



**Universidad  
Zaragoza**

## Trabajo Fin de Grado

OPTIMIZACIÓN DEL DESPACHO DE UNA COMUNIDAD  
ENERGÉTICA CON ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SEGÚN SU  
GRADO DE IMPLEMENTACIÓN.

DISPATCH OPTIMIZATION OF ENERGY COMMUNITIES WITH  
ACCUMULATION OF ENERGY ACCORDING TO ITS DEGREE OF  
IMPLEMENTATION.

Autor/es

RAÚL OCHOA SEVILLANO

Director/es

JOSÉ ANTONIO DOMÍNGUEZ NAVARRO

Titulación del autor

GRADO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA)

2023

## Contenido

RESUMEN.....	- 2 -
1. CONCEPTO DE COMUNIDAD ENERGÉTICA.....	- 3 -
1.1 Introducción .....	- 3 -
1.2 Tipos de comunidades energéticas.....	- 4 -
2. EJEMPLOS DE COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN EUROPA.....	- 6 -
2.1 COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN EUROPA.....	- 6 -
2.2 COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN ESPAÑA .....	- 6 -
3. CREACIÓN DEL DASHBOARD.....	- 8 -
3.1 INTRODUCCIÓN .....	- 8 -
3.2 MODIFICACIÓN DEL CÓDIGO PYTHON.....	- 8 -
3.2.1 CAMBIO DE RED.....	- 8 -
3.2.2 AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	- 9 -
3.3 MODIFICACIÓN DE LOS ARCHIVOS GENERADOS.....	- 9 -
3.4 TRATAMIENTO DE LOS DATOS EN POWERQUERY .....	- 9 -
3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN.....	- 9 -
3.4.2 USO DE LA APLICACIÓN.....	- 10 -
3.5 GENERACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO Y DISEÑO DEL DASHBOARD..	- 12 -
3.5.1 DEFINICIÓN DE DASHBOARD.....	- 12 -
3.5.2 DISEÑO DEL DASHBOARD.....	- 13 -
4. RESULTADOS.....	- 18 -
4.1 INTRODUCCIÓN .....	- 18 -
4.2 CASO EV-BAT .....	- 18 -
4.3 CASO PV-BAT.....	- 21 -
4.4 CASO PV-EV-BAT .....	- 23 -
5. CONCLUSIÓN .....	- 25 -
BIBLIOGRAFIA.....	- 26 -

## RESUMEN

Este trabajo se centra principalmente en la optimización del despacho de una comunidad energética con acumulación de energía. Se ha querido dar un enfoque más interactivo para poder sacar conclusiones sobre los resultados generados del estado de una red de forma más sencilla.

Para ello se ha creado un dashboard (panel de control) en el que se pueden ver los resultados de 3 configuraciones diferentes de red y también distintos porcentajes de prosumidores y colaboradores en la optimización del flujo de potencias de la comunidad energética.

Los tres estados de carga son los siguientes:

- Carga de vehículo eléctrico y acumulación en baterías.
- Generación fotovoltaica y acumulación en baterías.
- Carga de vehículo eléctrico, generación fotovoltaica y acumulación de batería.

En el panel de control se visualizan los parámetros eléctricos principales:

- Balance de potencia en un nodo elegido.
- Estado de tensiones en los nodos.
- Estado de carga de las líneas y del transformador principal.

Para llegar al resultado final se han usado diferentes herramientas informáticas. En Python hemos adaptado el código de partida para estudiar una nueva red y obtener más parámetros eléctricos de salida. A continuación, se ha utilizado Powerquery para adecuar los archivos de salida a formatos útiles, para posteriormente realizar los cálculos finales con Excel.

Para finalizar el trabajo se ha configurado el panel de control con la finalidad de poder estudiar rápidamente los diferentes resultados de la optimización de flujo de potencia.

## 1. CONCEPTO DE COMUNIDAD ENERGÉTICA

### 1.1 Introducción

Una comunidad energética es un concepto que se refiere a un grupo de personas o entidades que se unen para generar, consumir y compartir energía de una manera sostenible y local. Estas comunidades buscan fomentar el uso de fuentes de energía renovable y promover la eficiencia energética.

Las comunidades energéticas permiten a sus miembros producir su propia energía a partir de fuentes renovables, como la energía solar, eólica e hidroeléctrica. En el caso estudiado en este trabajo la energía utilizada es la fotovoltaica. Además, facilitan el intercambio de energía entre los participantes, lo que puede ayudar a reducir los costes y promover la autosuficiencia energética.

Estas comunidades también tienen como objetivo promover la conciencia ambiental y la participación ciudadana en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Al unirse en una comunidad energética, las personas pueden colaborar para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la lucha contra el cambio climático.

Las comunidades energéticas tienen diferentes características, entre las que se pueden destacar las siguientes:

- I. Participación abierta y voluntaria: Una comunidad energética se basa en la participación activa y voluntaria de sus miembros. Todos los participantes tienen la oportunidad de contribuir y beneficiarse de la comunidad.
- II. Uso eficiente de la energía: estas comunidades promueven la eficiencia energética, fomentando prácticas y tecnologías que ayuden a optimizar el consumo de energía. Esto puede incluir el uso de sistemas de iluminación eficientes, aislamiento térmico de edificios, electrodomésticos de bajo consumo...
- III. Participación activa de los miembros: En una comunidad energética, los miembros no solo son consumidores de energía, sino que también pueden participar activamente en la producción y gestión de la energía. Pueden invertir en instalaciones de generación renovable, colaborar en el mantenimiento de los sistemas y tomar decisiones colectivas relacionadas con la comunidad energética.
- IV. Intercambio de energía: Una característica clave de las comunidades energéticas es el intercambio de energía entre sus miembros. Esto puede realizarse a través de la venta y compra de energía renovable entre los participantes, la implementación de redes inteligentes (Smart Grids) o el uso de sistemas de almacenamiento de energía (como es el caso desarrollado en este trabajo).
- V. Beneficios económicos y sociales: Las comunidades energéticas pueden generar beneficios económicos para sus miembros al reducir los costes de energía a largo plazo y proporcionar oportunidades de inversión. Además, también pueden tener impactos sociales positivos al fortalecer la economía local, crear empleo en el sector de las energías renovables y promover la conciencia ambiental en la comunidad.



Figura 1.1 Ejemplo de comunidad energética (Fuente: Inycom Energy)

## 1.2 Tipos de comunidades energéticas.

Dentro de las comunidades energéticas se pueden distinguir 3 grupos principales:

- Comunidad energética dentro de un bloque de viviendas: En este caso los límites de la generación distribuida son los propios del bloque. Están formados por los miembros del bloque que tengan los mismos intereses en la forma de consumir y generar la energía. Un ejemplo de este tipo de comunidad es el representado en la Figura 1.2. En ella se puede observar un panel fotovoltaico en el tejado (propiedad del bloque) y la energía generada es compartida por todos los miembros. También puede observarse que disponen de medidores inteligentes tanto para consumos propios como para los servicios comunes.

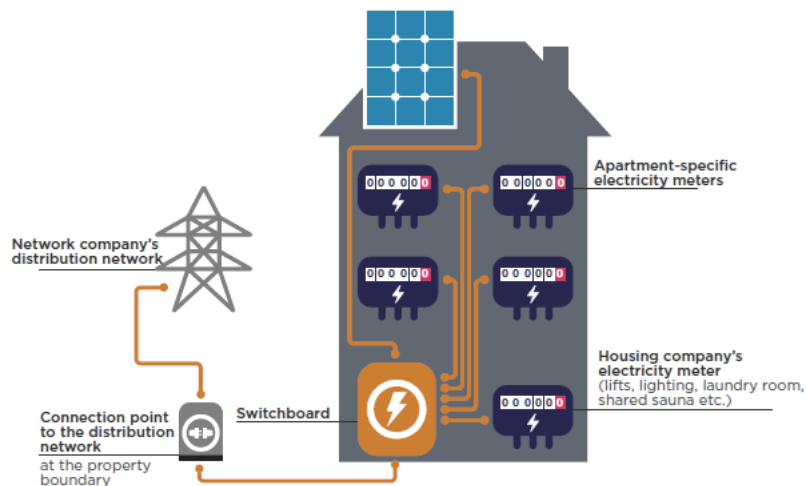


Figura 1.2 Comunidad energética en bloque de viviendas [3]

- Comunidad energética cruzando los límites de la propiedad: Se da en el caso de que los sistemas de generación distribuida incluidos en la comunidad no puedan ser instalados

dentro de los límites (ya sea por tamaño de la instalación o por otras circunstancias) y los miembros deben acometer la inversión para la construcción de una red mutua (Figura 1.3)

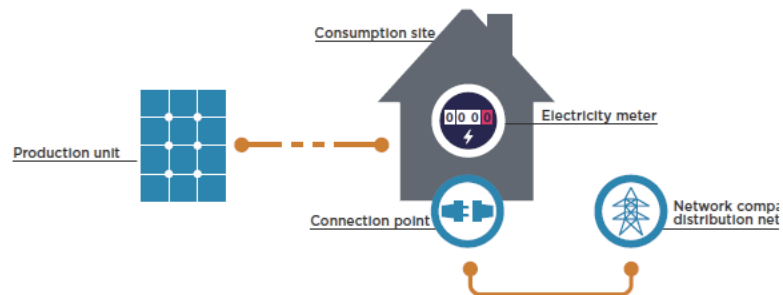


Figura 1.3 Comunidad energética cruzando los límites de la propiedad [3]

- Comunidades de energía distribuida: Es la forma más eficiente de comunidad energética. En este supuesto la energía puede ser transferida a la red de distribución en el caso de que la generación supere al consumo, obteniendo así un beneficio económico.

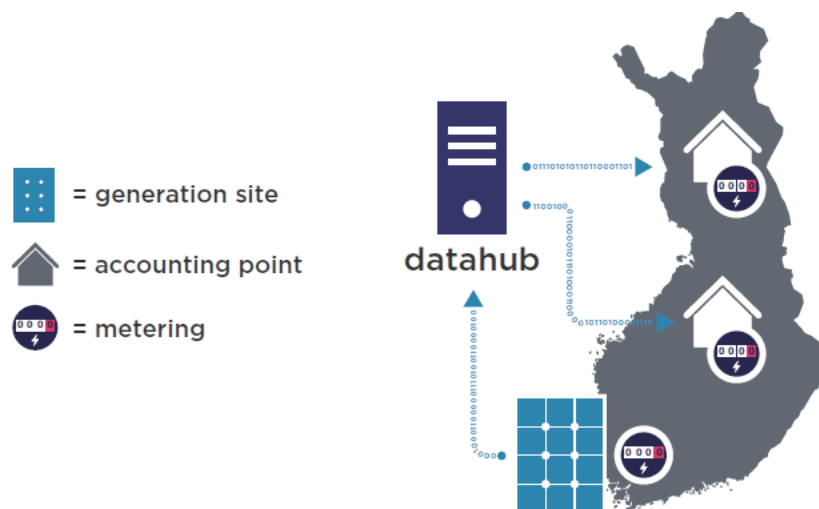


Figura 1.4 Comunidades de energía distribuida [3]

## 2. EJEMPLOS DE COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN EUROPA.

### 2.1 COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN EUROPA

Los ejemplos seleccionados son los siguientes: [22]

- 1) **Comunidad energética Freiburg** (Alemania): La ciudad cuenta con una instalación de 445 kW de energía fotovoltaica, lo que supone una producción cuatro veces superior a la energía que los vecinos de la ciudad usan en un año.



