



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
IEE2393 - REDES INTELIGENTES PARA ENERGÍA SUSTENTABLE

## Proyecto

# Análisis de Hosting Capacity en Redes de Distribución

Junio 2025

---

## 1. Introducción

La transición hacia un sistema energético sostenible requiere la integración masiva de Recursos Energéticos Distribuidos (DERs), como la generación solar y la electromovilidad. Sin embargo, la capacidad de las redes de distribución para albergar estos recursos es finita y está limitada por restricciones técnicas, principalmente la capacidad de sus líneas y transformadores. El concepto de **Hosting Capacity (HC)** emerge como una métrica fundamental para cuantificar este límite de integración.

Este proyecto propone un análisis detallado para evaluar el HC de una red de distribución. Partiendo de un caso base sin generación ni cargas adicionales, se estudiará el impacto de añadir generación fotovoltaica (PV) y carga de vehículos eléctricos (EVs) de forma incremental. El objetivo es que usted determine el punto de máxima integración de estos recursos antes de que la red experimente sobrecargas. Finalmente, se investigará cómo la operación de Sistemas de Almacenamiento en Baterías (BESS) puede ser utilizada para gestionar la red y potencialmente aumentar sus límites de HC.

## 2. Descripción del Sistema y Herramientas

### 2.1. Red de Distribución y Comunidades

El estudio se realizará sobre una versión modificada de la red de media tensión CIGRE, que consiste únicamente en líneas, transformadores y una barra de referencia (slack). En **10 barras específicas** de esta red se conectarán “comunidades”, que representan la carga y generación agregada de un grupo de usuarios. La Figura 1 muestra un esquema de la red y la ubicación de estas comunidades.

