



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Integración del vehículo eléctrico en la red de
distribución. Impacto en Smart Grids.

Integration of electric vehicles into the distribution
network. Impact on Smart Grids.

Autor

Eduardo Labrador Pirla

Director

María Paz Comech Moreno

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2016

Integración del vehículo eléctrico en la red de distribución. Impacto en Smart Grids.

RESUMEN

En la actualidad se encuentra en auge todo lo relacionado con el vehículo eléctrico y los grandes beneficios que es capaz de aportar a nuestra vida cotidiana tanto en lo referente a la movilidad que brinda como medio de transporte, como en el ámbito económico y ambiental. El vehículo eléctrico representa un medio de transporte fiable que reducirá de forma significativa la contaminación en los núcleos urbanos.

La integración masiva de los vehículos eléctricos puede conllevar diferentes problemas asociados al sistema eléctrico de potencia, ya que puede necesitar realizar modificaciones en la operación y control de la red de distribución o incluso aumentar el parque de generación para poder abastecer el aumento de la demanda eléctrica que representa su recarga. Dichos problemas son sobretensiones y sobrecargas, problemas con la accionamiento de las protecciones, pérdidas importantes de energía, por citar algunos de ellos.

En este trabajo fin de grado se va a realizar un estudio mediante simulación cuasi-dinámica en un modelo de red de distribución en media tensión, en la cual se integrará de forma progresiva una flota de vehículos eléctricos con el objetivo de predecir el posible impacto en la red de la recarga del vehículo eléctrico. Además se analizará la posibilidad de que parte de los vehículos y los puntos de recarga dispongan del servicio V2G (Vehicle to Grid) que representa un sistema de almacenamiento cuando los vehículos están cargados y conectados a la red.

Así mismo se va hacer un estudio del estado del arte del vehículo eléctrico y sus aspectos más relevantes como pueden ser sus baterías o algunos de los servicios más interesantes que debe proporcionar como el V2G.

Contenido

1	Introducción	5
2	Estado del arte	8
2.1	El vehículo eléctrico.....	8
2.2	Recarga del VE.....	8
2.3	Problemática de las baterías en los sistemas V2G	12
2.4	Futuro de las baterías.....	14
3	Descripción de los estudios de simulación	15
3.1	Red analizada	16
3.2	Casos de análisis	17
4	Resultados	23
4.1	Tensiones.....	23
4.2	Carga en líneas y transformadores.....	24
4.2.1	Influencia en el % de carga del transformador TR1.....	24
	Influencia en el % de carga del transformador.....	25
4.2.2	TR2.....	25
4.3	Pérdidas en la red de distribución	26
5	Conclusiones	28
6	Bibliografía	30
7	Anexos.....	32
7.1	Anexo I: Datos de simulación.	32
7.2	Anexo II: Resultados totales de simulación.	34
7.2.1	Integración 0%.....	35
7.2.2	Integración 15%.....	37

7.2.3	Integración 30%.....	39
7.2.4	Integración 60%.....	41
7.2.5	Integración 60%+V2G	43
7.3	Anexo III: Software de simulación.	45

1 Introducción

La integración del vehículo eléctrico (VE) ofrece soluciones y prestaciones que a día de hoy el vehículo de combustión no puede ofrecer. La primera y más clara es la ecológica, el problema de las emisiones de CO₂ que se emiten diariamente por los vehículos de combustión, aunque es cierto que algunas de las formas de producción de energía eléctrica para la carga de los VE, como la quema del carbón, producen altas emisiones de CO₂, pero el nivel contaminante del vehículo en marcha es cero. En muchas ciudades europeas y de todo el mundo cada vez es más frecuente el acceso exclusivo de vehículos eléctricos a algunas zonas, de la misma forma que lo es aparcar de forma gratuita para promover su uso y reducir los problemas de contaminación atmosférica de las grandes ciudades.

Aun siendo más caros que la alternativa de motores de combustión, proyectos como el Plan MOVEA, que financia la compra de VE hasta 5500 € lo hacen una alternativa viable, eso sumado al menor coste de mantenimiento que necesitan a causa de que carecen de aceites que cambiar, filtros, correas, etc. Aspecto que según fabricantes como Renault aseguran que el ahorro en los costes de mantenimiento será del 20%.

Otro aspecto es el grado de satisfacción del consumidor. Donde la gran aceleración de la que gozan estos vehículos siendo capaces de ofrecer un par máximo de forma instantánea y el absoluto silencio cuando están en marcha pueden ser unos de los causantes que hacen que el 90% de los clientes que adquieren un vehículo eléctrico aseguran que volverían a comprarlo y también recomendarían su compra a terceros.[2]

Los tiempos necesarios para la recarga del VE es uno de sus inconvenientes, pero cada día esos tiempos son menores, debido al uso de conectores como el CSS, el cual es capaz de cargar entre un 60-80% de la batería en 15 minutos y que empresas como VW, BMW o Renault han tomado como estándar en Europa a partir de 2018, gracias al proyecto de carga ultra-rápida ultra E.[3]

Sin embargo, una integración masiva del VE conlleva un aumento de la demanda de energía que puede afectar de forma negativa al sistema eléctrico, como son los

problemas de congestión en la red de distribución, la necesidad de incrementar el parque de generación, etc.

La recarga del VE conlleva un aumento en la energía consumida que, en caso de que se realice de forma incontrolada en cuanto a duración y horario puede ocasionar congestiones en la red y modificar la curva de demanda, haciendo la diferencia entre la punta y el valle de demanda todavía mayor. En la Ilustración 1 se muestra la curva de demanda de un día laborable de noviembre. En esta curva se observa que se produce una punta de demanda con un máximo a las 19:57 con un consumo de 35.801 MW y un valle con un mínimo a las 03:37 con 22.735 MW consumidos. A partir de estos datos, se observa que el consumo máximo este día es un 50 % mayor que durante las horas valle. Si la recarga de un gran número de VE se realiza de forma rápida y en horas punta, este pico subirá, sobrecargando los equipos de la red de distribución y haciendo necesario aumentar el sistema de generación. Para evitar estos problemas, se plantea favorecer la recarga se realice de forma lenta, (durante un periodo de siete u ocho horas) y abarque aquellas horas nocturnas en las que se presenta el valle más profundo de la curva de demanda. [4]

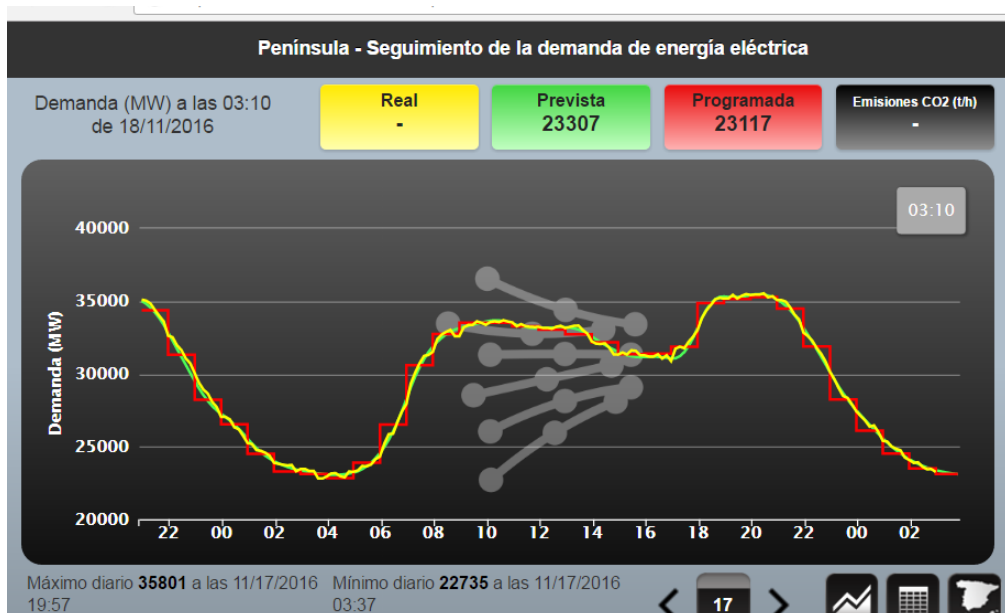


Ilustración 1 Curva de demanda en la península. Fuente: www.ree.es

También se plantea que el vehículo eléctrico se emplee como sistema de almacenamiento, para que la energía sobrante que proviene de las fuentes de energía renovables y otras fuentes durante las horas valle, que no es utilizada en el momento

de la generación, pueda ser usada en otro momento. Esta segunda posible solución se denomina V2G (Vehicle to Grid) y conlleva nuevos retos en la operación y control de la red de distribución. [6] La red de distribución está diseñada suponiendo que el flujo de la potencia es unidireccional, desde los niveles de mayor tensión a los de menor, donde están conectados los puntos de consumo. Con el V2G deja de existir esa unidireccionalidad y emerge la necesidad de una red bidireccional en la que la electricidad se distribuya tanto de mayor a menor tensión como de menor a mayor, al igual que ocurre con la generación distribuida. Este cambio de concepto hace necesario rediseñar aspectos tales como los procedimientos de operación de la red o el sistema de protecciones y el desarrollo de sistemas de monitorización y comunicaciones como los que se presentan en el entorno de las SmartGrids.

Para la implantación de estos sistemas V2G se debe proveer al sistema de una excelente comunicación con el usuario, donde el cliente pueda determinar cuándo necesita el vehículo cargado y las distancias a recorrer para asegurar la movilidad necesaria. El VE actuara como carga o generador durante el tiempo que este estacionado dependiendo de las necesidades de la red. [7]

En este TFG se analiza la integración del VE desde el punto de vista de la red de distribución. Se estudia la influencia en los perfiles de tensión de la red, en las posibles congestiones y en el aplanamiento de la curva de demanda dependiendo del grado de integración del VE. Este análisis se ha realizado mediante simulación a través del software DIgSILENT PowerFactory. [8]

Esta memoria se estructura como sigue. En el capítulo 2 se realizara un estado del arte acerca de la situación actual de los aspectos concernientes a la industria del VE y la evolución prevista para los próximos años. En el capítulo 3 se expone de manera detallada la red de simulación empleada, los estudios de simulación realizados en dicha red y los diferentes escenarios de integración que se aplican. El análisis de los resultados en los diferentes escenarios se describe en el capítulo 4 y por último en el capítulo 5, se exponen las conclusiones acerca de los estudios realizados.

2 Estado del arte

En este capítulo se muestra el estado del arte en cuanto a vehículo eléctrico, baterías y recarga del vehículo. Con el fin de establecer una base tanto informativa como científica que permita el total entendimiento y comprensión de los sucesivos capítulos, así como una introducción a lo que es posible que encontremos en el mercado tanto del VE como del almacenamiento energético en un periodo de aproximadamente 5 años.

2.1 El vehículo eléctrico

El nivel de inclusión del VE hoy en día se encuentra muy por debajo de lo esperado hace unos años, actualmente (Octubre 2016) se encuentran en matriculados un total de 6017 vehículos eléctricos en España, [9] lo que aun hace difícil conseguir un soporte técnico y servicios de asistencia fiables para este tipo de vehículo, aún y considerando el bajo mantenimiento que conllevan.

Las previsiones para los próximos años son optimistas, el objetivo es llegar a un parque de aproximadamente 500.000 VE en 2020, lo que supone un aumento en la demanda de 1,5 TWh. El cálculo de este aumento supone que cada coche recorre una media de 40 km diarios con un consumo energético de 0'2 kW/km y en lo que se refiere al modo de carga, se estima que el 50% de los VE se carguen sin sistema de gestión y el 50% restante con discriminación horaria supervalle. Bajo estas hipótesis, se prevé un incremento de aproximadamente 30 MW durante el valle de noche y de 300 MW en la punta de invierno.[10]

2.2 Recarga del VE

Existen tres aspectos clave en cuanto a la recarga del VE: el tipo de conector, el tipo de recarga y el modo de carga. La selección de cada uno de ellos depende de cada marco de aplicación, importante es saber adecuar las tres características para adaptar a los intereses y necesidades del usuario.

Respecto a los tipos de conectores no existe un estándar que los diferencie a nivel mundial. Así se distinguen varios tipos de conector:

- *Schuko*: Compatible con las tomas de corriente europeas, únicamente útil en recarga lenta y sin posibilidad de ofrecer comunicación con la red.



Ilustración 2 Conector Schuko. Fuente: Endesa

- *SAE J1772, o tipo 1*: Específico para VE, con 43 mm de diámetro. Ofrece detección de proximidad, comunicación con la red y opción de recarga lenta y rápida.



Ilustración 3 Conector SAE J1772. Fuente: Endesa

- *Mennekes o tipo 2*: Conector de carácter industrial no específico para VE y de alimentación trifásica.



Ilustración 4 Conector Mennekes. Fuente: Endesa

- *Combinado o CCS*: Conector que se ha propuesto como solución estándar para el VE, admite comunicación con la red así como recarga lenta o rápida.



Ilustración 5 Conector combinado o CCS. Fuente: Endesa

- **CHAdeMO:** Estándar Japonés, pensado específicamente para la recarga rápida en CC, es capaz de admitir hasta 200 A, destinados para una recarga ultra-rápida.



Ilustración 6 Conector CHAdeMO. Fuente: Endesa

En cuanto al tipo de recarga, existen tres opciones: recarga convencional o lenta, semi-rápida o rápida. La recarga convencional (16 amperios) utiliza el mismo sistema de que hay instalado en una vivienda convencional. Esto obliga a realizar la carga con una potencia máxima de 3,7 kW, por lo que se producirá una carga de carácter lento (unas 7-8 horas). Este tipo de recarga es interesante para conseguir el aplanamiento de la curva de demanda esperado con la implantación masiva del VE en caso de que la recarga se efectúe en horas de baja demanda. En caso de que sea necesario que el VE esté listo en un tiempo menor existe la posibilidad de emplear recarga semi-rápida (32 amperios) o rápida. La recarga semi-rápida permite una carga completa en aproximadamente cuatro horas. Por último, la recarga rápida se realiza en corriente continua llegando a proporcionar una potencia de salida del orden de 50 kW, lo que permite cargar un 80% de la batería en un periodo de aproximadamente 30 minutos. Como inconveniente, este tipo de recarga requiere una mayor corriente que puede

requerir una adecuación de la red eléctrica por temas como el cableado. Como referencia se puede decir que el consumo equivalente de un punto de recarga rápida es el de un edificio con 15 viviendas.

