

# **Recursos distribuidos en circuitos de MT y BT, capacidades de alojamiento y posibilidades de control**

**Dr. Gustavo Valverde Mora**

Senior Member, IEEE

*[gustavo.valverde@ucr.ac.cr](mailto:gustavo.valverde@ucr.ac.cr)*

# Contenido



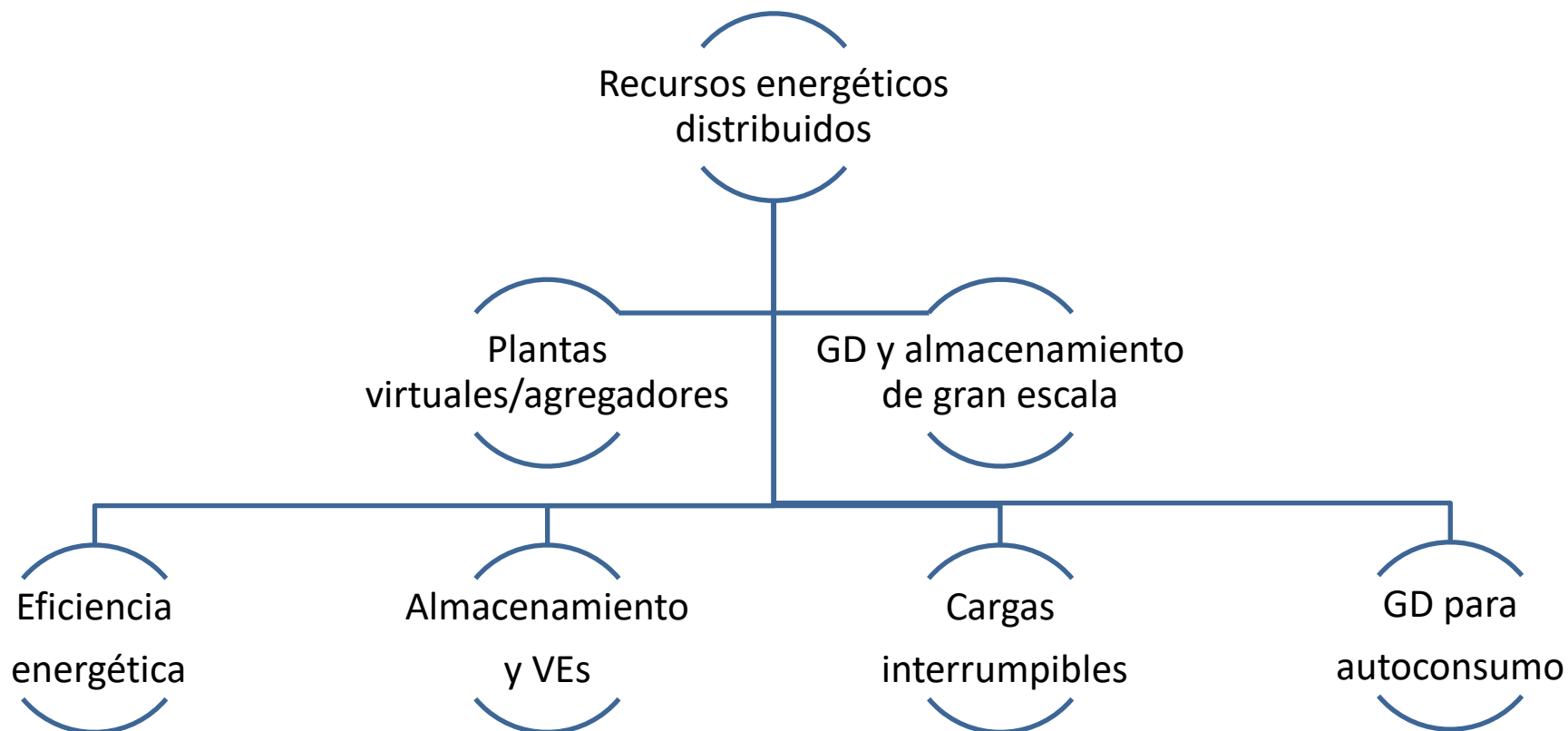
DER y su impacto en la red



Estimación de capacidad de alojamiento



Inclusión de DER para brindar control y servicios al sistema

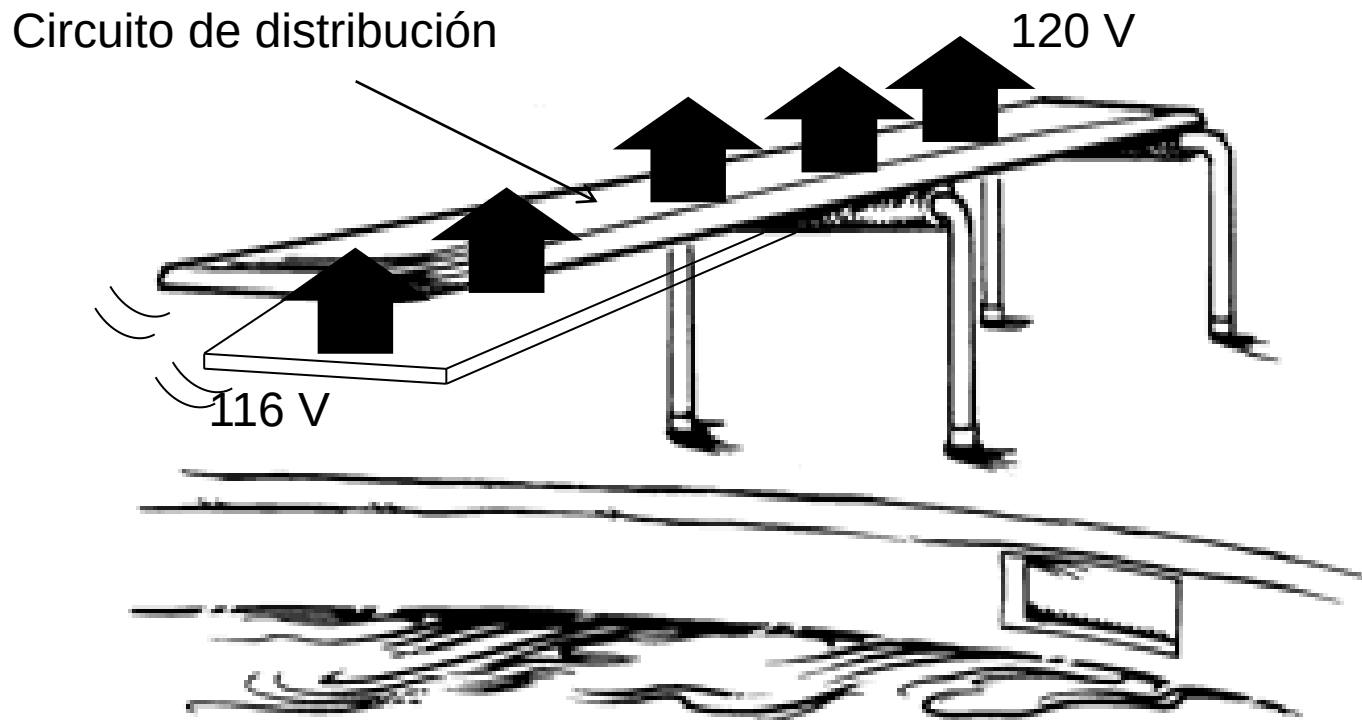


Son **recursos** conectados a **nivel de distribución** como la generación distribuida, almacenamiento de energía, eficiencia energética, vehículos eléctricos y tecnologías de gestión y respuesta de la demanda.

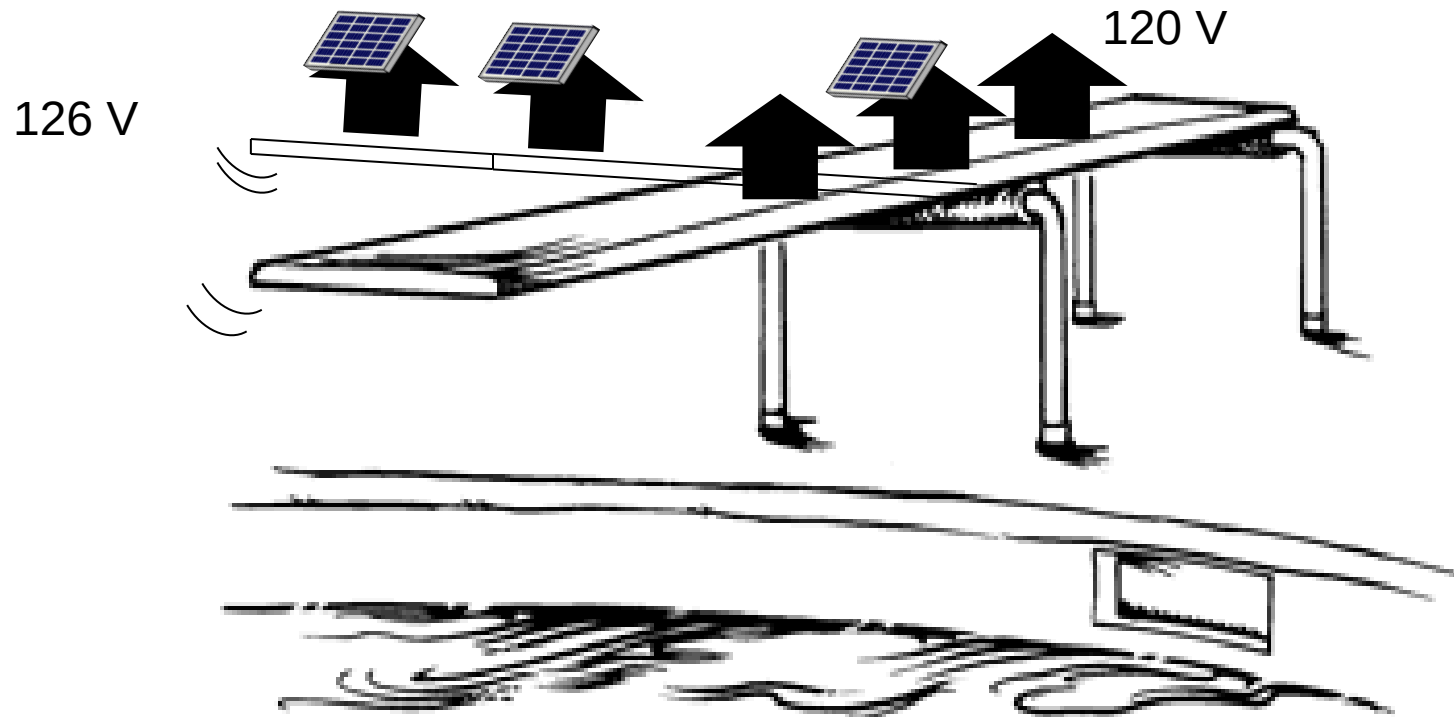
# DER y cargas flexibles



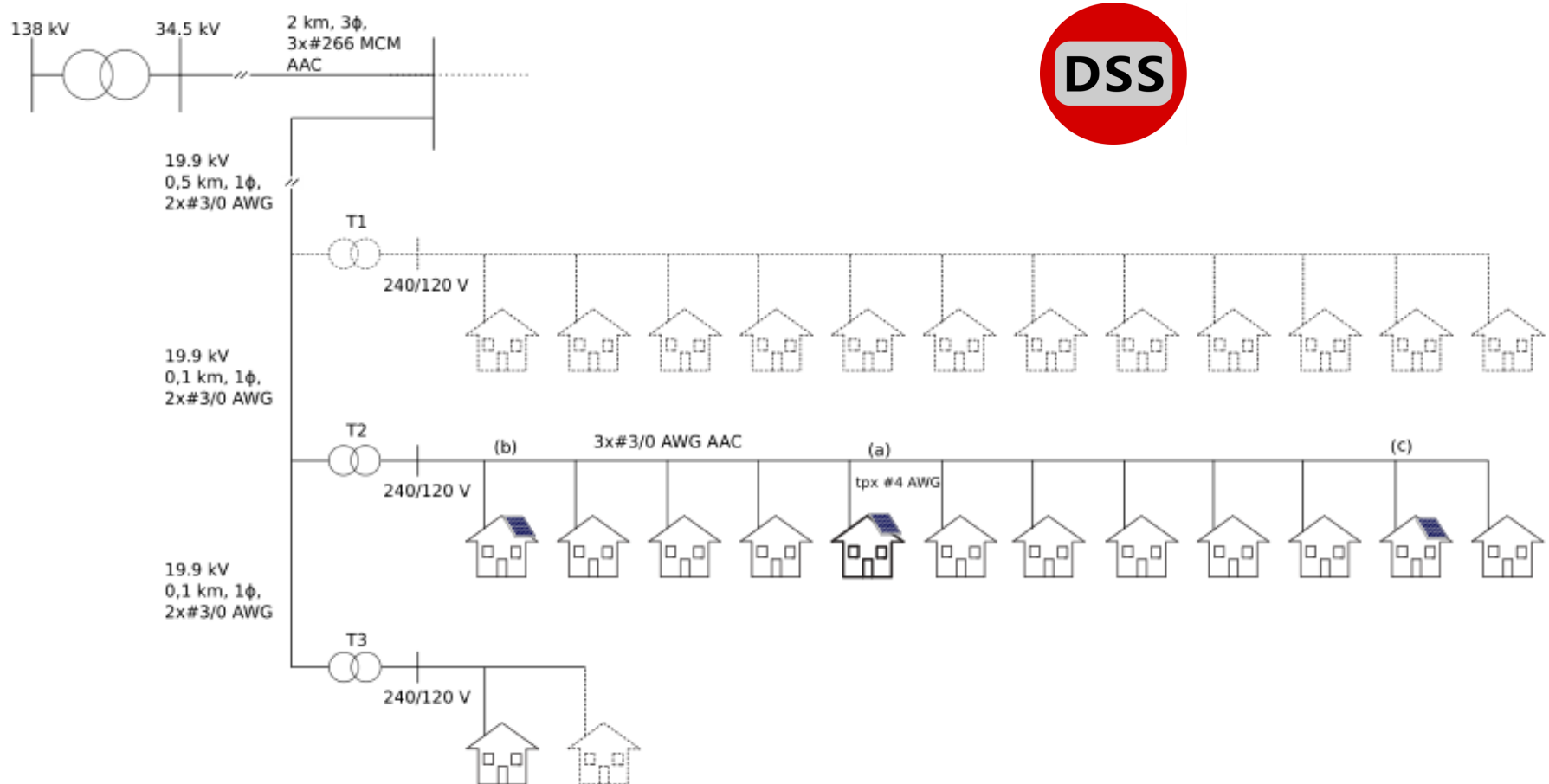
# Perfil de tensión típico en redes de distribución