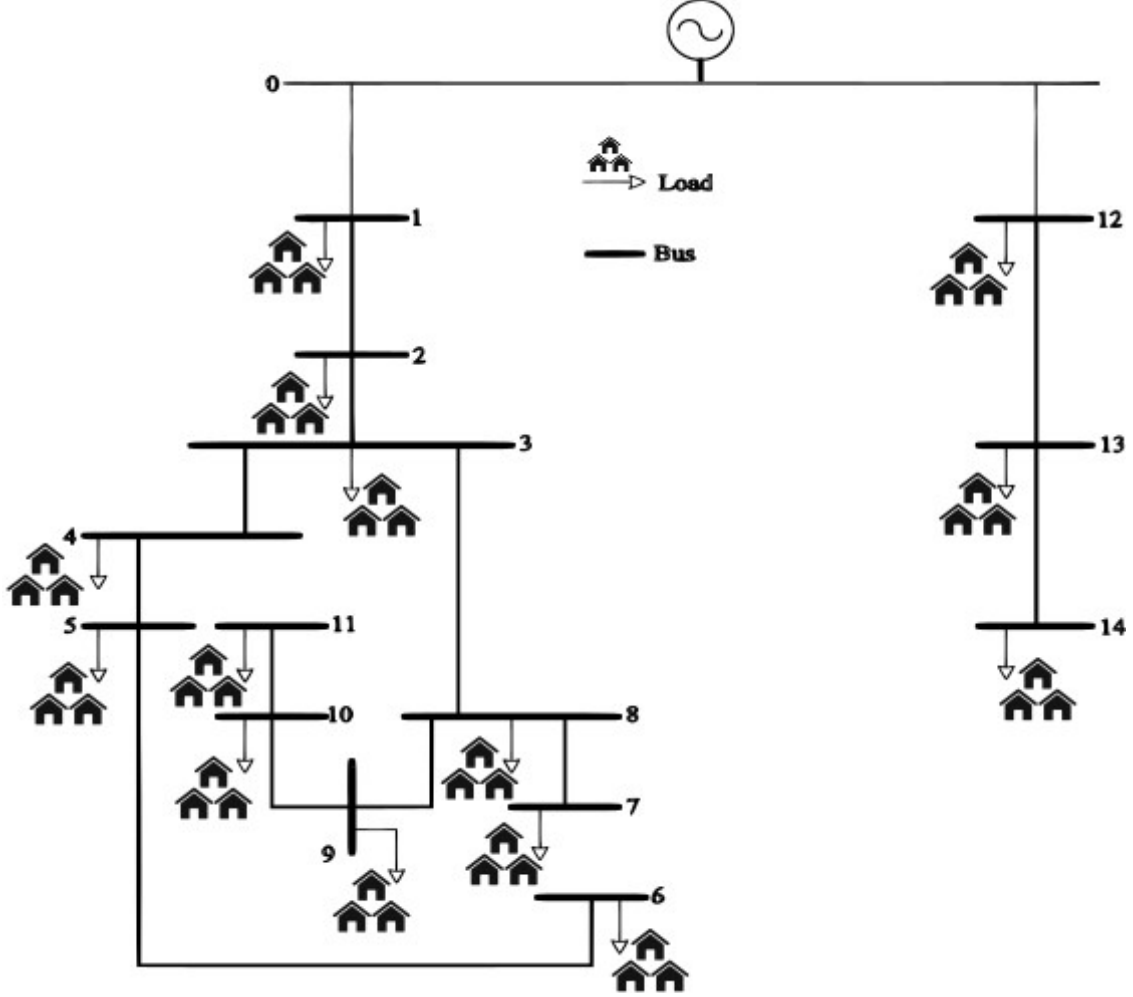


Figura 1: Esquema de la red de distribución CIGRE y ubicación de las 10 comunidades bajo estudio.

## 2.2. Perfiles y Modelo de Comunidad

Se proporcionará un archivo Excel que contiene los perfiles de 24 horas para una **comunidad modelo**, la cual es idéntica para las 10 ubicaciones. Este archivo incluye:

- **Demanda Base:** Perfil de consumo agregado de la comunidad en kW.
- **Generación PV Normalizada:** Perfil de 0 a 1 que, multiplicado por una capacidad instalada ( $C_{PV}$  en kW), define la generación PV horaria.
- **Demanda EV Normalizada:** Perfil de 0 a 1 que, multiplicado por una potencia máxima de carga ( $P_{EV}$  en kW), define la demanda horaria de los EVs.

La integración de nuevos recursos se analizará mediante la adición de bloques discretos

de potencia, simulando un crecimiento más realista de la red. Por lo tanto, el HC se deberá buscar considerando:

- Incrementos de **10 kW** para la capacidad de generación PV ( $C_{PV}$ ).
- Incrementos de **30 kW** para la potencia de carga de EVs ( $P_{EV}$ ).

Adicionalmente, la planilla Excel permite la incorporación de una batería conectada a la comunidad ( $P_{BESS}$ ), la cual por defecto se encuentra desactivada (potencia igual a 0 en todas las horas).

## 2.3. Herramientas de Software

Se entregarán los siguientes scripts de Python para realizar el análisis:

1. **“modulo\_pf.py”**: Un módulo de Python que contiene la función “ejecutar\_pf()”. Esta función recibe un valor de demanda neta y resuelve el flujo de potencia para la red, retornando los resultados de carga en las líneas.
2. **“proyecto.py”**: Un script principal que muestra cómo importar y utilizar la función de “modulo\_pf.py”. Usted deberá modificar este archivo para llevar a cabo su análisis.
3. Script de optimización de la **Tarea 3**, que resuelve el despacho óptimo de un BESS para maximizar las ganancias, a partir de un perfil de demanda neta y un perfil de precios de energía.

## 3. Simulación y Análisis del Caso Base

En esta etapa inicial, se debe caracterizar el estado de la red sin DERs adicionales para establecer una línea de base y comprender su comportamiento. El análisis debe incluir:

1. Configurar los datos del Excel de la comunidad modelo considerando solo la demanda base (i.e. dejar en 0 la generación solar, demanda EV y potencia BESS); de manera que la **demanda neta** sea igual a la demanda base.
2. Analizar el perfil de **demanda neta** de la comunidad para las 24 horas, identificando los periodos de mayor y menor consumo.
3. Ejecutar el flujo de potencia para todo el día y determinar las **condiciones más críticas de la red**, identificando las líneas más exigidas y en qué momentos del día ocurren.