Muchas veces el modo de recarga viene dado por los dos aspectos anteriores. Se presentan cuatro modos para recarga que se ilustran en la SEQ y la SEQ:

- *Modo 1:* Recarga con conector *Schuko*, sin comunicación.
- *Modo 2:* Recarga con conector *Schuko*, que consta de un control piloto entre el coche y la toma, el cual nos permite la comunicación entre ambos y la verificación de la correcta conexión del vehículo.
- *Modo 3:* Toma *Mennekes* que consta de comunicación y protecciones integradas.
- *Modo 4:* Para el caso en el que el tipo de recarga sea rápida, se instalara un convertidor entre el vehículo y la red. [4]

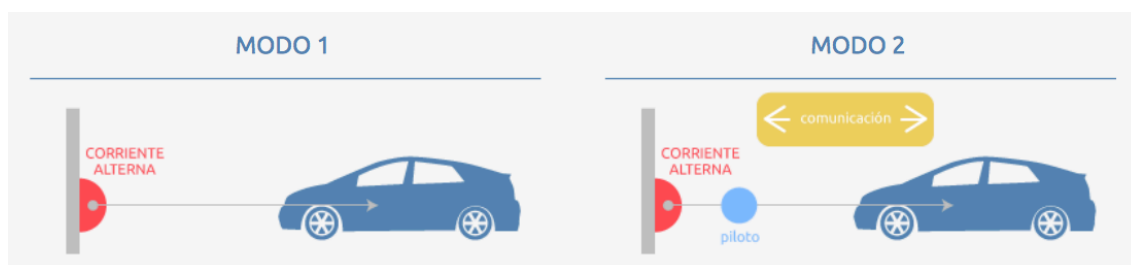


Ilustración 7 Modos de carga 1 y 2. Fuente: Endesa

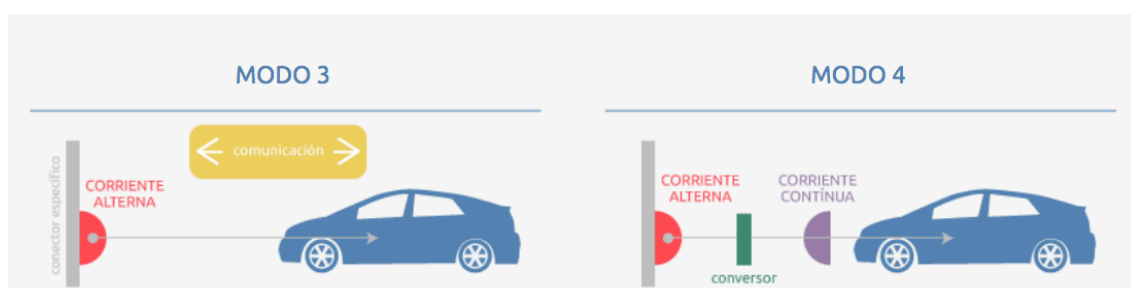


Ilustración 8 Modos de carga 3 y 4. Fuente: Endesa

2.3 Problemática de las baterías en los sistemas V2G

El desarrollo de baterías sigue siendo la asignatura pendiente en el desarrollo del VE, la llave que por fin puede abrir el mercado y establecer el vehículo eléctrico como una alternativa viable e incluso de mejores prestaciones que los vehículos impulsados por motores de combustión. En los últimos años se ha incrementado de manera notable la densidad de carga y longevidad media de las baterías, lo que permite dotar de una mayor potencia a los vehículos, así como una mayor autonomía, que actualmente tiene unos valores medios de aproximadamente 150 km, aunque existen vehículos eléctricos que llegan incluso a superar los 400 km (250 millas) de autonomía como es el Tesla Model 3. [11]La siguiente tabla muestra la energía necesaria para recorrer 100 km (kWh/100km). Para este cálculo se han tomado los datos de los principales VE actuales que indican un consumo medio de 12,76 kWh/100km tomados de la batería. También se tienen en cuenta las pérdidas producidas en los conductores, rendimientos de transformador, batería y central.

kWh_{EMec}/100km	kWh_B/100km	kWh_E/100km	kWh_C/100km
8,83	12,76	13,32	14,21

Tabla 1 Consumo energético de un VE cada 100 km. Fuente: propia

Dónde:

- kWh_{EMec}/100km: Energía mecánica aprovechable en kWh que se obtienen a partir de los 12,76 kWh de la batería por 100km.
- kWh_B/100km: Energía en la batería en kWh necesarias para cada 100 km
- kWh_B/100km: Energía que se consume en el punto de recarga en kWh cada 100 km.
- kWh_C/100km: Energía generada necesaria para abastecer la recarga de los VE en kWh cada 100 km.

El gasto del consumidor en su factura eléctrica debidos a la energía necesaria para la recarga, según los datos anteriores es de 14,21 kWh . Si se supone un precio la energía en España con un valor de 0,115 €/kWh aproximadamente, supondrá un coste de 1,65 €/100 km una cifra muy inferior a la obtenida con un vehículo de combustión en

el cual el gasto se suele estimar en 6,35 €/100km, este ahorro constituye una de las grandes bazas de los VE.

La problemática asociada en a las baterías se hace evidente en el V2G, es decir cuando el vehículo se emplea también como un punto de almacenamiento para poder suplir a la red en periodos de punta de demanda, cuando la energía es más cara, o se produzca un corte en el suministro por alguna incidencia en las redes de distribución.

Aunque el concepto en esencia es muy atractivo, que existen importantes barreras para su implantación. La primera de ellas es de carácter horario, ya que la disponibilidad de V2G va acorde a los vehículos conectados a la red de distribución en cada instante. Así, la menor disponibilidad de VE como sistema de almacenamiento se da en los momentos con más actividad automovilística, que suele coincidir con los momentos de máxima demanda (a mediodía y última hora de la tarde). Además, los usuarios de los VE son reacios a tener conectado el vehículo en modo V2G por miedo a que puedan necesitar el VE durante ese tiempo y no cuenten con la energía almacenada necesaria.[5]

La segunda barrera es la falta de eficiencia de las baterías de las que se dispone hoy en día, ya que las pérdidas durante la carga y posterior descarga de una batería son muy altas. Las pérdidas en la carga de una batería desde la red suelen ser de al menos un 20%, y durante la descarga de esta batería devolviendo la energía almacenada a la red mediante el inversor DC-AC son de un 10% aproximadamente. Esto resulta en una eficiencia del 70% considerando el mejor escenario. Por lo tanto, se producen unas perdidas de al menos un 40 % en el proceso de carga y descarga, para hacer posible el V2G.

Por otra parte, la vida útil de las baterías depende del número de ciclos y además, puede ser reducida debido a una insuficiencia en los niveles de recarga, por ejemplo, una descarga del 60% acorta más la vida de la batería que dos del 30%. En principio todos los gastos debidos a estos problemas se consideraran incluidos en la compensación que se recibe por sumarse al servicio V2G, pero genera incertidumbre en los usuarios en cuanto a que la cantidad de la compensación recibida no permita cubrir los costes que conllevara la reducción de vida útil de la batería.

Otro de las incertidumbres en cuanto a la implantación del V2G es la cantidad de energía almacenada, ya que para suplir un generador relativamente pequeño como por ejemplo una turbina de gas de 100 MW se requieren unos 30.000 vehículos

2.4 Futuro de las baterías.

Actualmente la gran mayoría de las baterías empleadas en VE son de ión-litio, y aunque se han conseguido grandes progresos en los últimos tiempos, es precisa una mayor aceleración tecnológica en el sector. Se están desarrollando diferentes tipos de baterías que pueden llegar a ser capaces de recorrer 500 km sin necesidad de ser conectados a la red de distribución algo que hoy en día es absolutamente impensable (el vehículo eléctrico mas vendido, el *Nissan Leaf*, tiene una autonomía de 199 km). [12]

No sólo es importante el factor de energía almacenada sino también el peso de las propias baterías, ya que un mayor peso del VE conlleva un mayor consumo energético para una misma distancia. Las actuales baterías poseen un cátodo de óxido metálico muy pesado, pero se están desarrollando baterías con un cátodo de aire que toman el aire para provocar una reacción química, de forma similar a los motores de combustión, que toman aire del exterior para realizar la combustión interna. En estas baterías, el oxígeno del aire recogido reacciona con los iones de litio que se encuentran en el ánodo, formando peróxido de litio en una matriz de carbono. En la recarga el oxígeno vuelve a la atmosfera y el litio al ánodo [5]. Sin embargo, recientes investigaciones realizadas por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) mantienen que las baterías de litio-aire malgastan gran parte de la energía inyectada en forma de calor disipado y se degradan en un tiempo relativamente rápido. Todo ello sumado al elevado coste de los componentes necesarios para tomar y expulsar el oxígeno y a que requieren una configuración muy diferente a la de las baterías convencionales.

Otra solución para las baterías del VE es un nuevo concepto llamado batería de cátodo de *nanolithia*. Sus desarrolladores mantienen que en las baterías convencionales de litio-aire la tensión de descarga es al menos 1,2 V menor que la que emplea para cargarse.[15] Esto provoca una pérdida de energía en cada carga de alrededor de un

30 %. En estas baterías se produce el mismo tipo de reacciones electroquímicas que en las descritas anteriormente, pero sin dejar que el oxígeno vuelva a estado gaseoso. En consecuencia el oxígeno, permanece en estado sólido y se transforma directamente entre sus tres estados re-dox, formando tres estados sólidos diferentes (Li_2O , Li_2O_2 y LiO_2), los cuales se encuentran mezclados. Esto reduce la diferencia entre la tensión de carga y la tensión de descarga de un 1,2 V a 0,24 V, por lo que solamente el 8 % de la electricidad se convierte en calor, esto se traduce en recargas más rápidas, mayor seguridad y beneficios en la eficiencia energética.

Estas nuevas baterías de *nanolithia* no se produce el cambio de estado del oxígeno de sólido a gas en grandes volúmenes sino que crea minúsculas partículas nanométricas que contienen tanto litio como oxígeno en forma de cristal, estas partículas son las llamadas *nanolithia*. En esta forma, las transiciones entre los tres estados redox son posibles en estado sólido a diferencia de las baterías litio-aire donde se pasaba a estado gaseoso. Para estabilizar las partículas de *nanolithia* se utiliza una matriz de óxido de cobalto que también servirá como catalizador. [15]

Estas baterías eliminan otro de los problemas habituales en las baterías actuales y es que no se ven afectadas por sobrecargas que normalmente causan daños irreversibles. Además, se asegura que tras 120 ciclos de carga se pierde menos del 2% de su capacidad, lo que nos asegura una gran vida útil. Todo ello contando con que estas baterías podrían ser instaladas y operadas de la misma forma en la que lo son las de ion-litio, lo que ahorrará en costes y hará más fácil la adaptación para la industria del VE, si a esto se suma la ligereza del cátodo de oxígeno, se consiguen unas prestaciones extraordinariamente altas.

3 Descripción de los estudios de simulación

El análisis de la influencia de la integración del VE en el sistema de distribución se ha realizado mediante simulación en DigSILENT PowerFactory.

Este análisis se ha basado en la estructura jerárquica propuesta en [16] centrandolo en el análisis en los niveles de distribución tanto en baja como en media tensión.

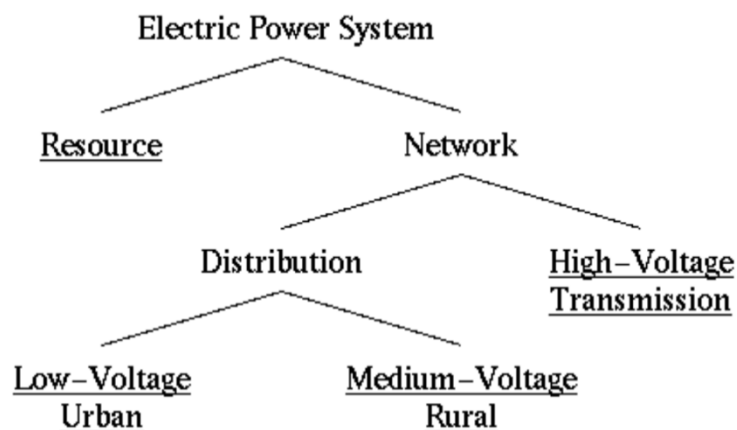


Ilustración 9 Jerarquía de la red de estudio Fuente: [7].

A continuación se describe la red analizada y los casos de estudio definidos para el análisis de la integración del VE en esta red.

3.1 Red analizada

La red analizada está basada en [17] y se muestra en la . Es una red de media tensión que alimenta una pequeña localidad y toda el área rural colindante a ella. Viene derivada de una red de distribución alemana.

La tensión de la red de distribución está formada por 30 nudos. En la parte superior de la se encuentra la barra de 110 kV de la subestación transformadora, a la que se conectan dos transformadores 110kV/20 kV. La red de distribución por tanto es de una tensión nominal de 20 kV. La mayoría de las conexiones en media tensión se realizan mediante cable enterrado, aunque también hay secciones en la que se encuentran tendidas al aire.

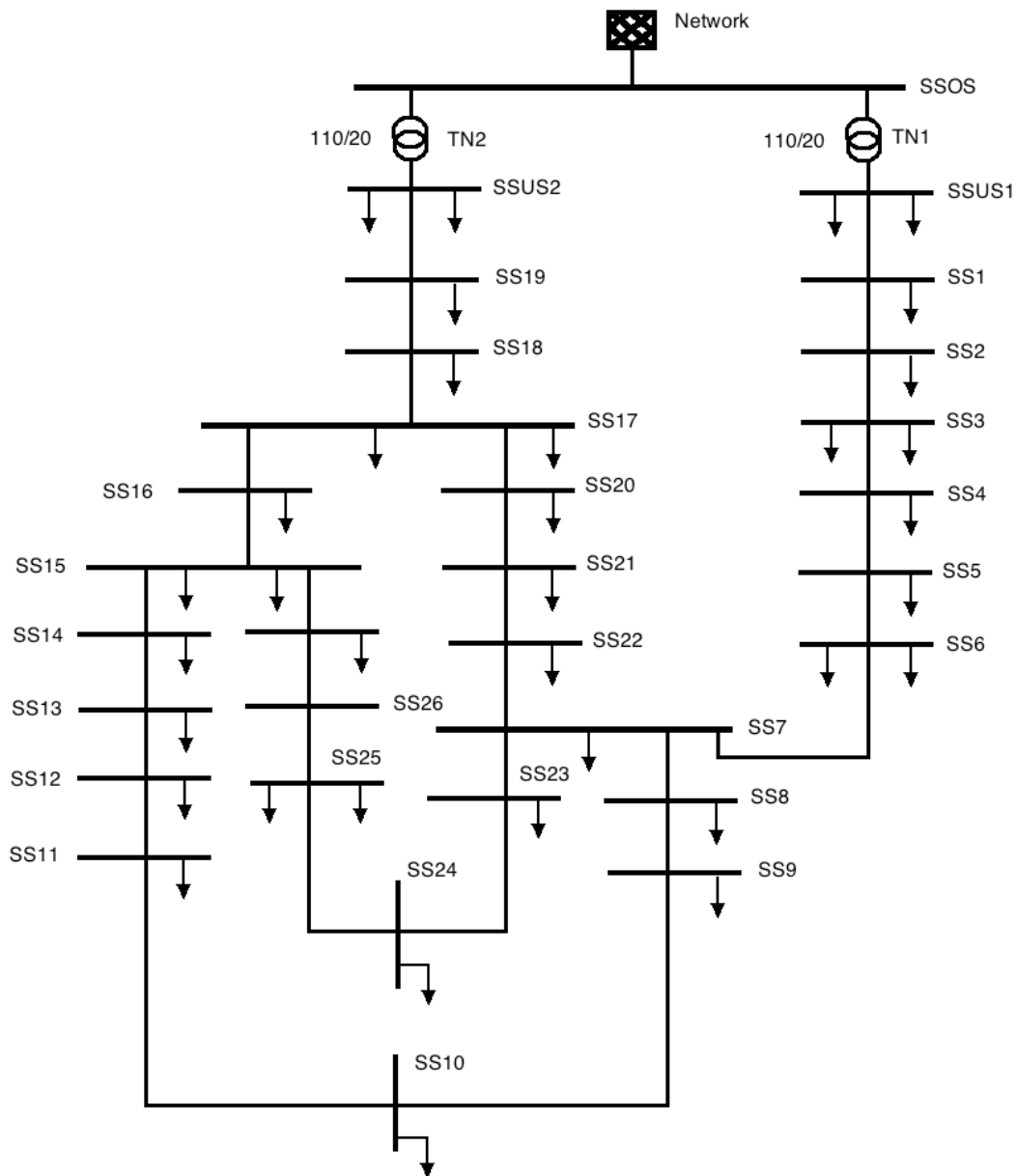


Ilustración 10 Red de estudio basada en [8]. Fuente: propia

3.2 Casos de análisis

El análisis de la integración del vehículo eléctrico se realiza a partir de la definición de diferentes escenarios de demanda aplicados a la red descrita en el apartado anterior. Para hacer la estimación de la demanda debida a los vehículos eléctricos se han realizado las siguientes hipótesis para los valores de referencia:

- Potencia contratada en un piso estándar: 4 kW [18]
- Coches por hogar: 1,6, o dicho de otra manera, el 60 % de los hogares tienen 2 coches [19]

- Potencia consumida en la recarga lenta: 3,7 kW [13]
- Potencia consumida en la recarga semi-rápida: 7,3 kW

El número de vehículos total que corresponde a cada una de las cargas de tipo *Doméstica* se ha calculado a partir de la potencia nominal de las cargas conectadas a cada nudo, y considerando las hipótesis comentadas anteriormente. Para ello, se divide la potencia demandada entre la potencia media contratada por un piso, obteniendo el número equivalente de viviendas por carga. Tras esto, se multiplica el número de viviendas equivalentes por 1,6 que es la media de vehículos por vivienda, obteniendo los valores que se resumen en la siguiente tabla.

