi: [10.30146/helvoly.2024.e35710](https://doi.org/10.30146/helvoly.2024.e35710)



Article
Electrochemical Storage and Flexibility in Transfer Capacities: Strategies and Uses for Vulnerable Power Grids
Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez^{1,2}, Luis García-Santander³, José Rodrigo Rojas M⁴, Markel Zubiaga Luikano⁵ and Carlos Mesa⁶

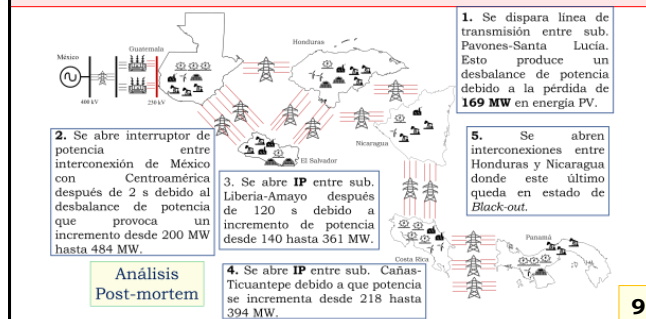
7

Metodología de Incremento de Flexibilidad

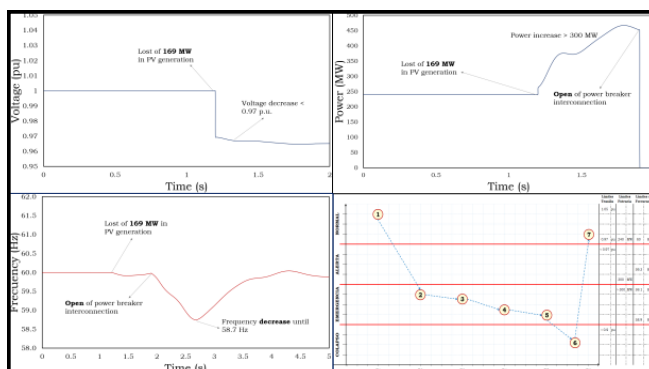


8

Implementación de Metodología

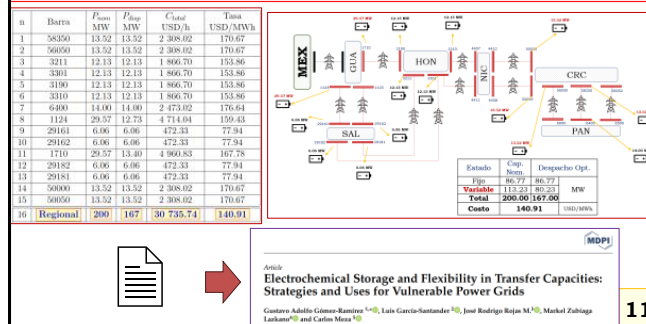


9

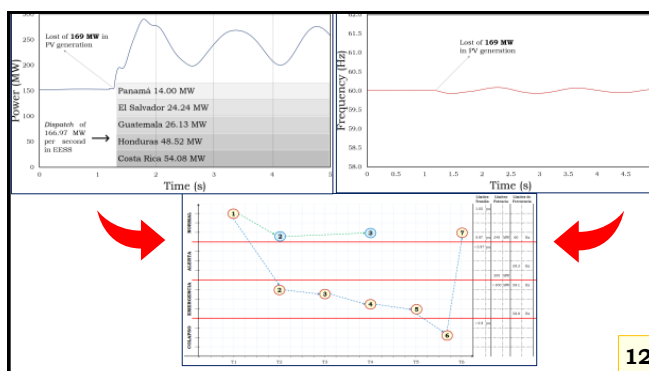


10