# Perfil de tensión futuro en redes de distribución con GD

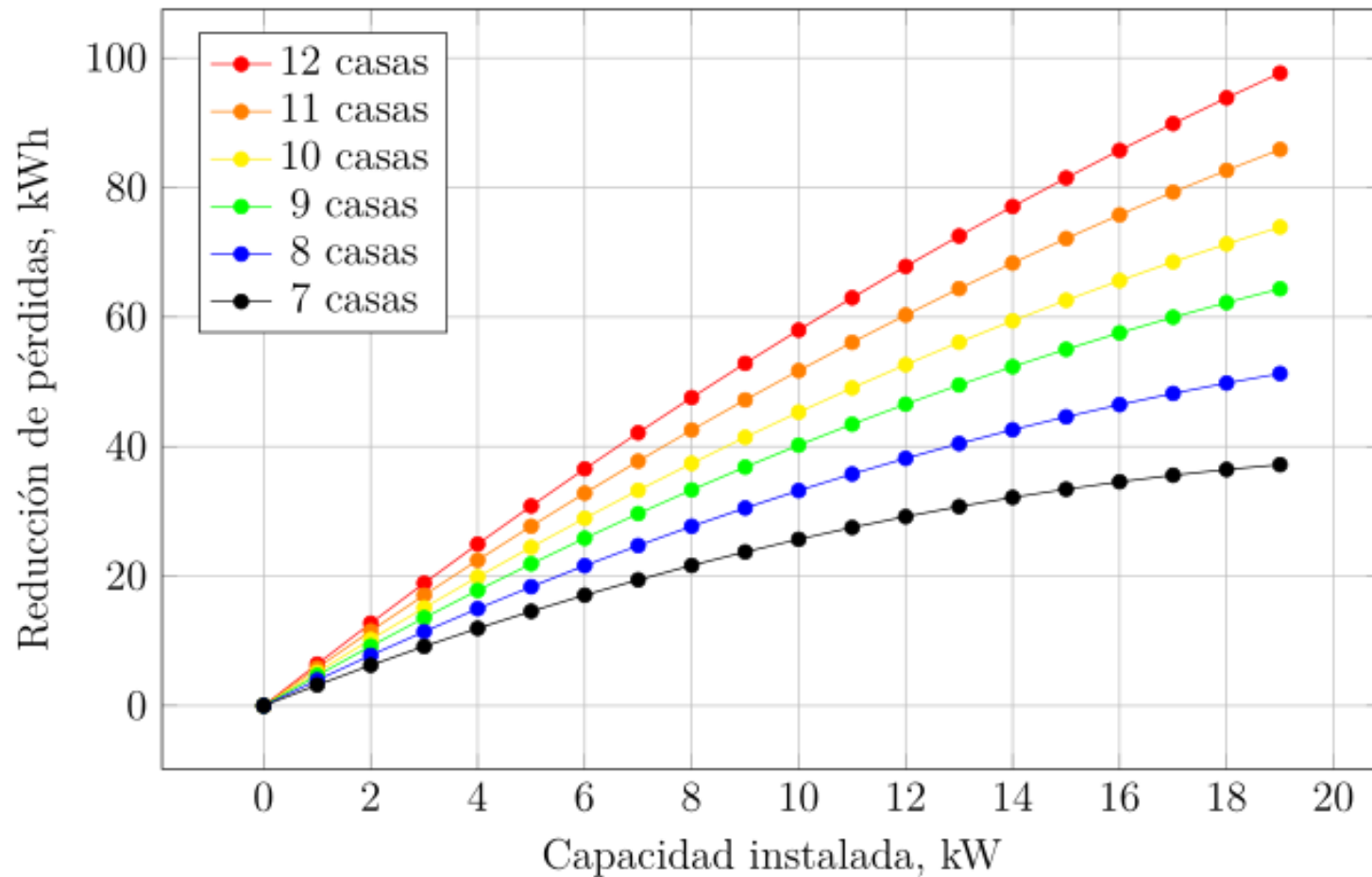


# ¿Efectos positivos inmediatos?



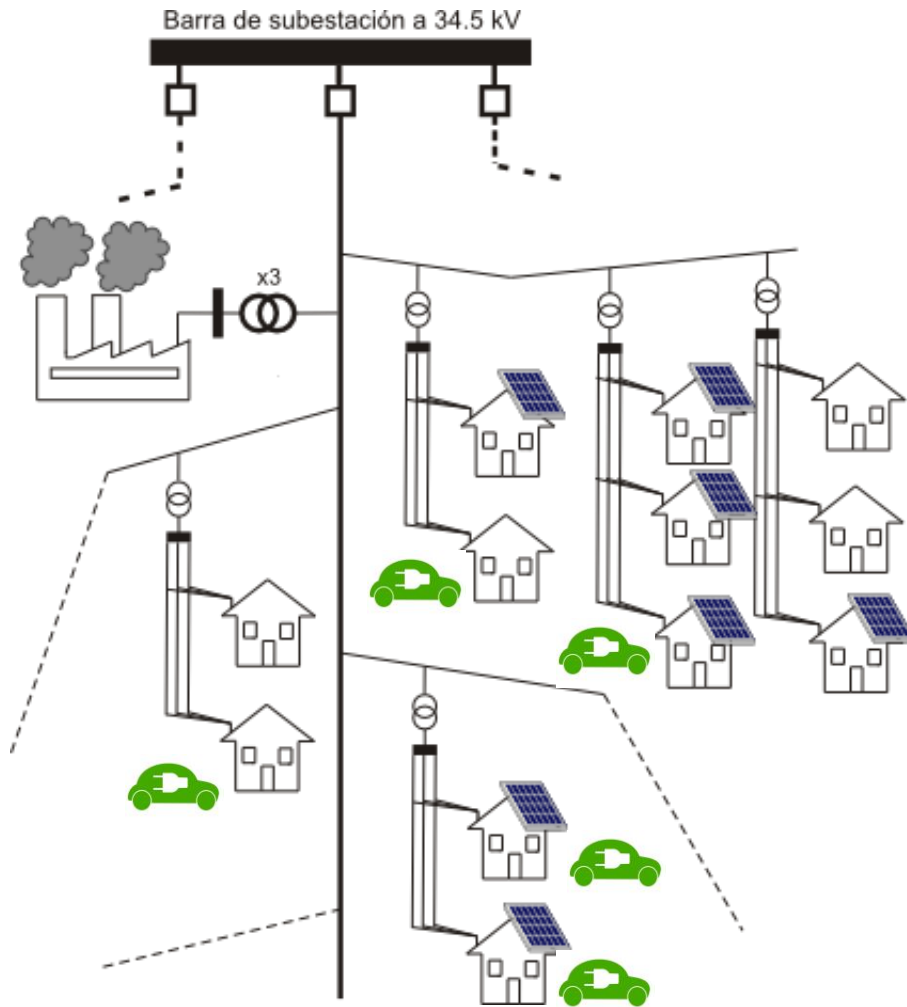
**¡Mejoramiento de perfil de tensión!**

# Reducción de pérdidas mensuales





# Impacto de alta penetración de RD



## **Aumento/reducción de tensiones**

- Quejas de usuarios
- Daño a equipo de clientes

## **Sobrecarga de transformadores**

- En el caso de ausencia de gestión de conexión de VEs

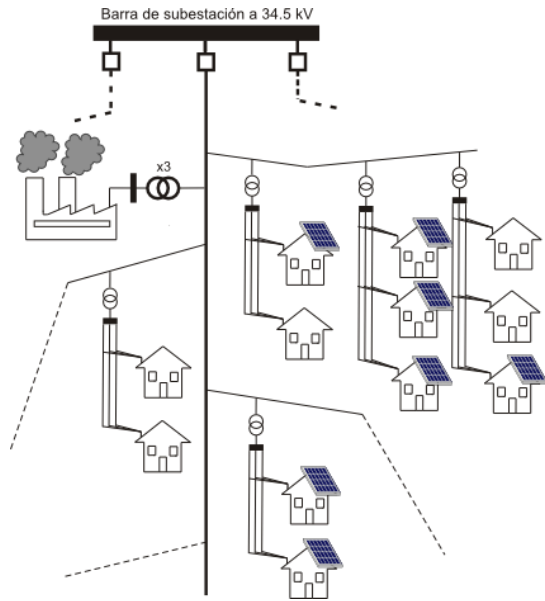
## **Fluctuación de tensión**

- Flicker (parpadeo)
- Mayor uso de reguladores de tensión en la red

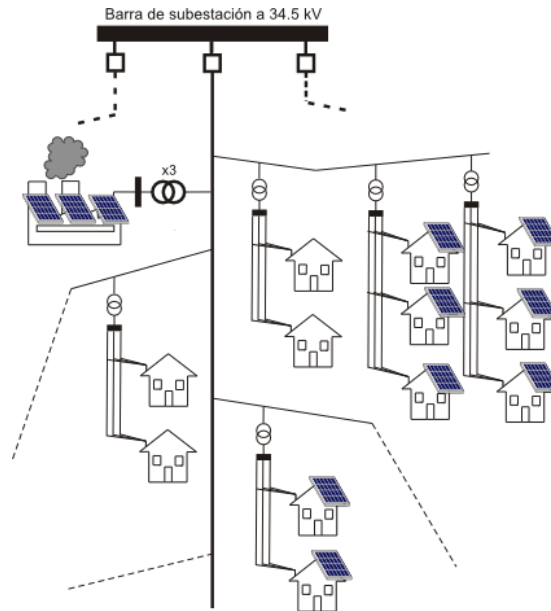
## **Aumento de corriente de falla**

- Cambio de equipo de protección

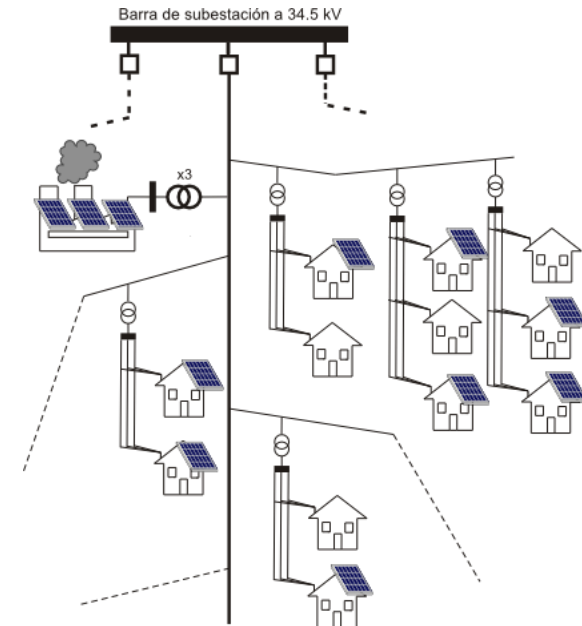
# Localización futura es incierta



¿Será así?

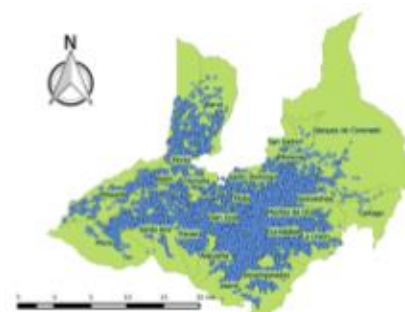
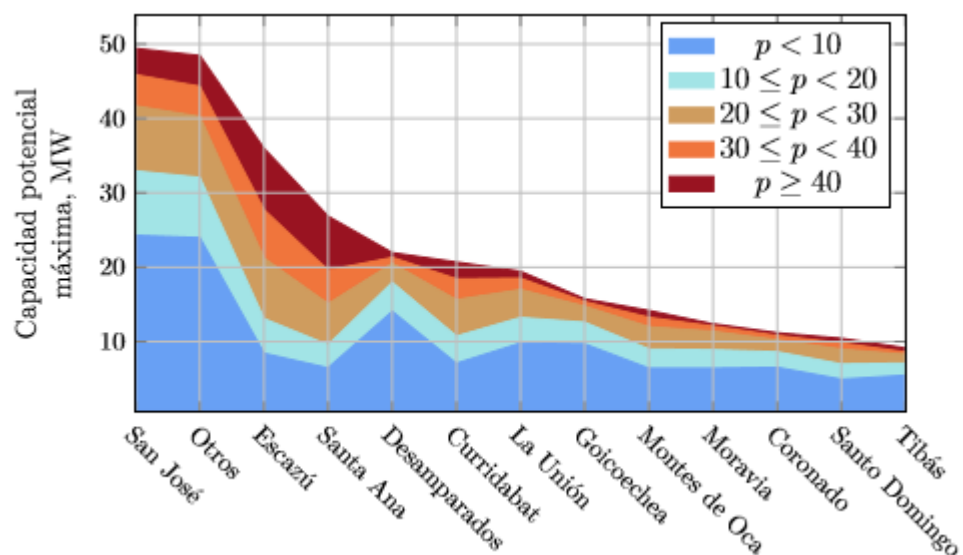
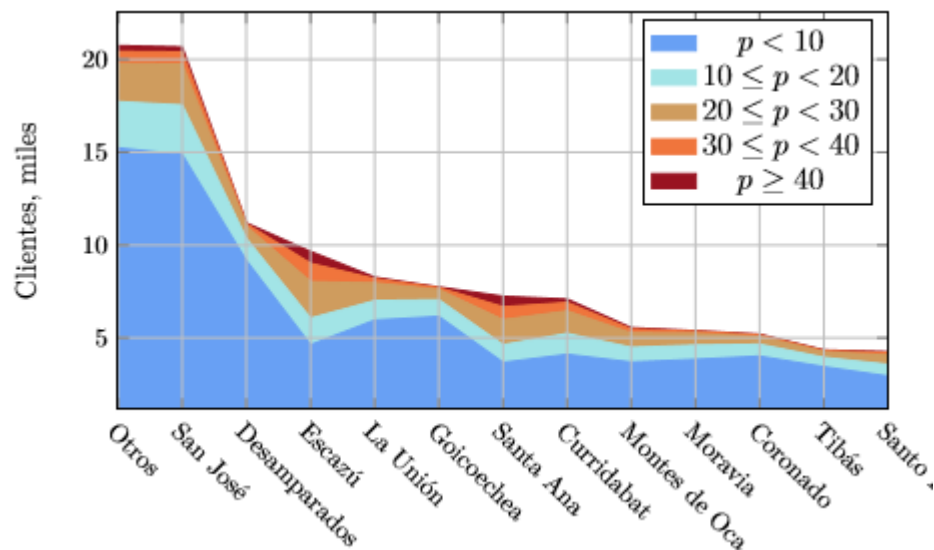


¿Tal vez así?



¿O más bien así?

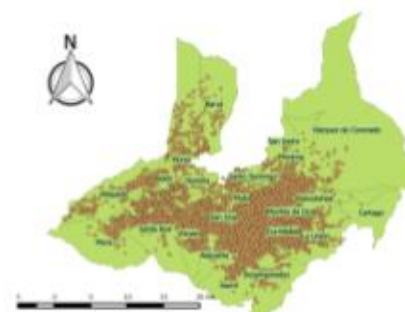
# ¿Dónde, cuáles y cuántos clientes podrían instalar?



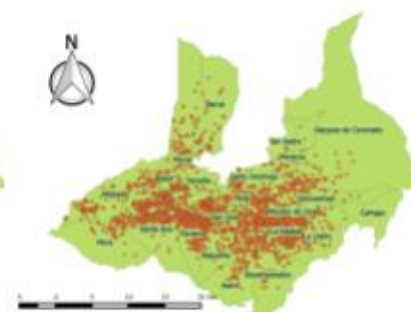
(a) Probabilidad menor a 10 %



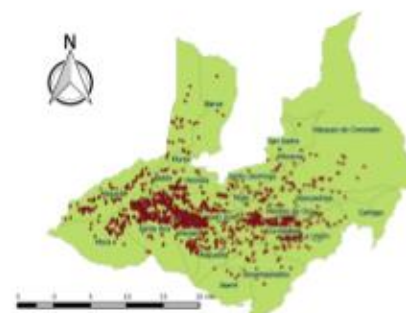
(b) Probabilidad entre 10 % y 20 %



(c) Probabilidad entre 20 % y 30 %



(d) Probabilidad entre 30 % y 40 %

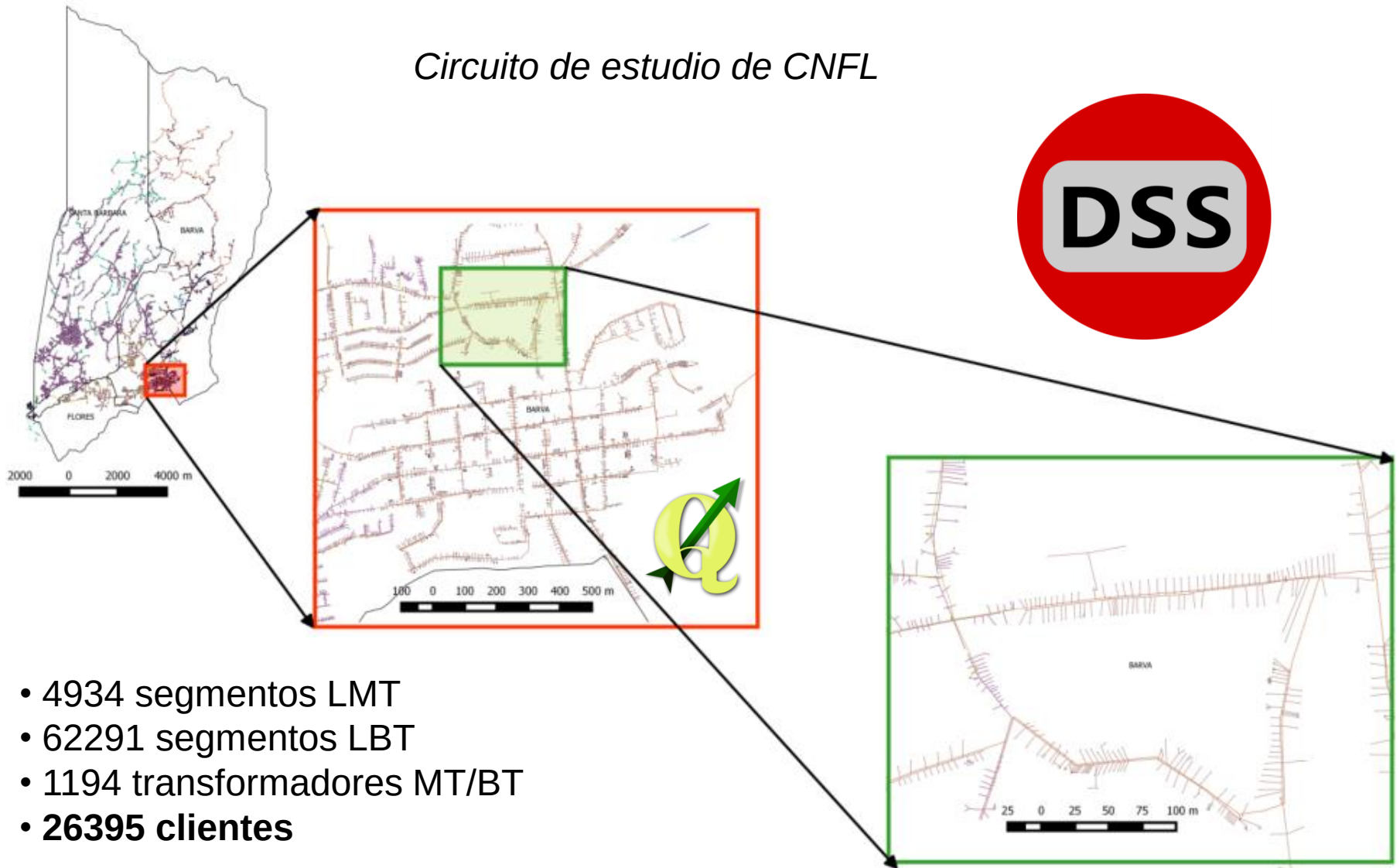


(e) Probabilidad más de 40 %

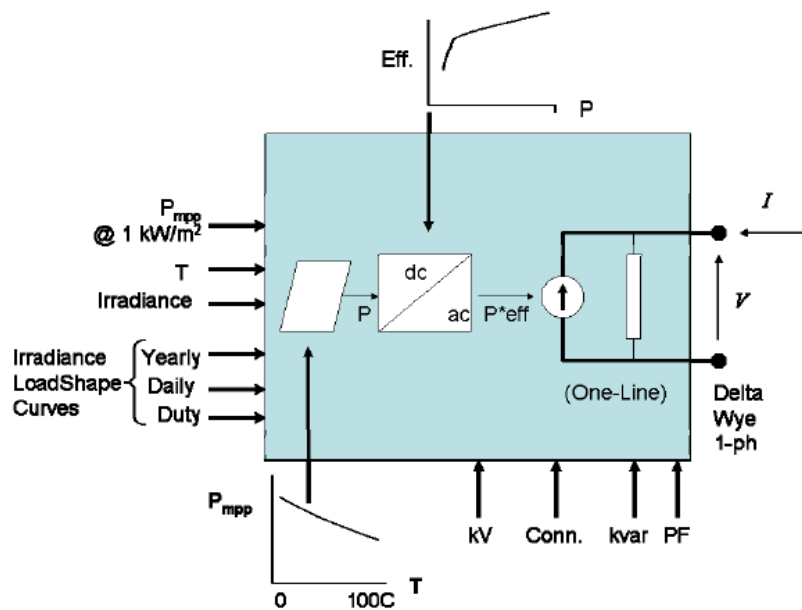
# Estudios realizados

## Integración masiva de GD

## *Circuito de estudio de CNFL*

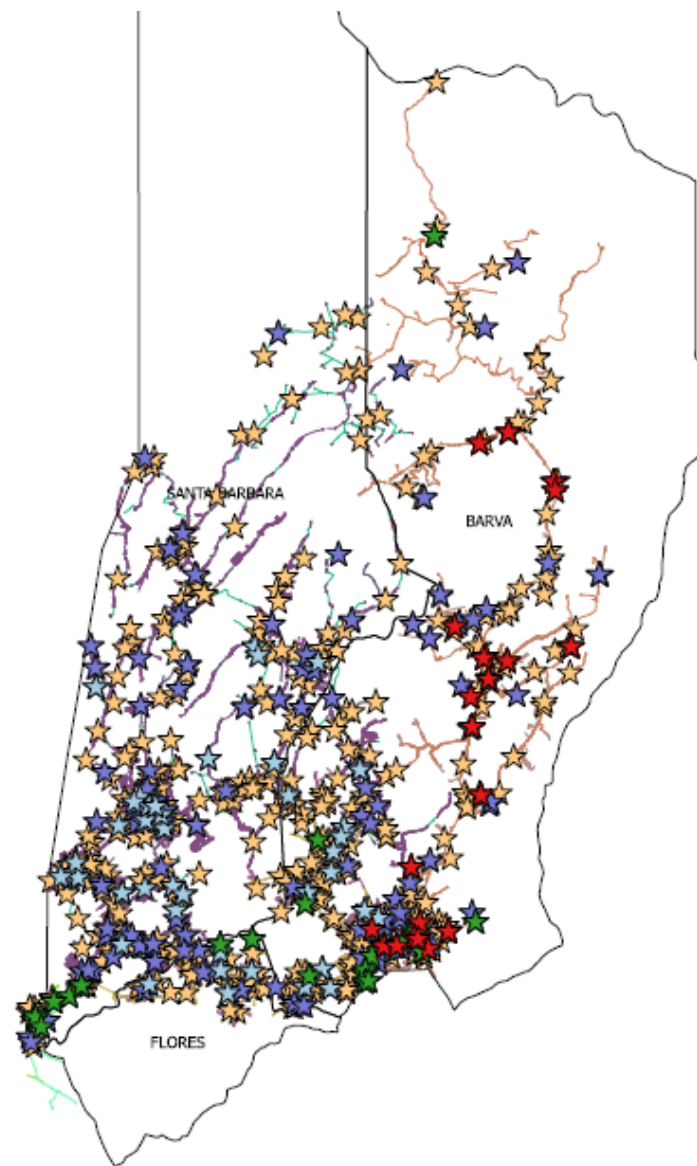
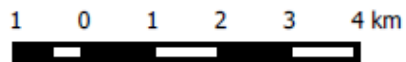