Hogares			
Nombre	Potencia [kW]	Viviendas	Vehículos
SS2	600	150	240
SS3	600	150	240
SS5	8,38	2	3
SS6	8,28	2	3
SS7	23,52	6	10
SS9	22	6	10
SS10	29	7	11
SS11	29	7	11
SS12	29	7	11
SS13	17,28	4	6
SS14	17,28	4	6
SS15	17,28	4	6
SS16	11,04	3	5
SS17	11,04	3	5
SS19	600	150	240
SS20	11,04	3	5
SS21	23,52	6	10
SS23	23,52	6	10
SS25	19,08	5	8
SS27	13,24	3	5
SSUS1	600	150	240
SSUS2	600	150	240

Tabla 2 Número de viviendas y vehículos equivalentes empleados para el estudio. Fuente: propia

Estos valores de referencia van a emplearse para calcular la potencia adicional en cada nudo debidas a la recarga de VE en función del porcentaje de penetración considerado.

En las cargas industriales, se toman los posibles puntos de recarga que pudieran establecerse en las de manera aproximada, contando con que se instalan puntos de recarga semi-rápida (7,3 kW [13]) tan solo en las industrias de mayor volumen y lo hacen de forma progresiva con la integración del vehículo eléctrico. Siguiendo esta idea se instalaran 2 electrolineras con puntos de recarga rápida [13] que al igual que en las industrias, se ampliaran conforme se avanza en la integración del VE.

Para definir los escenarios de estudio se considerarán diferentes grados de integración, siendo el escenario número 1 el correspondiente a 0 % de VE, que se tomará como base de comparación. En el segundo escenario se establecerá un porcentaje de vehículo eléctrico del 15% con recarga inteligente y sin ella. El tercer escenario se supondrá una inclusión del vehículo eléctrico en la red de distribución del 30%, para el cuarto supuesto, adoptaremos un 60% de integración.

Se contemplan diferentes situaciones en el análisis de la integración, abordando el caso en días laborables, así como, en festivos. Para ello se han definido diferentes características de tiempo o perfiles de demanda, las cuales buscan representar a través de una serie de valores relativos por horas, los momentos del día en que el vehículo eléctrico se conecta a la red. Ya sea para realizar tan solo una recarga convencional o para activar el V2G. De la misma forma que se distingue entre día laborable o festivo también se han tomado perfiles según la característica de la carga (Doméstica o Industrial).

Se han definido cuatro características de tiempo que marcaran el consumo diario sin tener en cuenta el VE.

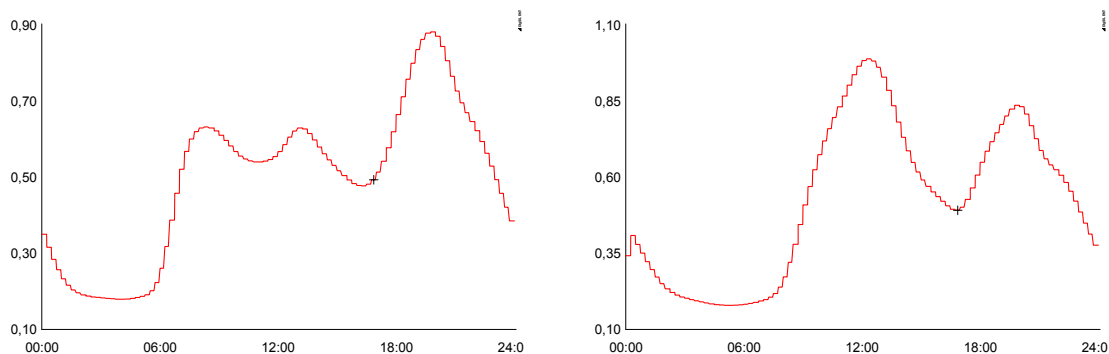


Ilustración 11 Perfil de demanda doméstico laborable y festivo. Fuente: propia

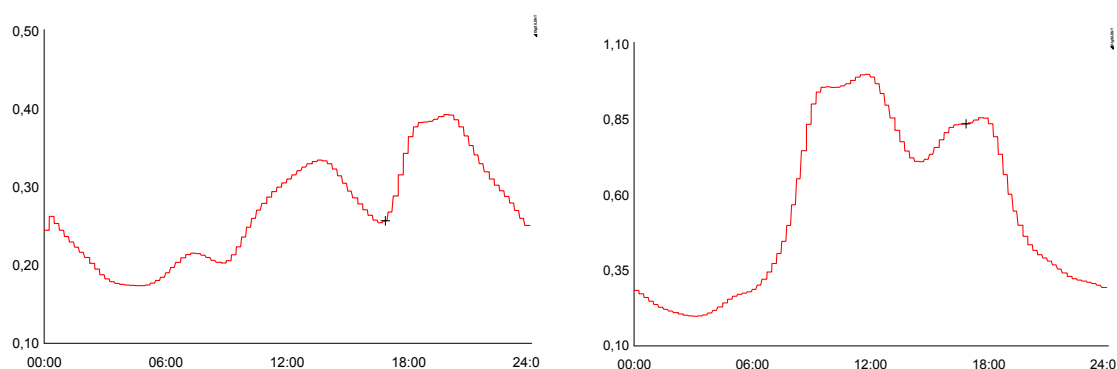


Ilustración 12 Perfil de demanda industrial laborable y festivo. Fuente: propia

Para la inclusión del VE, se distinguen tres perfiles diferentes, dos de carácter doméstico, uno para los días laborables y otro para los festivos, y un perfil industrial para los días laborables, ya que se considera que los días festivos no se hará uso de estos puntos de carga.

En los perfiles laborables se considera que la recarga se realiza de noche y con una recarga lenta (7h) en el caso del uso doméstico y con una recarga semi-rápida (4h) cuando se trata de un punto de recarga industrial. También se da por hecho que el total de la flota de vehículo eléctrico se ciñe a esta tendencia en el caso de los puntos de recarga domésticos, no así en los industriales, donde el número de puntos de recarga viene dado por los puntos de recarga que la industria considere oportuno instalar a medida que avanza la integración del VE.

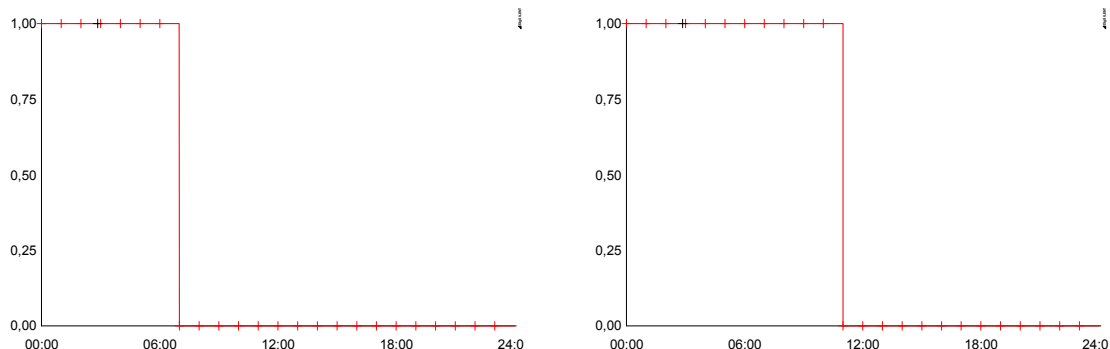


Ilustración 13 *Perfiles de VE doméstico para laborable y festivo. Fuente: propia*

Como se puede ver en la ilustración, cuando consideramos la carga en días festivos, suponemos un mayor número de horas en casa durante toda la mañana, durante las cuales el VE puede estar cargándose.

Las características de tiempo para las electrolineras se definen a partir de las 8 am, hasta las 11 pm, en este intervalo de tiempo se considera el uso de las electrolineras de forma continua y sin interrupciones.

Por último, para la inclusión del V2G se consideran las hipótesis de que tan solo se realiza bien entrada la integración del VE, es por ello, que tan solo realizaremos dicha inclusión en el caso de integración superior (60% de VE).

Se tomaran unos pequeños porcentajes de uso durante el día en las cargas domésticas y la totalidad de los puntos de recarga disponibles en industria.

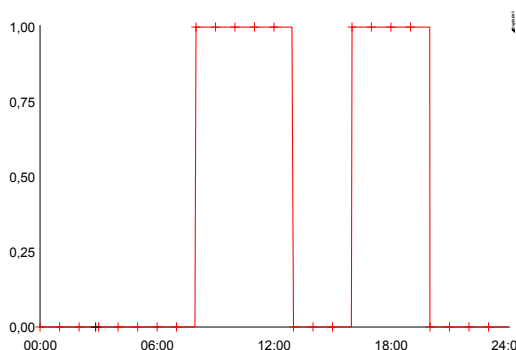


Ilustración 14 *Perfil de VE industrial para laborable. Fuente: propia*

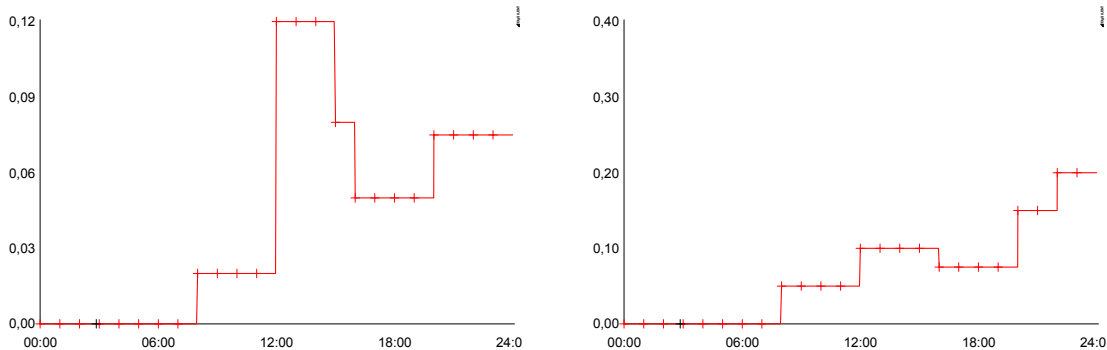


Ilustración 15 Perfiles de demanda para el V2G para uso doméstico en días laborables y festivos.

Fuente: propia

Como se ha dicho anteriormente el valor de los puntos de recarga en industria y en electrolinera depende del grado de integración del VE, es por ello que los puntos de recarga en industria y electrolineras quedan de la siguiente manera:

Industria				
Nombre	Potencia [kW]	Porcentaje	Ptos semi-rapida	Potencia [MW]
SS1	200	15%	3	0,0219
SS3		30%	3	0,0219
SSUS1		60%	4	0,0292
SSUS2				

Tabla 3 Cargas en nudos de carácter industrial Fuente: propia

Electrolineras		Electrolineras	
Nombre	Porcentaje	Ptos rapida	Potencia [MW]
SS18; SS26	15%	2	0,1
	30%	3	0,15
	60%	5	0,25

Tabla 4 Cargas en electrolineras Fuente: propia

4 Resultados

En este capítulo se analizan los datos obtenidos a través de la simulación cuasi-dinámica de la red citada previamente. La simulación cuasi dinámica toma los valores de las curvas horarias de demanda descritas en el apartado anterior y realiza un flujo de cargas para cada una de esas horas. Debe tenerse en cuenta que esas curvas de demanda se corresponden con el peor caso considerado para cada hora.

Los resultados mostrados son lo que se han considerado más representativos en cada uno de los campos seleccionados, en el Anexo I se muestran los resultados obtenidos en todos los casos analizados. La valoración del Impacto del VE sobre la red de distribución se van centrar por tipo de escenario y nivel de integración del mismo.

En este trabajo se va a valorar el impacto siendo la mayor parte de la recarga lenta y se realiza durante las horas nocturnas en las que se produce una menor demanda.

Distinguiremos entre los resultados obtenidos para diferentes parámetros.

4.1 Tensiones

Se han seleccionado los nudos más representativos de la red analizada, para el estudio de la influencia en la tensión. Se han seleccionado los nudos SS8, SS23, SS20 por ser los más alejados del punto de conexión a la red externa y por ultimo el SS15 por ser un nudo con múltiples ramificaciones.

La norma *UNE-EN 50160:2011, Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución* indica que la máxima variación de tensión en condiciones normales puede ser de $\pm 10\%$. Por lo que para valores en p.u. que proporciona el software deberá estar definido entre 0,9-1,1 p.u. Los resultados obtenidos están todos ellos muy próximos al 1 p.u. y sin experimentar grandes variaciones. Estos resultados pueden ser a causa del modelo de red externa considerado.

Se puede apreciar en la Ilustración 16 que en ningún momento la tensión alcanza valores próximos a los impuestos por la norma de manera que salvo pequeñas variaciones se mantiene muy estable durante todo el tiempo.

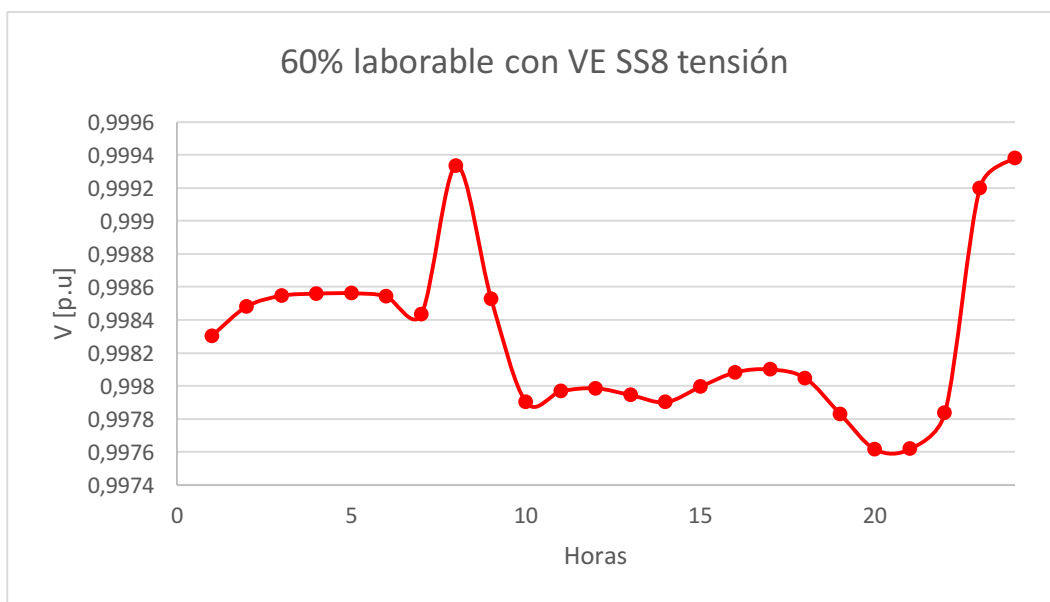


Ilustración 16 Tensión en el nudo SS8. Fuente: propia

4.2 Carga en líneas y transformadores

Para este análisis se han seleccionado las líneas más próximas a la alimentación y los transformadores, por ser las que transportan una mayor corriente. Al igual que en las tensiones, no se encuentra ningún tramo especialmente cargado. Al analizar los resultados se observa que los transformadores están muy sobredimensionados, ya que su potencia nominal es de 20 MVA, frente a 1,244 MVA de potencia consumida.