*Figura 2.1 Comunidad energética de Freiburg (Fuente: Genpower)*

- 2) **Comunidad energética Courlans** (Francia): Instalada en 2011, la planta fue absorbida por Jurascic en junio de 2017 y ahora pertenece a ciudadanos de su territorio, contribuyendo a una economía local y solidaria. Tiene una potencia instalada de 108,3 kWp.
- 3) **Comunidad energética Brixton**: Brixton Energy Solar 1 es el primer proyecto de energía renovable de propiedad cooperativa en el centro de la ciudad, en una urbanización social. El proyecto implicó la instalación de una estación de energía solar de 37,24 kWp en el techo de Elmore House en Loughborough Estate en Brixton, Londres.

### 2.2 COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN ESPAÑA

- 1) **Comunidad energética de Crevillent**: En una pedanía de esta población de la provincia de Alicante ha constituido una comunidad energética de autoconsumo. Se ha instalado una pequeña huerta fotovoltaica con 120 kW. La electricidad que se genera es capaz de satisfacer la demanda de la mitad de los vecinos de la población. [19]



*Figura 2.2 Comunidad de Crevillent (Fuente: Europa Press)*

- 2) **Comunidad energética de Castilfrío de la Sierra**: Esta pequeña localidad de Soria, con apenas 40 habitantes, ha montado una comunidad energética capaz de satisfacer toda la

demanda de sus habitantes. Gracias a varias instalaciones fotovoltaicas repartidas por diferentes tejados y a un sistema de almacenamiento, es una población totalmente autosuficiente. [19]

- 3) **Comunidad energética de Albalat dels Sorells:** La cubierta del techo del eCoworking AlternaCoop cuenta con 68,85 kWp de potencia instalada y 23 kWp de almacenamiento, con una batería de litio. Permite abastecer de energía renovable a 26 suministros entre viviendas, comercios y edificios públicos. La Nave de la Cooperativa Agrícola Santos de la Piedra cuenta con 55,76 kWp de potencia instalada. [20]
- 4) **Comunidad Energética del Río Monachil:** Una iniciativa de la concejalía de Medio Ambiente del Ayuntamiento que ha realizado hasta la fecha una decena de instalaciones de plantas fotovoltaicas para el autoabastecimiento con una potencia fotovoltaica de 45 kW [21]



### 3. CREACIÓN DEL DASHBOARD

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se va a describir el proceso de creación del dashboard. Lo que se pretende es adaptar el trabajo previamente realizado por Ellina Shchurovskaya en [3] para el estudio de una nueva red, potenciando el grado de detalle de la parte gráfica de la solución del problema inicial.

Para ello se utilizarán varias herramientas informáticas como son Spyder (editor de Python), Excel (tratamiento de datos y creación del dashboard) y POWERQUERY (adaptación de datos para su posterior estudio en Excel). Se han elegido estas aplicaciones, pero existen muchas más con las que se pueden llegar a los mismos resultados (PowerBy Desktop...).

#### 3.2 MODIFICACIÓN DEL CÓDIGO PYTHON

Como se ha comentado anteriormente, el primer paso de este trabajo es adaptar el código original al caso estudiado. En este apartado se van a describir dichas modificaciones.

##### 3.2.1 CAMBIO DE RED

La primera de las modificaciones es el cambio de la red de estudio. Para ello se ha seleccionado una de las redes que se adecuan a nuestro estudio y que están propuestas en [4]. La red seleccionada es **Kerber Dorfnetz** (Figura 3.1) y tiene las siguientes características:

- load (57 elements) p\_load\_in\_mw=6, q\_load\_in\_mw=0
- bus (116 elements)
- line (114 elements) std\_type="NAYY 150"; std\_type\_branchout\_line="NAYY 50"
- trafo (1 elements) std\_type="0.4 MVA 10/0.4 kV Yyn6 4 ASEA"
- ext\_grid (1 elements)

Posteriormente se han inicializado las cargas a cero para poder luego aplicar la misma distribución de cargas propuesta en [3].

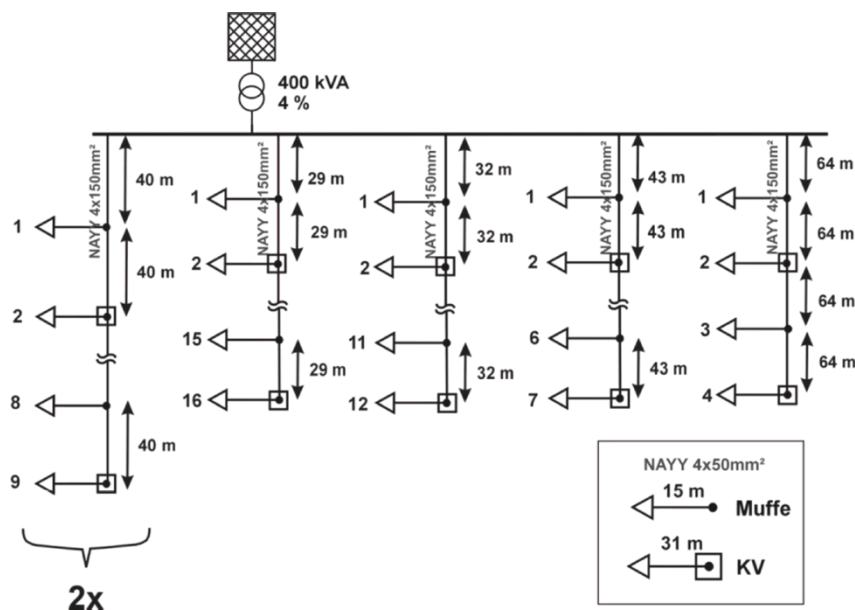
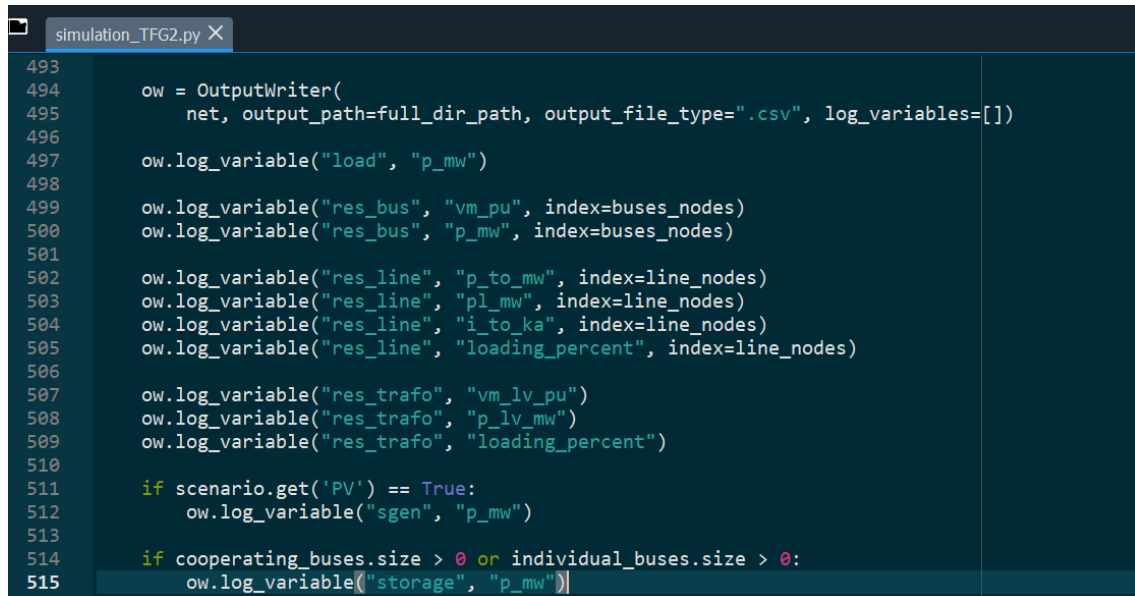


Figura 3.1 Características de la red de estudio

### 3.2.2 AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se explica la ampliación de resultados generados en el código inicial. Se considera necesario para el completo desarrollo del dashboard final y para la mejor comprensión del comportamiento de la red ante las modificaciones en la configuración de los consumidores conectados a los nodos de la red.

El código relacionado con dicha ampliación está representado en la *Figura 3.2*. Con ello se generan unos archivos CSV con los datos de las variables deseadas.



```

493     ow = OutputWriter(
494         net, output_path=full_dir_path, output_file_type=".csv", log_variables=[])
495
496     ow.log_variable("load", "p_mw")
497
498     ow.log_variable("res_bus", "vm_pu", index=buses_nodes)
499     ow.log_variable("res_bus", "p_mw", index=buses_nodes)
500
501     ow.log_variable("res_line", "p_to_mw", index=line_nodes)
502     ow.log_variable("res_line", "pl_mw", index=line_nodes)
503     ow.log_variable("res_line", "i_to_ka", index=line_nodes)
504     ow.log_variable("res_line", "loading_percent", index=line_nodes)
505
506     ow.log_variable("res_trafo", "vm_lv_pu")
507     ow.log_variable("res_trafo", "p_lv_mw")
508     ow.log_variable("res_trafo", "loading_percent")
509
510     if scenario.get('PV') == True:
511         ow.log_variable("sgen", "p_mw")
512
513     if cooperating_buses.size > 0 or individual_buses.size > 0:
514         ow.log_variable("storage", "p_mw")

```

Figura 3.2 Ampliación de las variables de salida

## 3.3 MODIFICACIÓN DE LOS ARCHIVOS GENERADOS.

Al comenzar el estudio de los datos generados por el código Python nos damos cuenta de que es necesaria la modificación de los nombres de los archivos para que contengan más información acerca del porcentaje de usuarios instalados, usuarios colaboradores y caso estudiado.

Para ello se genera el código descrito en el *anexo C*. Un ejemplo del cambio de nombre del archivo es el siguiente:

- Nombre inicial: *p\_mw*
- Nombre final: *p\_mw.csv\_80\_i75\_c\_EV\_battery*

## 3.4 TRATAMIENTO DE LOS DATOS EN POWERQUERY

### 3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

En este apartado se consigue adecuar los archivos CSV generados en el apartado 3.3 para el posterior tratamiento en Excel utilizando el programa POWERQUERY. Dicho programa está incluido dentro del software Microsoft Excel.