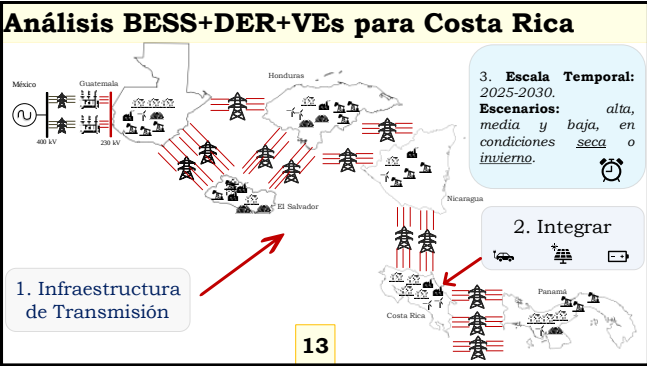
Resultado de Implementación



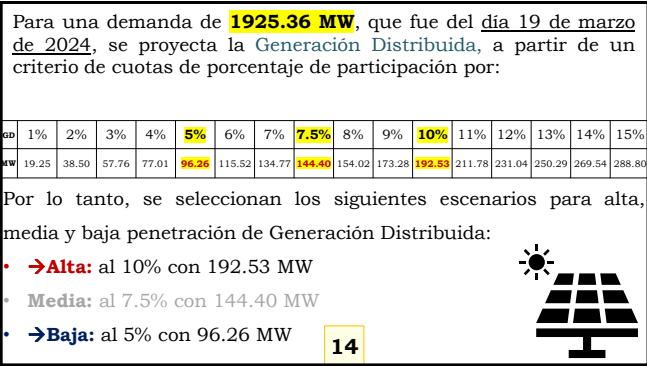
11



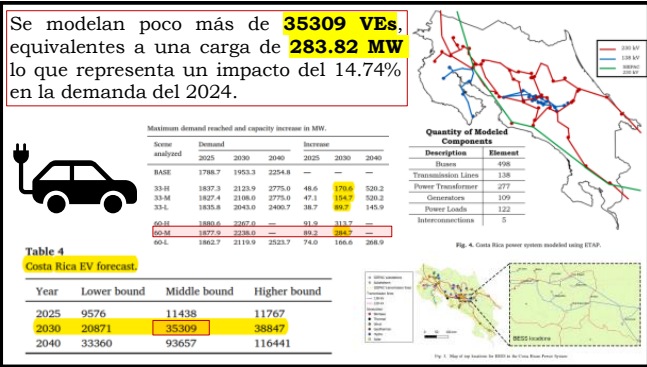
12



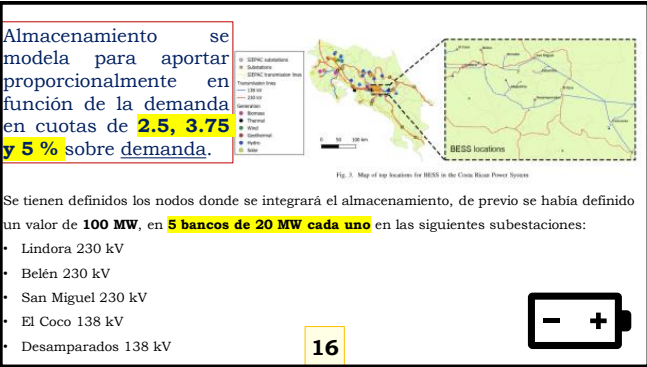
13



14



15



16

BESS Tamaño Nominal 5 bancos / 20 MW		GD al 5%	GD al 7.5%	GD al 10%	EVs	Demanda del sistema
2.5%	Demanda 48.13 MW a 372.9 MWh	96.26 MW			35309 VEs 282.82 MW 14.74% de la demanda	1925.36 MW
3.75%	Demanda 72.19 MW a 559.34 MWh		144.40 MW		35309 VEs 282.82 MW 14.74% de la demanda	1925.36 MW
5.00%	Demanda 96.25 MW a 745.79 MWh			192.53 MW	35309 VEs 282.82 MW 14.74% de la demanda	1925.36 MW