- 4934 segmentos LMT
- 62291 segmentos LBT
- 1194 transformadores MT/BT
- **26395 clientes**



## Integración de sistemas fotovoltaicos

- ★ PV500
- ★ PV1000
- ★ PV2000
- ★ PV4000
- ★ PV8000



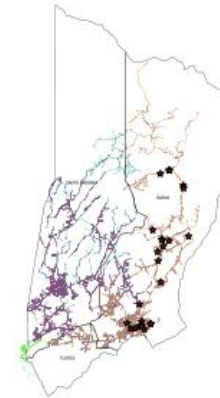
# Simulaciones Monte Carlo – 8000 casos estudiados

Penetración desde 500 kW hasta 8000 kW

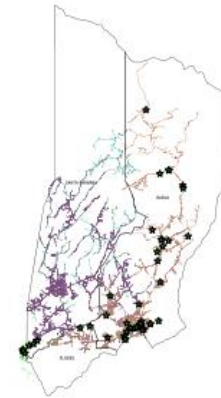
Para cada nivel de penetración se estudian 500 localizaciones de los FVs

Se evaluaron:

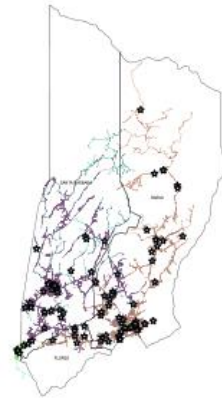
- Reducción de pérdidas
- Desbalance en la red
- Sobretensiones
- Sobrecargas



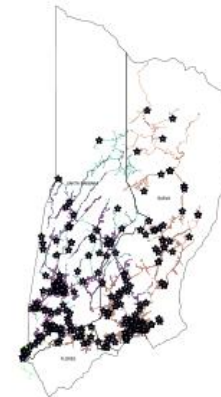
(a) 500 kW.



(b) 1000 kW.



(c) 2000 kW.



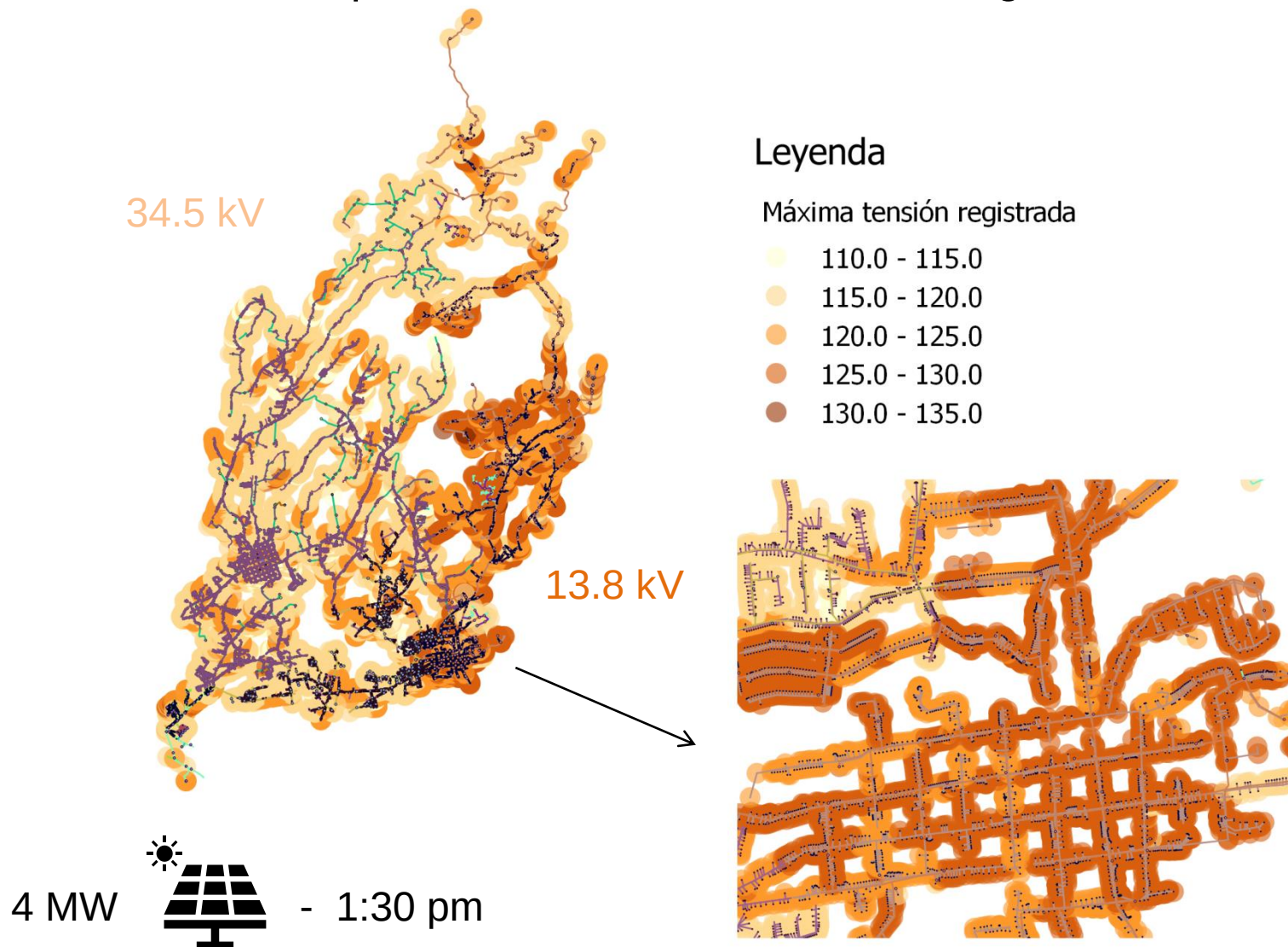
(d) 4000 kW.



(e) 8000 kW.

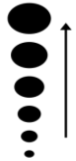


¿Cuáles zonas se impactarán más ante eventual integración masiva de GD?





# Severidad de impactos de GD depende de:



Cantidad de kW instalados (nivel de penetración)



**Localización de sistemas GD**



Características eléctricas y topológicas de la red  
(circuitos urbanos muy diferentes de rurales)



Hora del día

# Herramientas de simulación en SIG



QGIS Run OpenDSS

Choose the circuit  
san\_rafael

Name of circuit's first bus  
BUSMVAAG1

Choose saved data path  
C:\Results\_QGISPython

Define number of simulations  
For power flows

Define frequency (Hz)  
60

Define voltage (kV)  
230

Define the angle (degrees)  
0

Enter short circuit MVA (3ph)  
4025

Enter short circuit MVA (1ph)  
4521

Choose load shape  
pn\_fecha\_y\_hora.csv

☒ Main transformer  
Transformer voltages (kV)  
230 34.5 Tertiary

☐ Tertiary

Transformer connections  
Estrella Estrella Estrella

Transformer power (kVAs)  
30000 30000 Tertiary

Transformer reactances (%)  
6 High-Tert. Tert.-Low

Transformer loss (%)  
1 0.5

Transformer Tap  
High 10  
1 1.10 0.90

☒ Instant power flow  
Define simulation date  
25/05/2014

Define simulation hour  
18:00

☐ Daily power flow  
Define simulation date  
dd/mm/yyyy

☐ Annual power flow  
Define simulation resolution  
Minutes (default 60min = 1h)

☐ Short Circuit  
Short Circuit Bus

☐ Harmonics  
Number of harmonics (i.e. 9)

OK  
Cancel

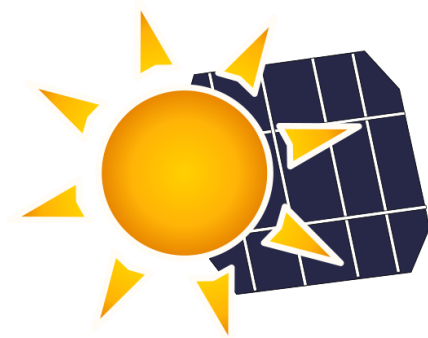
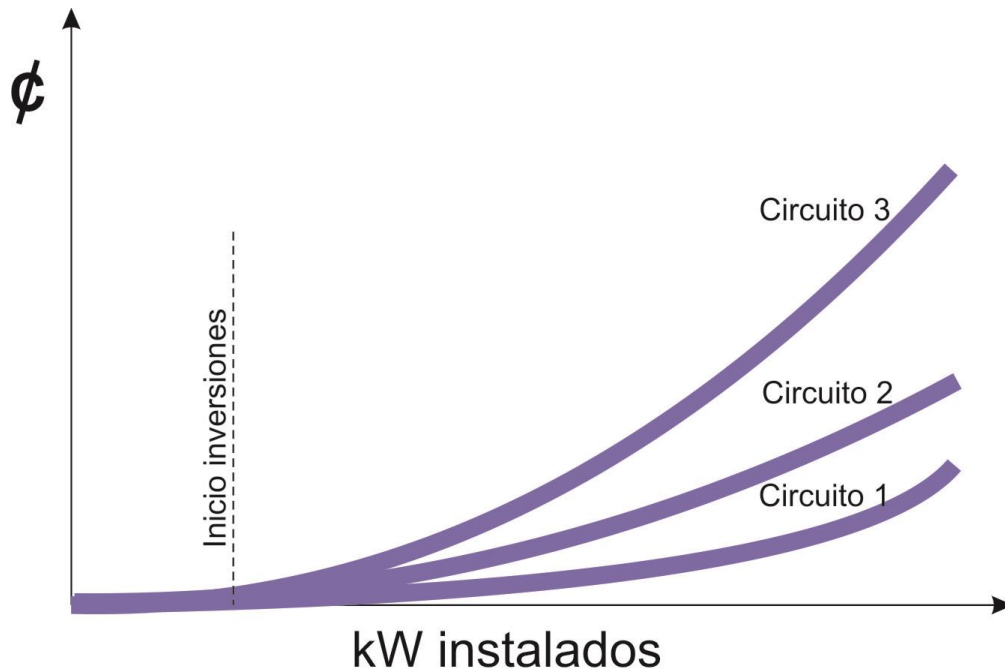
# Capacidad de alojamiento

## Más allá del 15%

# Capacidad de alojamiento en circuitos

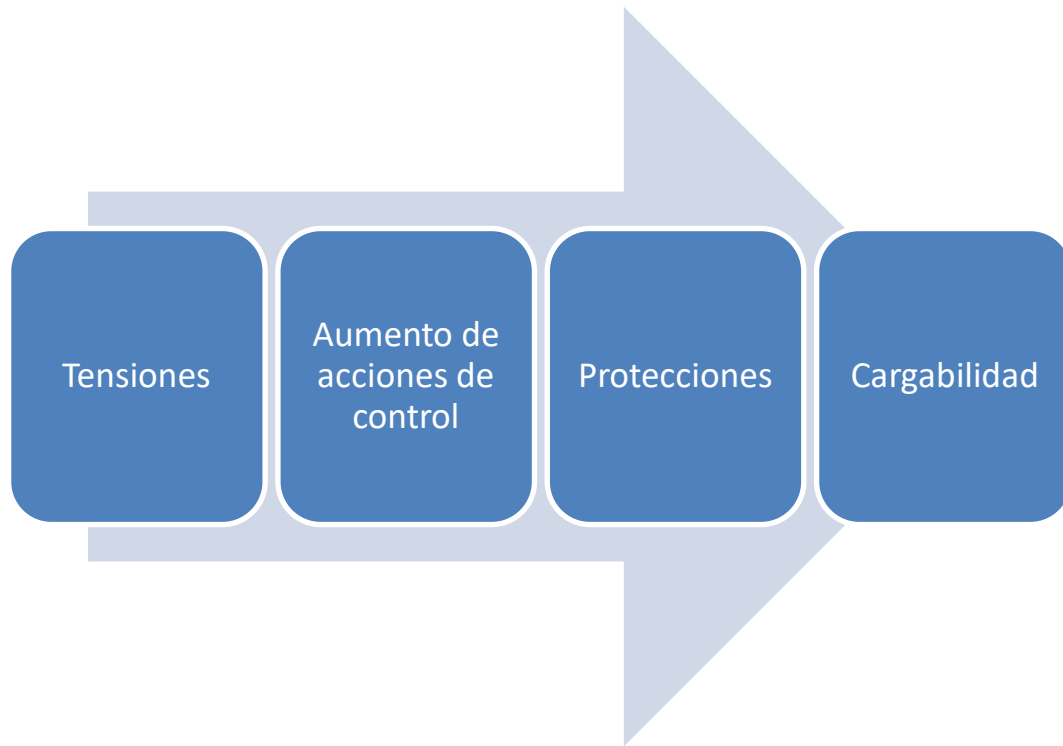
Alta penetración es de interés cuando:

- afecta el desempeño y confiabilidad de la red eléctrica
- costo de mitigación o adecuación sean altos ... *¿Quién paga la cuenta?*



# Capacidad de alojamiento (CA)

Cantidad de GD que se pueden instalar en un circuito de distribución sin impactar la calidad y confiabilidad del servicio eléctrico y **sin requerir adecuaciones de la red**



---

**Usos** Estudios expeditos de interconexión

---

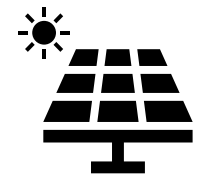
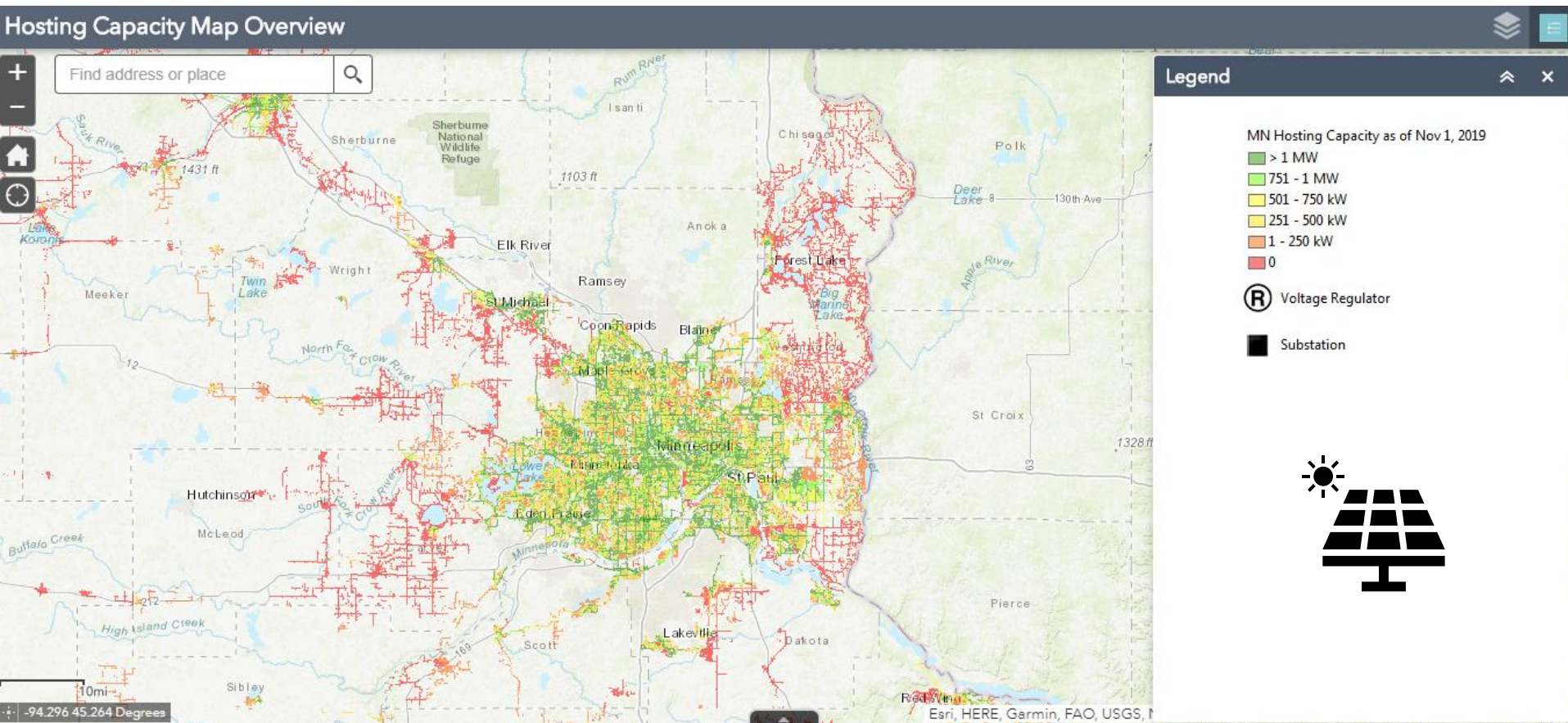
Usuarios con más información donde sí y donde no.