POWERQUERY es una herramienta de transformación y preparación de datos desarrollada por Microsoft. Permite importar datos desde diversas fuentes externas, como archivos de texto,

archivos CSV, la web o libros de Excel y realizar transformaciones en ellos. POWERQUERY cuenta con una interfaz gráfica que facilita la obtención y manipulación de datos.

Algunas características principales de POWERQUERY son:

- Conexión a múltiples fuentes de datos: POWERQUERY permite conectarse y extraer datos de una amplia gama de fuentes, lo que incluye bases de datos, servicios en la nube, archivos locales y más.
- Transformación de datos: Se pueden realizar diversas transformaciones en los datos importados, como filtrar filas, eliminar columnas, combinar tablas, aplicar cálculos personalizados...
- Limpieza de datos: POWERQUERY facilita la limpieza y preparación de datos, permitiendo eliminar valores duplicados, corregir errores, cambiar formatos de fecha y hora, entre otras tareas.
- Automatización de tareas: Se pueden automatizar el proceso de importación y transformación de datos utilizando POWERQUERY. Esto permite actualizar automáticamente los datos cuando haya cambios en las fuentes originales.
- Integración con Excel: POWERQUERY está integrado en Excel, lo que te permite importar y transformar datos directamente en tus hojas de cálculo. También se puede combinar POWERQUERY con otras herramientas de Excel, como PowerPivot y Power BI, con el objetivo de realizar análisis más avanzados.

### 3.4.2 USO DE LA APLICACIÓN

En este apartado se explica brevemente el uso de la aplicación en el caso particular que se está estudiando. Previamente se organizan las carpetas con los parámetros estudiados (potencia en el nodo, potencia de la generación PV, tensión en los nodos...) y se vuelca la información de cada una de las carpetas de la forma que se observa en la *Figura 3.3*.

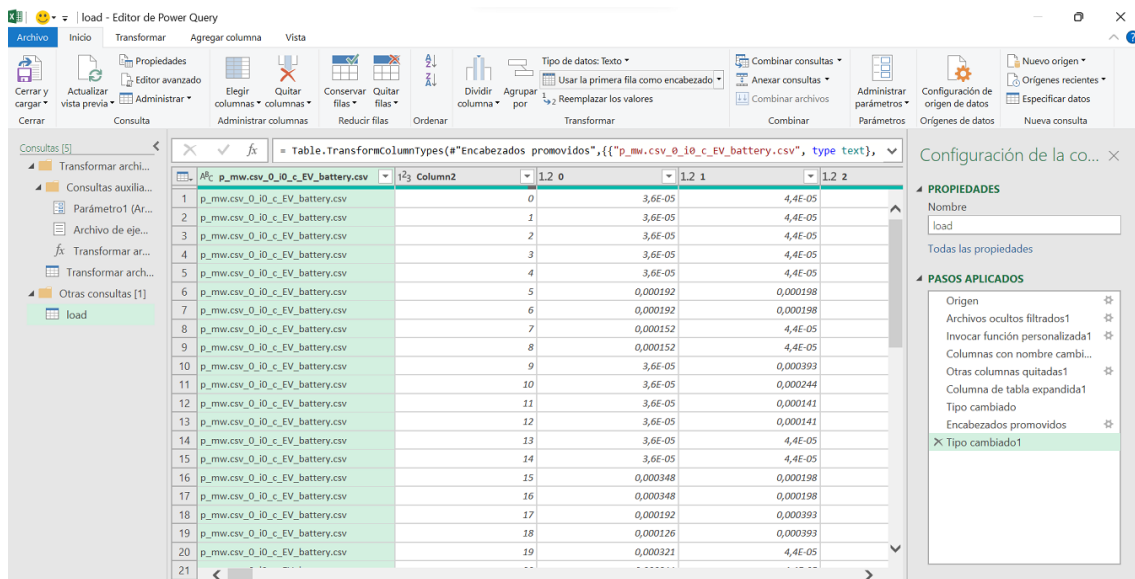
Content	Name	Extension	Date accessed	Date modified	Date created	Attributes	
Binary	p_mw.csv_0_i0_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:29	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_0_i100_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:27	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_0_i25_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:47	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_0_i50_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:03	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_0_i75_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:16	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_100_i0_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:05:43	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_100_i100_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:05:13	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_100_i25_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:05:58	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_100_i50_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:06:14	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_100_i75_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:57	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_10_i0_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:18	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_10_i100_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:19	19/07/2023 8:51:18	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_10_i25_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:30	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_10_i50_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:50	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_10_i75_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:06	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_20_i0_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:32	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_20_i100_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:04:12	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_20_i25_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:21	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_20_i50_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:34	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc
Binary	p_mw.csv_20_i75_c_EV_battery.csv	.csv	18/08/2023 13:23:40	18/07/2023 12:03:56	19/07/2023 8:51:17	Record	C:\Users\raoc

Los datos de la vista previa se han truncado debido a límites de tamaño.

Combinar y transformar datos   Combinar y cargar   Combinar y cargar en...

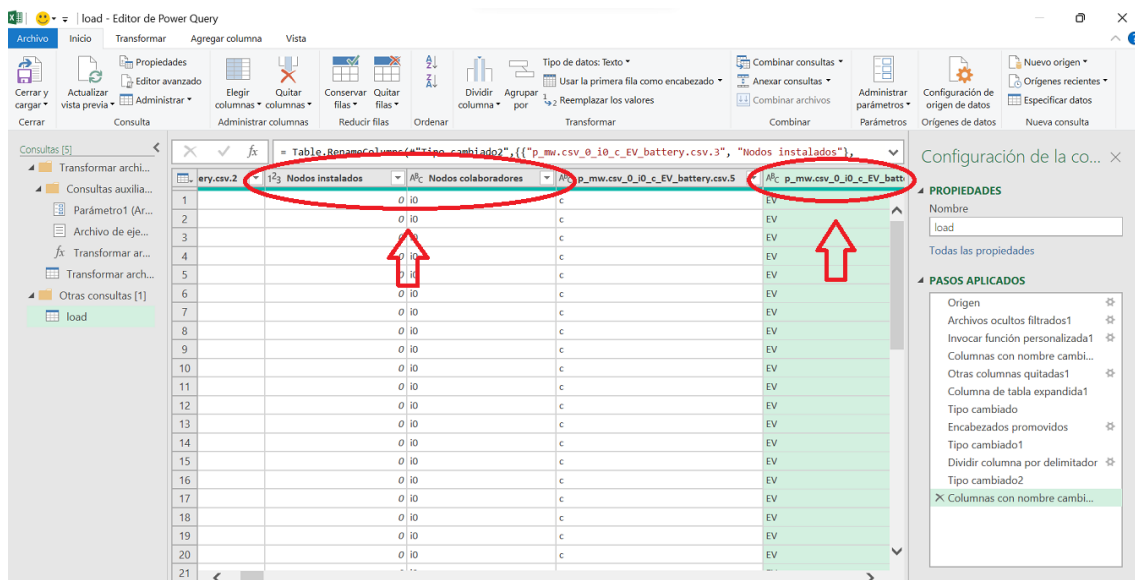
Figura 3.3 Volcado de datos de una carpeta en POWERQUERY

A continuación, se abre la ventana principal de la aplicación donde se ha combinado la información de todos los archivos individuales alojados en la carpeta, obteniendo una pantalla como la *Figura 3.4*. En ella se puede intuir la necesidad de haber modificado el nombre como se ha explicado en el apartado 3.3.



*Figura 3.4 Aspecto de la pantalla de POWERQUERY al cargar los datos*

Posteriormente se utiliza la opción “Dividir columna por delimitador” para poder conseguir varias columnas en las que distinguir los parámetros citados anteriormente y resaltados en color rojo en la *Figura 3.5*



*Figura 3.5 Obtención de columnas necesarias*

Como conclusión de este apartado se presenta la *figura 3.6*. En ella se puede ver todos los pasos aplicados después de cargar los datos iniciales con el objetivo de prepararlos convenientemente para el posterior estudio hecho con la aplicación Excel.

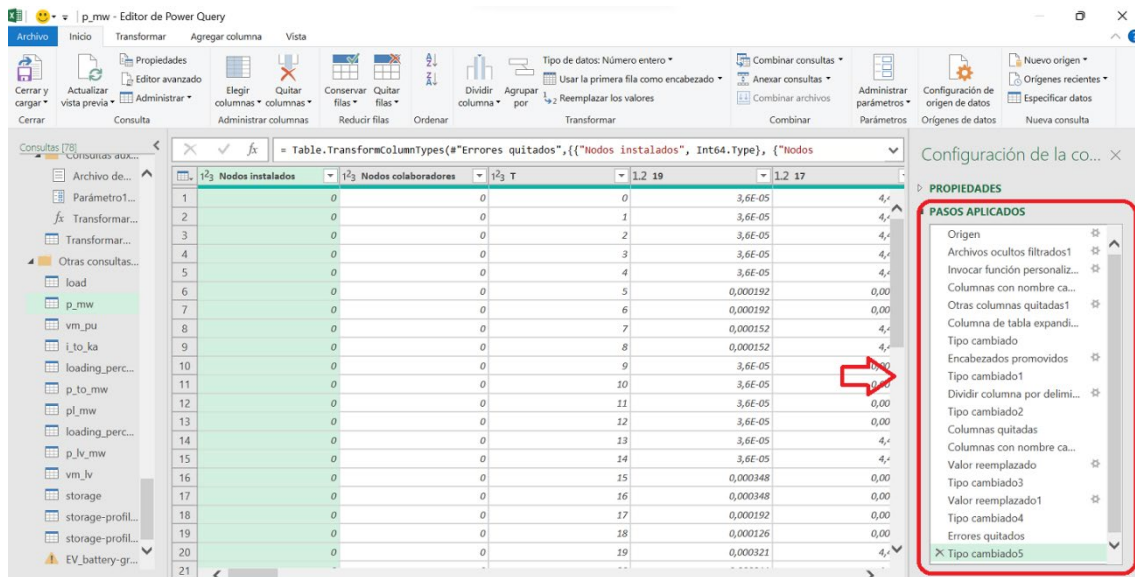


Figura 3.6 Pasos aplicados para adecuar la información de los archivos

### 3.5 GENERACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO Y DISEÑO DEL DASHBOARD

#### 3.5.1 DEFINICIÓN DE DASHBOARD

Un dashboard, también conocido como panel de control o tablero de mando, es una representación visual de datos y valores relevantes en forma de gráficos, tablas y otros elementos visuales. Su objetivo principal es brindar una vista rápida y clara de la información clave para facilitar la toma de decisiones informadas.