Una vez caracterizada la red en su estado base, el siguiente paso es analizar cómo responde esta ante la integración de Recursos Energéticos Distribuidos (DERs). En este proyecto se estudiarán dos de los casos más relevantes para las redes de distribución modernas: la generación solar fotovoltaica (PV) y la vehículos eléctricos (EV).

## 4. Simulación y Análisis de Escenarios con DERs

El análisis se realizará simulando la conexión progresiva de nuevos recursos en cada una de las 10 comunidades. Específicamente, se evaluará la adición, en saltos discretos, de:

- **Sistemas fotovoltaicos (PV)** con una capacidad nominal de **10 kW** cada uno.
- **Puntos de carga para vehículos eléctricos (EV)** con una potencia máxima de **30 kW** cada uno.

Las siguientes subsecciones detallan el procedimiento para determinar el Hosting Capacity de la red para cada uno de estos escenarios, primero de forma aislada y luego evaluando el impacto de incluir sistemas de almacenamiento de energía (BESS).

La operación de las baterías se basará en un despacho óptimo, cuyo objetivo es maximizar los beneficios económicos de la comunidad modelo a partir de los perfiles de demanda neta y precios de energía de cada escenario

Tabla 1: Parámetros del Sistema de Almacenamiento (BESS) por comunidad.

Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad Energética Máxima ( $E_{max}$ )	900	kWh
Capacidad Energética Mínima ( $E_{min}$ )	0	kWh
Estado de Carga Inicial ( $E_{ini}$ )	5	kWh
Potencia Máxima Carga/Descarga ( $P_{max}$ )	150	kW
Eficiencia de Carga ( $\eta_c$ )	1	-
Eficiencia de Descarga ( $\eta_d$ )	1	-
Costo de Utilización (degradación) ( $C_{deg}$ )	15	\$/kW

Tabla 2: Tabla de Precios de Energía por Bloque Horario.

Bloque Horario	Tipo de Tarifa	Precio (\$/kWh)
00:00 - 02:59	Punta	100
03:00 - 06:59	Valle	50
07:00 - 10:59	Punta	100
11:00 - 16:59	Valle	50
17:00 - 23:59	Punta	100

### 4.1. Hosting Capacity para Generación Fotovoltaica (PV)

El objetivo de esta sección es determinar la máxima capacidad de generación PV ( $C_{PV}$ ) que la red puede albergar sin violar los límites operativos de sus líneas.

### Escenario sin BESS

1. Se debe determinar el **Hosting Capacity para PV**. Este corresponde al máximo valor de  $C_{PV}$  (en incrementos de 10 kW) que no produce sobrecargas en ninguna línea de la red ( $> 100\%$ ).
2. Para la condición límite del HC encontrado, se debe analizar el perfil de **demanda neta** de 24 horas (demanda base - generación PV) e identificar sus horas más críticas (ej. hora de máxima inyección de potencia a la red).
3. Reportar las **condiciones más críticas de la red** en el HC, identificando que componente del sistema define el HC y su condición operativa.

### Escenario con BESS

Aquí se investiga cómo un sistema de almacenamiento puede influir en el HC calculado en el caso anterior PV. Para esto, deberá ahora añadir un BESS a cada comunidad con los parámetros de la Tabla 1 y considerar el perfil de precios de la Tabla 2.

1. Utilizando el valor de  $C_{PV}$  encontrado como el HC en el escenario anterior, componga el perfil de demanda neta de la comunidad para las 24 horas.
2. Con este perfil, utilice el optimizador para obtener el despacho horario óptimo de la batería,  $P_{BESS}(t)$ . Este despacho se considerará **fijo** para el resto de este análisis.
3. Determine el **nuevo Hosting Capacity para PV con BESS**, encontrando el nuevo valor máximo de  $C_{PV}$  que la red puede admitir bajo la operación fija de la batería.
4. Para esta nueva condición límite, analice el nuevo perfil de **demanda neta** (que ahora incluye el BESS) e identifique sus nuevas horas críticas.
5. Reporte las **nuevas condiciones críticas de la red**, indicando el elemento que limita el HC.