---

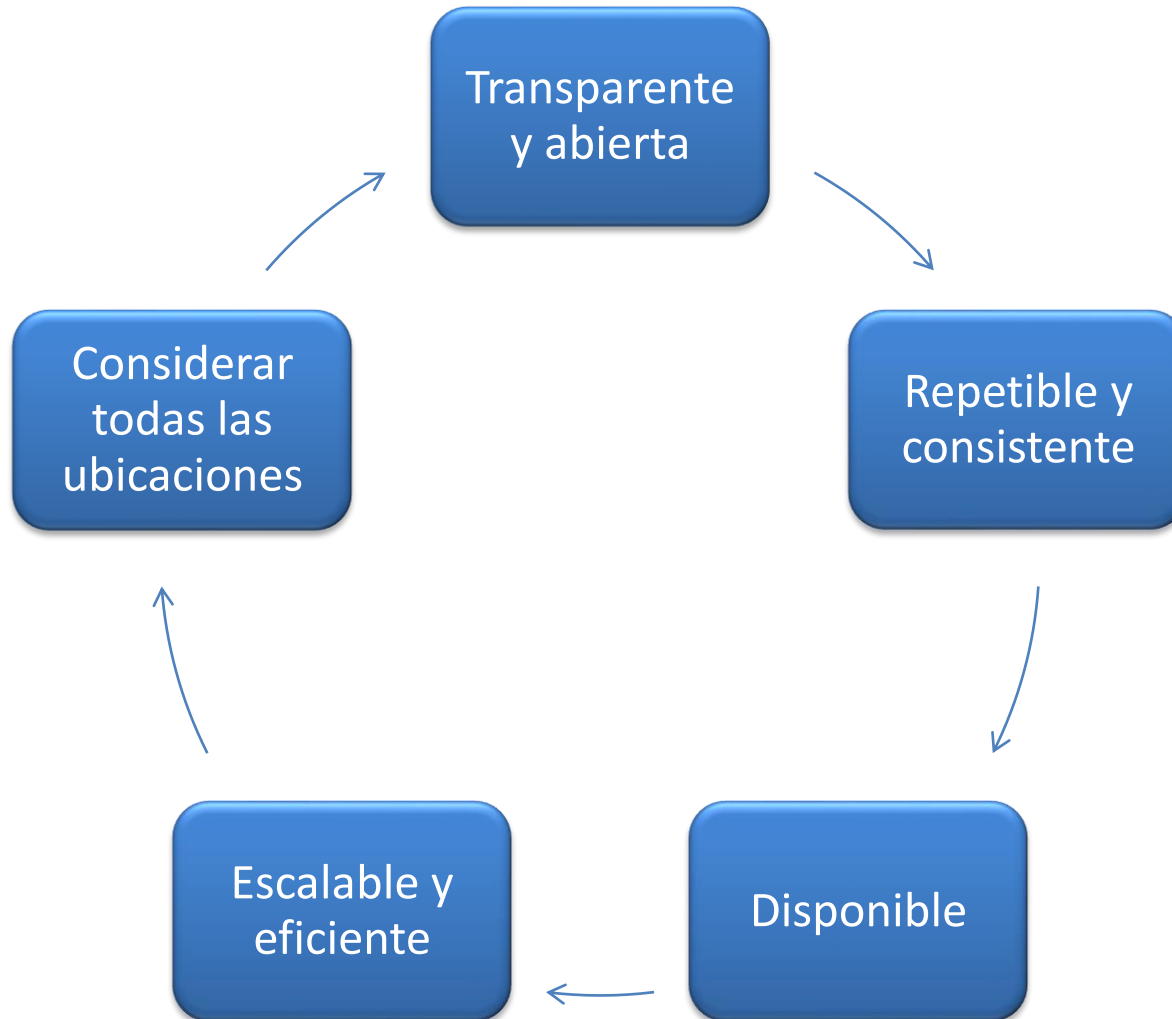
Publicación de mapas sobre CA

---

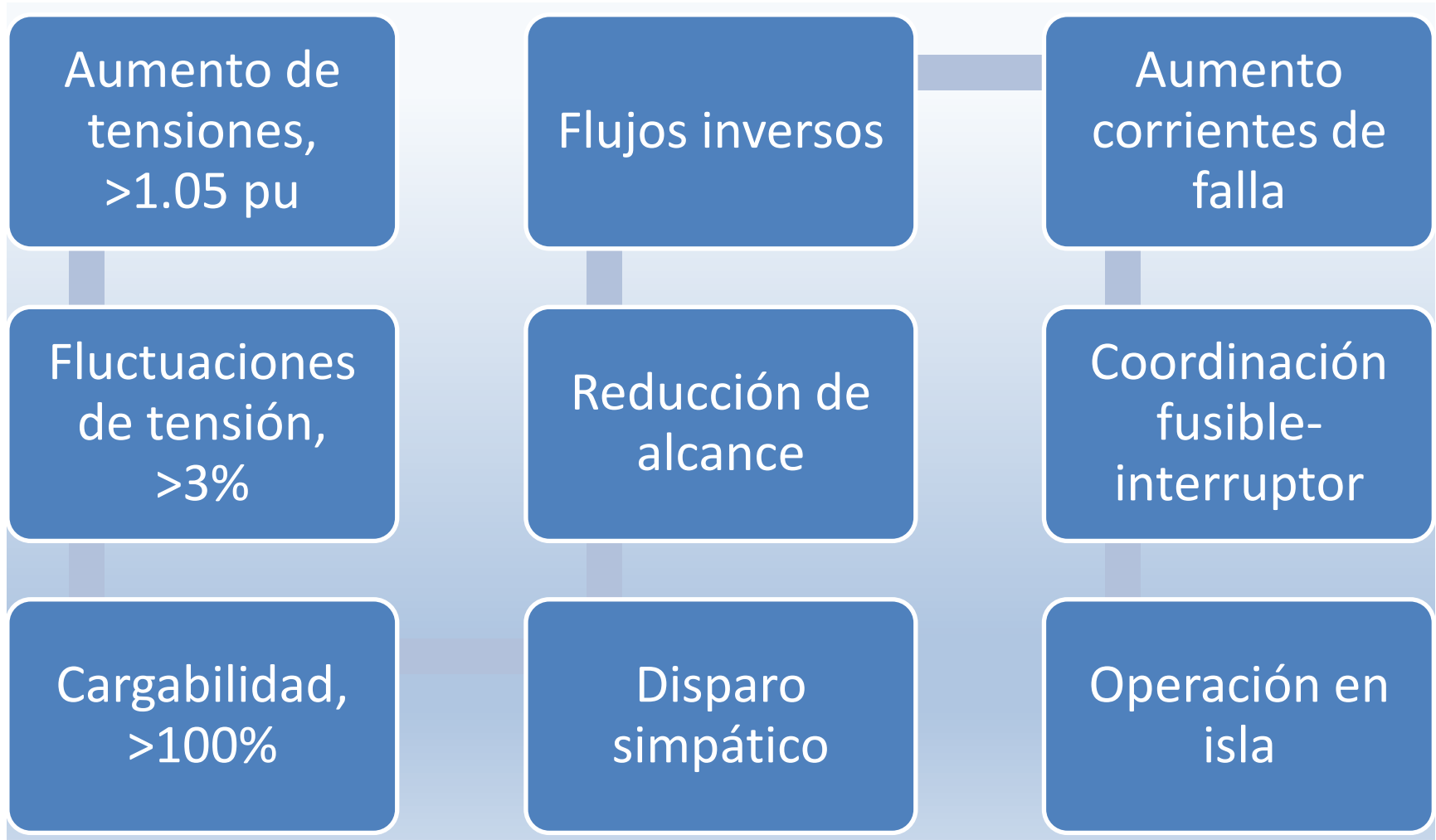
# Mapas de capacidad de alojamiento



# Metodología estimación CA



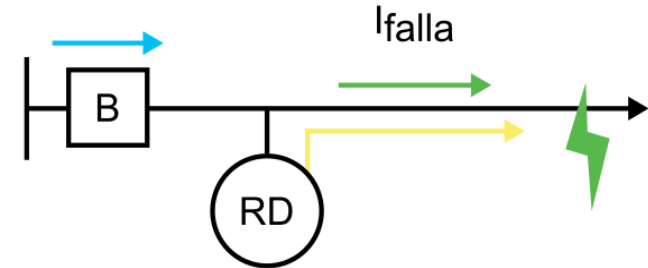
# Criterios para determinación CA



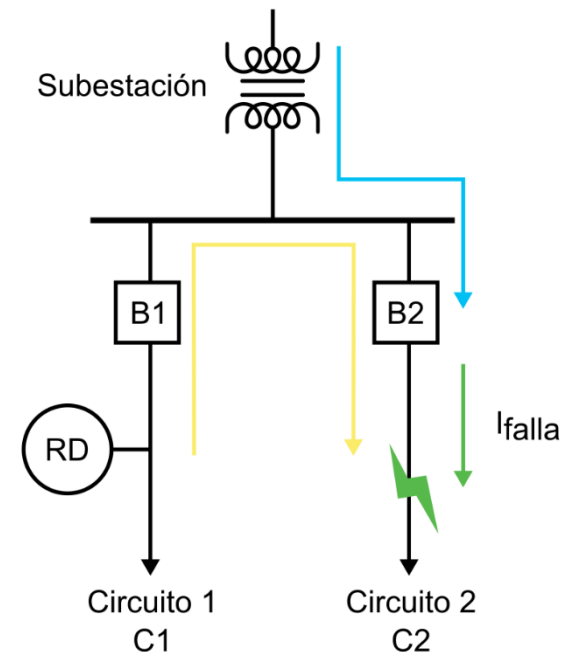


# Criterios para determinación CA

***Reducción de alcance***

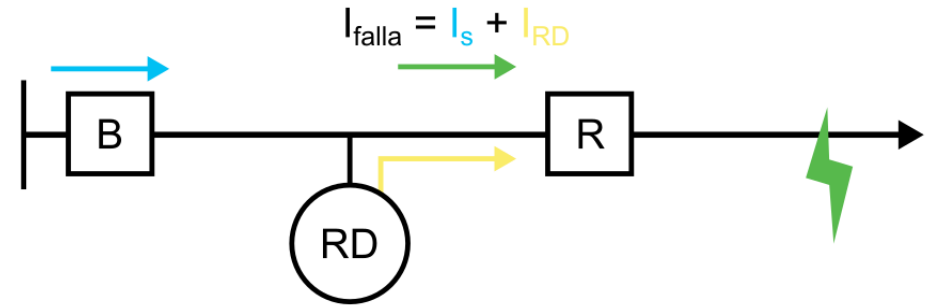


***Disparo simpático***

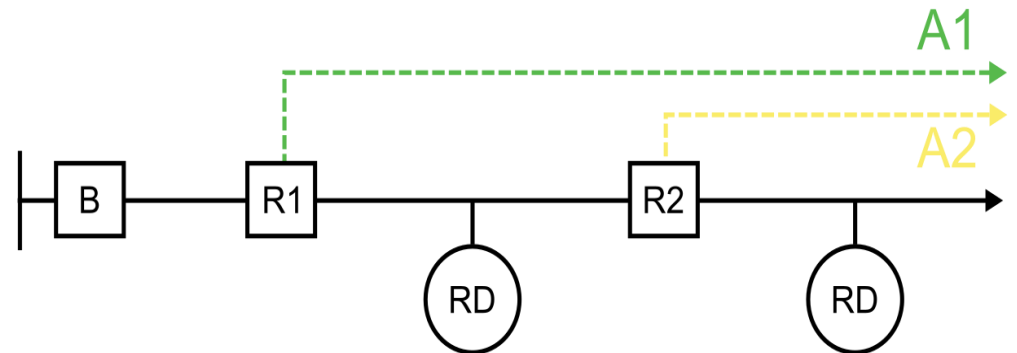


# Criterios para determinación CA

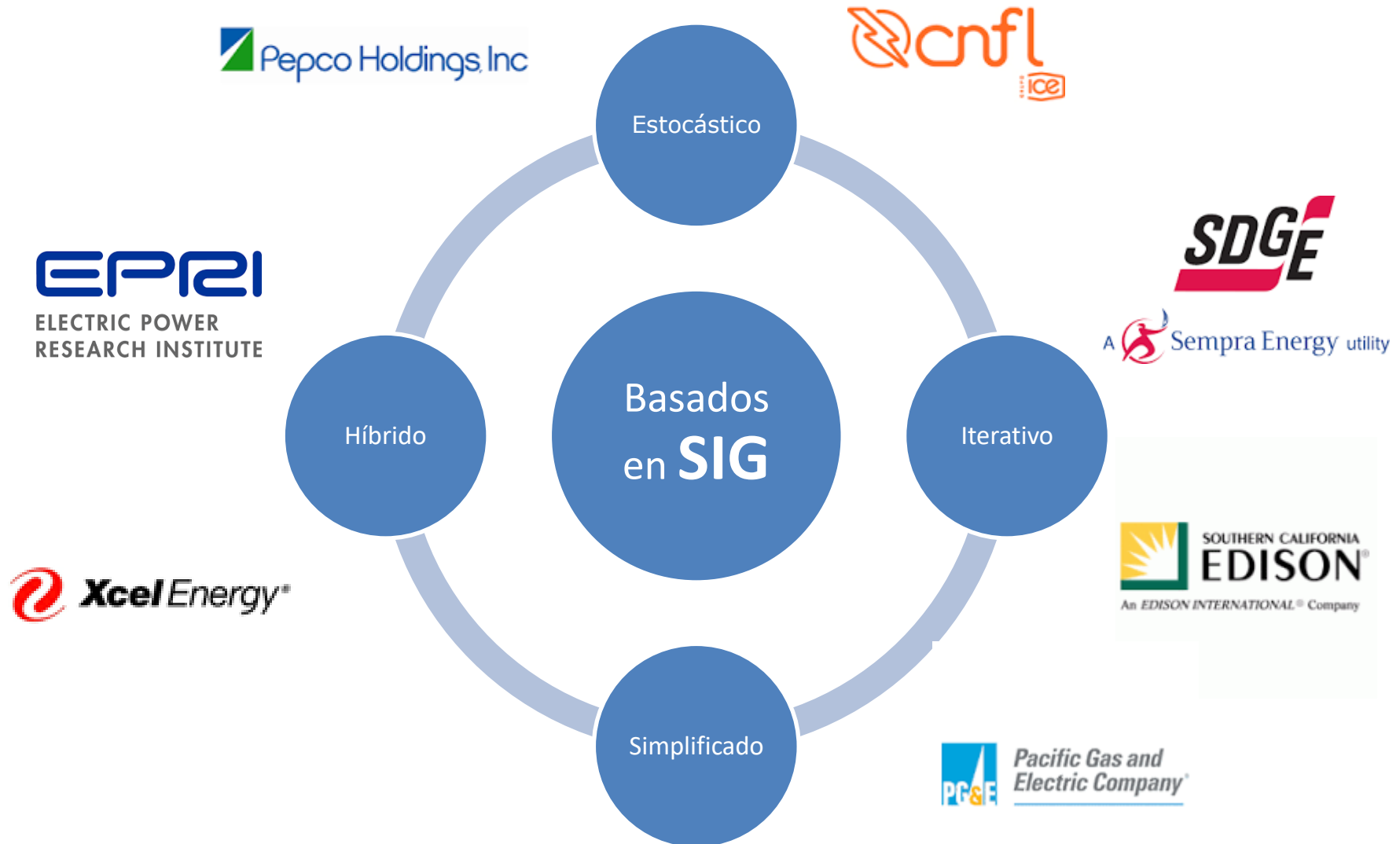
***Aumento  $I$  falla***



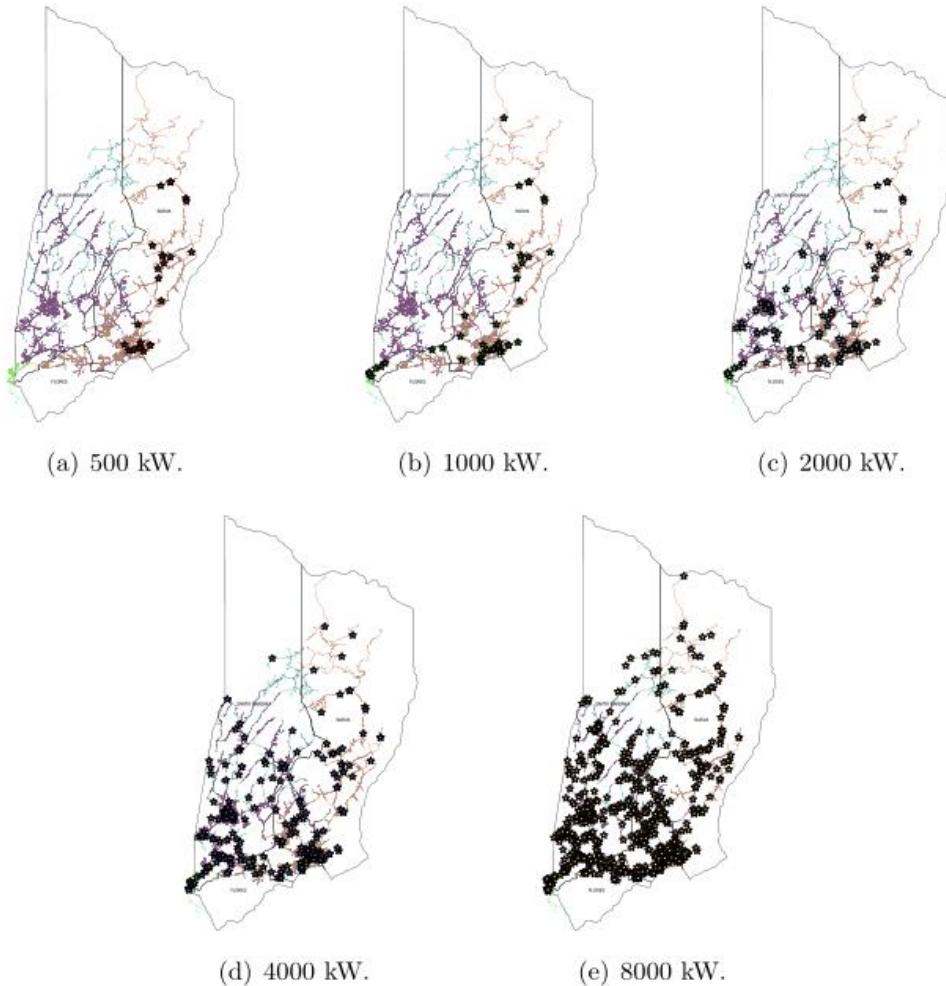
***Operación Isla***



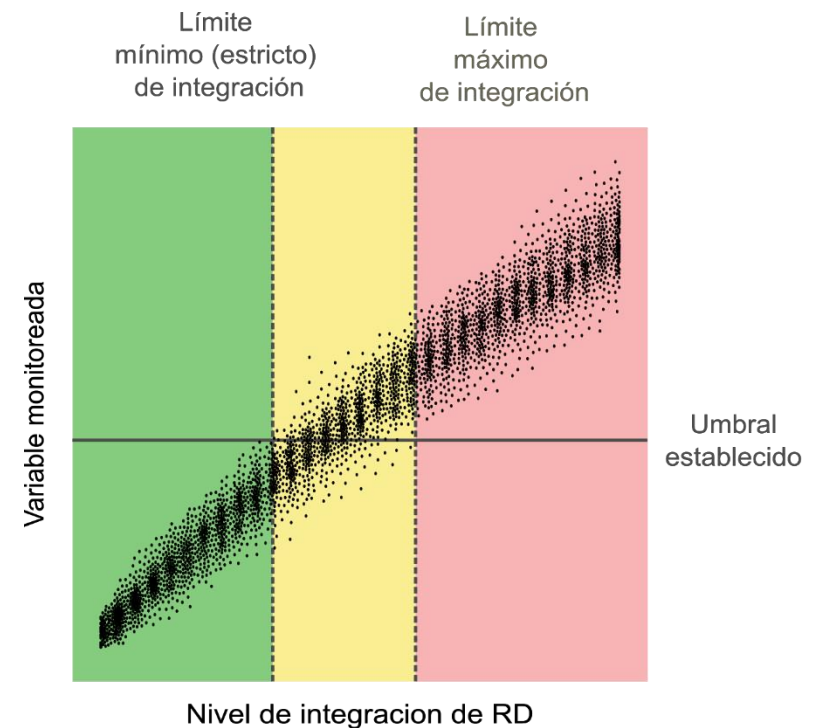
# Metodologías estimación CA



# Método estocástico

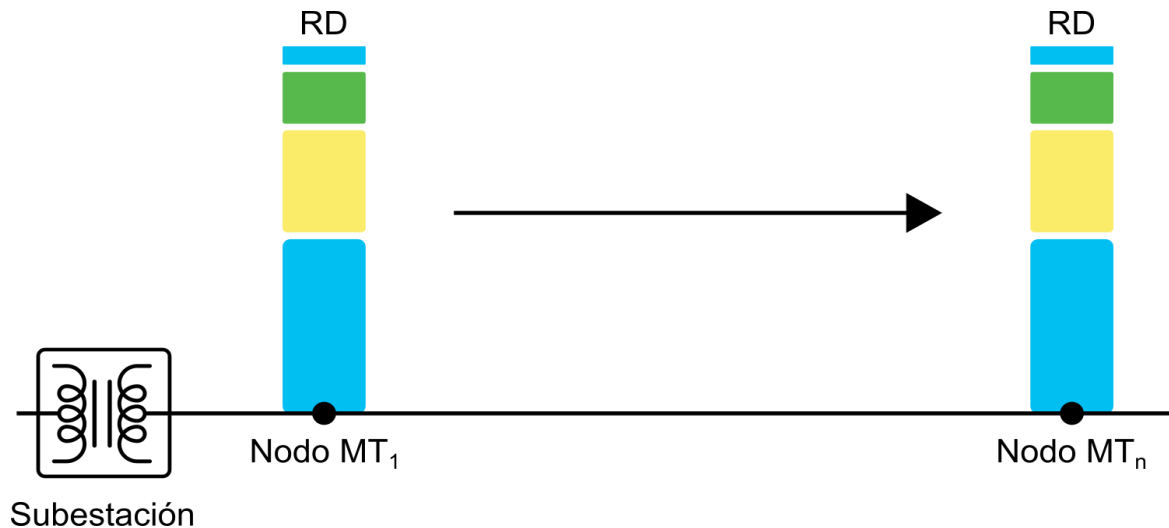


Alta demanda computacional  
y tiempos de ejecución



# Método iterativo

- Solo se analiza MT trifásico
- **Ideal** para análisis de **GD de gran escala**
- Se analizar 576 escenarios de carga/generación (2 días/mes, 24 horas)
- Se evalúa un nodo a la vez. No se analiza instalación simultánea en varios nodos
- Para cada incremento de RD se evalúan los criterios de CA



# Método simplificado

- Solo se analiza MT
- Considerado como método heurístico (sin simulaciones explícitas de los RD en circuito)