Algunas características y aspectos importantes de un dashboard son:

- **Consolidación de datos:** Un dashboard recopila datos de múltiples fuentes y los presenta de manera integrada y coherente. Esto permite tener una visión completa y actualizada de la información relevante.
- **Visualización de datos:** Los dashboards utilizan gráficos y otros elementos visuales para representar los datos de manera intuitiva y comprensible. Esto facilita la identificación de patrones, tendencias y relaciones entre los datos.
- **Personalización y configuración:** Los dashboards son altamente personalizables y pueden adaptarse a las necesidades y preferencias de los usuarios. Es posible seleccionar los indicadores clave, elegir el tipo de visualización y ajustar los filtros para enfocarse en los datos más relevantes.
- **Actualización en tiempo real:** Los dashboards pueden mostrar datos en tiempo real, lo que significa que se actualizan automáticamente a medida que los datos cambian. Esto permite tomar decisiones basadas en información actualizada y precisa.
- **Interactividad:** Algunos dashboards ofrecen interactividad, lo que permite a los usuarios explorar los datos en más detalle. Pueden aplicar filtros, desglosar datos, cambiar la visualización y obtener información adicional al interactuar con los elementos visuales del dashboard.

- Accesibilidad y compartición: Los dashboards son accesibles a través de diferentes dispositivos, como computadoras, tablets o teléfonos móviles. Además, se pueden compartir con otros usuarios o equipos, ya sea mediante el uso de enlaces, archivos compartidos o integración con plataformas colaborativas.
- Enfoque en medidas clave: Los dashboards se centran en las medidas y los indicadores clave que son relevantes para un área específica o un proceso en particular. Pueden abarcar diferentes aspectos, como ventas, marketing, finanzas, recursos humanos, rendimiento operativo, entre otros.

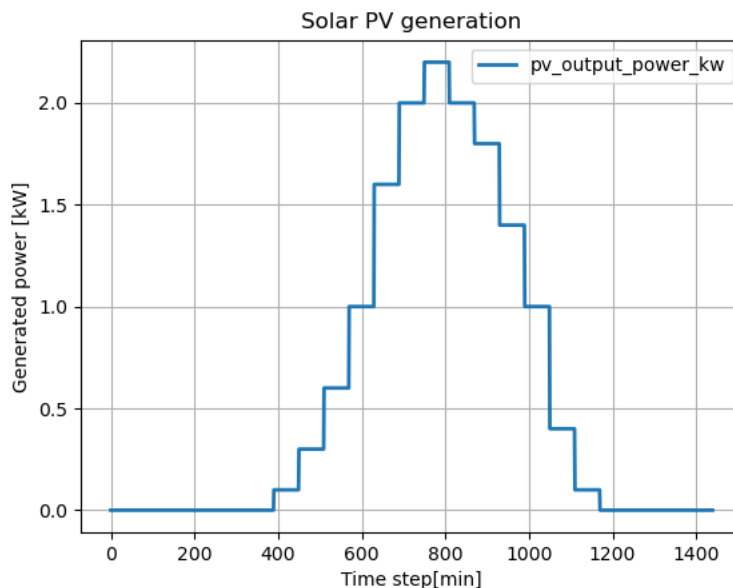
### 3.5.2 DISEÑO DEL DASHBOARD

Como consecuencia de lo expuesto en el apartado 3.4, se organizan todas las pestañas creadas en tres archivos Excel correspondientes a los tres casos de estudio. Los archivos creados son:

- TFG\_dashboard\_EV\_battery (Caso 1)
- TFG\_dashboard\_PV\_battery (Caso 2)
- TFG\_dashboard\_PV\_EV\_battery (Caso 3)

Antes de continuar con el desarrollo del diseño es necesario describir brevemente los elementos que componen la red de estudio. En este caso hablamos de los sistemas fotovoltaicos, del vehículo eléctrico y del sistema de baterías. Con estas modificaciones podemos convertir los clientes en prosumidores.

El perfil del sistema fotovoltaico es el típico para un consumidor de una red como la que se está estudiando y está extraído de [5]. La potencia de generación es  $P_{PV}=3\text{kW}$  y el perfil de potencias es el visto en la *Figura 3.7*.



*Figura 3.7 Perfil de la generación PV*

En el caso del sistema de almacenamiento se toma una batería con unos parámetros extraídos de [6] y que se explicita en la tabla de la *Figura 3.8*.

Electrical parameter	Abbreviation	Value	Unit
Rated energy capacity	$E_{bat}$	7.7	kWh
Rated power	$P_{bat}$	3	kW
Charge efficiency	$\eta_{ch}$	92	%
Discharge efficiency	$\eta_{disch}$	92	%

Figura 3.8 Parámetros del elemento batería

El perfil de carga del vehículo eléctrico es único para cada nodo de la red estudiada y está extraída de [7] tal y como se puede observar en la *Figura 3.9*.

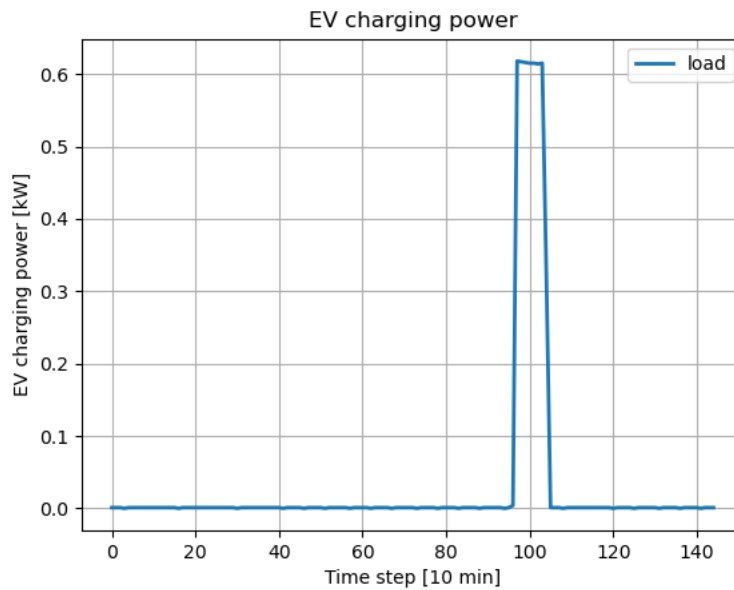


Figura 3.9 Perfil de carga del vehículo eléctrico

Para que el diseño del dashboard sea intuitivo se han ocultado todas las pestañas con las que se han creado las tablas dinámicas y los cálculos que permiten diseñar las gráficas presentadas en las pestañas asociadas a cada caso. Con lo expuesto en el *anexo B.2* también se consigue ocultar temporalmente las pestañas de los casos no estudiados en ese momento.

Las pantallas o pestañas del dashboard diseñado se pueden dividir en 3 grupos:

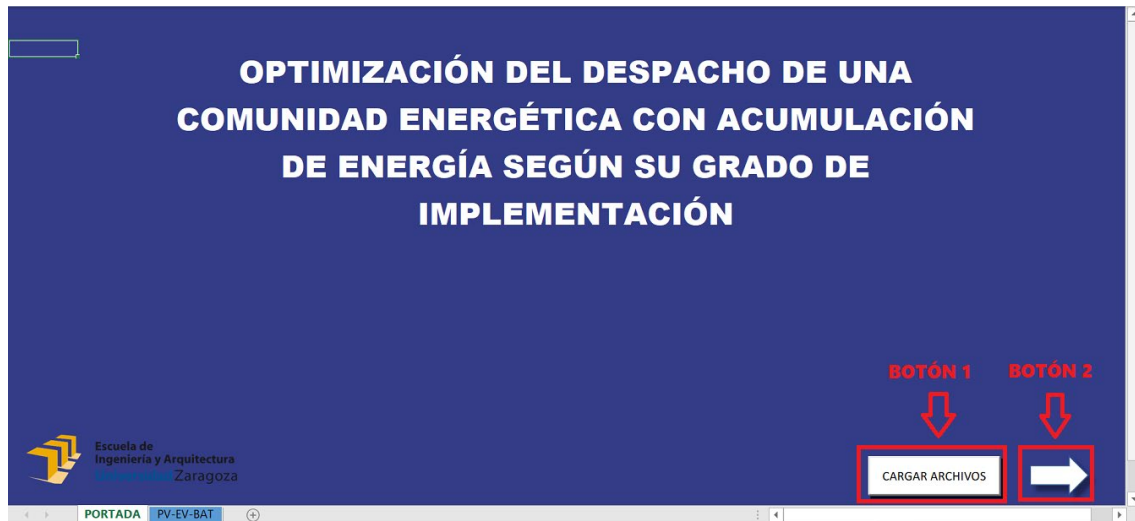
- Pestaña “Portada”: Sirve como pantalla inicial del dashboard
- Pestañas EV-BAT, PV-BAT y PV-EV-BAT: Sirven para presentar los resultados de cada caso.



- Pestaña “Resumen”: Sirve para presentar unos gráficos que aglutinan los parámetros más importantes

La configuración de la pestaña “Portada” es la que se puede visualizar en la *Figura 3.10*. En dicha pestaña se distinguen dos botones:

- Botón 1: Al activar este botón se cargan en segundo plano los archivos explicados al principio de este mismo apartado.
- Botón 2: Al activar este botón se activa la pestaña “Red” para poder visualizar la estructura de la red a estudiar.



*Figura 3.10 Vista de la pestaña “Portada”*

La siguiente pestaña que se encuentra en el dashboard es la llamada “Red”. En dicha pestaña se pueden distinguir 4 elementos que se encuentran numerados en la *Figura 3.11*.

1. Menú lateral con el que se puede seleccionar el caso a estudiar.
2. En este grupo se puede seleccionar el número de línea, y los porcentajes de nodos instalados (prosumidores) y de nodos que se encuentran cooperando.
3. Con los datos seleccionados en el segundo elemento podemos visualizar el nodo origen y destino de la línea seleccionada.
4. A partir de los datos seleccionados en el segundo elemento se obtiene un listado de los nodos instalados y cooperadores.