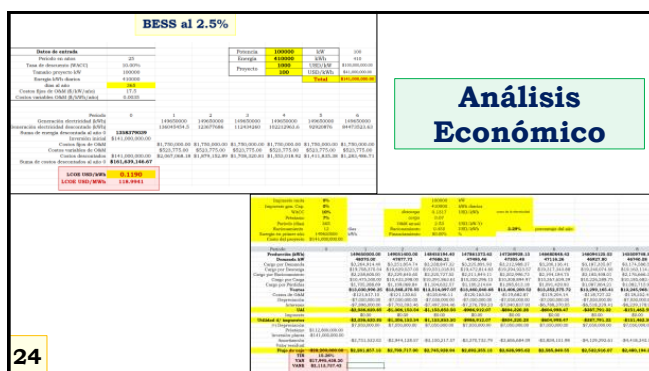
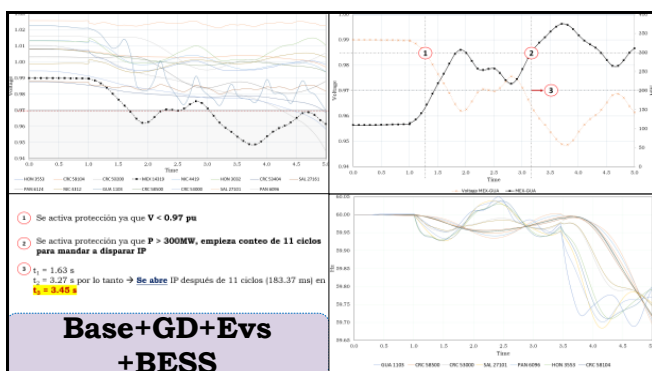
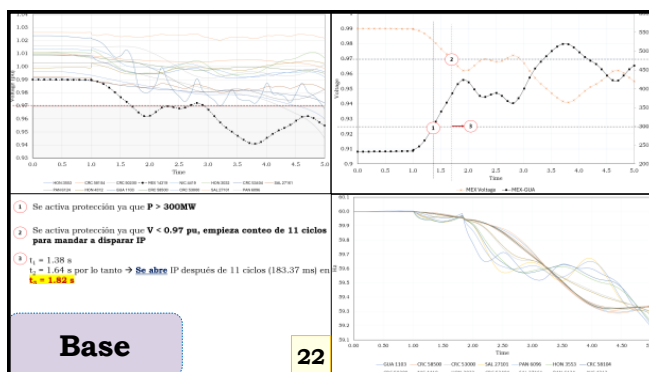
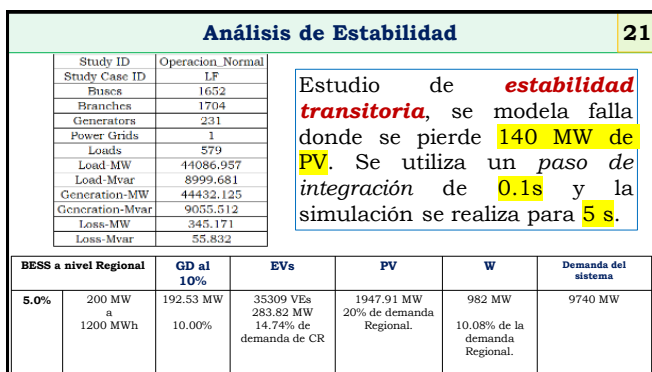
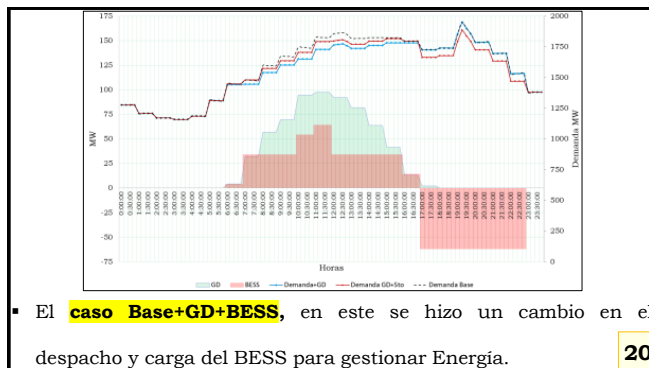
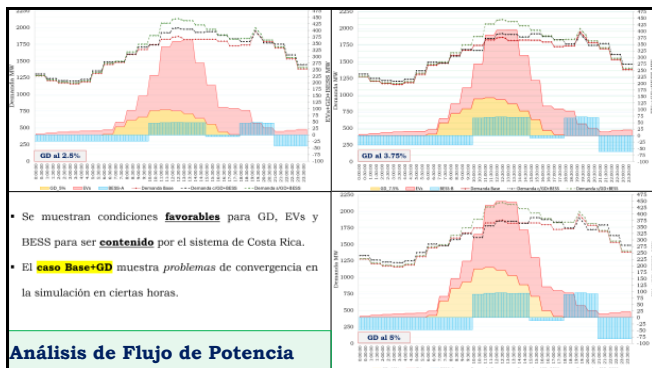
17

17

Posibles Escenarios de análisis	Flujos de Potencia	Estabilidad Transitoria
GD	No	Si
EVs	Si	Si
Alm.	Si	Si
GD+EVs	Si	Si
GD+Alm.	No	Si
EVs+Alm.	Si	Si
GD+EVs+Alm.	Si	Si

18

18



25

26

4.0 Conclusiones

27

27

28

29

30

30

De acuerdo con el estudio y análisis *financiero* en todos los análisis realizados, se muestra una alta *factibilidad* para la implementación de sistemas **BESS** en el Sistema Eléctrico de Costa Rica.

31

31



12º Congreso Internacional
12th International Congress

DECEMBER
03 - 04 2024
CONCEPCIÓN - CHILE

Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

Mejorando la flexibilidad de las Capacidades de Transferencia de Potencia mediante el uso de Almacenamiento Electroquímico en Redes Eléctricas Vulnerables

Dr.-Ing. Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez
Instituto Tecnológico de Costa Rica
2024

DPK CONTACT transelec CONNECTA arauco coe ERM&G tetsur

32