4.2.1 Influencia en el % de carga del transformador TR1

La ilustración compara los resultados de las simulaciones en cuanto a variaciones del % de carga en el transformador TR1. Para cuantificar el impacto de la integración del VE de forma más clara, se ha analizado el aumento relativo respecto a la carga inicial del transformador, es decir, se ha comparado el valor de la carga en el escenario 1 (sin VE) con el escenario 6 (el de mayor número de VE) y el escenario VE+V2G en dos horas representativas. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

4:00 h	% carga	Potencia [MVA]	% aumento demanda
0%	1,557	0,311	-
60% (VE)	7,975	1,595	412,07
60% (VE+V2G)	7,975	1,595	412,07

Tabla 5 % carga en TR1 4h. Fuente: propia

19:00 h	% carga	Potencia [MVA]	% aumento demanda
0%	6,745	1,349	-
60% (VE)	10,713	2,142	58,82
60% (VE+V2G)	8,770	1,754	30,02

Tabla 6 carga en TR1 19h. Fuente: propia

Se observa un incremento muy importante a las 4 de la mañana, tanto en el escenario con 60 % como en el que incluye V2G, ya que en los dos casos se debe al impacto de la carga nocturna de VE en las cargas de tipo doméstico. Sí se observa una diferencia a las 19:00 entre estos dos escenarios, ya que durante ese periodo, parte de los vehículos participan como sistema de almacenamiento proporcionando energía a la red.

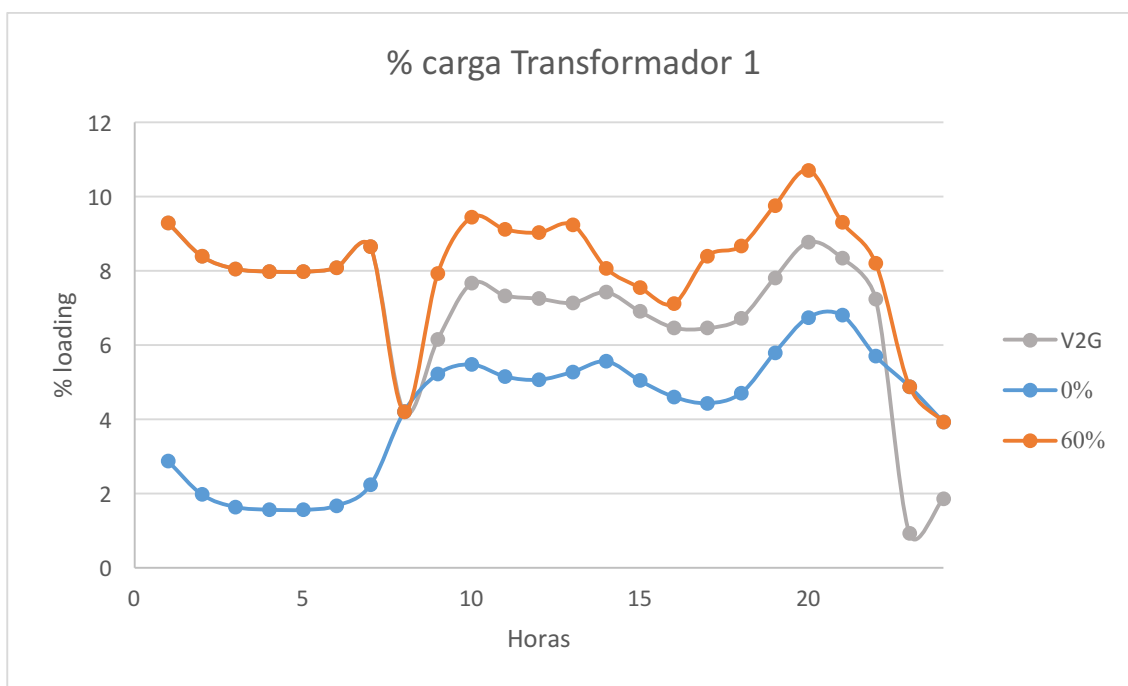


Ilustración 17 % en carga transformador 1. Fuente: propia

4.2.2 Influencia en el % de carga del transformador TR2

La ilustración compara los resultados de las simulaciones en cuanto a variaciones del % de carga en el transformador TR2. Se observan las mismas tendencias que en TR1. En el escenario con V2G se observa incluso una reducción en la potencia transportada por la línea debido a la aportación de los vehículos en esos intervalos.

4:00 h	% carga	Potencia [MVA]	% aumento demanda
0%	2,627	0,525	-
60% (VE)	10,820	2,164	311,87
60% (VE+V2G)	10,821	2,164	311,87

Tabla 7 % Carga TR2 4h. Fuente: propia

19:00 h	% carga	Potencia [MVA]	% aumento demanda
0%	9,88	1,976	-
60% (VE)	14,267	2,853	44,36
60% (VE+V2G)	9,258	1,851	-6,32

Tabla 8 % carga TR2 19h. Fuente: propia

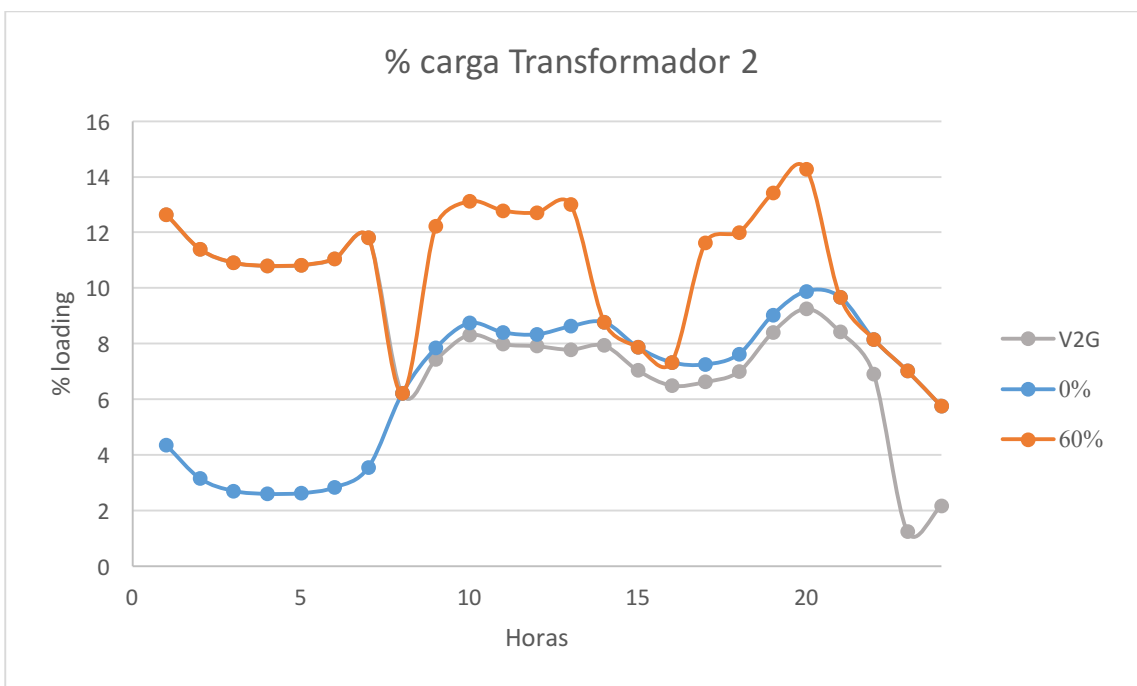


Ilustración 18 % en carga transformador 2. Fuente: propia

4.3 Pérdidas en la red de distribución

La siguiente figura muestra la evolución de las pérdidas a lo largo de las 24 horas de un día laborable. En los anexos pueden comprobarse los resultados de todos los análisis realizados. Se observa un importante aumento de pérdidas durante las horas nocturnas debido al incremento de la corriente que circula por las líneas. Durante el día también aumentan las pérdidas debido a que se ha considerado que parte de los VE se cargarán durante las horas centrales del día en las cargas de tipo industrial. Por

ultimo cuando se integra el sistema V2G en parte de los puntos de recarga, se observa una reducción en las perdidas al abastecer parte de la energía por parte del almacenamiento de los VE. También se puede apreciar un valle muy pronunciado alrededor de las ocho de la mañana, el cual, coincide con la hora en la que deja de cargar el VE en la recarga doméstico nocturna, hasta que empieza la jornada laboral y empiezan a volver a tener vehículos enchufados, bien por recarga o bien para V2G.

La gráfica sigue un comportamiento esperado, ya que partiendo del valor base de perdidas que presenta cuando no tenemos integración alguna de VE. Se distingue un gran cambio cuando la integración es del 60%, más aun si como se ha mencionado antes, se tiene en cuenta que hay casos en los que se recarga el VE durante el día en industria, lo cual, hace mas amplia la diferencia. También es notorio la gran reducción de las perdidas con la integración del V2G, que sin superar en ningún momento del día un 15% de los VE brinda unos resultados notables.

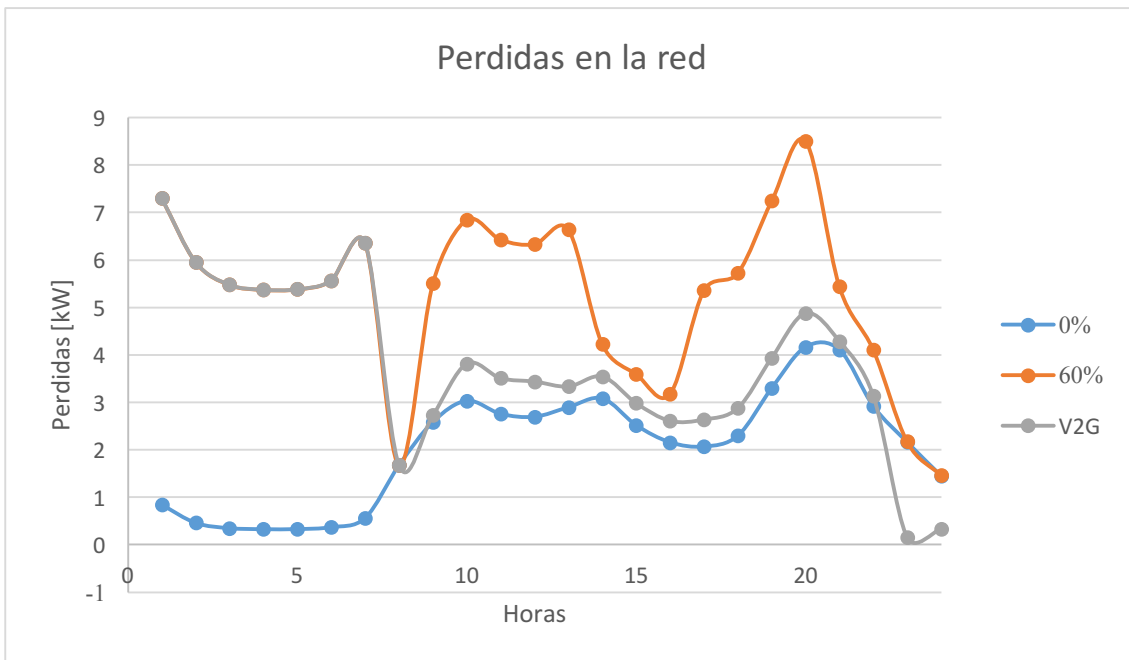


Ilustración 19 *Perdidas en la red. Fuente: propia*

5 Conclusiones

La integración del vehículo eléctrico en la red debe realizarse de manera que se asegure la calidad de suministro, por lo que es necesario analizar algunas de las posibles barreras que pueden afectar a su introducción en la red de distribución tales como la congestión de líneas y transformadores o el incremento de las pérdidas en la red.

Para analizar esta integración, en este TFG se ha comenzado realizando una búsqueda bibliográfica exhaustiva, la cual se ha resumido tanto en el capítulo de introducción como en el de estado del arte.

Posteriormente, se ha seguido un proceso de aprendizaje del software DigSILENT PoweFactory 15.1, de sus diferentes tipos de estudios, su metodología y su entorno gráfico para su uso en el planteamiento de los estudios en la red de análisis, cuyos datos están basados en la bibliografía. La definición de los escenarios se ha realizado para analizar la progresiva introducción de los VE, introduciendo las cargas y/o generadores correspondientes según el índice de integración del VE. Se han definido curvas diarias de demanda para los diferentes tipos de cargas, tanto para días laborables como festivos. Estos perfiles permiten analizar la variación de los diferentes parámetros analizados para cada hora de día mediante un estudio cuasi-dinámico de cada día tipo con intervalos de una hora.

Según los resultados obtenidos, a medida que aumenta el número de VE en el sistema, mayor es el impacto que tienen en la curva de demanda, además el valor de las pérdidas en la red o el nivel de carga de los elementos.

Se comprueba que los de recarga nocturna y de inclusión del V2G ofrecen ventajas debido al aplanamiento de la curva de demanda que producen.

Sin embargo, si se observan los resultados para las horas centrales del día, se puede ver que, aunque la carga de VE durante esas horas no es muy elevada, las pérdidas y la curva de demanda se ven muy afectada. De esto se puede concluir que si la mayoría de usuarios decidiesen cargar los VE durante esas horas se produciría un mayor desequilibrio en la curva de demanda por lo que sería necesario incluso aumentar el

parque de generación para poder satisfacer el incremento de demanda en las horas punta.

En cuanto a las tensiones analizadas en la red no se ha encontrado ningún dato anómalo que incumpla la normativa vigente, por lo que la implantación del VE de forma masiva es viable en términos de la tensión. Se debe tener en cuenta que la red analizada se encuentra sobredimensionada.

Como futuros trabajos se aconseja lo siguiente:

- Un estudio dinámico de la red, para explorar estrategias de control que permitan evitar impactos durante transitorios en la red.
- El análisis de la implantación de nueva la generación renovable conectada a la red de distribución que permita hacer frente al aumento de la demanda que se presenta.

6 Bibliografía

- [1] Ibañez (2011) <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/renault-dice-que-el-mantenimiento-de-un-coche-electrico-sera-un-20-mas-barato>
- [2] edie.net environmental news center (2015), <http://www.edie.net>
- [3] Ultra charging study Europe, <http://www.ultra-e.eu>
- [4] Morgan, T (2012) Smart Grids and Electric Vehicles: Made for each other?
- [5] Moral, J (2015) Alta tensión con el coche eléctrico, ¿tiene futuro?
<http://www.autopista.es/reportajes/articulo/coches-electricos-ventajas-desventajas-104760>
- [6] Smith, A (2011) Smart Grid, cars. Ricardo Quarterly Review Q1, 10-16
- [7] Bayod-Rujula, A (2009) Future development of the electricity systems with distributed generation. ENERGY, 34 (3), 380
- [8] User Manual PowerFactory 15.1 (including Technical References)
<http://www.digsilent.de/>
- [9] ANFAC (Asociación española de fabricantes de automóviles y camiones) (2016)
<http://www.anfac.es/noticias.action>
- [10] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2014), Planificación energética plan de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica 2015-2020
- [11] Tesla (2016) <https://www.tesla.com/model3>
- [12] Nissan (2016) <https://www.nissan.es/vehiculos/nuevos-vehiculos/leaf/autonomia.html>
- [13] ENDESA (2016) <https://www.endesavehiculoelectrico.com/>
- [14] Espinoza.J (2013) Baterías de litio para vehículos eléctricos Recuperado de:
<http://www.evwind.com/>
- [15] Zhu, Z (2016) Anion-redox nanolithia cathodes for Li-ion batteries. Nature
- [16] Styczynski,A; Strunz, K; Rudion, K;Orths, A (2006), Design of Benchmark of Medium Voltage Distribution Network for Investigation of DG Integration,

IEEE Conference Power Engineering Society General Meeting, 18-22 June
2016

- [17] Papathanassiou, S (2005) A BENCHMARK LOW VOLTAGE MICROGRID NETWORK Power systems with dispersed generation: technologies, impacts on development, operation and performances", April 2005, Athens, Greece.
- [18] REE (Red Eléctrica Española)
http://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/como-varia-mi-consumo.html
- [19] INE (Instituto Nacional de Estadística)
<http://www.ine.es/revistas/cifraine/0609.pdf>

7 Anexos

7.1 Anexo I: Datos de simulación.

Para la consecución del estudio realizado se han tenido que hacer previamente unos cálculos a partir de la potencia instalada en cada nudo domestico. Con el fin de obtener la carga que mas tarde supondrán los vehículos eléctricos allí enchufados.