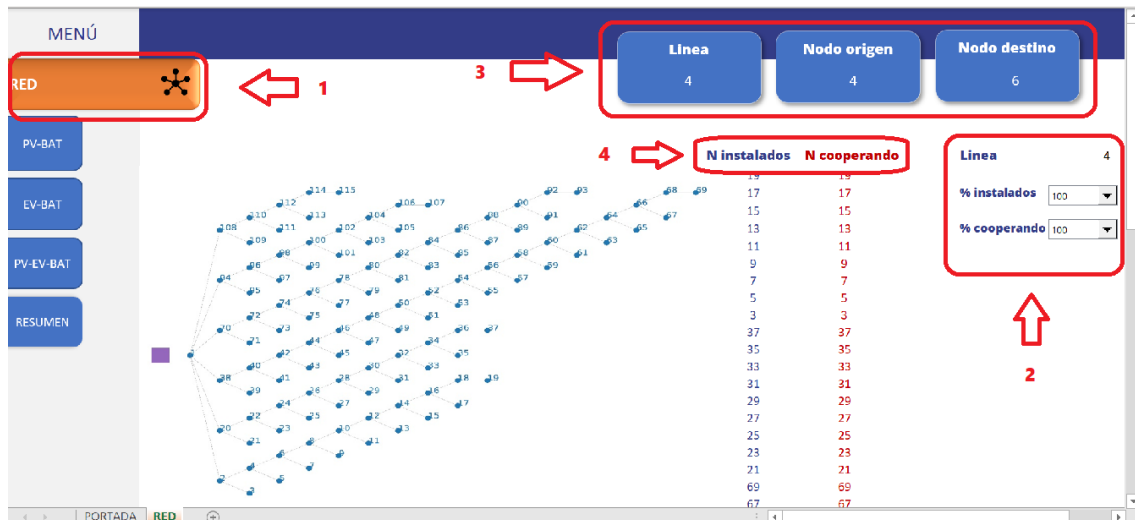


Figura 3.11 Vista de la pestaña "Red"

A continuación, se describen las pestañas asociadas a los 3 casos de estudio. La estructura de dichas pestañas es la misma en los 3 casos. Se distinguen los siguientes elementos (Figura 3.12):

1. Selección del caso de estudio.
2. Selección del nodo de estudio. En el gráfico situado a la izquierda se observa la gráfica temporal de las potencias asociadas a dicho nodo. Después de hacer un cambio en dicho nodo es necesario presionar el botón azul para actualizar la gráfica.
3. Segmentadores. Con estos dos segmentadores podemos cambiar los porcentajes de nodos participantes y cooperadores. Al mismo tiempo podemos observar su efecto en la gráfica de potencias.

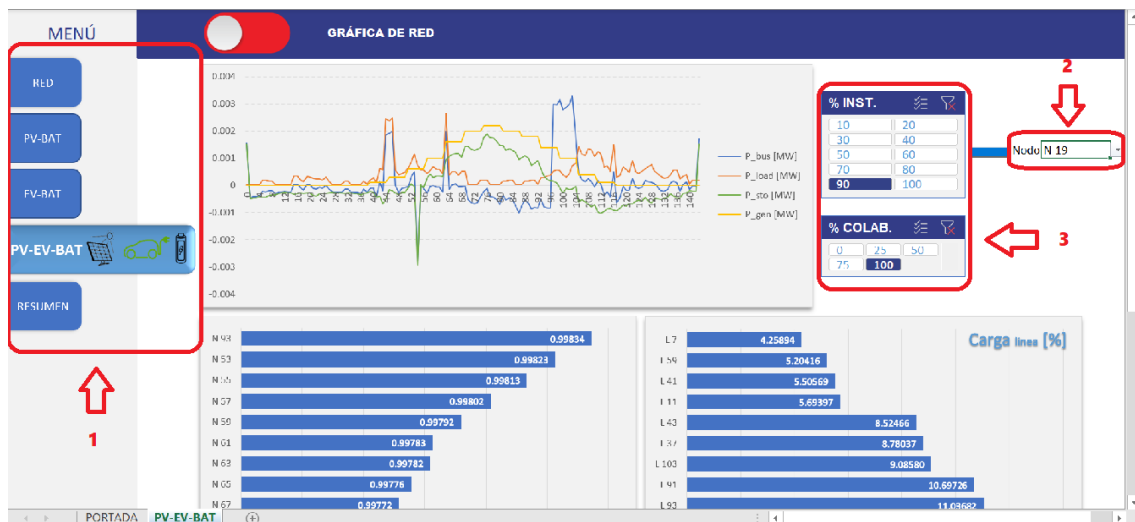


Figura 3.12 Vista de la pestaña de un caso (1/2)

En la parte inferior de la pestaña se pueden visualizar dos gráficas muy representativas. Dichas gráficas representan los 10 nodos con una tensión por unidad más desfavorable y las 10 líneas más sobrecargadas respectivamente. La configuración de prosumidores y clientes

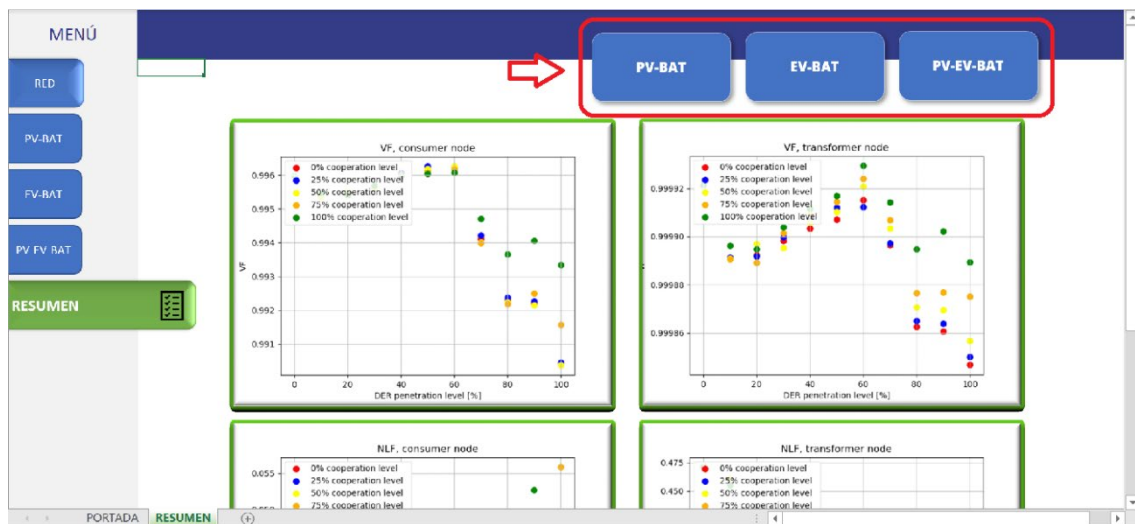
colaboradores pueden ser modificadas por unos segmentadores idénticos a los utilizados para la gráfica de potencias.

También se pueden ver resultados relacionados con el transformador colocado en la cabecera de la red (*Figura 3.13*).



*Figura 3.13 Vista de la pestaña de un caso (2/2)*

Para finalizar se diseña una última pestaña llamada “Resumen”. En dicha pestaña se representan las gráficas de un par de parámetros como son NLF y VF. De ellos hablaremos en el apartado de conclusiones del memoria. El caso que queremos analizar se puede seleccionar con el menú recuadrado en la *Figura 3.14*.



*Figura 3.14 Vista de la pestaña “Resumen”*

## 4. RESULTADOS

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Los resultados de la optimización de la red son analizados dependiendo de tipo de las energías renovables y de cargas utilizado. Como se nombró en el apartado 3.5.2, los casos son los siguientes:

- Caso 1: EV-BAT
- Caso 1: PV-BAT
- Caso 1: PV-EV-BAT

Para analizar los resultados se utilizan dos parámetros que se comentan a continuación. El primero se llama NLF o factor de carga de la red. La ecuación que lo define es:

$$NLF = \frac{P_{med,red}}{P_{max,red}}$$

Es decir, NLF mide la ratio entre el valor absoluto de la  $P_{media}$  de la red y la  $P_{máxima}$  de la misma en el periodo de estudio (en el caso de este trabajo el periodo de estudio es 1 día). Un factor que también se podría usar sería LF (load factor o factor de carga) pero no es el adecuado en casos como los estudiados aquí ya que no se tiene en cuenta el efecto de la generación fotovoltaica.

El segundo parámetro estudiado se llama VF o factor de tensión de la red. Se define de una forma análoga al anterior:

$$VF = \frac{V_{med,red}}{V_{max,red}}$$

Los dos parámetros están relacionados con la eficiencia de la red, siendo deseable valores lo más cercanos a la unidad. Se calcularán los parámetros tanto en el caso de los elementos nodales como en el caso del transformador de cabecera de la red.

Los resultados son los presentados en el Anexo E. En los encabezados de todas las tablas se pueden observar dos parámetros que merece la pena comentar:

- % Instalados: Los valores varían del 0% al 100% con un intervalo del 10%. Este parámetro define el número de nodos que se han convertido en prosumidores.
- % Cooperadores: Los valores varían del 0% al 100% con un intervalo del 25%. Este parámetro define el número de prosumidores que desean cooperar en la optimización colectiva de la red.

### 4.2 CASO EV-BAT

En este caso el valor inicial de NLF en un nodo de consumo es  $NLF=0.0289$ . Los valores van aumentando progresivamente hasta un valor de  $NLF=0.0617$ . En la mayoría de los casos se observa que el parámetro aumenta tanto al aumentar el porcentaje de colaboradores con un número fijo de prosumidores como en caso de aumentar el número de prosumidores manteniendo constante el porcentaje de colaboración. Para el caso del transformador el parámetro NLF tiene un comportamiento parecido llegando a un máximo de  $NLF=0.809$  para un 100% de prosumidores y un 75% de colaboración. El rango de valores en este caso es  $[0.456;0.81]$ .