- Basado en ecuaciones y un flujo de potencia inicial (se consideran 576 escenarios)
- Presenta deficiencias de exactitud particularmente en circuitos con topologías complejas.

## Determinación CA por tensiones altas en MT

$$kW_{limit} = \frac{|1.05 - V_n^{pu}| V_{LL}^2}{(R \cdot PF_{DER} + X \cdot \sin(\cos^{-1}(PF_{DER})))} PF_{DER}$$

# Método híbrido de EPRI

**DRIVE** Basado en 2 niveles de carga  
Solo se consideran condiciones extremas para evitar demanda computacional del Simplificado e Iterativo.

Gran escala centralizado

Gran escala distribuido

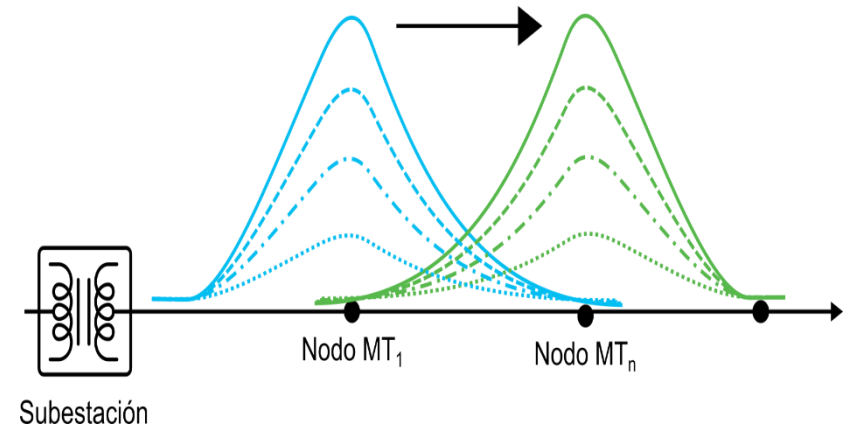
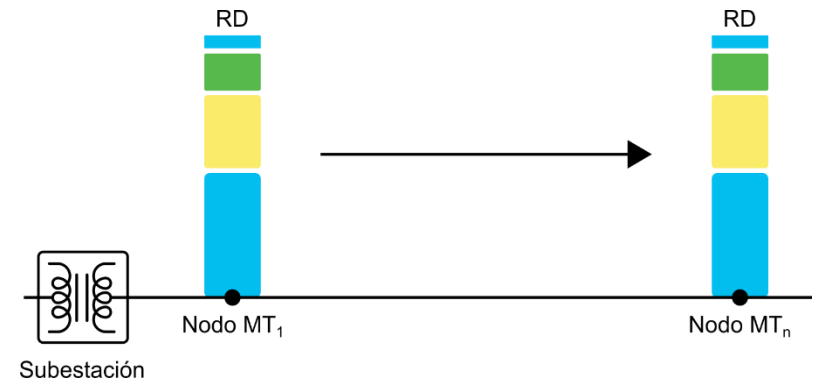
**Pequeña escala distribuido**

**No se analizan impactos en BT**

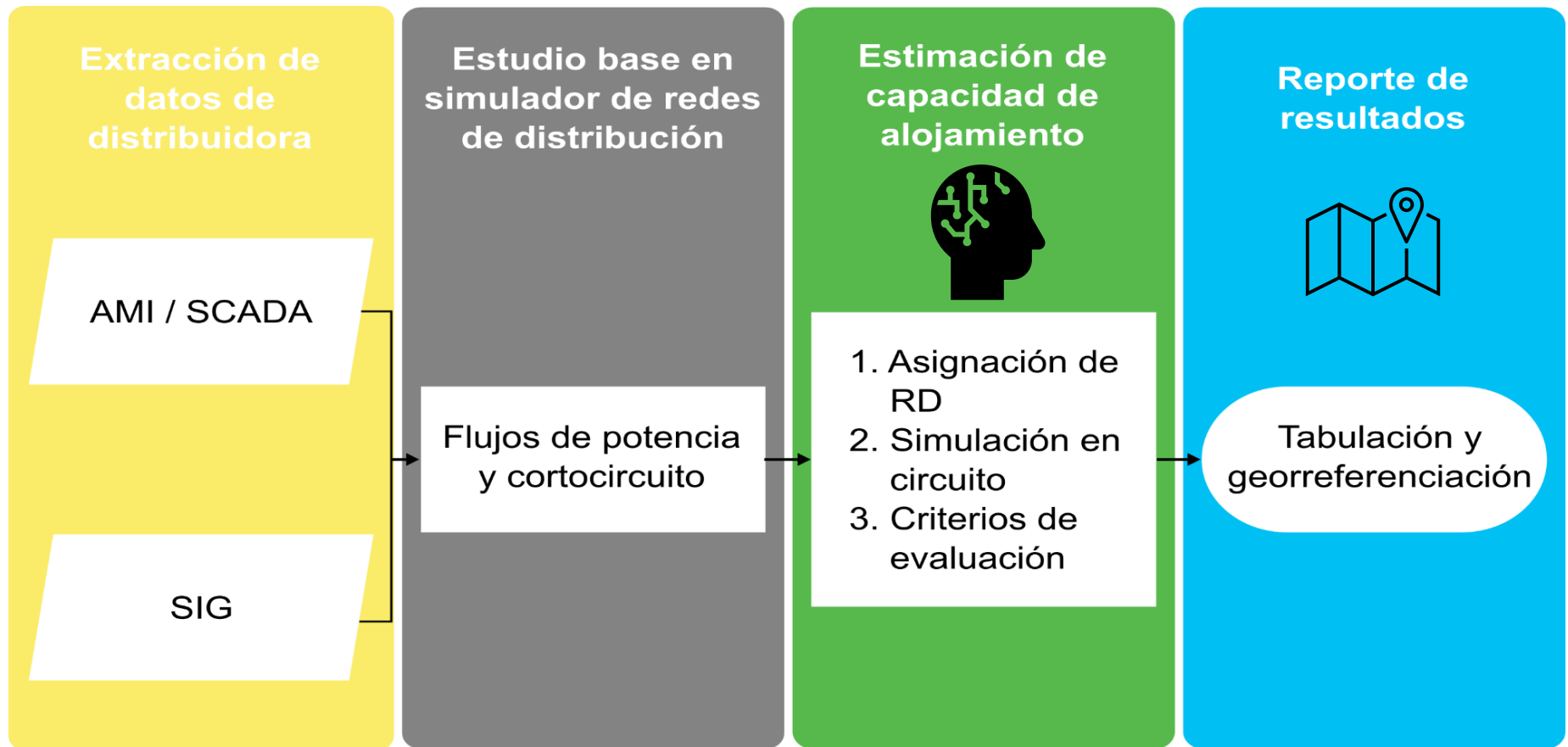
Método no es del todo transparente

No realiza simulaciones de los RD en el circuito

Basado en ecuaciones y método heurístico



# Propuesta para nuestra realidad

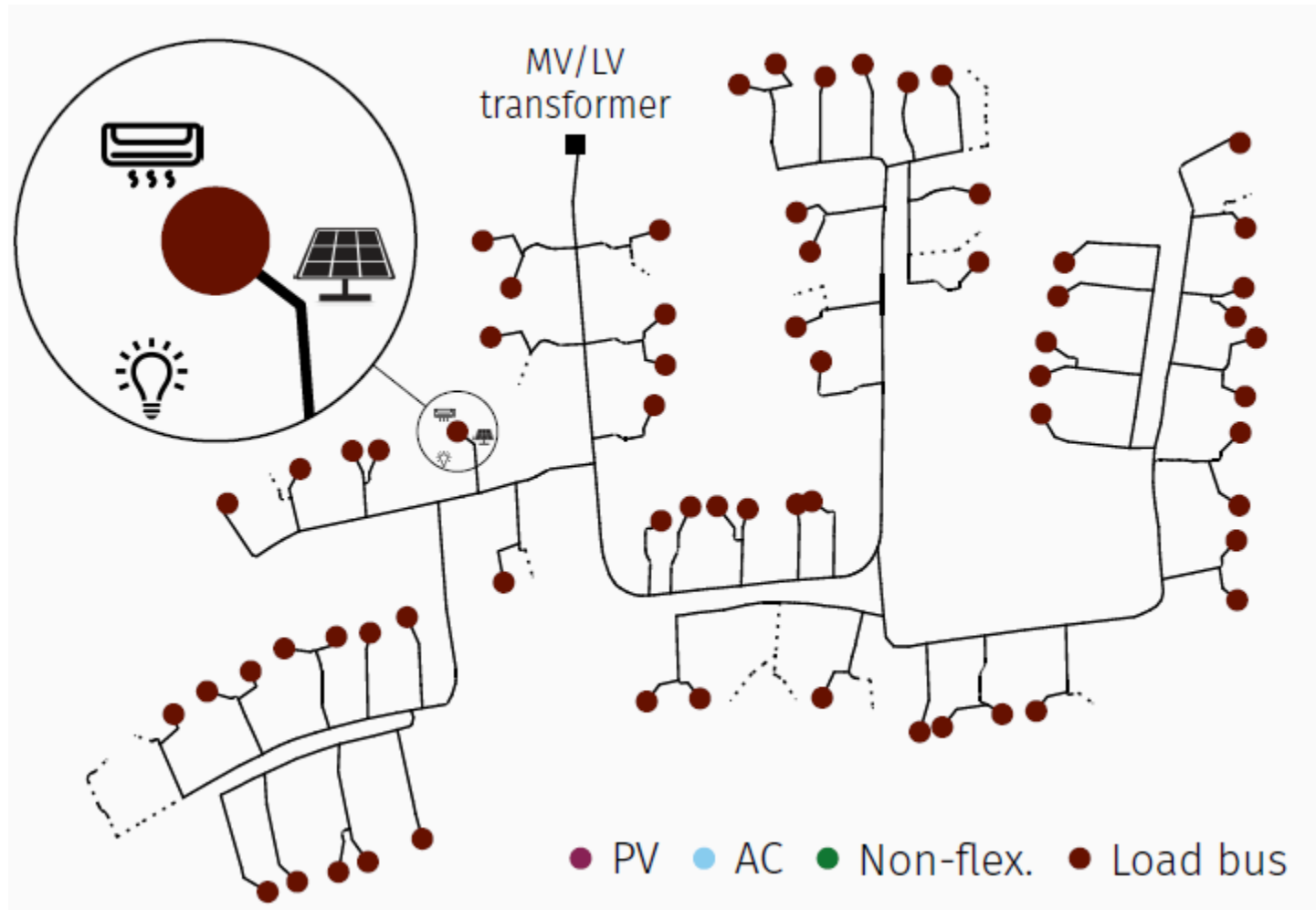




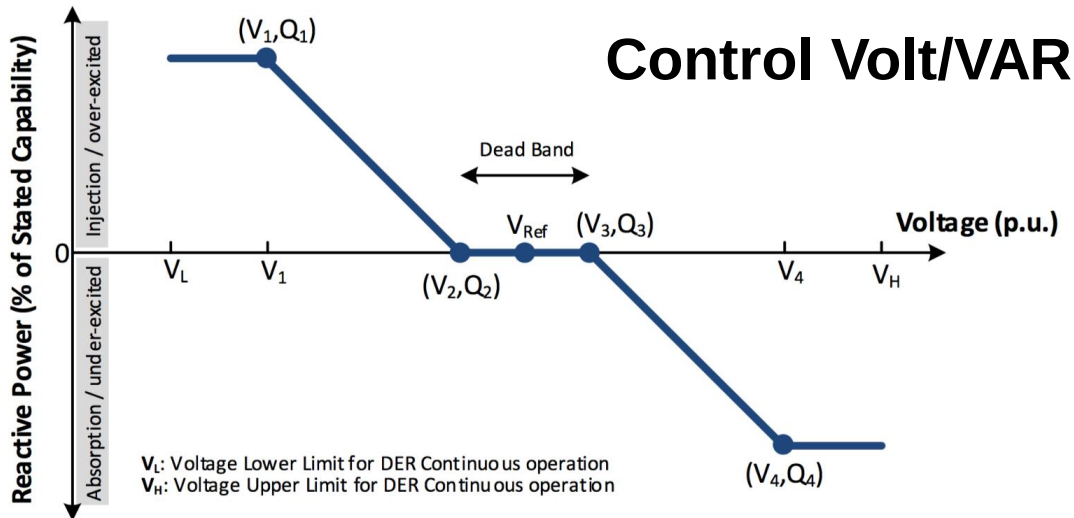
# Oportunidades de Control

## RD al servicio de la red

# Muchos recursos y oportunidades

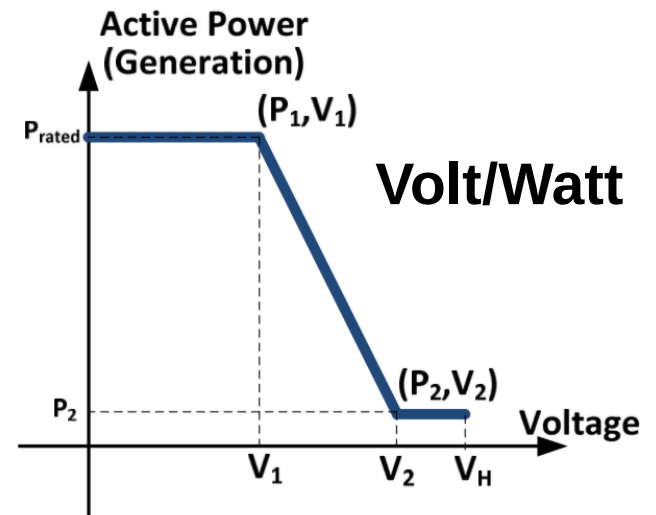


# Control de tensión con inversores

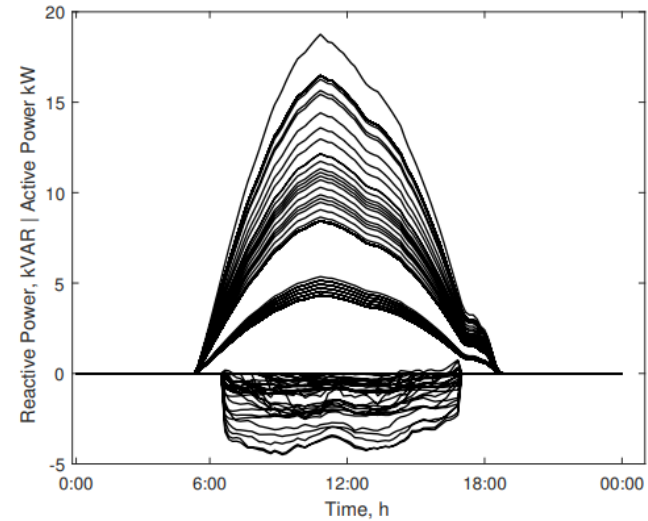
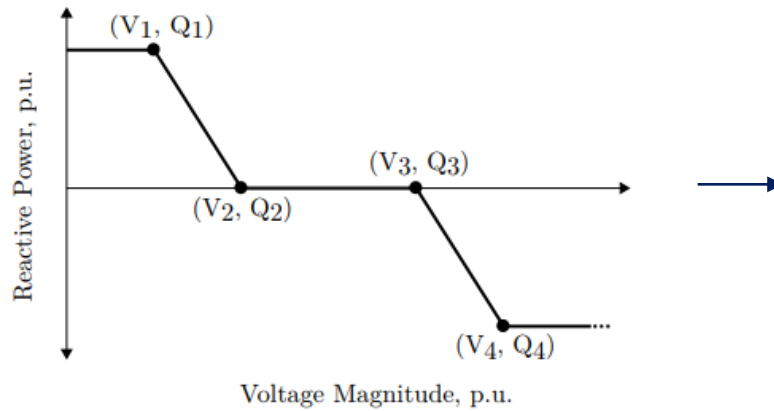


El control **Volt/VAR** consiste en cambiar la potencia reactiva de salida del inversor ante cambios en la tensión.