Partimos de la potencia contratada por una carga de uso domestico, buscamos obtener el número de viviendas equivalentes en esa carga:

$$n^{\circ} \text{ eq viviendas por carga} = \frac{\text{Pot. contratada por carga}}{\text{Pot. media contratada por vivienda}}$$

Una vez obtenemos este dato, procedemos a calcular el número equivalente de vehículos de lo que se hace uso en estas viviendas:

$$n^{\circ} \text{ eq de vehículos por carga} = \frac{n^{\circ} \text{ eq viviendas por carga}}{n^{\circ} \text{ medio de vehículos por vivienda}}$$

tras esto, tan solo nos queda obtener el porcentaje de vehículos que vamos a considerar eléctricos que deseemos y sacar la potencia que acarrearán a nuestra red multiplicando este ultimo valor por los 3,7kW que supone la carga lenta.

Hogares	Nombre	Potencia [kW]	Viviendas	Vehículos	[MW]		[MW]		[MW]	
					15%%	potencia 15%	30%	potencia 30%	60%	potencia 60%
SS2		600	150	240	36	0,1332	72	0,2664	144	0,5328
SS3		600	150	240	36	0,1332	72	0,2664	144	0,5328
SS5		8,38	2	3	0	0	1	0,0037	2	0,0074
SS6		8,28	2	3	0	0	1	0,0037	2	0,0074
SS7		23,52	6	10	2	0,0074	3	0,0111	6	0,0222
SS9		22	6	10	2	0,0074	3	0,0111	6	0,0222
SS10		29	7	11	2	0,0074	3	0,0111	7	0,0259
SS11		29	7	11	2	0,0074	3	0,0111	7	0,0259
SS12		29	7	11	2	0,0074	3	0,0111	7	0,0259
SS13		17,28	4	6	1	0,0037	2	0,0074	4	0,0148
SS14		17,28	4	6	1	0,0037	2	0,0074	4	0,0148
SS15		17,28	4	6	1	0,0037	2	0,0074	4	0,0148
SS16		11,04	3	5	1	0,0037	2	0,0074	3	0,0111
SS17		11,04	3	5	1	0,0037	2	0,0074	3	0,0111
SS19		600	150	240	36	0,1332	72	0,2664	144	0,5328
SS20		11,04	3	5	1	0,0037	2	0,0074	3	0,0111
SS21		23,52	6	10	2	0,0074	3	0,0111	6	0,0222
SS23		23,52	6	10	2	0,0074	3	0,0111	6	0,0222
SS25		19,08	5	8	1	0,0037	2	0,0074	5	0,0185
SS27		13,24	3	5	1	0,0037	2	0,0074	3	0,0111
SSUS1		600	150	240	36	0,1332	72	0,2664	144	0,5328
SSUS2		600	150	240	36	0,1332	72	0,2664	144	0,5328
				1325	202	0,7474	399	1,4763	798	2,9526

Tabla 9 Potencia instalada para VE para cada nivel de integración. Fuente: propia

7.2 Anexo II: Resultados totales de simulación.

En este anexo se muestran todos los datos obtenidos por las simulaciones en cada escenario ya descrito.

7.2.1 Integración 0%

7.2.1.1 Día Festivo

0% fest.	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	Tiempo en s	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)
00.00.00	0,9996	0,9996	0,9974	0,9997	2,6006	4,4536	0,8437	2,7622	4,1600	0,0583	0,3042	0,0025	0,7799
01.00.00	0,9996	0,9997	0,9975	0,9997	2,4678	4,2287	0,8057	2,6063	3,9601	0,0522	0,2738	0,0023	0,7083
02.00.00	0,9998	0,9998	0,9978	0,9998	1,9368	3,2310	0,6974	1,9335	3,0749	0,0312	0,1578	0,0016	0,4410
03.00.00	0,9998	0,9998	0,9979	0,9998	1,7616	2,8310	0,6625	1,6817	2,7256	0,0254	0,1200	0,0015	0,3579
04.00.00	0,9998	0,9999	0,9980	0,9999	1,6790	2,6549	0,6471	1,5632	2,5724	0,0228	0,1050	0,0014	0,3239
05.00.00	0,9998	0,9999	0,9980	0,9999	1,6392	2,5811	0,6407	1,5075	2,5075	0,0216	0,0989	0,0014	0,3098
06.00.00	0,9998	0,9999	0,9980	0,9999	1,6710	2,6733	0,6525	1,5600	2,5861	0,0226	0,1065	0,0014	0,3254
07.00.00	0,9998	0,9998	0,9979	0,9998	1,7887	2,9118	0,6947	1,7211	2,7905	0,0262	0,1272	0,0016	0,3722
08.00.00	0,9997	0,9997	0,9977	0,9997	2,2175	3,6615	0,7868	2,2536	3,4451	0,0417	0,2040	0,0022	0,5553
09.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9995	3,6642	6,0841	1,0898	3,9293	5,6120	0,1181	0,5719	0,0044	1,4425
10.00.00	0,9991	0,9992	0,9963	0,9992	5,0112	8,3896	1,3917	5,4696	7,7035	0,2232	1,0919	0,0073	2,6837
11.00.00	0,9989	0,9990	0,9958	0,9990	5,9755	10,0432	1,6171	6,5647	9,2085	0,3184	1,5668	0,0099	3,8146
12.00.00	0,9987	0,9988	0,9954	0,9989	6,7462	11,3273	1,8026	7,4262	10,3789	0,4065	1,9943	0,0124	4,8407
13.00.00	0,9988	0,9989	0,9955	0,9989	6,4053	10,8183	1,7330	7,0662	9,9185	0,3662	1,8187	0,0114	4,4002
14.00.00	0,9991	0,9991	0,9962	0,9992	5,1141	8,7672	1,4296	5,6519	8,0533	0,2325	1,1928	0,0077	2,8798
15.00.00	0,9993	0,9993	0,9966	0,9993	4,1952	7,2122	1,2101	4,6082	6,6391	0,1556	0,8056	0,0055	1,9630
16.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9994	3,7349	6,3980	1,0997	4,0692	5,8979	0,1228	0,6329	0,0045	1,5606
17.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9995	3,6201	6,2186	1,0787	3,9413	5,7348	0,1153	0,5977	0,0043	1,4745
18.00.00	0,9992	0,9992	0,9964	0,9993	4,6110	8,0615	1,3293	5,1200	7,4071	0,1885	1,0078	0,0066	2,4147
19.00.00	0,9990	0,9991	0,9960	0,9991	5,4435	9,3808	1,5411	6,0439	8,6151	0,2638	1,3663	0,0090	3,2733
20.00.00	0,9989	0,9990	0,9958	0,9990	5,8294	9,9911	1,6353	6,4723	9,1763	0,3029	1,5505	0,0102	3,7155
21.00.00	0,9991	0,9992	0,9963	0,9992	4,8664	8,3717	1,3924	5,3884	7,7035	0,2103	1,0872	0,0073	2,6178
22.00.00	0,9992	0,9993	0,9966	0,9993	4,3134	7,3806	1,2498	4,7459	6,8042	0,1647	0,8439	0,0058	2,0527
23.00.00	0,9994	0,9995	0,9970	0,9995	3,5209	6,0403	1,0567	3,8403	5,5893	0,1089	0,5636	0,0041	1,3899

Tabla 10 Resultado para integración del 0% y día festivo. Fuente: propia

7.2.1.2 Día laborable

0% lab. Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9996	0,9996	0,9974	0,9996	2,6595	4,6669	0,8605	2,8649	4,3509	0,0610	0,2838	0,0026	0,8395
01.00.00	0,9998	0,9998	0,9978	0,9998	1,9494	3,3244	0,7057	1,9694	3,1560	0,0316	0,1426	0,0017	0,4580
02.00.00	0,9998	0,9998	0,9979	0,9999	1,7080	2,8084	0,6561	1,6323	2,7052	0,0237	0,1028	0,0014	0,3482
03.00.00	0,9998	0,9999	0,9980	0,9999	1,6635	2,6905	0,6467	1,5620	2,6034	0,0224	0,0953	0,0014	0,3268
04.00.00	0,9998	0,9999	0,9980	0,9999	1,6482	2,7190	0,6455	1,5575	2,6273	0,0219	0,0952	0,0014	0,3290
05.00.00	0,9998	0,9998	0,9979	0,9998	1,7011	2,9582	0,6596	1,6697	2,8334	0,0235	0,1079	0,0014	0,3691
06.00.00	0,9997	0,9997	0,9977	0,9998	2,1212	3,7773	0,7458	2,2272	3,5551	0,0379	0,1790	0,0019	0,5629
07.00.00	0,9993	0,9994	0,9968	0,9994	3,7737	6,7229	1,1279	4,2023	6,2049	0,1254	0,5916	0,0047	1,6725
08.00.00	0,9992	0,9992	0,9963	0,9993	4,5398	8,5321	1,3387	5,2179	7,8408	0,1827	0,9124	0,0067	2,5854
09.00.00	0,9991	0,9992	0,9960	0,9992	4,5124	9,5297	1,3789	5,4773	8,7345	0,1805	1,0253	0,0071	3,0308
10.00.00	0,9992	0,9993	0,9962	0,9993	4,1710	9,1637	1,3031	5,1484	8,3986	0,1538	0,9144	0,0064	2,7556
11.00.00	0,9992	0,9993	0,9962	0,9993	4,0769	9,0881	1,2835	5,0646	8,3287	0,1469	0,8878	0,0062	2,6936
12.00.00	0,9992	0,9992	0,9961	0,9993	4,2576	9,4086	1,3291	5,2742	8,6202	0,1604	0,9598	0,0066	2,8939
13.00.00	0,9991	0,9992	0,9960	0,9992	4,6245	9,5604	1,3998	5,5601	8,7646	0,1897	1,0520	0,0074	3,0802
14.00.00	0,9992	0,9993	0,9963	0,9993	4,2552	8,5707	1,2911	5,0395	7,8690	0,1602	0,8631	0,0062	2,5166
15.00.00	0,9993	0,9993	0,9965	0,9994	3,8535	7,9745	1,1957	4,6050	7,3259	0,1309	0,7272	0,0053	2,1566
16.00.00	0,9993	0,9994	0,9965	0,9994	3,6287	7,8962	1,1540	4,4321	7,2507	0,1158	0,6811	0,0049	2,0669
17.00.00	0,9993	0,9993	0,9964	0,9994	3,8600	8,3103	1,2116	4,7029	7,6267	0,1314	0,7631	0,0055	2,2953
18.00.00	0,9991	0,9991	0,9959	0,9992	4,8494	9,8499	1,4523	5,7894	9,0293	0,2088	1,1354	0,0080	3,2951
19.00.00	0,9989	0,9989	0,9956	0,9990	5,9113	10,7745	1,6818	6,7450	9,8827	0,3115	1,5058	0,0108	4,1619
20.00.00	0,9988	0,9989	0,9956	0,9990	6,0941	10,5375	1,7031	6,7990	9,6740	0,3312	1,5155	0,0110	4,1025
21.00.00	0,9990	0,9991	0,9961	0,9992	5,1242	8,8640	1,4553	5,6965	8,1513	0,2334	1,0682	0,0080	2,9165
22.00.00	0,9992	0,9993	0,9965	0,9993	4,4208	7,6107	1,2768	4,8821	7,0131	0,1731	0,7883	0,0061	2,1575
23.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9995	3,5794	6,2265	1,0737	3,9329	5,7575	0,1126	0,5185	0,0042	1,4504

Tabla 11 Resultado para integración del 0% y día laborable. Fuente: propia

7.2.2 Integración 15%

7.2.2.1 Día festivo

15% fest. Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9988	0,9988	0,9967	0,9989	5,6576	6,7265	1,9750	5,4093	6,2081	0,2851	0,7001	0,0149	2,0579
01.00.00	0,9988	0,9988	0,9968	0,9989	5,5142	6,4994	1,9268	5,2531	6,0036	0,2707	0,6533	0,0142	1,9353
02.00.00	0,9992	0,9992	0,9971	0,9993	4,1393	5,4873	1,4003	4,0777	5,0889	0,1515	0,4643	0,0074	1,3027
03.00.00	0,9992	0,9993	0,9972	0,9993	3,9336	5,0781	1,3480	3,8252	4,7204	0,1365	0,3969	0,0068	1,1429
04.00.00	0,9992	0,9993	0,9973	0,9993	3,8331	4,8968	1,3234	3,7062	4,5567	0,1295	0,3687	0,0066	1,0739
05.00.00	0,9994	0,9994	0,9973	0,9995	3,3237	4,8206	1,0974	3,3500	4,4868	0,0968	0,3572	0,0044	0,9787
06.00.00	0,9994	0,9994	0,9973	0,9995	3,3627	4,9157	1,1157	3,4029	4,5714	0,0991	0,3716	0,0046	1,0103
07.00.00	0,9993	0,9994	0,9972	0,9994	3,5039	5,1609	1,1774	3,5647	4,7894	0,1078	0,4101	0,0051	1,1031
08.00.00	0,9991	0,9991	0,9970	0,9992	4,4553	5,9251	1,5209	4,3988	5,4738	0,1759	0,5421	0,0088	1,5131
09.00.00	0,9988	0,9989	0,9963	0,9989	5,9807	8,3683	1,8746	6,0771	7,6819	0,3189	1,0863	0,0134	2,8921
10.00.00	0,9985	0,9986	0,9956	0,9986	7,3536	10,6822	2,1987	7,6185	9,7880	0,4834	1,7732	0,0186	4,5883
11.00.00	0,9984	0,9985	0,9958	0,9985	7,5628	10,0440	2,3904	7,5669	9,2092	0,5115	1,5670	0,0220	4,2217
12.00.00	0,9982	0,9983	0,9954	0,9984	8,3379	11,3273	2,5815	8,4287	10,3789	0,6222	1,9943	0,0257	5,2908
13.00.00	0,9983	0,9984	0,9955	0,9984	7,9953	10,8183	2,5100	8,0685	9,9185	0,5720	1,8187	0,0243	4,8326
14.00.00	0,9986	0,9986	0,9962	0,9987	6,6947	8,7672	2,1955	6,6537	8,0533	0,4003	1,1928	0,0185	3,2398
15.00.00	0,9988	0,9988	0,9966	0,9989	5,7643	7,2122	1,9630	5,6095	6,6391	0,2961	0,8056	0,0147	2,2701
16.00.00	0,9989	0,9989	0,9969	0,9990	5,2954	6,3980	1,8434	5,0702	5,8979	0,2495	0,6329	0,0130	1,8405
17.00.00	0,9989	0,9989	0,9969	0,9990	5,1781	6,2186	1,8203	4,9422	5,7348	0,2384	0,5977	0,0126	1,7484
18.00.00	0,9987	0,9987	0,9964	0,9988	6,1860	8,0615	2,0900	6,1216	7,4071	0,3414	1,0078	0,0167	2,7482
19.00.00	0,9985	0,9985	0,9960	0,9986	7,0271	9,3808	2,3117	7,0459	8,6151	0,4412	1,3663	0,0205	3,6557
20.00.00	0,9984	0,9985	0,9958	0,9985	7,4159	9,9911	2,4093	7,4744	9,1763	0,4917	1,5505	0,0223	4,1199
21.00.00	0,9986	0,9987	0,9963	0,9987	6,4445	8,3717	2,1564	6,3901	7,7035	0,3707	1,0872	0,0178	2,9661
22.00.00	0,9987	0,9988	0,9966	0,9988	5,8844	7,3806	2,0055	5,7473	6,8042	0,3087	0,8439	0,0154	2,3679
23.00.00	0,9989	0,9989	0,9970	0,9990	5,0763	6,0403	1,7959	4,8413	5,5893	0,2291	0,5636	0,0123	1,6581