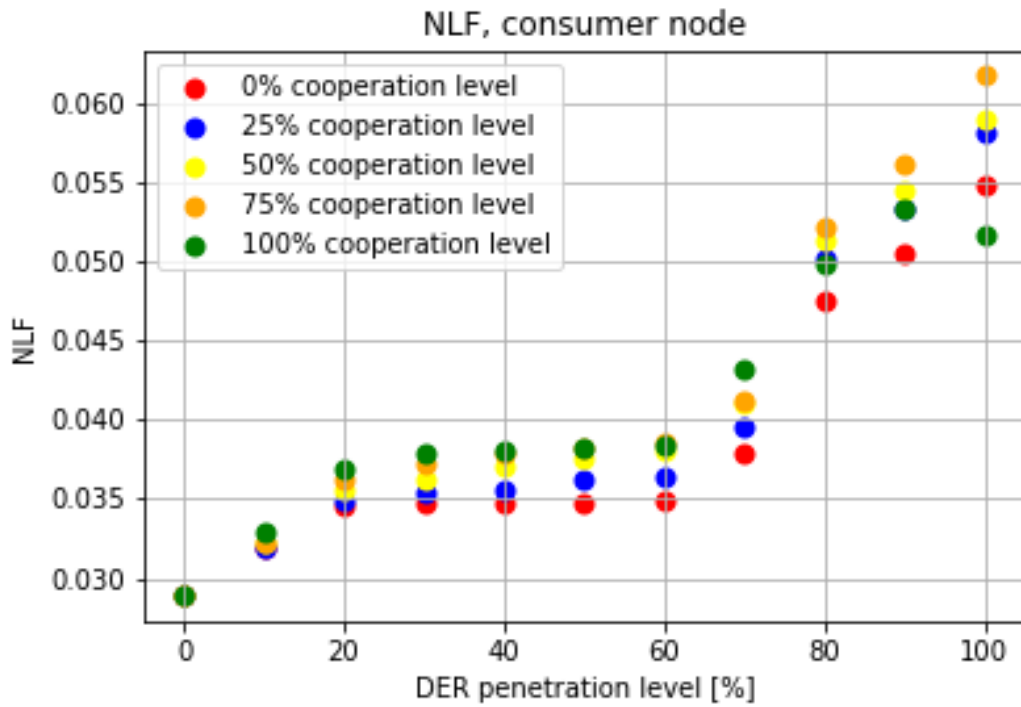


Figura 4.1 NLF nodal caso EV-BAT

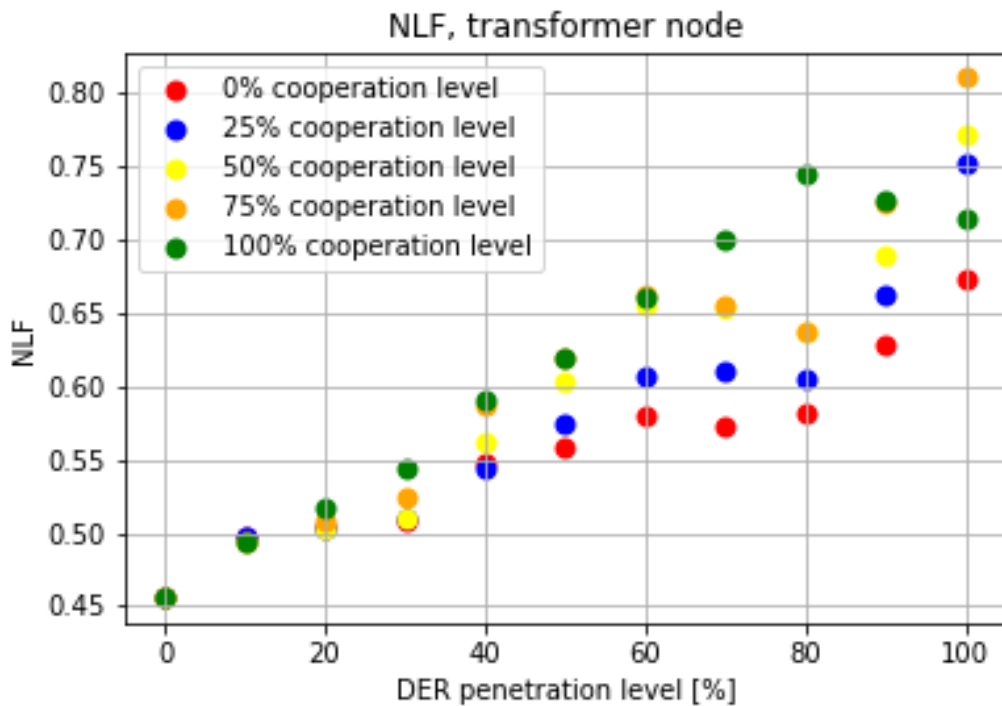


Figura 4.2 NLF transformador caso EV-BAT

Si tenemos en cuenta el parámetro VF se observa un comportamiento muy parecido en el caso del nodo transformador. En el caso del nodo consumo se produce un efecto diferente ya que se observan los valores más altos para porcentajes de colaboración bajos. Sobre todo, es significativo que el valor de VF siempre es un valor muy cercano a la unidad.

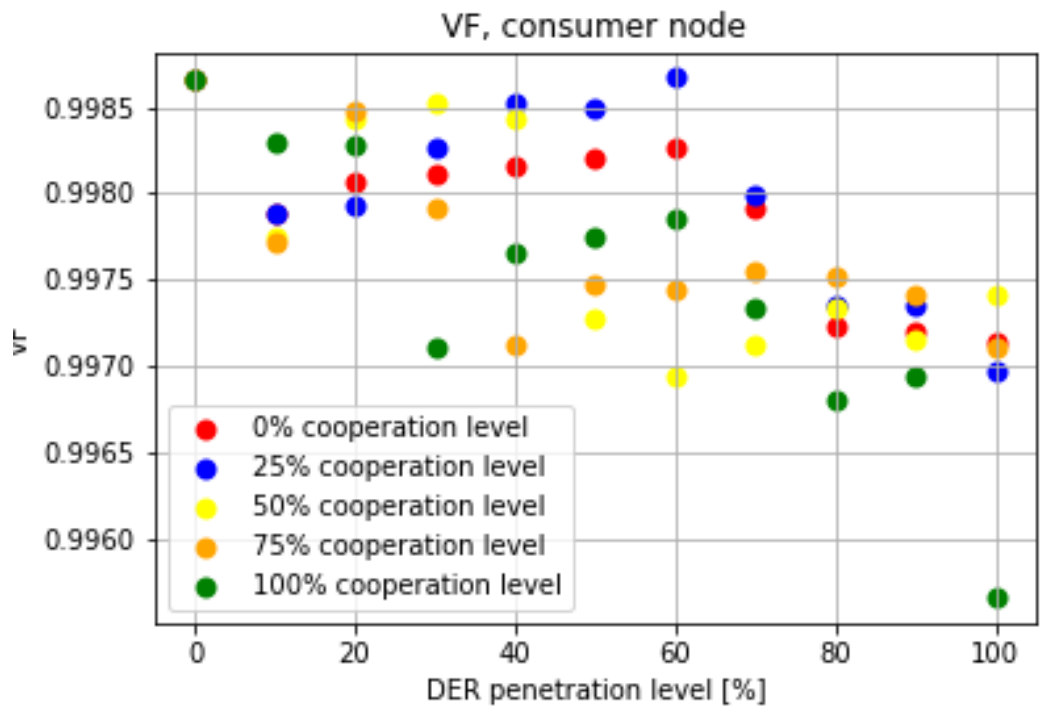


Figura 4.3 VF nodal caso EV-BAT

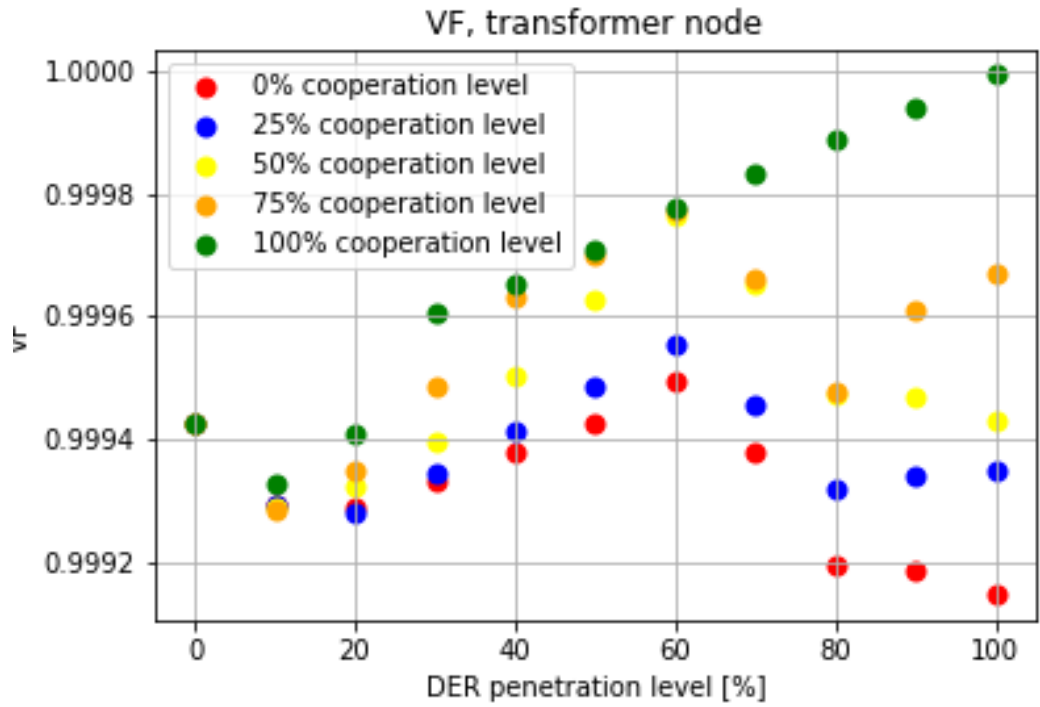


Figura 4.4 VF transformador caso EV-BAT

### 4.3 CASO PV-BAT

En este caso se observa cualitativamente un comportamiento parecido al caso anterior si hablamos del NLF nodal. El valor máximo de NLF en un nodo de consumo es inferior al caso 4.2 ( $NLF_{\max}=0.0532$ ). El valor de NLF en el nodo del transformador es casi independiente del porcentaje de cooperación para un número fijo del porcentaje de instalación. También se observa que los datos siguen una forma parabólica con un mínimo para un porcentaje de nodos prosumidores del 50%