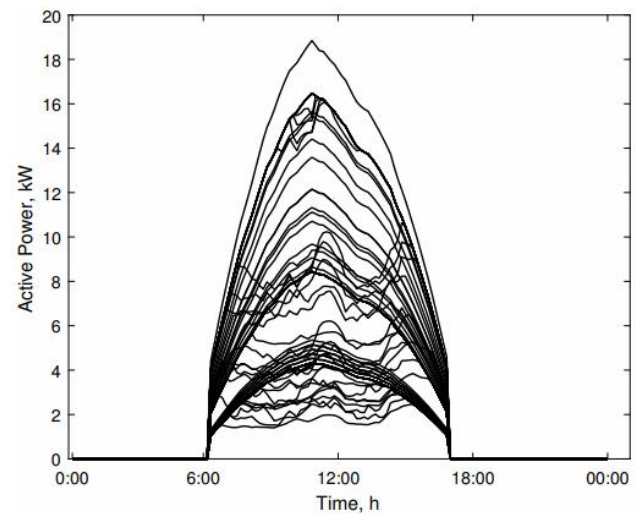
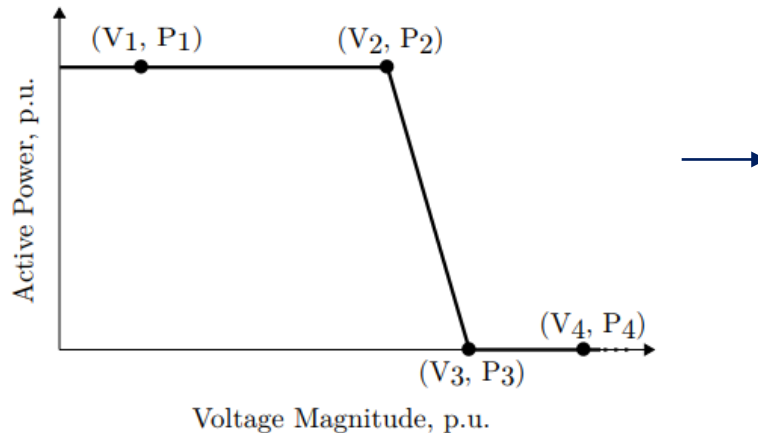
Control **Volt/Watt** se usa para mitigar aumentos de tensión por medio del recorte de potencia activa.



# Uso de inversores inteligentes

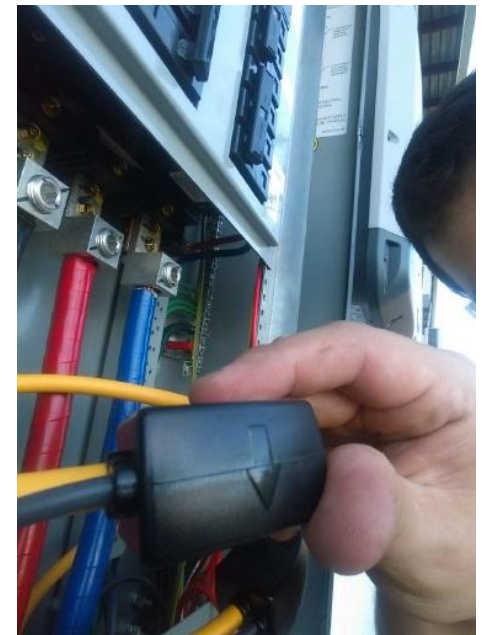
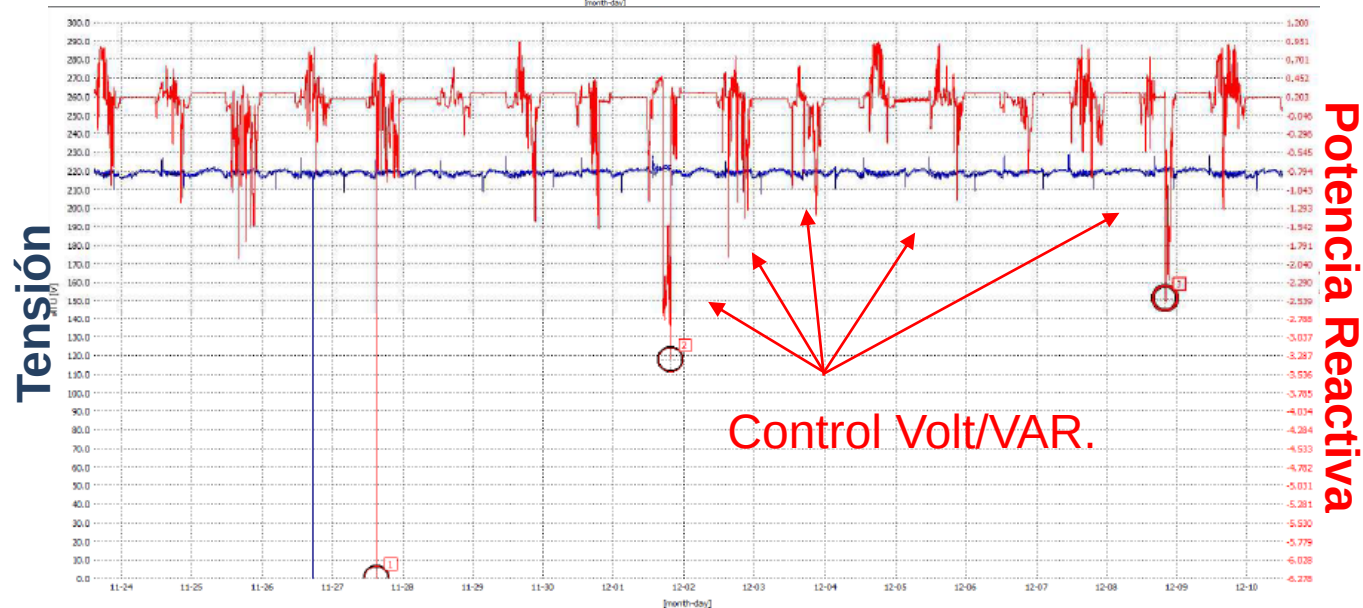
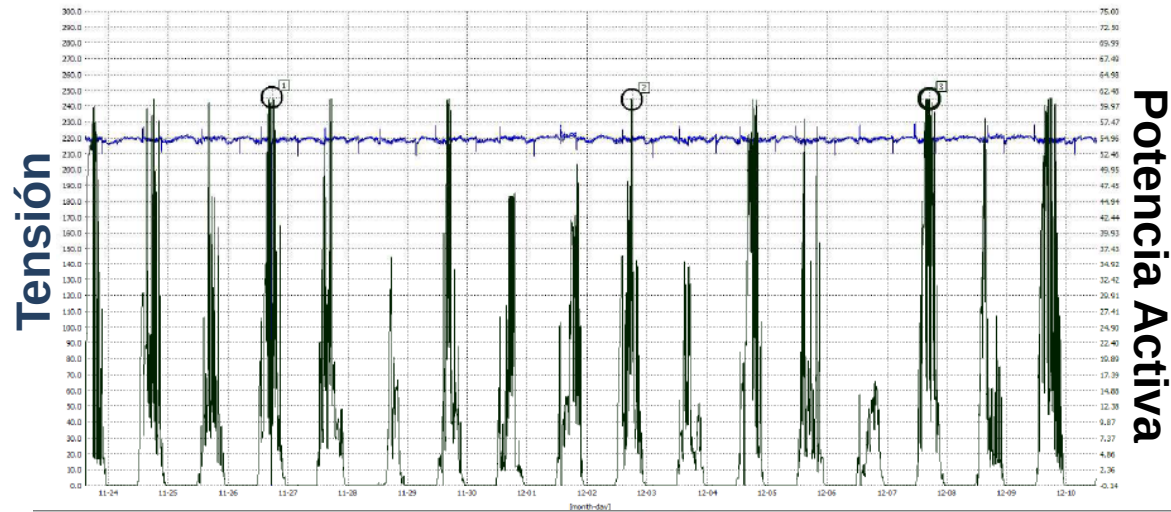


**Volt/VAR**

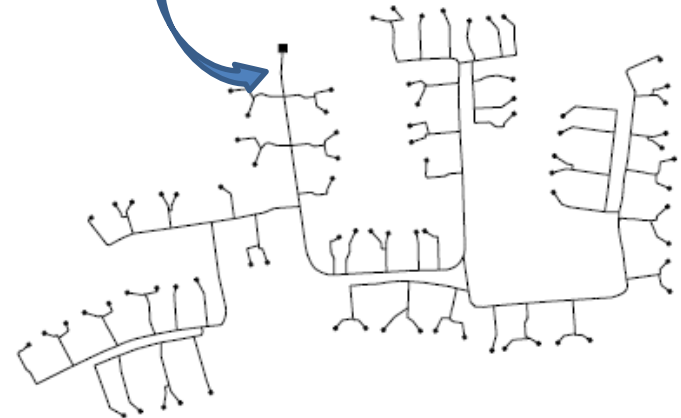
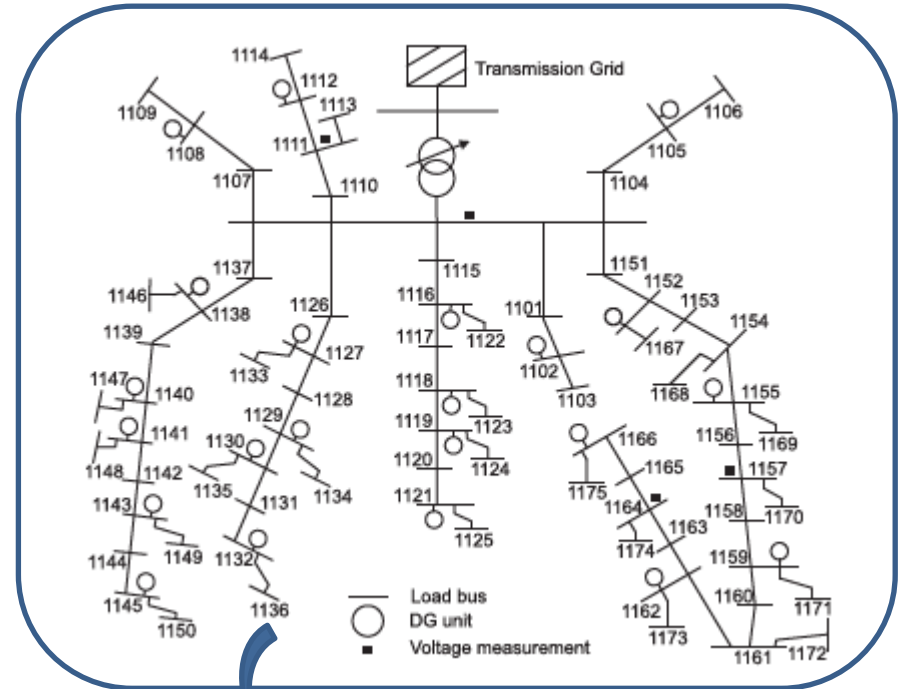
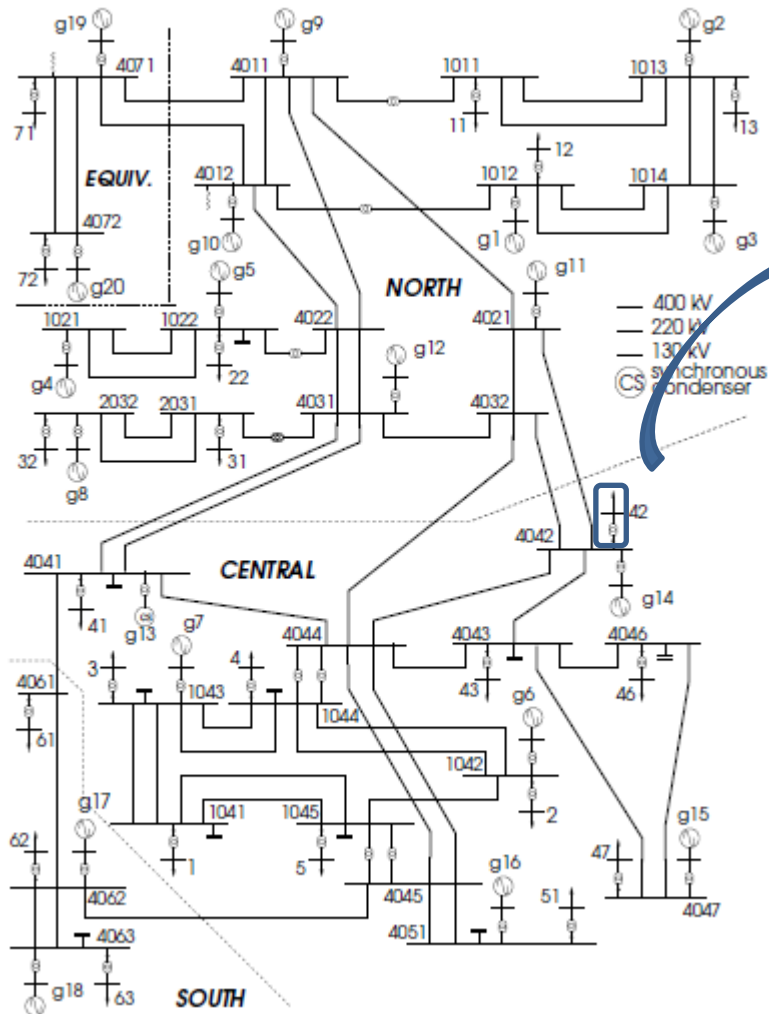


**Volt/Watt**

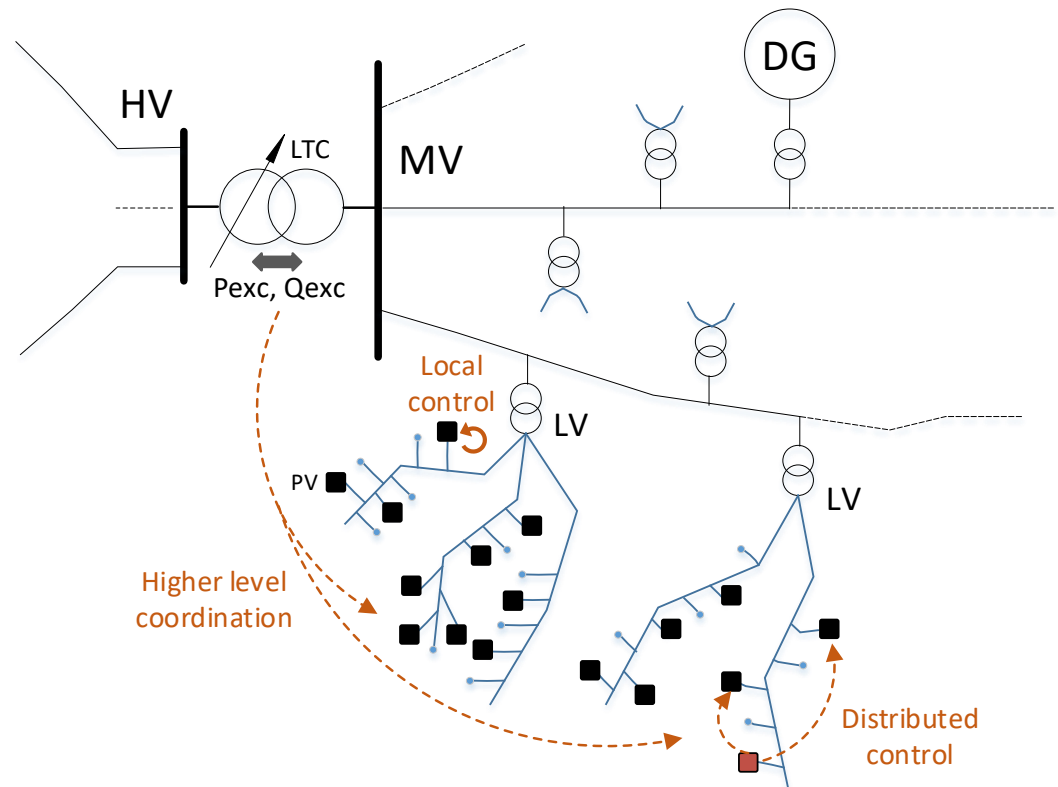
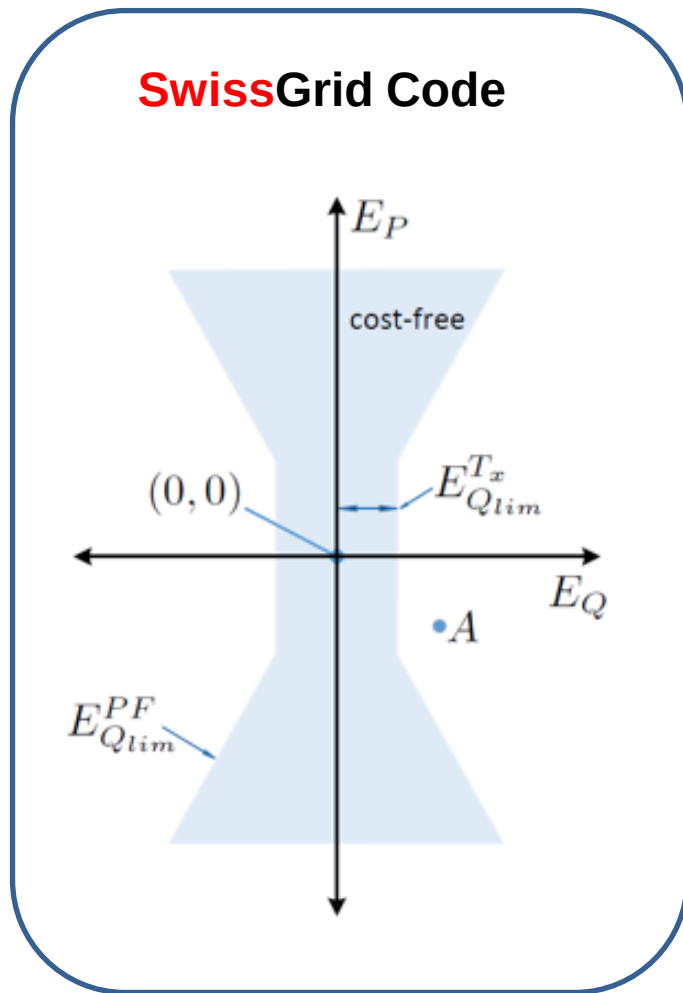
# Mediciones reales, 60 kW instalados.