Tabla 12 Resultado para integración del 15% y día festivo. Fuente: propia

7.2.2.2 Día laborable

15% lab. Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9992	0,9993	0,9967	0,9993	4,1524	6,9417	1,2407	4,5108	6,4029	0,1524	0,7459	0,0057	1,8442
01.00.00	0,9994	0,9995	0,9971	0,9995	3,3829	5,5826	1,0515	3,6138	5,1738	0,1003	0,4807	0,0041	1,2200
02.00.00	0,9995	0,9995	0,9972	0,9995	3,1037	5,0548	0,9832	3,2755	4,6988	0,0841	0,3933	0,0035	1,0175
03.00.00	0,9995	0,9995	0,9973	0,9996	3,0504	4,9335	0,9694	3,2048	4,5900	0,0811	0,3744	0,0034	0,9757
04.00.00	0,9995	0,9995	0,9973	0,9996	3,0318	4,9628	0,9676	3,2003	4,6155	0,0801	0,3789	0,0034	0,9796
05.00.00	0,9995	0,9995	0,9972	0,9995	3,0956	5,2084	0,9882	3,3130	4,8348	0,0836	0,4178	0,0036	1,0564
06.00.00	0,9994	0,9994	0,9970	0,9994	3,5744	6,0425	1,1032	3,8721	5,5875	0,1123	0,5640	0,0045	1,4003
07.00.00	0,9993	0,9994	0,9968	0,9994	3,7728	6,7263	1,1275	4,2028	6,2079	0,1254	0,7001	0,0047	1,6738
08.00.00	0,9989	0,9990	0,9962	0,9990	5,3244	8,8833	1,7145	5,8277	8,1670	0,2522	1,2247	0,0112	2,8868
09.00.00	0,9987	0,9987	0,9960	0,9987	6,0863	9,8817	2,1423	6,5883	9,0618	0,3304	1,5166	0,0176	3,5387
10.00.00	0,9987	0,9987	0,9961	0,9988	5,7400	9,5156	2,0623	6,2594	8,7257	0,2936	1,4060	0,0163	3,2376
11.00.00	0,9987	0,9988	0,9961	0,9988	5,6443	9,4399	2,0414	6,1756	8,6557	0,2838	1,3836	0,0160	3,1690
12.00.00	0,9987	0,9987	0,9960	0,9988	5,8279	9,7606	2,0898	6,3853	8,9474	0,3027	1,4796	0,0167	3,3867
13.00.00	0,9986	0,9987	0,9960	0,9987	6,1999	9,5604	2,1642	6,5618	8,7646	0,3429	1,4193	0,0180	3,4267
14.00.00	0,9987	0,9988	0,9963	0,9988	5,8254	8,5707	2,0496	6,0410	7,8690	0,3025	1,1397	0,0161	2,8387
15.00.00	0,9988	0,9988	0,9965	0,9989	5,4166	7,9745	1,9476	5,6063	7,3259	0,2612	0,9860	0,0145	2,4555
16.00.00	0,9988	0,9989	0,9964	0,9989	5,1870	8,2475	1,9025	5,5428	7,5767	0,2393	1,0550	0,0138	2,4926
17.00.00	0,9988	0,9988	0,9963	0,9989	5,4233	8,6618	1,9647	5,8138	7,9532	0,2618	1,1641	0,0148	2,7424
18.00.00	0,9986	0,9986	0,9958	0,9987	6,4274	10,2021	2,2192	6,9007	9,3569	0,3687	1,6169	0,0189	3,8280
19.00.00	0,9984	0,9984	0,9955	0,9985	7,4984	11,1270	2,4573	7,8568	10,2108	0,5028	1,9243	0,0232	4,7701
20.00.00	0,9984	0,9984	0,9956	0,9985	7,6823	10,5375	2,4792	7,8013	9,6739	0,5279	1,7252	0,0237	4,5259
21.00.00	0,9986	0,9986	0,9961	0,9987	6,7049	8,8640	2,2223	6,6983	8,1513	0,4015	1,2194	0,0190	3,2826
22.00.00	0,9992	0,9993	0,9965	0,9993	4,4211	7,6107	1,2772	4,8814	7,0131	0,1731	0,8976	0,0061	2,1718
23.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9995	3,5794	6,2265	1,0737	3,9329	5,7575	0,1126	0,5992	0,0042	1,4617

Tabla 13 Resultado para integración del 0% y día laborable. Fuente: propia

7.2.3 Integración 30%

7.2.3.1 Día festivo

30% fest. Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9983	0,9983	0,9961	0,9984	7,8603	9,0133	2,6554	7,4658	8,2831	0,5527	1,2609	0,0272	3,7404
01.00.00	0,9983	0,9983	0,9961	0,9984	7,7155	8,7853	2,6063	7,3095	8,0769	0,5325	1,1977	0,0262	3,5725
02.00.00	0,9988	0,9988	0,9964	0,9989	5,9252	7,7681	1,8703	5,8824	7,1525	0,3130	0,9354	0,0134	2,5715
03.00.00	0,9988	0,9989	0,9965	0,9989	5,7157	7,3562	1,8160	5,6299	6,7788	0,2911	0,8383	0,0126	2,3396
04.00.00	0,9989	0,9989	0,9966	0,9989	5,6131	7,1736	1,7903	5,5107	6,6125	0,2806	0,7969	0,0122	2,2377
05.00.00	0,9991	0,9991	0,9966	0,9992	4,8546	7,0967	1,4387	5,0040	6,5413	0,2093	0,7798	0,0078	2,0495
06.00.00	0,9991	0,9991	0,9966	0,9992	4,8948	7,1926	1,4582	5,0569	6,6274	0,2128	0,8012	0,0080	2,0965
07.00.00	0,9990	0,9991	0,9965	0,9991	5,0398	7,4396	1,5233	5,2188	6,8488	0,2257	0,8575	0,0088	2,2328
08.00.00	0,9987	0,9988	0,9963	0,9988	6,2465	8,2084	1,9950	6,2039	7,5420	0,3481	1,0449	0,0152	2,8699
09.00.00	0,9984	0,9985	0,9956	0,9985	7,7872	10,6610	2,3567	7,8831	9,7664	0,5424	1,7661	0,0214	4,7103
10.00.00	0,9981	0,9982	0,9948	0,9983	9,1676	12,9805	2,6853	9,4251	11,8804	0,7528	2,6205	0,0278	6,8341
11.00.00	0,9982	0,9982	0,9958	0,9983	8,3599	10,0409	2,7839	8,0682	9,2066	0,6255	1,5661	0,0299	4,4786
12.00.00	0,9980	0,9981	0,9954	0,9981	9,1363	11,3273	2,9763	8,9302	10,3789	0,7476	1,9943	0,0342	5,5716
13.00.00	0,9981	0,9981	0,9955	0,9982	8,7931	10,8183	2,9044	8,5700	9,9185	0,6923	1,8187	0,0326	5,1045
14.00.00	0,9983	0,9984	0,9962	0,9984	7,4896	8,7672	2,5873	7,1549	8,0533	0,5016	1,1928	0,0258	3,4755
15.00.00	0,9985	0,9986	0,9966	0,9986	6,5561	7,2122	2,3523	6,1105	6,6391	0,3838	0,8056	0,0213	2,4793
16.00.00	0,9986	0,9986	0,9969	0,9987	6,0850	6,3980	2,2310	5,5711	5,8979	0,3302	0,6329	0,0191	2,0361
17.00.00	0,9987	0,9987	0,9969	0,9987	5,9671	6,2186	2,2076	5,4431	5,7348	0,3175	0,5977	0,0187	1,9410
18.00.00	0,9984	0,9985	0,9964	0,9985	6,9794	8,0615	2,4808	6,6227	7,4071	0,4352	1,0078	0,0237	2,9707
19.00.00	0,9983	0,9983	0,9960	0,9984	7,8229	9,3808	2,7046	7,5472	8,6151	0,5475	1,3663	0,0282	3,9026
20.00.00	0,9982	0,9982	0,9958	0,9983	8,2126	9,9911	2,8029	7,9758	9,1763	0,6036	1,5505	0,0303	4,3778
21.00.00	0,9984	0,9984	0,9963	0,9985	7,2387	8,3717	2,5479	6,8913	7,7035	0,4684	1,0872	0,0250	3,1960
22.00.00	0,9985	0,9985	0,9966	0,9986	6,6767	7,3806	2,3954	6,2484	6,8042	0,3981	0,8439	0,0221	2,5812
23.00.00	0,9987	0,9987	0,9970	0,9988	5,8647	6,0403	2,1828	5,3421	5,5893	0,3066	0,5636	0,0183	1,8478

Tabla 14 Resultado para integración del 30% y día festivo. Fuente: propia

7.2.3.2 Día laborable

30% lab. Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9985	0,9985	0,9959	0,9986	6,5981	9,4974	2,5440	6,7331	8,6457	0,3887	1,4006	0,0249	3,7423
01.00.00	0,9987	0,9987	0,9963	0,9988	5,8074	8,1314	2,3345	5,8352	7,4042	0,3006	1,0254	0,0209	2,8154
02.00.00	0,9987	0,9988	0,9965	0,9988	5,5173	7,5999	2,2563	5,4965	6,9221	0,2710	0,8951	0,0195	2,4975
03.00.00	0,9987	0,9988	0,9965	0,9988	5,4615	7,4776	2,2403	5,4257	6,8115	0,2655	0,8663	0,0193	2,4307
04.00.00	0,9987	0,9988	0,9965	0,9988	5,4421	7,5071	2,2381	5,4212	6,8374	0,2636	0,8732	0,0192	2,4361
05.00.00	0,9987	0,9988	0,9964	0,9988	5,5088	7,7546	2,2621	5,5341	7,0603	0,2702	0,9321	0,0197	2,5573
06.00.00	0,9986	0,9987	0,9962	0,9987	6,0053	8,5939	2,3927	6,0938	7,8228	0,3216	1,1459	0,0220	3,0888
07.00.00	0,9993	0,9994	0,9968	0,9994	3,7733	6,7250	1,1284	4,2018	6,2068	0,1254	0,6998	0,0047	1,6735
08.00.00	0,9988	0,9988	0,9962	0,9989	5,7187	8,8833	1,9064	6,0780	8,1670	0,2914	1,2247	0,0139	2,9750
09.00.00	0,9984	0,9984	0,9960	0,9985	6,8793	9,8817	2,5335	7,0894	9,0618	0,4228	1,5166	0,0247	3,7641
10.00.00	0,9985	0,9985	0,9961	0,9986	6,5317	9,5156	2,4528	6,7605	8,7257	0,3809	1,4060	0,0231	3,4537
11.00.00	0,9985	0,9985	0,9961	0,9986	6,4356	9,4399	2,4317	6,6766	8,6557	0,3697	1,3836	0,0227	3,3826
12.00.00	0,9985	0,9985	0,9960	0,9985	6,6201	9,7606	2,4806	6,8864	8,9474	0,3913	1,4796	0,0237	3,6056
13.00.00	0,9984	0,9984	0,9960	0,9985	6,9934	9,5604	2,5558	7,0630	8,7646	0,4370	1,4193	0,0252	3,6547
14.00.00	0,9985	0,9985	0,9963	0,9986	6,6175	8,5707	2,4399	6,5421	7,8690	0,3910	1,1397	0,0229	3,0547
15.00.00	0,9986	0,9986	0,9965	0,9987	6,2069	7,9745	2,3367	6,1073	7,3259	0,3437	0,9860	0,0210	2,6598
16.00.00	0,9986	0,9986	0,9964	0,9987	5,9761	8,2475	2,2910	6,0438	7,5767	0,3184	1,0550	0,0202	2,6914
17.00.00	0,9986	0,9986	0,9963	0,9986	6,2136	8,6618	2,3540	6,3148	7,9532	0,3445	1,1641	0,0213	2,9482
18.00.00	0,9983	0,9984	0,9958	0,9984	7,2216	10,2021	2,6113	7,4019	9,3569	0,4662	1,6169	0,0263	4,0624
19.00.00	0,9981	0,9982	0,9955	0,9983	8,2953	11,1270	2,8512	8,3582	10,2108	0,6159	1,9243	0,0314	5,0326
20.00.00	0,9981	0,9982	0,9956	0,9982	8,4796	10,5375	2,8733	8,3027	9,6739	0,6437	1,7252	0,0319	4,7916
21.00.00	0,9983	0,9984	0,9961	0,9984	7,4999	8,8640	2,6144	7,1996	8,1513	0,5030	1,2194	0,0263	3,5199
22.00.00	0,9992	0,9993	0,9965	0,9993	4,4212	7,6107	1,2775	4,8807	7,0131	0,1731	0,8976	0,0061	2,1720
23.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9995	3,5794	6,2265	1,0737	3,9329	5,7575	0,1126	0,5992	0,0042	1,4617

Tabla 15 Resultado para integración del 30% y día laborable. Fuente: propia

7.2.4 Integración 60%

7.2.4.1 Día festivo

60% fest. VE Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9971	0,9971	0,9947	0,9973	12,4786	13,5772	4,2747	11,6943	12,4454	1,3969	2,8674	0,0708	8,7762
01.00.00	0,9971	0,9972	0,9947	0,9973	12,3328	13,3481	4,2248	11,5378	12,2378	1,3643	2,7713	0,0692	8,5163
02.00.00	0,9979	0,9980	0,9950	0,9981	9,7243	12,3258	3,0743	9,6061	11,3060	0,8473	2,3623	0,0365	6,5472
03.00.00	0,9979	0,9980	0,9952	0,9981	9,5130	11,9115	3,0188	9,3539	10,9286	0,8108	2,2059	0,0352	6,1691
04.00.00	0,9980	0,9980	0,9952	0,9981	9,4092	11,7278	2,9923	9,2347	10,7605	0,7931	2,1382	0,0346	6,0004
05.00.00	0,9983	0,9984	0,9952	0,9985	8,1603	11,6506	2,3897	8,4261	10,6886	0,5959	2,1100	0,0220	5,5177
06.00.00	0,9983	0,9984	0,9952	0,9985	8,2013	11,7470	2,4102	8,4792	10,7756	0,6019	2,1452	0,0223	5,5959
07.00.00	0,9983	0,9984	0,9951	0,9984	8,3486	11,9954	2,4784	8,6413	10,9993	0,6239	2,2371	0,0236	5,8212
08.00.00	0,9978	0,9979	0,9949	0,9980	10,0494	12,7684	3,2027	9,9283	11,6988	0,9050	2,5354	0,0396	7,0253
09.00.00	0,9975	0,9976	0,9941	0,9977	11,6023	15,2321	3,5721	11,6091	13,9378	1,2072	3,6103	0,0494	9,8022
10.00.00	0,9972	0,9973	0,9934	0,9974	12,9899	17,5603	3,9056	13,1524	16,0613	1,5139	4,7999	0,0591	12,7936
11.00.00	0,9977	0,9977	0,9958	0,9978	9,9582	10,0442	3,5774	9,0717	9,2094	0,8887	1,5671	0,0495	5,1106
12.00.00	0,9975	0,9975	0,9954	0,9976	10,7367	11,3273	3,7713	9,9339	10,3789	1,0334	1,9943	0,0551	6,2451
13.00.00	0,9976	0,9976	0,9955	0,9977	10,3927	10,8183	3,6988	9,5736	9,9185	0,9681	1,8187	0,0529	5,7601
14.00.00	0,9979	0,9979	0,9962	0,9980	9,0851	8,7672	3,3789	8,1580	8,0533	0,7392	1,1928	0,0441	4,0585
15.00.00	0,9981	0,9980	0,9966	0,9981	8,1475	7,2122	3,1412	7,1133	6,6391	0,5940	0,8056	0,0381	3,0091
16.00.00	0,9982	0,9981	0,9969	0,9982	7,6739	6,3980	3,0182	6,5736	5,8979	0,5267	0,6329	0,0352	2,5387
17.00.00	0,9982	0,9982	0,9969	0,9983	7,5552	6,2186	2,9944	6,4456	5,7348	0,5105	0,5977	0,0346	2,4375
18.00.00	0,9980	0,9979	0,9964	0,9981	8,5729	8,0615	3,2711	7,6256	7,4071	0,6580	1,0078	0,0414	3,5272
19.00.00	0,9978	0,9978	0,9960	0,9979	9,4197	9,3808	3,4973	8,5504	8,6151	0,7949	1,3663	0,0473	4,5080
20.00.00	0,9977	0,9977	0,9958	0,9978	9,8106	9,9911	3,5965	8,9792	9,1763	0,8624	1,5505	0,0500	5,0054
21.00.00	0,9979	0,9979	0,9963	0,9980	8,8333	8,3717	3,3390	7,8943	7,7035	0,6987	1,0872	0,0431	3,7672
22.00.00	0,9980	0,9980	0,9966	0,9981	8,2688	7,3806	3,1848	7,2512	6,8042	0,6119	0,8439	0,0392	3,1193
23.00.00	0,9982	0,9982	0,9970	0,9983	7,4520	6,0403	2,9692	6,3445	5,5893	0,4965	0,5636	0,0340	2,3387