## 4.2. Hosting Capacity para Carga de Vehículos Eléctricos (EVs)

Análogo a la sección anterior, el objetivo aquí es determinar la máxima capacidad de carga de EVs ( $P_{EV}$ ) que la red puede albergar sin sobrecargar sus líneas.

### Escenario sin BESS

1. Se debe determinar el **Hosting Capacity para EVs**. Este corresponde al máximo valor de  $P_{EV}$  (en incrementos de 30 kW) que la red puede soportar sin que ninguna línea supere el 100 % de su capacidad.

2. Para la condición límite del HC encontrado, se debe analizar el perfil de **demanda neta** de 24 horas (demanda base + demanda de EVs) e identificar sus horas más críticas (ej. hora de máxima demanda de potencia).
3. Reportar las **condiciones más críticas de la red** en el punto límite, identificando la línea que define el HC y su porcentaje de carga.

### Escenario con BESS

Se repite el análisis incorporando el BESS para investigar su impacto en el HC para la carga de EVs.

1. Utilizando el valor de  $P_{EV}$  encontrado como el HC en el escenario sin BESS, componga el perfil de demanda neta de la comunidad para las 24 horas.
2. Con este perfil y las tablas de parámetros, obtenga el despacho horario óptimo de la batería,  $P_{BESS}(t)$ , el cual se considerará **fijo**.
3. Determine el **nuevo Hosting Capacity para EVs con BESS**, encontrando el nuevo valor máximo de  $P_{EV}$  que la red puede admitir bajo la operación fija de la batería.
4. Para esta nueva condición límite, analice el nuevo perfil de **demanda neta** e identifique sus nuevas horas críticas.
5. Reporte las **nuevas condiciones críticas de la red**, indicando el elemento que limita el HC.

## 4.3. Investigación y Propuesta de Mejoras

Habiendo identificado los límites del Hosting Capacity de la red en los escenarios anteriores, en esta sección final de análisis se deberá investigar y proponer soluciones técnicas para superar dichas limitaciones, **distintas a las ya estudiadas**. El trabajo a realizar es el siguiente:

1. Investigar y describir brevemente el principio de funcionamiento de **tres (3) soluciones técnicas** para aumentar el Hosting Capacity de las redes de distribución.
2. De las tres soluciones investigadas, **seleccionar una (1)** y desarrollar una propuesta detallada para su aplicación en la red de este proyecto. La propuesta debe incluir:
  - **Justificación de la elección:** Explicar por qué la solución seleccionada es adecuada para mitigar las sobrecargas observadas en su análisis.
  - **Ubicación y Parámetros:** Indicar en qué elemento(s) específicos de la red se implementaría y describir los parámetros técnicos relevantes para su implementación.

- **Análisis Cualitativo del Impacto:** Describir, sin necesidad de una nueva simulación computacional, cómo se espera que la solución propuesta aumente el Hosting Capacity para al menos uno de los escenarios analizados (PV o EV).
3. La investigación y la propuesta deben estar respaldadas por al menos **tres (3) referencias** bibliográficas (artículos de conferencia, revistas científicas, libros, etc.) en formato IEEE.

## 5. Análisis y Entregables

Se deberá entregar un **informe en formato PDF** estructurado según los siguientes puntos, presentando un análisis claro y justificado de sus resultados.