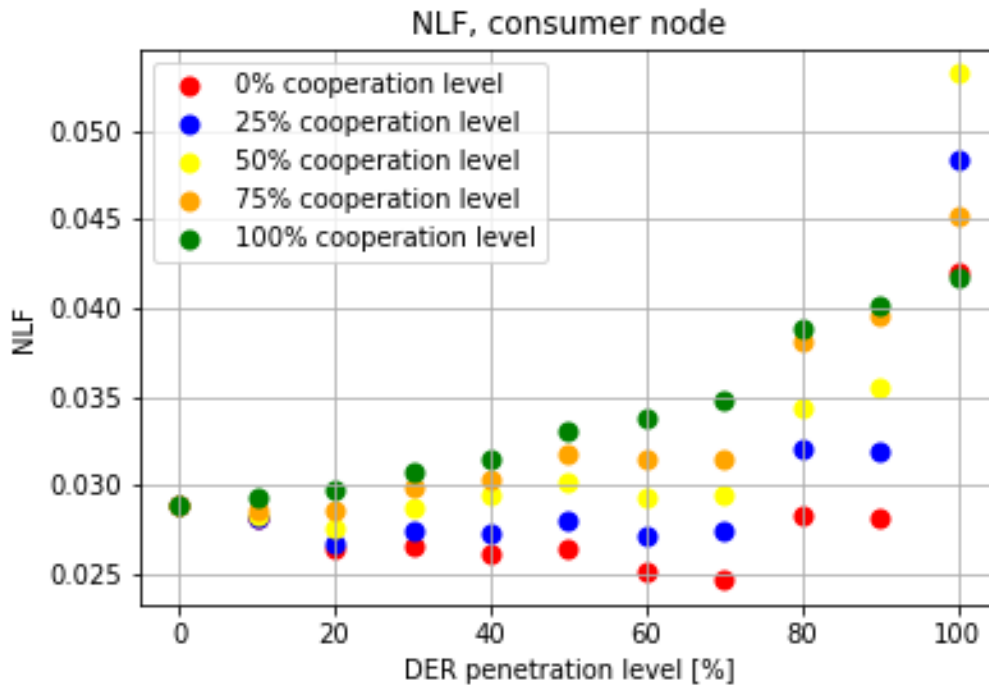


Figura 4.5 NLF nodal caso PV-BAT

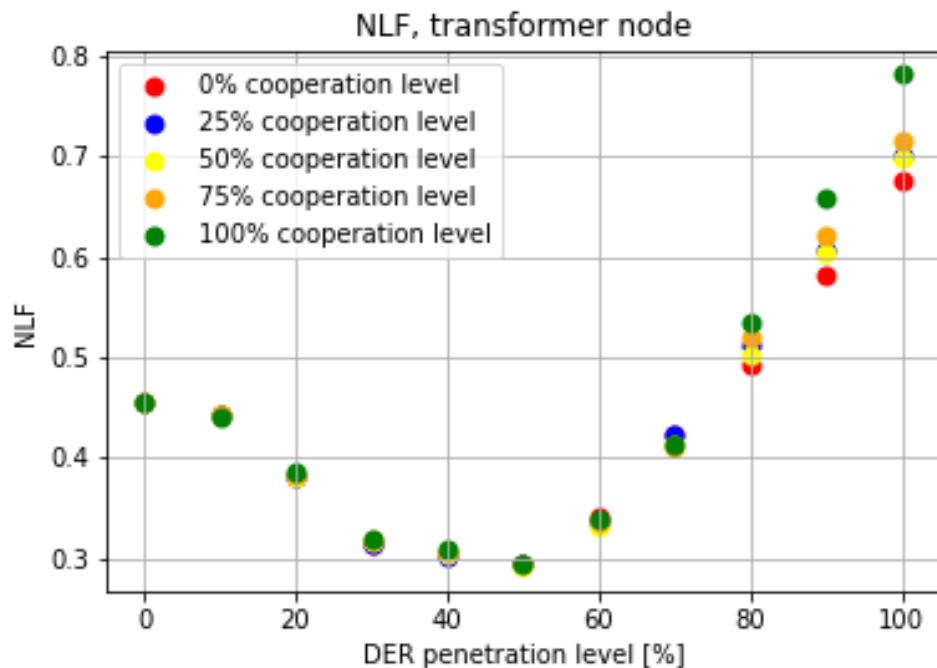


Figura 4.6 NLF transformador caso PV-BAT

Los valores del parámetro VF nodal vuelve a tener el mismo comportamiento general que en el caso anterior, pero con valores superiores. En el caso del VF del transformador se observan valores casi independientes del valor del porcentaje de colaboración para un número fijo de prosumidores, pero en este caso los datos tienen una tendencia a crecer de manera monótona al cambiar el porcentaje de prosumidores.

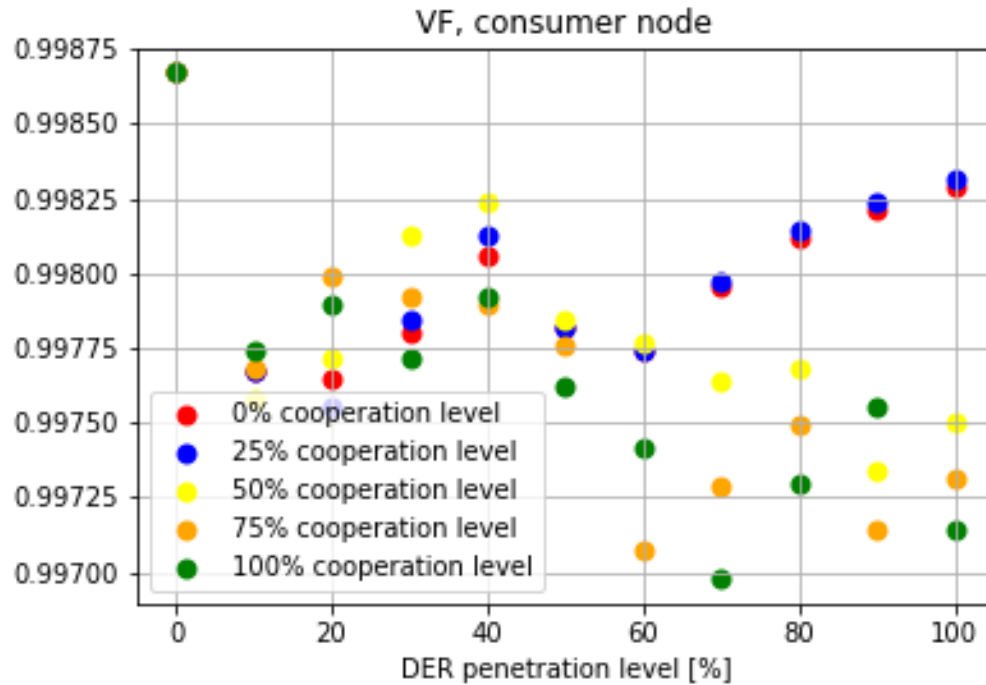


Figura 4.7 VF nodal caso PV-BAT

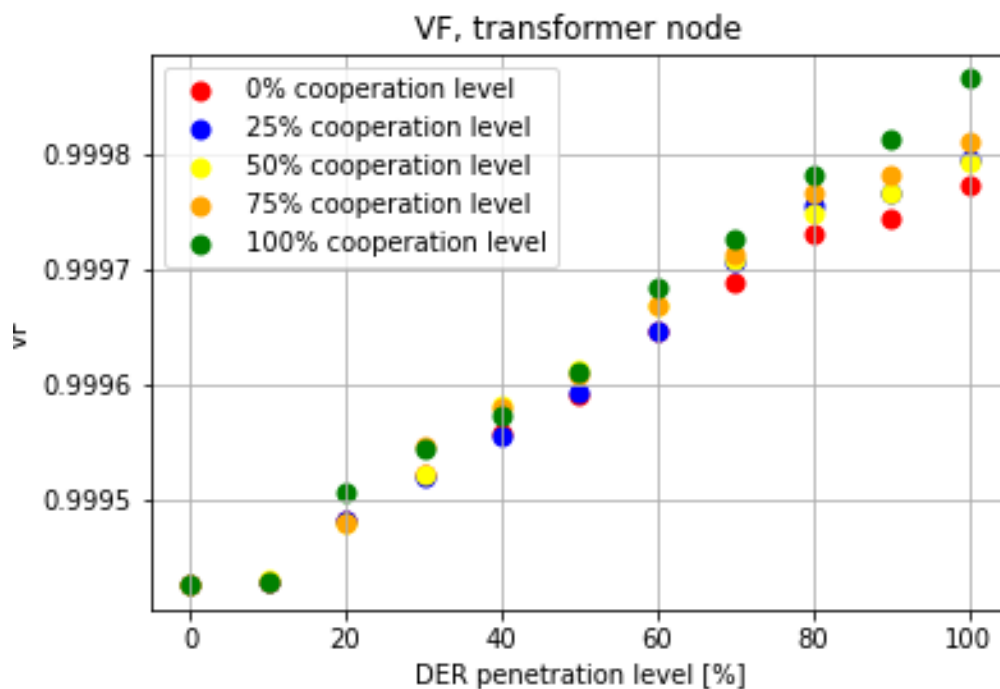


Figura 4.8 VF transformador caso PV-BAT

#### 4.4 CASO PV-EV-BAT

En este escenario se observan un patrón de resultados similar al caso 4.3 para el caso del NLF nodal; es decir, es mucho más importante el efecto de la generación fotovoltaica al producido por el consumo del coche eléctrico.

En el caso del NLF del transformador se intuye un patrón parabólico como en el caso anterior pero desplazado para que el mínimo sea para un grado de penetración de energía distribuida del 60%. También se observa que para valores altos de dicho grado el valor permanece prácticamente constante. El valor máximo es mucho menor que en cualquiera de los otros dos casos.

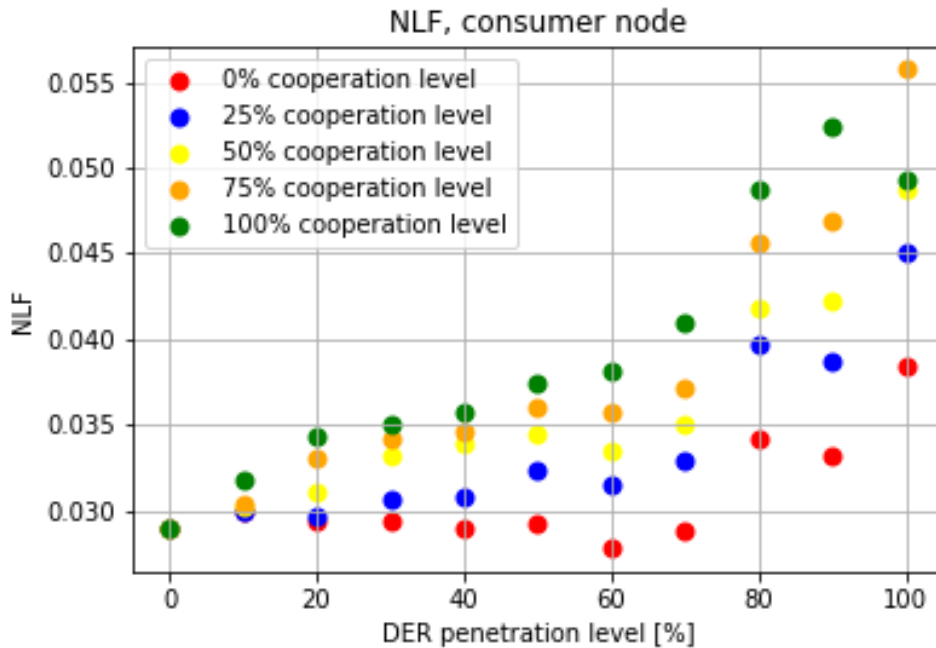


Figura 4.9 NLF nodal caso PV-EV-BAT

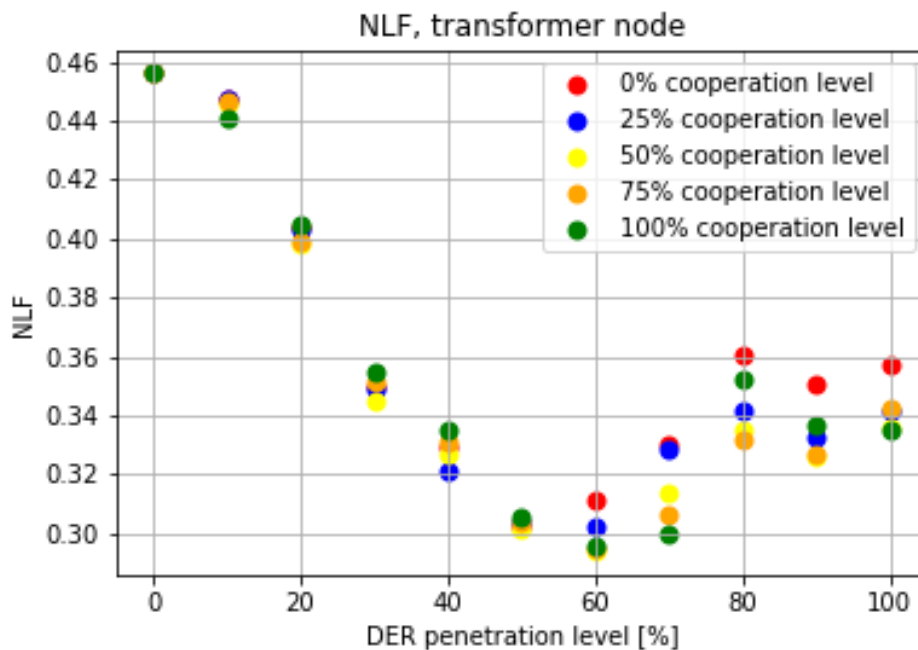


Figura 4.10 NLF transformador caso PV-EV-BAT



Los valores del parámetro VF es también muy cercano a la unidad en todos los casos, tanto para el nodo de consumo como para el nodo del transformador. También se observa que para valores de penetración de energía distribuida mayores del 60% los valores disminuyen en ambos casos.