Tabla 16 Resultado para integración del 60% y día festivo. Fuente: propia

7.2.4.2 Día laborable

60% lab. VE Tiempo en s	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9983	0,9984	0,9946	0,9985	8,5400	9,1995	2,3123	9,2878	12,6429	0,6529	2,9599	0,0205	7,2979
01.00.00	0,9985	0,9986	0,9950	0,9986	7,7440	7,8341	2,1040	8,3895	11,3928	0,5364	2,3995	0,0170	5,9537
02.00.00	0,9985	0,9987	0,9952	0,9987	7,4515	7,3029	2,0263	8,0506	10,9064	0,4965	2,1971	0,0157	5,4759
03.00.00	0,9986	0,9987	0,9952	0,9987	7,3953	7,1806	2,0104	7,9798	10,7946	0,4890	2,1518	0,0155	5,3739
04.00.00	0,9986	0,9987	0,9952	0,9987	7,3757	7,2101	2,0083	7,9753	10,8209	0,4864	2,1627	0,0154	5,3830
05.00.00	0,9985	0,9987	0,9951	0,9987	7,4431	7,4574	2,0321	8,0882	11,0457	0,4953	2,2550	0,0158	5,5687
06.00.00	0,9984	0,9986	0,9949	0,9986	7,9434	8,2964	2,1618	8,6482	11,8145	0,5645	2,5827	0,0179	6,3582
07.00.00	0,9993	0,9994	0,9968	0,9994	3,7728	6,7253	1,1275	4,2028	6,2081	0,1254	0,7001	0,0047	1,6739
08.00.00	0,9985	0,9986	0,9952	0,9986	6,5102	9,0004	2,2948	7,9302	12,2135	0,3784	2,7231	0,0202	5,5094
09.00.00	0,9979	0,9979	0,9950	0,9980	8,4723	9,9991	3,3243	9,4428	13,1121	0,6426	3,1512	0,0427	6,8483
10.00.00	0,9980	0,9979	0,9951	0,9981	8,1234	9,6329	3,2429	9,1142	12,7741	0,5905	2,9903	0,0406	6,4300
11.00.00	0,9980	0,9980	0,9951	0,9981	8,0268	9,5573	3,2216	9,0303	12,7036	0,5765	2,9576	0,0401	6,3341
12.00.00	0,9979	0,9979	0,9950	0,9980	8,2122	9,8780	3,2711	9,2402	12,9970	0,6036	3,0975	0,0414	6,6394
13.00.00	0,9979	0,9979	0,9960	0,9980	8,5871	9,5604	3,3470	8,0660	8,7646	0,6601	1,4193	0,0433	4,2224
14.00.00	0,9980	0,9980	0,9963	0,9981	8,2094	8,5707	3,2299	7,5449	7,8690	0,6031	1,1397	0,0403	3,5980
15.00.00	0,9981	0,9981	0,9965	0,9982	7,7965	7,9745	3,1253	7,1100	7,3259	0,5438	0,9860	0,0377	3,1800
16.00.00	0,9981	0,9981	0,9954	0,9982	7,5645	8,3646	3,0791	8,3971	11,6176	0,5117	2,4655	0,0366	5,3602
17.00.00	0,9980	0,9980	0,9953	0,9981	7,8035	8,7790	3,1430	8,6682	11,9967	0,5447	2,6314	0,0382	5,7232
18.00.00	0,9978	0,9978	0,9948	0,9979	8,8164	10,3195	3,4031	9,7560	13,4088	0,6960	3,2954	0,0448	7,2451
19.00.00	0,9976	0,9976	0,9945	0,9977	9,8938	11,2445	3,6453	10,7127	14,2667	0,8772	3,7297	0,0514	8,5079
20.00.00	0,9976	0,9976	0,9956	0,9977	10,0784	10,5374	3,6675	9,3062	9,6740	0,9103	1,7253	0,0521	5,4349
21.00.00	0,9978	0,9978	0,9961	0,9979	9,0954	8,8640	3,4063	8,2027	8,1513	0,7409	1,2194	0,0449	4,1062
22.00.00	0,9992	0,9993	0,9965	0,9993	4,4207	7,6113	1,2767	4,8822	7,0136	0,1731	0,8978	0,0061	2,1719
23.00.00	0,9994	0,9994	0,9969	0,9995	3,5794	6,2265	1,0737	3,9329	5,7575	0,1126	0,5992	0,0042	1,4617

Tabla 17 Resultado para integración del 60% y día laborable. Fuente: propia

7.2.5 Integración 60%+V2G

7.2.5.1 Día festivo

60% fest. V2G	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	Tiempo en s	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)
00.00.00	0,9971	0,9971	0,9947	0,9973	12,4786	13,5772	4,2747	11,6943	12,4454	1,3969	2,8674	0,0708	8,7762
01.00.00	0,9971	0,9972	0,9947	0,9973	12,3328	13,3481	4,2248	11,5378	12,2378	1,3643	2,7713	0,0692	8,5163
02.00.00	0,9979	0,9980	0,9950	0,9981	9,7243	12,3258	3,0743	9,6061	11,3060	0,8473	2,3623	0,0365	6,5472
03.00.00	0,9979	0,9980	0,9952	0,9981	9,5130	11,9115	3,0188	9,3539	10,9286	0,8108	2,2059	0,0352	6,1691
04.00.00	0,9980	0,9980	0,9952	0,9981	9,4092	11,7278	2,9923	9,2347	10,7605	0,7931	2,1382	0,0346	6,0004
05.00.00	0,9983	0,9984	0,9952	0,9985	8,1603	11,6506	2,3897	8,4261	10,6886	0,5959	2,1100	0,0220	5,5177
06.00.00	0,9983	0,9984	0,9952	0,9985	8,2013	11,7470	2,4102	8,4792	10,7756	0,6019	2,1452	0,0223	5,5959
07.00.00	0,9983	0,9984	0,9951	0,9984	8,3486	11,9954	2,4784	8,6413	10,9993	0,6239	2,2371	0,0236	5,8212
08.00.00	0,9978	0,9979	0,9950	0,9980	9,9293	12,5851	3,1716	9,7997	11,5317	0,8835	2,4630	0,0389	6,8356
09.00.00	0,9975	0,9976	0,9942	0,9977	11,4819	15,0484	3,5408	11,4804	13,7702	1,1822	3,5236	0,0485	9,5764
10.00.00	0,9972	0,9973	0,9935	0,9974	12,8694	17,3762	3,8742	13,0237	15,8934	1,4859	4,6997	0,0581	12,5345
11.00.00	0,9977	0,9977	0,9958	0,9978	9,8381	9,8613	3,5462	8,9431	9,0428	0,8673	1,5103	0,0486	4,9542
12.00.00	0,9977	0,9977	0,9957	0,9978	10,0155	10,2295	3,5836	9,1623	9,3787	0,8990	1,6256	0,0497	5,2369
13.00.00	0,9977	0,9977	0,9959	0,9979	9,6719	9,7205	3,5113	8,8019	8,9188	0,8381	1,4674	0,0477	4,7973
14.00.00	0,9980	0,9980	0,9965	0,9981	8,3658	7,6723	3,1919	7,3866	7,0582	0,6264	0,9123	0,0394	3,2748
15.00.00	0,9982	0,9981	0,9968	0,9982	7,6689	6,4847	3,0168	6,5991	5,9795	0,5260	0,6503	0,0351	2,5647
16.00.00	0,9982	0,9982	0,9970	0,9983	7,3750	5,9440	2,9405	6,2523	5,4872	0,4863	0,5456	0,0334	2,2845
17.00.00	0,9982	0,9982	0,9970	0,9983	7,2564	5,7647	2,9167	6,1242	5,3245	0,4707	0,5129	0,0328	2,1899
18.00.00	0,9980	0,9980	0,9965	0,9981	8,2733	7,6056	3,1933	7,3042	6,9929	0,6126	0,8965	0,0394	3,2157
19.00.00	0,9978	0,9978	0,9961	0,9979	9,1197	8,9240	3,4193	8,2289	8,1995	0,7449	1,2360	0,0452	4,1489
20.00.00	0,9978	0,9978	0,9960	0,9979	9,3604	9,3055	3,4794	8,4969	8,5523	0,7849	1,3443	0,0468	4,4399
21.00.00	0,9980	0,9980	0,9965	0,9981	8,3838	7,6876	3,2221	7,4122	7,0819	0,6292	0,9160	0,0401	3,2882
22.00.00	0,9981	0,9981	0,9968	0,9982	7,8199	6,6979	3,0681	6,7691	6,1850	0,5470	0,6941	0,0364	2,6923
23.00.00	0,9983	0,9983	0,9972	0,9984	7,0042	5,3601	2,8528	5,8626	4,9751	0,4384	0,4428	0,0314	1,9835

Tabla 18 Resultado para integración del 60%+V2G y día festivo. Fuente: propia

7.2.5.2 Día laborable

60% lab. V2G	Tensión [p.u.]				% en carga [%]					Perdidas [kW]			
	SS8	SS23	SS20	SS15	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	TR1	TR2	línea 1-2	línea 12-13	línea 3-4(1)	Red
00.00.00	0,9983	0,9984	0,9946	0,9985	8,5400	13,7942	2,3123	9,2878	12,6429	0,6529	2,9599	0,0205	7,2979
01.00.00	0,9985	0,9986	0,9950	0,9986	7,7440	12,4222	2,1040	8,3895	11,3928	0,5364	2,3995	0,0170	5,9537
02.00.00	0,9985	0,9987	0,9952	0,9987	7,4515	11,8879	2,0263	8,0506	10,9064	0,4965	2,1971	0,0157	5,4759
03.00.00	0,9986	0,9987	0,9952	0,9987	7,3953	11,7649	2,0104	7,9798	10,7946	0,4890	2,1518	0,0155	5,3739
04.00.00	0,9986	0,9987	0,9952	0,9987	7,3757	11,7946	2,0083	7,9753	10,8209	0,4864	2,1627	0,0154	5,3830
05.00.00	0,9985	0,9987	0,9951	0,9987	7,4431	12,0433	2,0321	8,0882	11,0457	0,4953	2,2550	0,0158	5,5687
06.00.00	0,9984	0,9986	0,9949	0,9986	7,9434	12,8868	2,1618	8,6482	11,8145	0,5645	2,5827	0,0179	6,3582
07.00.00	0,9993	0,9994	0,9968	0,9994	3,7728	6,7265	1,1275	4,2028	6,2081	0,1254	0,7001	0,0047	1,6739
08.00.00	0,9986	0,9986	0,9964	0,9987	6,2124	8,0764	2,2181	6,1479	7,4265	0,3443	1,0115	0,0189	2,7271
09.00.00	0,9980	0,9980	0,9962	0,9981	8,1727	9,0729	3,2464	7,6610	8,3188	0,5977	1,2778	0,0407	3,8134
10.00.00	0,9981	0,9980	0,9963	0,9981	7,8240	8,7072	3,1650	7,3325	7,9833	0,5476	1,1764	0,0387	3,5071
11.00.00	0,9981	0,9980	0,9963	0,9982	7,7275	8,6316	3,1437	7,2486	7,9134	0,5341	1,1560	0,0382	3,4363
12.00.00	0,9981	0,9981	0,9964	0,9982	7,6136	8,4955	3,1153	7,1370	7,7895	0,5184	1,1197	0,0375	3,3328
13.00.00	0,9980	0,9980	0,9963	0,9981	7,9882	8,6471	3,1912	7,4231	7,9335	0,5709	1,1602	0,0394	3,5436
14.00.00	0,9981	0,9981	0,9966	0,9982	7,6111	7,6586	3,0742	6,9021	7,0401	0,5181	0,9091	0,0365	2,9815
15.00.00	0,9982	0,9982	0,9967	0,9983	7,1989	7,0634	2,9699	6,4673	6,4987	0,4632	0,7725	0,0341	2,6079
16.00.00	0,9982	0,9982	0,9967	0,9983	7,1163	7,2129	2,9625	6,4548	6,6303	0,4526	0,8058	0,0339	2,6357
17.00.00	0,9982	0,9981	0,9966	0,9982	7,3550	7,6264	3,0263	6,7259	7,0054	0,4836	0,9014	0,0354	2,8772
18.00.00	0,9980	0,9979	0,9961	0,9981	8,3667	9,1645	3,2861	7,8134	8,4055	0,6266	1,3038	0,0417	3,9360
19.00.00	0,9977	0,9977	0,9958	0,9979	9,4432	10,0883	3,5280	8,7698	9,2577	0,7989	1,5809	0,0481	4,8790
20.00.00	0,9978	0,9978	0,9961	0,9979	9,1779	9,1658	3,4332	8,3417	8,4251	0,7545	1,3041	0,0456	4,2865
21.00.00	0,9980	0,9980	0,9966	0,9981	8,1965	7,4955	3,1725	7,2384	6,9076	0,6012	0,8706	0,0389	3,1352
22.00.00	1,0003	1,0003	0,9989	1,0003	1,5414	0,9924	0,5939	0,9159	1,2534	0,0188	0,0105	0,0011	0,1476
23.00.00	1,0005	1,0005	0,9993	1,0005	2,2595	2,1692	0,7226	1,8573	2,1710	0,0433	0,0685	0,0018	0,3299

Tabla 19 Resultado para integración del 60%+V2G y día laborable. Fuente: propia

7.3 Anexo III: Software de simulación.

Para la realización de este TFG se ha utilizado el Software DigSilent PowerFactory 15.1, con el cual se ha ejecutado un estudio cuasi-estático para la simulación de los casos de estudio.

Cuando iniciamos el programa aparece una serie de ventanas emergentes con posibles ejemplos:

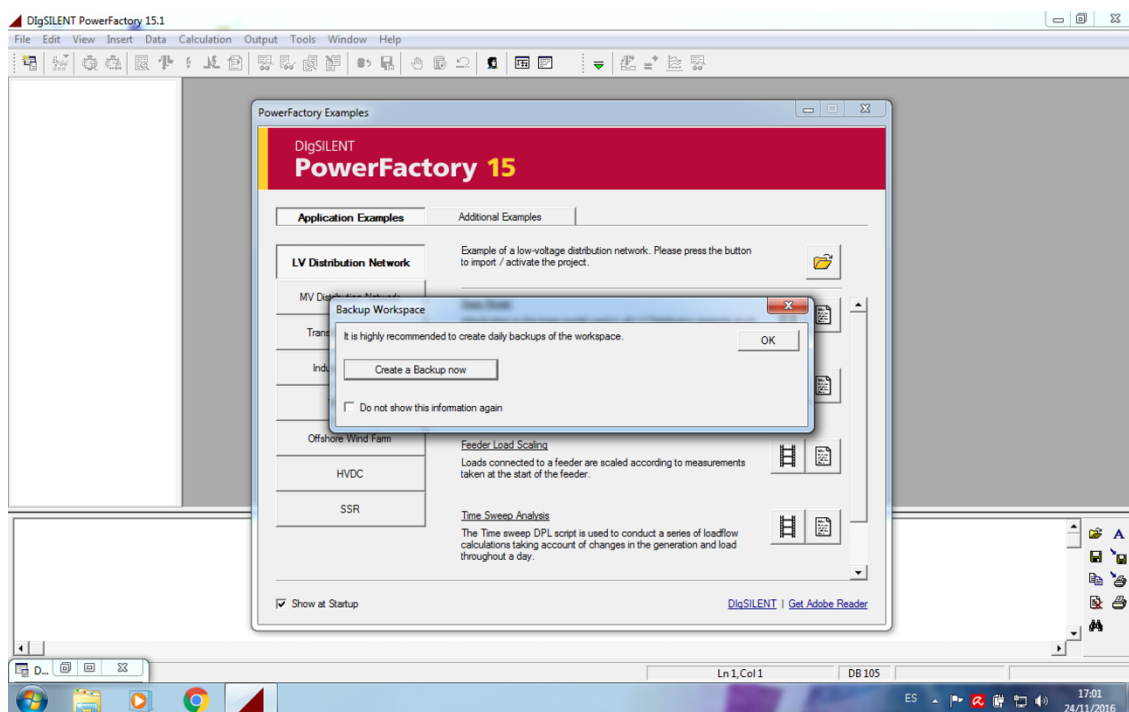


Ilustración 20 Inicio DigSilent. Fuente: propia

Tras cerrar estas ventanas, se debe abrir el data manager, el cual, se encuentra arriba a la izquierda, debajo del desplegable *file*.