# Servicios a transmisión

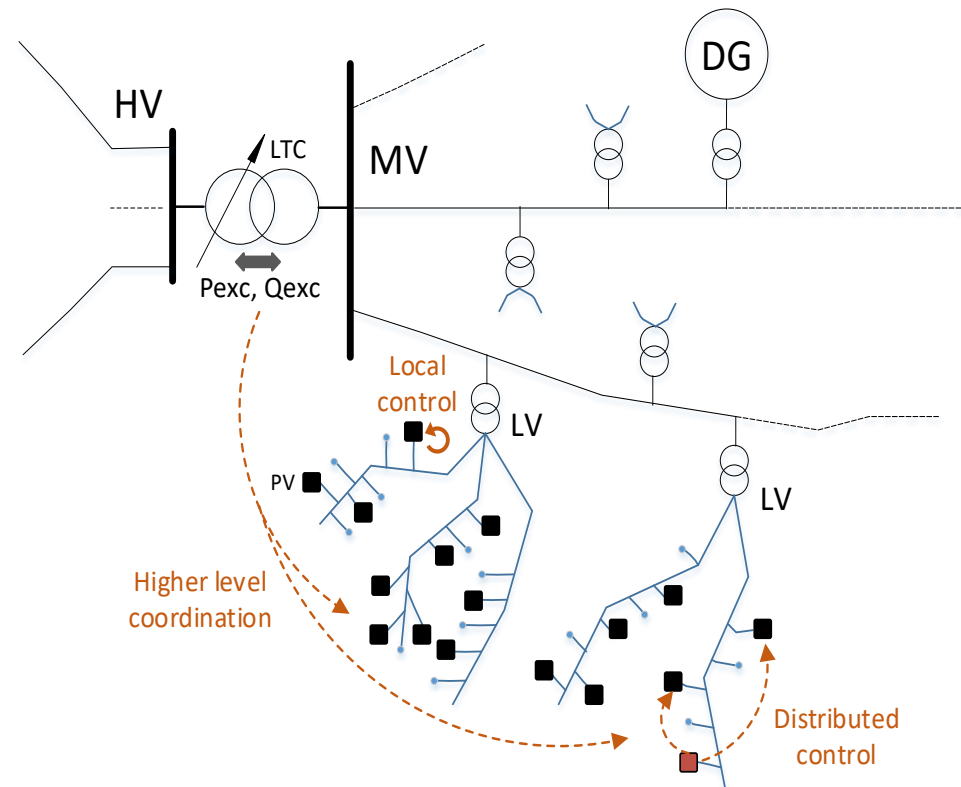
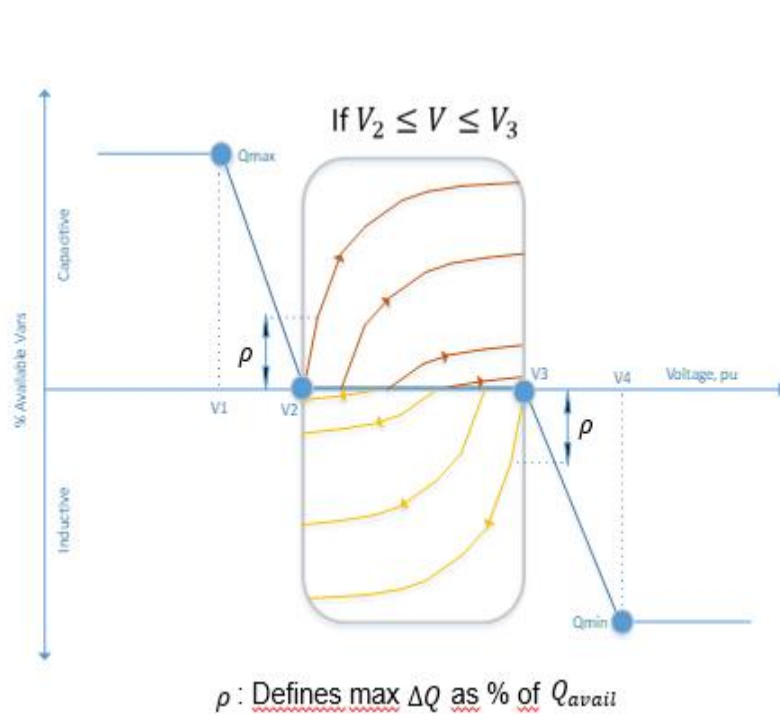


# Control de intercambio de Q





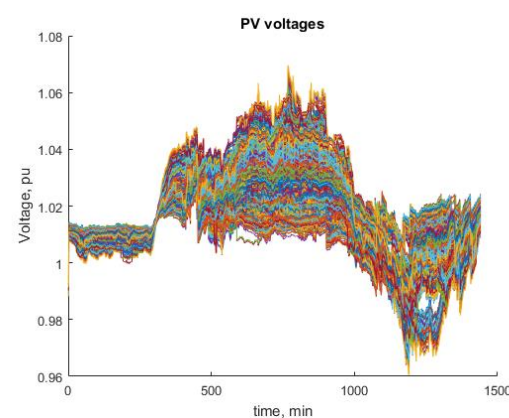
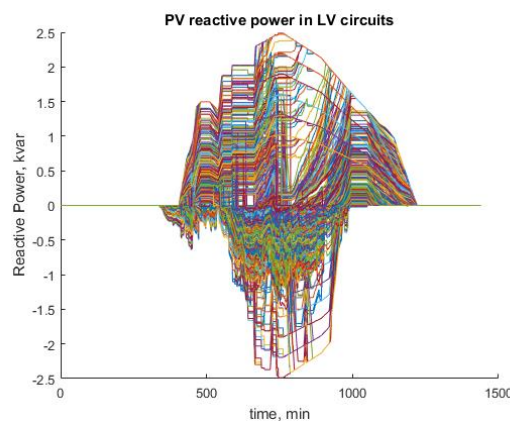
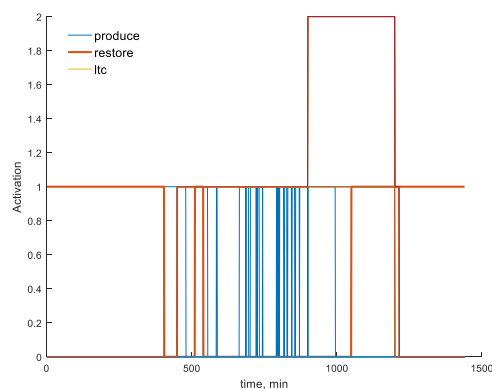
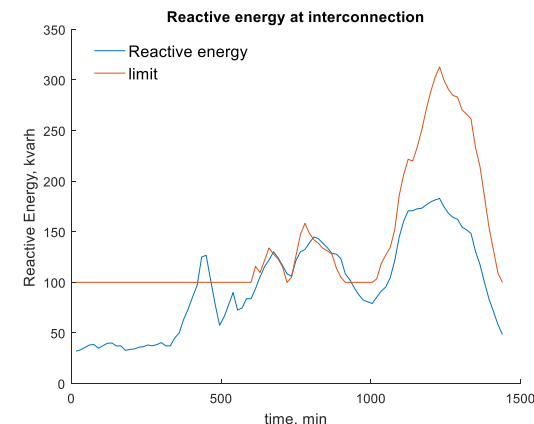
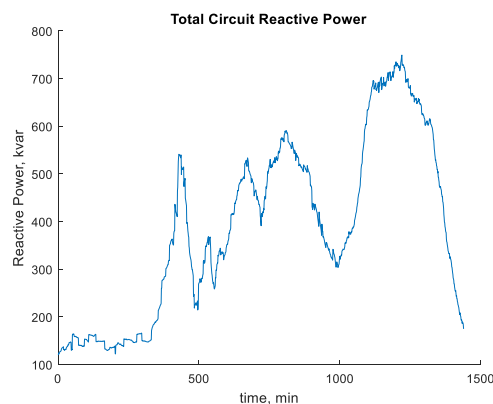
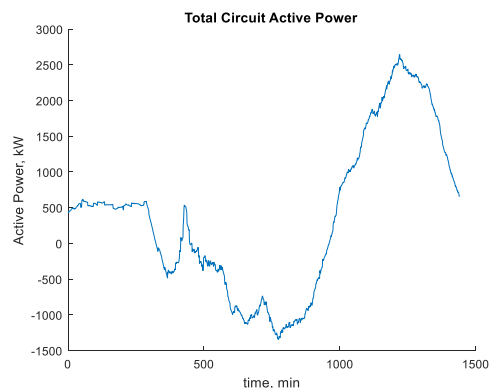
# Control de intercambio de Q





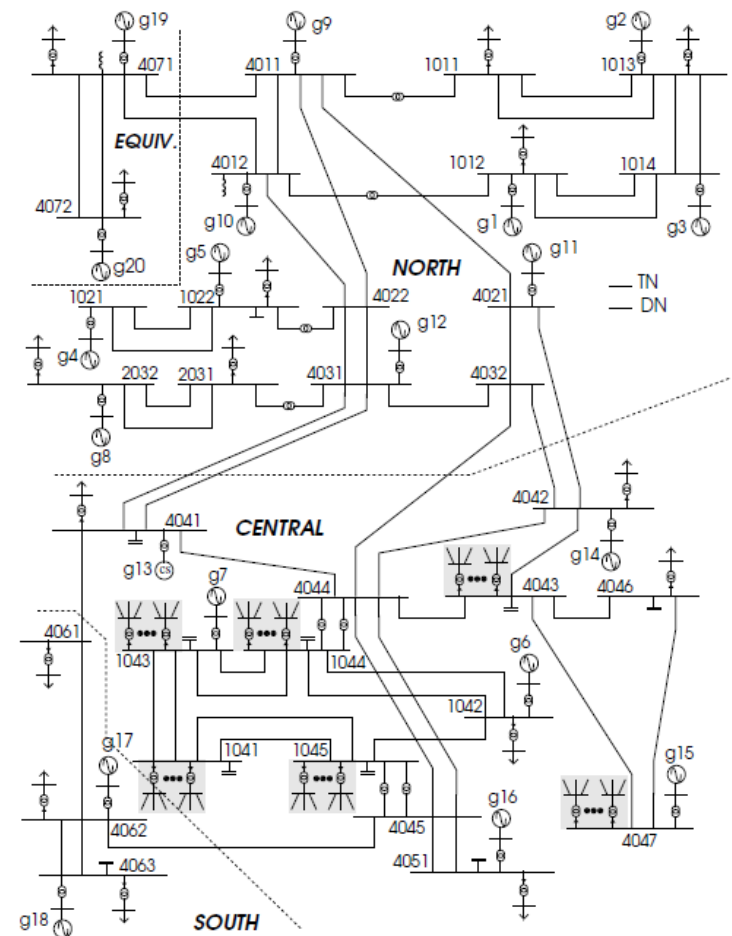
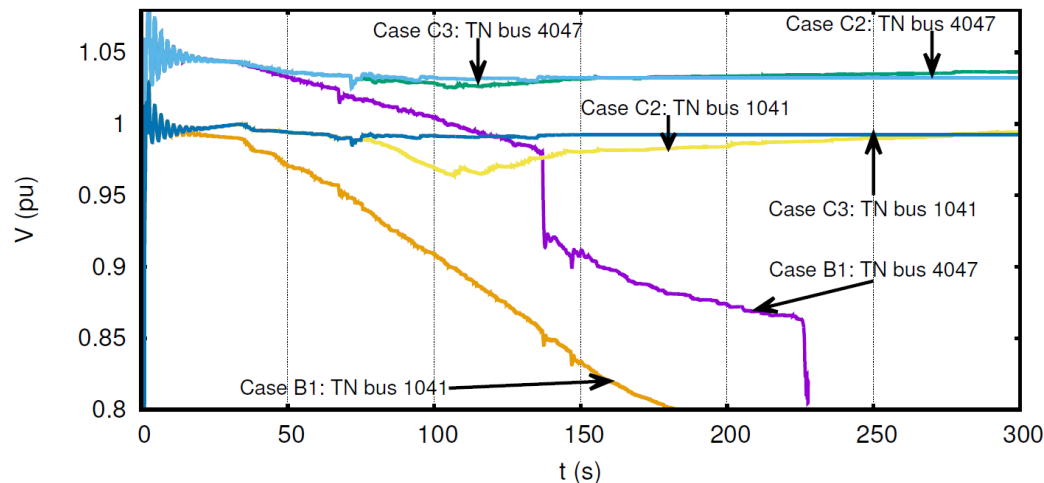
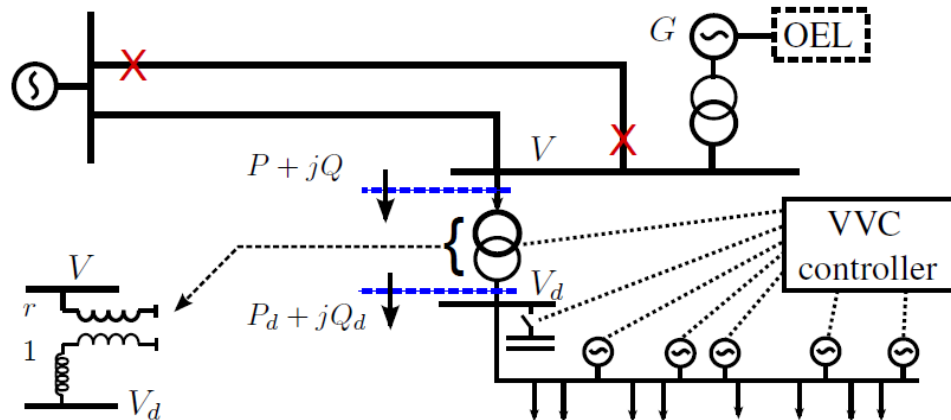
# Control de intercambio de Q

SwissGrid



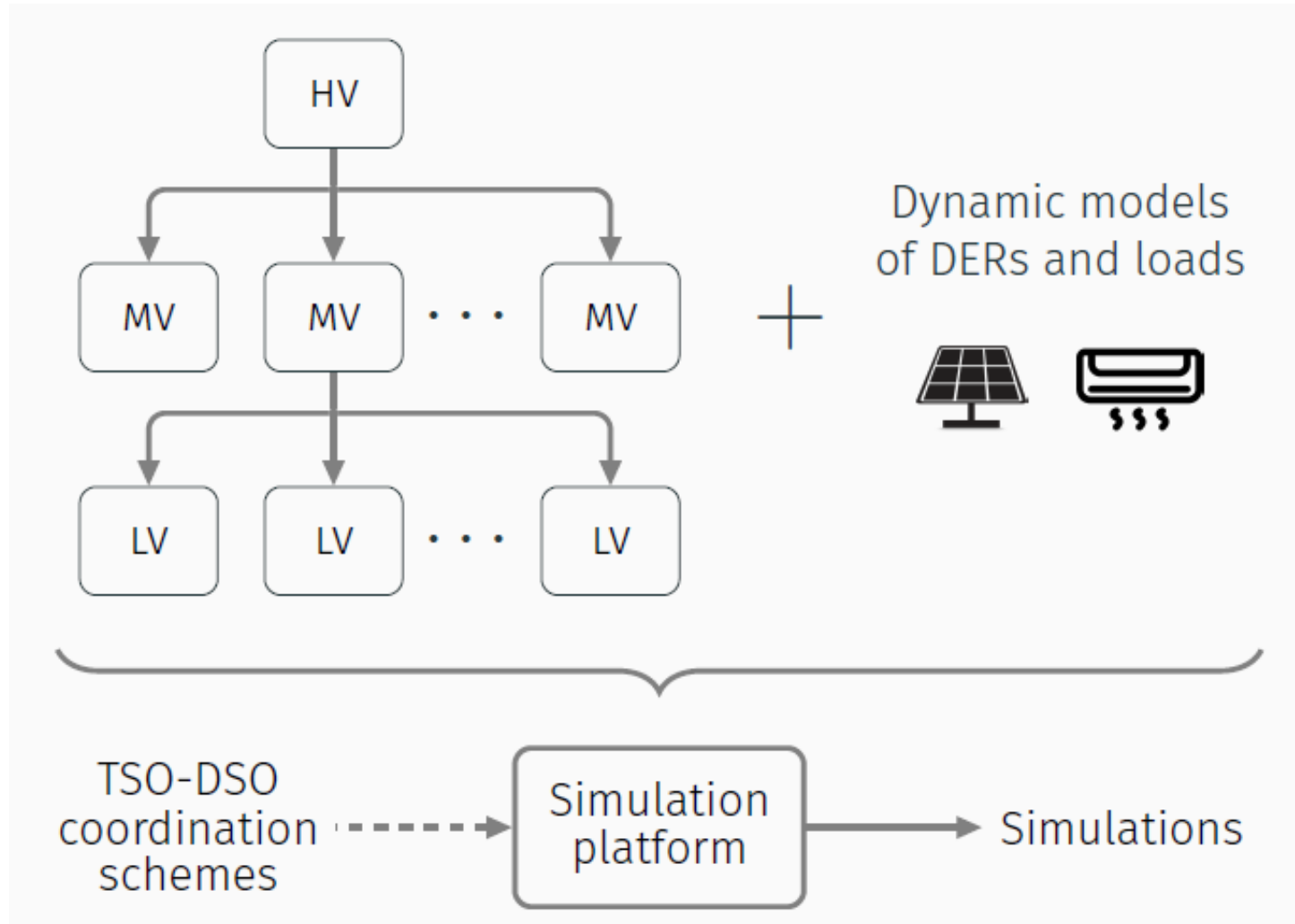
Miles de unidades de pequeña escala coordinados.