1. **Resumen Ejecutivo:** Síntesis de los objetivos del proyecto, la metodología aplicada y los principales resultados de HC encontrados en cada escenario.
2. **Análisis por Escenario:** Para cada uno de los 4 escenarios estudiados (PV, PV+BESS, EV, EV+BESS), se debe presentar un análisis detallado que incluya:
  - El valor de **Hosting Capacity** determinado (en kW).
  - El **elemento limitante** de la red, es decir, la primera línea que viola la restricción de sobrecarga ( $> 100\%$ ), determinando así el valor del HC.
  - Un reporte de las **condiciones críticas** de la red en el punto límite del HC, indicando el porcentaje de carga del elemento limitante y de la segunda línea más exigida del sistema.
  - **Gráficos de resultados** que muestren la carga de todas las líneas de la red para la condición límite, destacando visualmente los elementos más críticos.
3. **Análisis Comparativo y Discusión:**
  - Una **tabla resumen** con los cuatro valores de HC obtenidos para comparar fácilmente los escenarios.
  - Una **discusión técnica** sobre cómo el despacho del BESS afectó la demanda neta de la comunidad y, consecuentemente, el Hosting Capacity en los casos de PV y EV. En esta sección se debe analizar también si las horas de mayor exigencia para la red cambiaron debido a la operación del BESS.
  - Un análisis sobre si los **elementos limitantes** de la red cambiaron entre los escenarios sin y con BESS, y una posible explicación de por qué.
4. **Propuesta de Mejoras al Hosting Capacity:** Como parte final del análisis, se requiere una sección de investigación y propuesta. Deberán:

- Investigar y proponer **tres (3) soluciones técnicas** distintas que podrían implementarse para aumentar el Hosting Capacity de la red.
  - Para solo una solución, explicar detalladamente su principio de funcionamiento y **justificar su aplicación** en los escenarios analizados en este proyecto. Deben indicar dónde (en qué elemento de la red) y por qué su propuesta sería efectiva, basándose en los resultados obtenidos.
  - Esta sección debe tener una extensión de **1 a 2 páginas** y debe incluir al menos **tres (3) referencias** bibliográficas (artículos, libros, reportes técnicos) en formato IEEE para respaldar sus propuestas.
5. **Conclusiones:** Reflexión final sobre la capacidad de la red para integrar recursos distribuidos, el rol que cumplen el almacenamiento y las soluciones propuestas para la gestión de redes eléctricas modernas.

## 6. Información Administrativa

- **Grupos Trabajo:** El proyecto se debe realizar en grupos de **3 o 4 integrantes**. La inscripción de los grupos se realizará a través de la plataforma Canvas, en la pestaña “Personas” y luego en la sección “Grupos del Proyecto”. Podrán inscribirse de forma autónoma en los grupos habilitados para este fin hasta **el Viernes 20 de Junio a las 14:00 hrs.** Personas que no se hayan inscrito a esa fecha serán asignadas aleatoriamente.
- **Evaluación de Pares:** Se abrirá un buzón en Canvas donde podrán evaluar a los integrantes del equipo. La nota de la evaluación de pares equivale al 20 % de la nota del proyecto. El otro 80 % corresponde al informe (i.e., nota grupal). **En caso de tener individualmente una evaluación de pares menor a 4, la nota del proyecto se calculará como:**

$$N_{\text{Proyecto}} = \min(3.9, N_{\text{informe}} \cdot 0.8 + N_{\text{ev.pares}} \cdot 0.2)$$

- **Formato y Plantilla de Entrega:** Para la elaboración del informe, se proporcionará una plantilla de L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X en formato IEEE doble columna **que deberán utilizar**. Esta plantilla incluye el formato solicitado, las secciones predefinidas y otros elementos para facilitar la escritura del documento. La plantilla se entregará en un archivo comprimido llamado ‘**proyecto.zip**’. Este archivo debe ser cargado en la plataforma de edición online *Overleaf* (seleccionando la opción “Nuevo Proyecto”, seguido de “Subir Proyecto”).
- **Extensión del Informe:** El informe debe ser de **máximo 10 páginas**, incluyendo figuras, tablas y referencias.
- **Fecha de Entrega:** La fecha límite para la entrega del informe es el día **9 de Julio a las 23:59**.