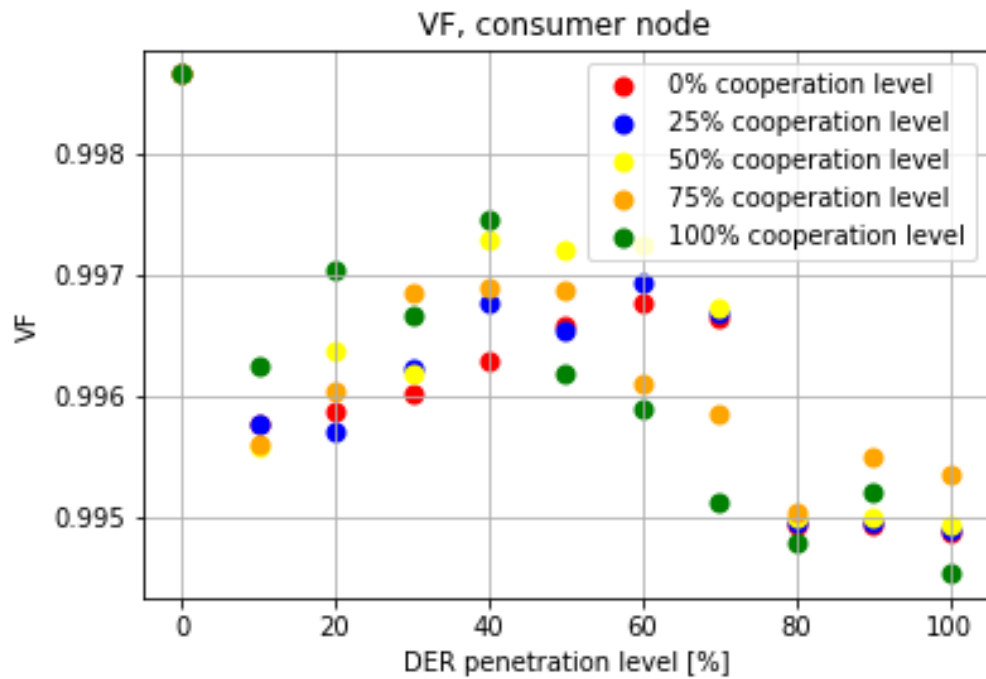


Figura 4.11 VF nodal caso PV-EV-BAT

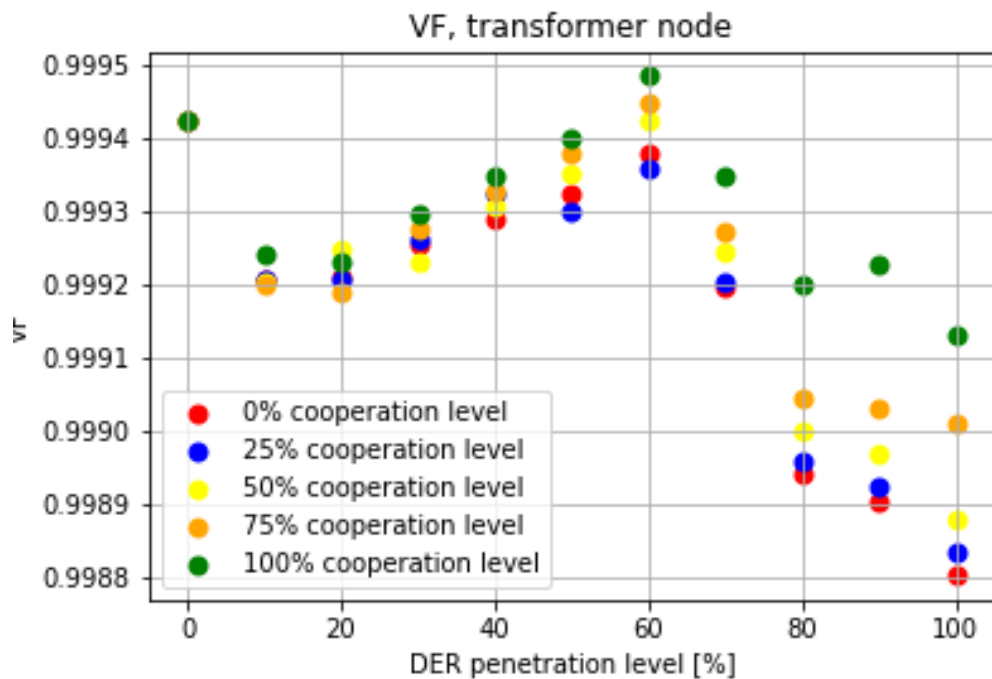


Figura 4.12 VF transformador caso PV-EV-BAT

## 5. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se ha intentado crear una parte gráfica mucho más amplia al que se aporta en [3]. La finalidad es obtener una forma mucho más fácil de entender el problema de la optimización del despacho de una comunidad energética con acumulación de energía. Se ha intentado incidir sobre todo en el efecto de la colaboración entre los usuarios de la red para conseguir una red más estable, buscando paliar los efectos de los cambios bruscos de carga nodal dado por el vehículo eléctrico.

Se ha observado que los resultados de la red son mucho más satisfactorios tanto cuando el porcentaje de prosumidores aumenta como cuando aumenta la interacción entre ellos.

Dos de los parámetros calculados más importantes son NLF y VF. Un cuadro resumen es el indicado en la *Figura 5.1*.

		EV-BAT		PV-BAT		PV-EV-BAT	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
NLF	NODO CLIENTE	0.02891	0.06172	0.02471	0.05321	0.02783	0.05573
	NODO TRANSFORMADOR	0.45597	0.80984	0.29173	0.78156	0.29404	0.45597
VF	NODO CLIENTE	0.99566	0.99867	0.99698	0.99867	0.99453	0.99867
	NODO TRANSFORMADOR	0.99915	0.99999	0.99943	0.99987	0.99880	0.99948

*Figura 5.1 Cuadro resumen de los parámetros NLF y VF*

Hay que destacar la cantidad de pequeños “problemas” que han ido surgiendo sobre todo en el tratamiento de los datos para que fueran posible la composición de todas las gráficas del dashboard y que han necesitado una gran inversión de tiempo.

Como futuros trabajos se abren un abanico de posibilidades:

- Automatización del proceso: Sería deseable poder cargar cualquier red y realizar un estudio parecido. Se ve factible, pero habría que invertir un tiempo apreciable para conseguirlo.
- Selección manual de nodos: Sería ideal poder tener más poder de selección sobre los nodos que intervienen para ver otras configuraciones en la comunidad energética.
- Aumentar número de gráficas: En los archivos Excel creados para cada caso se han guardado pestañas con datos de la red sobre los que no se han hecho un estudio gráfico por falta de tiempo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Documentación sobre Pandapower. <https://pandapower.readthedocs.io/en/latest/>
- [2] L. Thurner *et al.*, “Pandapower - An Open-Source Python Tool for Convenient Modeling, Analysis, and Optimization of Electric Power Systems,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 6, pp. 6510–6521, Nov. 2018.
- [3] Ellina Shchurovskaya – “Dispatch optimization of energy communities for collective provision of network congestion management”. Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
- [4] Redes en Pandapower. <https://pandapower.readthedocs.io/en/latest/networks/kerber.html>
- [5] “Home energy consumption versus solar PV generation | Solar Choice.” <https://www.solarchoice.net.au/blog/home-energy-consumption-versus-solar-pv-generation> (accessed May 17, 2020).
- [6] V. Gjorgievski and S. Cundeva, “The effects of residential battery storage on grid impact indicators,” in *IEEE Milan PowerTech*, Jun. 2019
- [7] “ProjectData - Customer-Led Network Revolution.” <http://www.networkrevolution.co.uk/resources/project-data/> (accessed Jun. 16, 2020).
- [8] Cómo crear un DASHBOARD interactivo en Excel en menos de 10 min! <https://youtu.be/Oanr41Tz28U?si=YBpT1nPuGsztgqWU>
- [9] Construye este Increíble DashBoard en Excel desde cero en solo 2 Horas <https://youtu.be/9DiZsY8GPss?si=iaxwgV4PKbgKKpJG>
- [10] Como Armar un Dashboard Impresionante y Sencillo en Excel Paso a Paso <https://youtu.be/qeya4pRrSTE?si=-qC3ziV0xAEfsYBN>
- [11] Cómo crear un GRAFICO DINAMICO a partir de una LISTA DESPLEGABLE en Excel. <https://youtu.be/gsZmAT0Ho9c?si=7KU7cdpDypl45-Md>
- [12] Actualización de tabla dinámica con lista desplegable, informes automáticos cambio de fecha Excel <https://youtu.be/RwBA7FtUeqo?si=ZYZHtEHMbt-qgJAB>
- [13] Curso Tablas Dinámicas y Dashboard. [https://youtu.be/2RTWIY6lRQE?si=\\_hET2qF8tA6zPxNh](https://youtu.be/2RTWIY6lRQE?si=_hET2qF8tA6zPxNh)
- [14] Tutoriales de Pandapower <https://github.com/e2nIEE/pandapower/tree/develop/tutorials>
- [15] Excel. Power Query. Distintas versiones. <https://youtu.be/FJjgGF3k2i4?si=1zAHNF-fGWOZ2OvZ>
- [16] Curso Power Query en Excel. Sergio Alejandro Campos <https://youtu.be/cOcNSanqYo4?si=S6LMxwq7zu3vZhxF>
- [17] Phyton por data análisis. Data wrangling with pandas, numpy and ipython. Wes McKinney
- [18] Numerical Python. Robert Johansson
- [19] Hogarsense. Comunidades energéticas. <https://www.hogarsense.es/placas-solares/comunidades-energeticas#casos>

[20] Comunidad energética Sapiens. <https://sapiensenergia.es/comunidades/comunidad-energetica-local-albalat-dels-sorells/>

[21] Comunidad energética Río Monachil. <https://www.20minutos.es/noticia/4861035/0/medio-centenar-de-vecinos-consumen-energia-de-plantas-fotovoltaicas-de-edificios-municipales-de-monachil/>

[22] 11 casos de éxito de comunidades energéticas en Europa y España. <https://solarmente.es/blog/casos-de-exito-de-comunidades-energeticas>