# RD (gran escala) en estabilidad de tensión

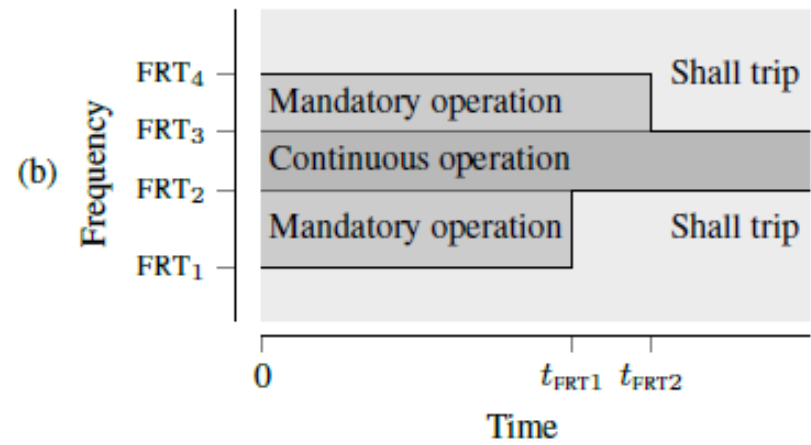
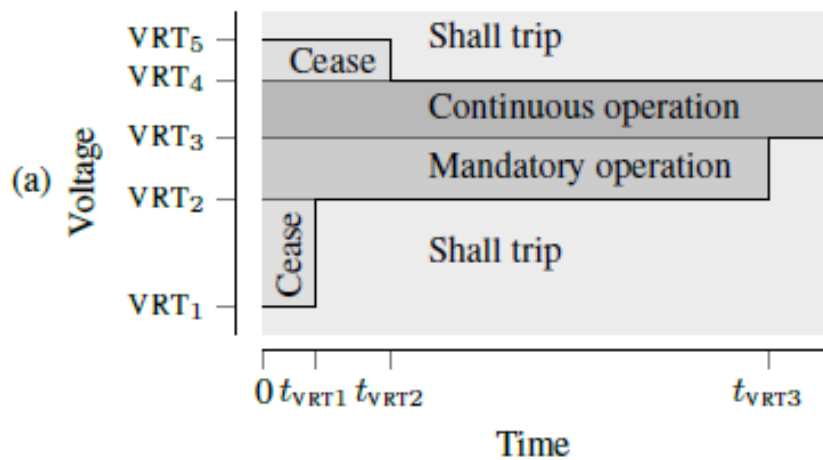
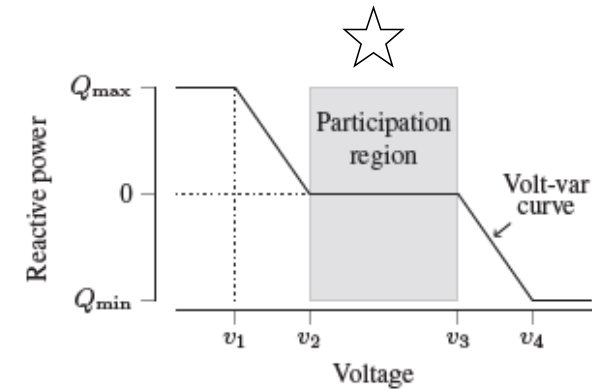
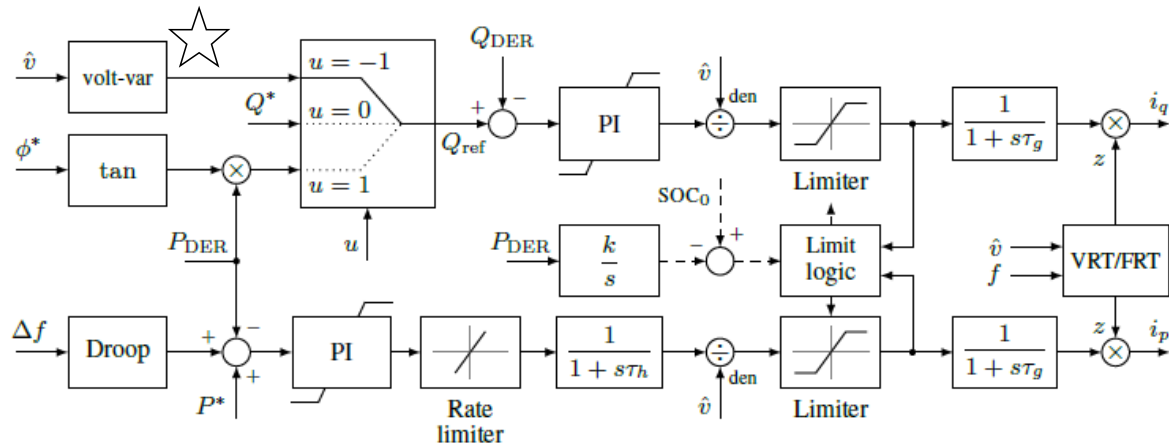


# ¿Cómo coordinar los RD?

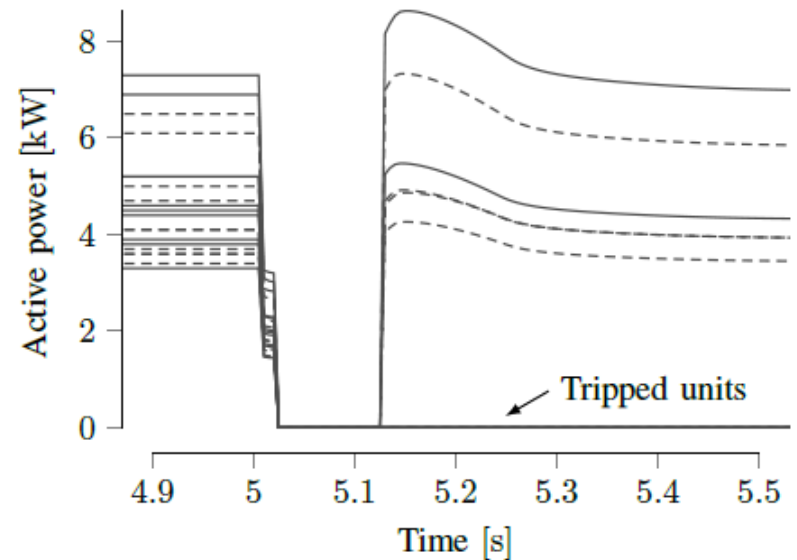
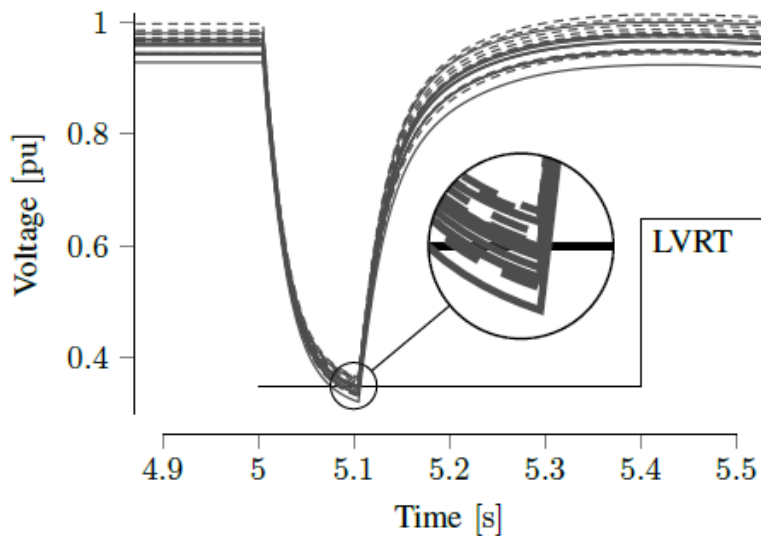
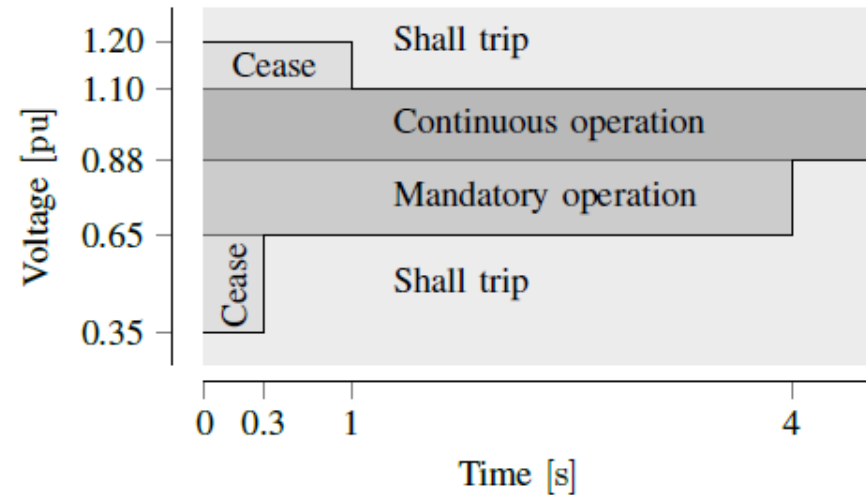
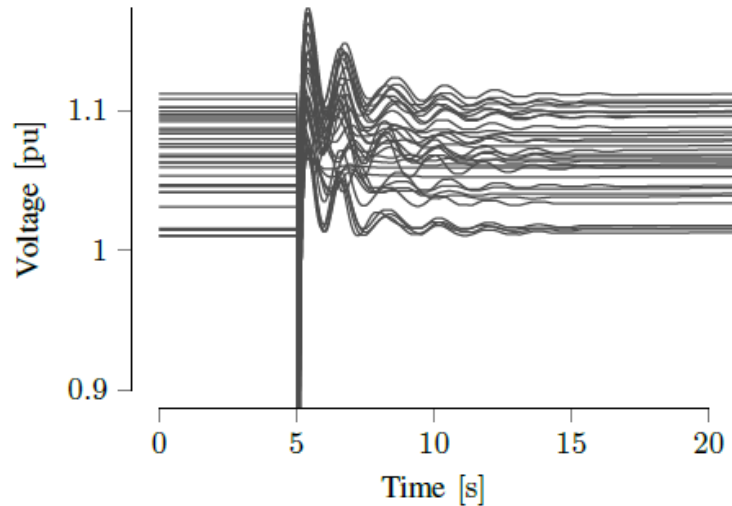
Millones de ecuaciones algebraicas y diferenciales



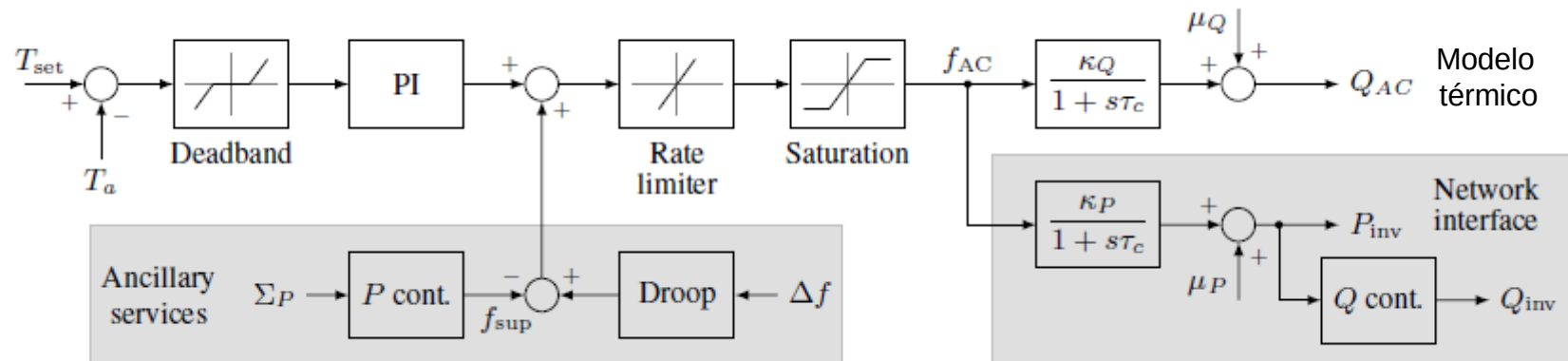
# Modelado de PVs y Baterías



# Desconexión de PVs según LVRT



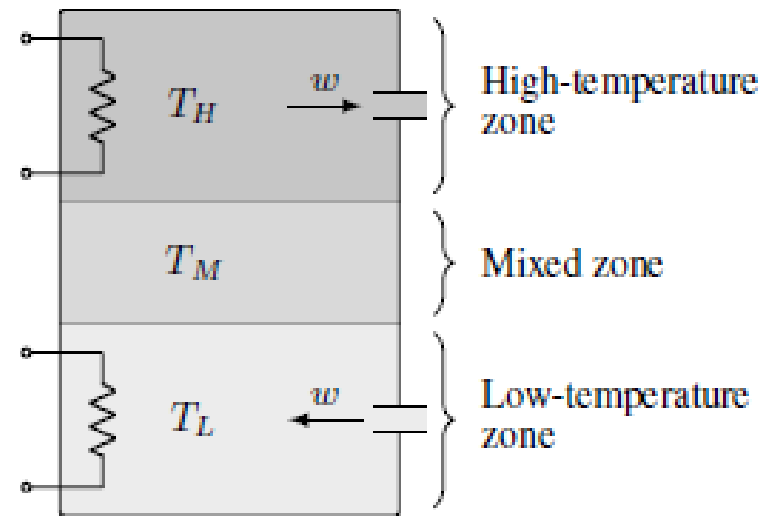
# Modelado de AC y EWH



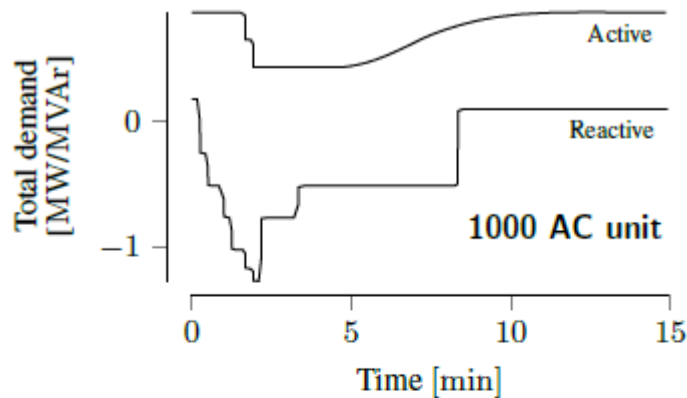
$$C_{pH} \frac{dT_H}{dt} = \rho W w c_p (T_M - T_H) + G_{scH} (T_o - T_H) + K_{sM} T_M - K_{sH} T_H + Q_H$$

$$C_{pM} \frac{dT_M}{dt} = \rho W w c_p (T_L - T_M) + G_{scM} (T_o - T_M) + K_{sH} T_H - 2K_{sM} T_M + K_{sL} T_L$$

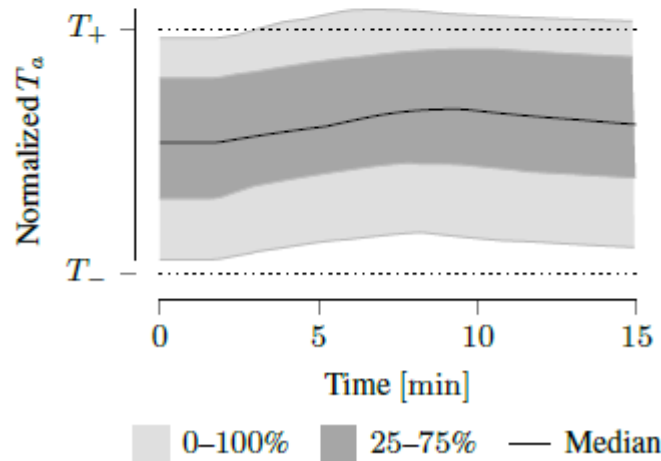
$$C_{pL} \frac{dT_L}{dt} = \rho W w c_p (T_{in} - T_L) + G_{scL} (T_o - T_L) + K_{sM} T_M - K_{sL} T_L + Q_L$$



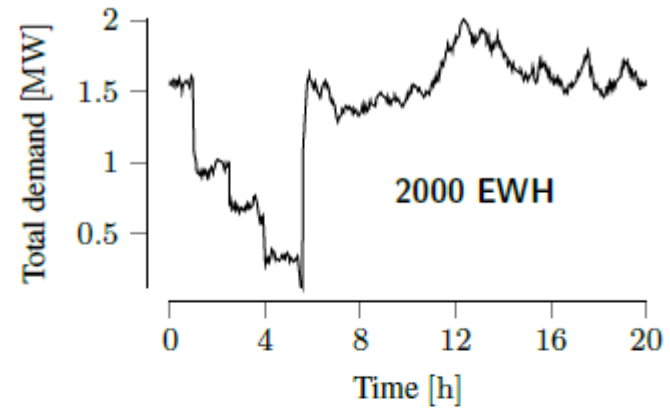
# Respuesta de demanda



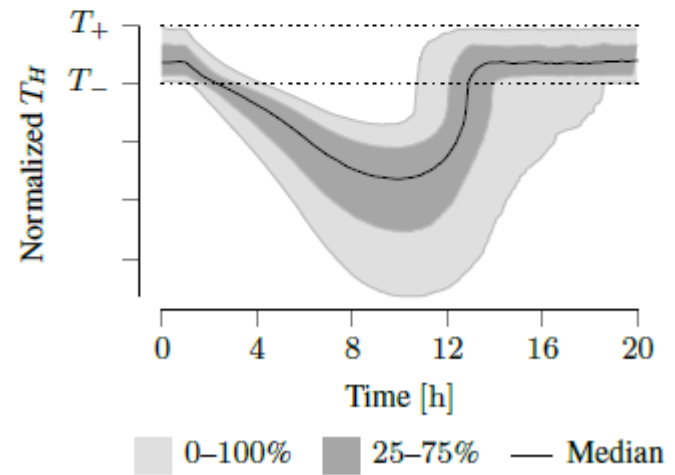
(a)



(b)



(a)



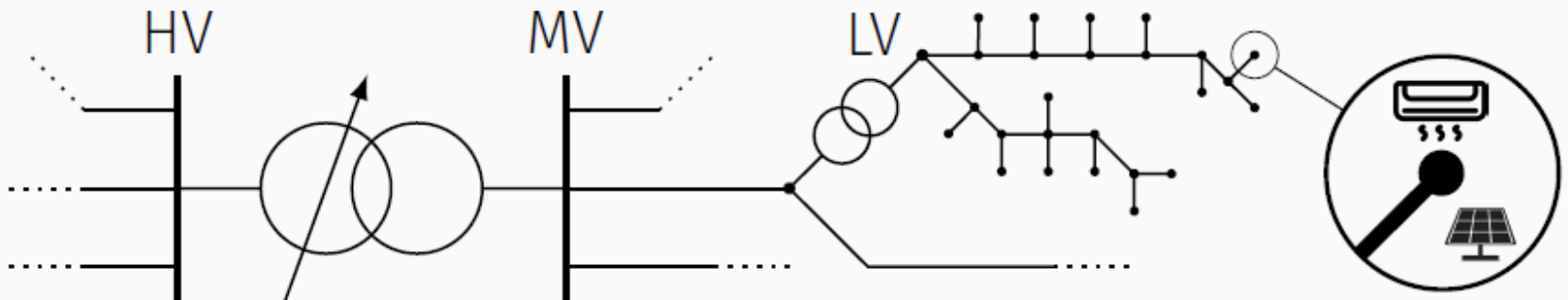
(b)

## Generación/ Almacenamiento

- Inyección de energía
- Almacenamiento de energía
- Regulación de frecuencia y tensión
- Mejoramiento de calidad de energía

## Respuesta de la demanda

- Eficiencia energética
- Desplazamiento de picos de demanda
- Regulación de frecuencia y tensión
- Compensación rampas de ERV





# Conclusiones

- El nivel máximo de penetración de RD en redes de distribución es desconocido.
- Se requieren estudios técnicos que identifiquen capacidad de alojamiento de recursos distribuidos para conocer:
  - a) Localización puntos potencialmente problemáticos
  - b) Medidas de mitigación de problemas
  - c) Posibilidad de incrementar capacidad de circuitos para acoger generación distribuida
- Habilitación de control con inversores ayudará a disminuir los impactos de sistemas fotovoltaicos
- La agregación de los recursos distribuidos será clave para un mayor control y nuevos servicios de la red de transmisión



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



**¡Muchas gracias!**

Dr. Gustavo Valverde Mora  
[gustavo.valverde@ucr.ac.cr](mailto:gustavo.valverde@ucr.ac.cr)

# Recursos distribuidos en circuitos de MT y BT, capacidades de alojamiento y posibilidades de control

Dr. Gustavo Valverde Mora

Senior Member, IEEE

*[gustavo.valverde@ucr.ac.cr](mailto:gustavo.valverde@ucr.ac.cr)*