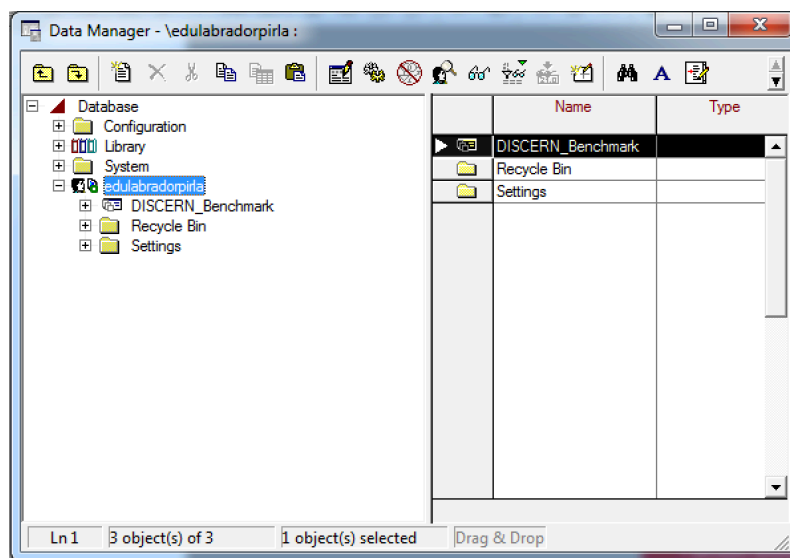


Ilustración 21 Data manager. Fuente: propia

para activar un Proyecto vale con clic derecho en el nombre del mismo, en este caso *DISCERN BENCHMARK* y clic izquierdo en la opción *Activate*.

Tras hacer esto aparecerá la red en la ventana principal:

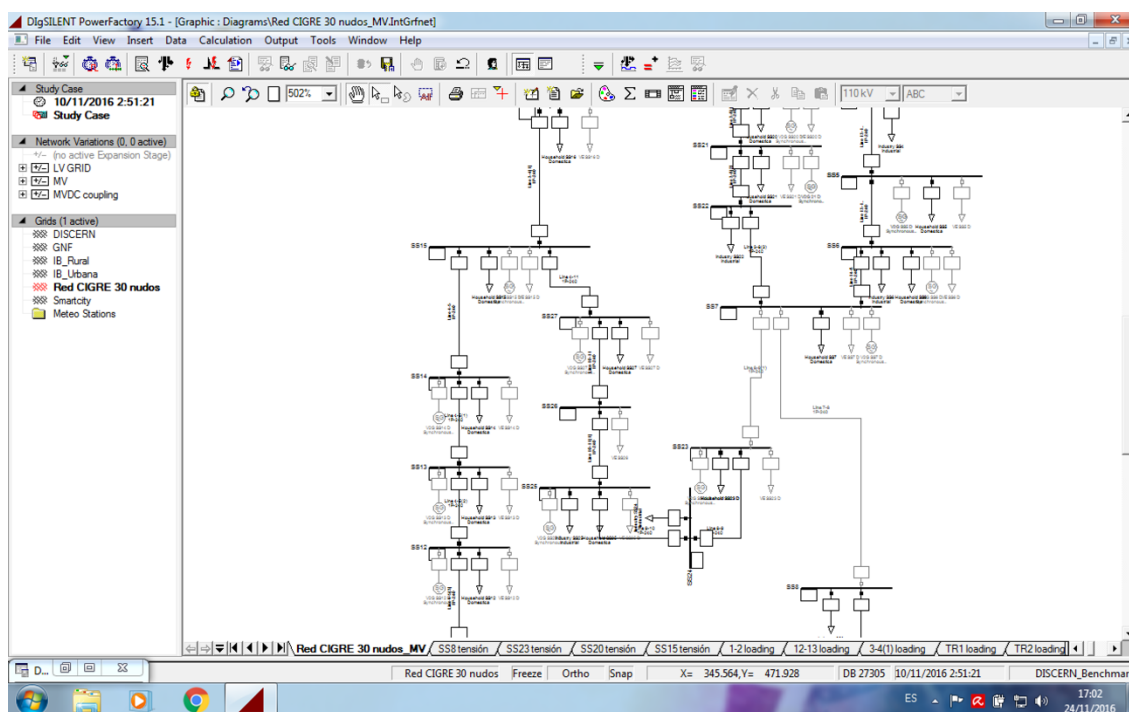


Ilustración 22 Ventana principal con proyecto activado. Fuente: propia

También tenemos acceso a todas las características de tiempo realizadas a través del data manager en la librería del Proyecto:

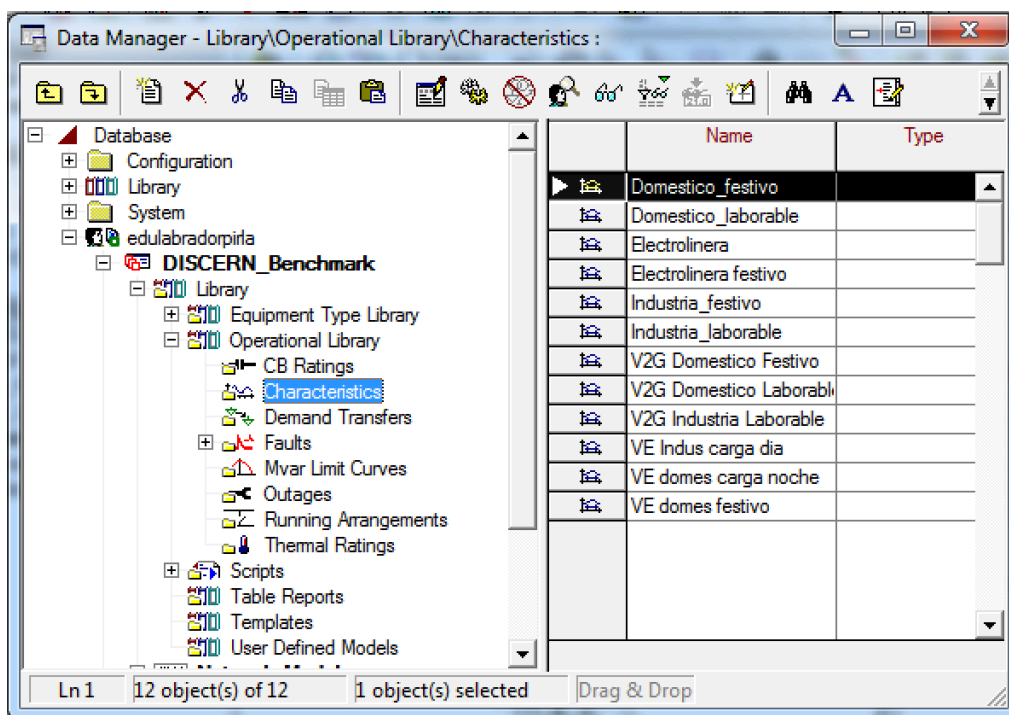


Ilustración 23 Características de tiempo. Fuente: propia

Para acceder al estudio cuasi-estático, en el desplegable *Calculation* lo encontramos, tras hacer clic izquierdo aparece una ventana emergente tal que:

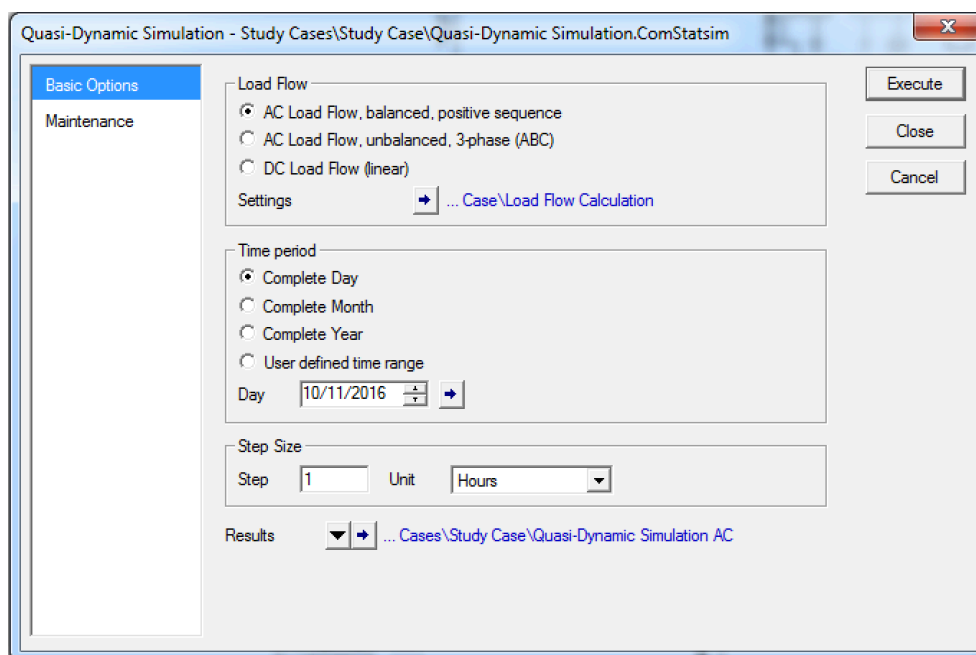


Ilustración 24 Menú estudio cuasi-estático. Fuente: propia

seleccionamos las opciones de nuestro estudio tal y como se quieran realizar y ejecutamos haciendo clic izquierdo en la opción *Execute*.

Tras esto en la parte superior vemos que aparece una serie de comandos:

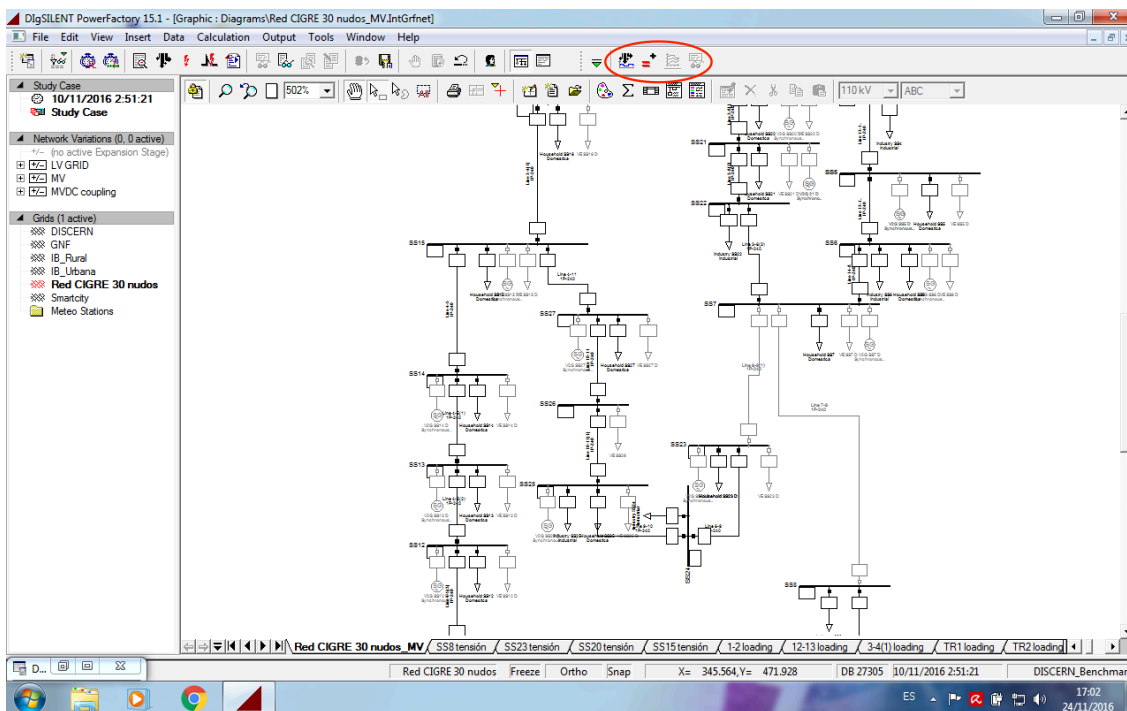


Ilustración 25 Comando del estudio cuasi-estático. Fuente: propia

Los cuales son las opciones de las que dispone el estudio, dando clic en el icono de igual aparecerá una ventana emergente en la que tendremos que señalar el tipo de simulación que hemos realizado y clicar en *OK*.

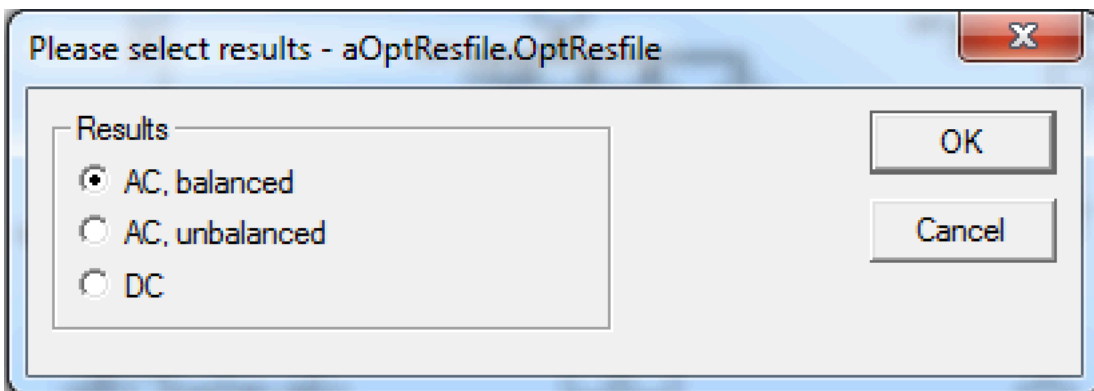


Ilustración 26 selección para visualización de resultados. Fuente: propia

Inmediatamente después aparecerá otra ventana en la que se puede seleccionar cualquier tipo de objeto de la red de análisis y atribuir que parámetros queremos seleccionar para obtener sus resultados.

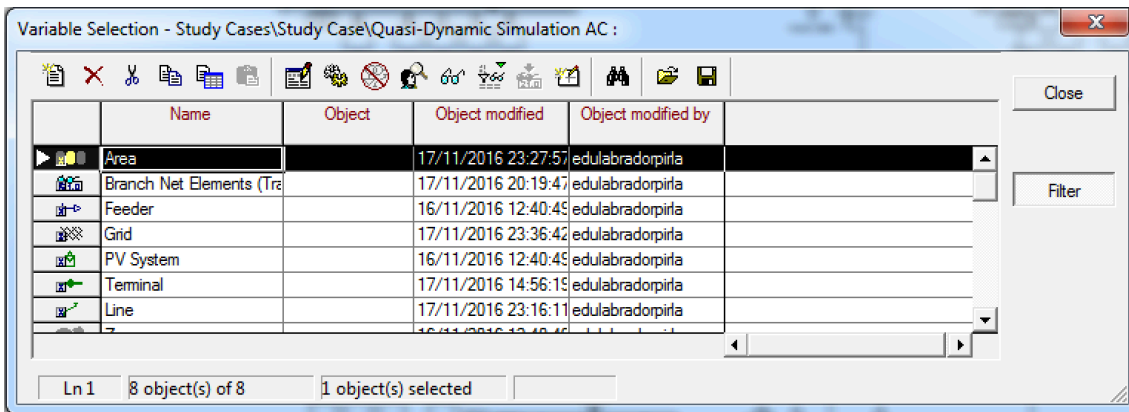


Ilustración 27 Selección de variables de estudio (1). Fuente: propia

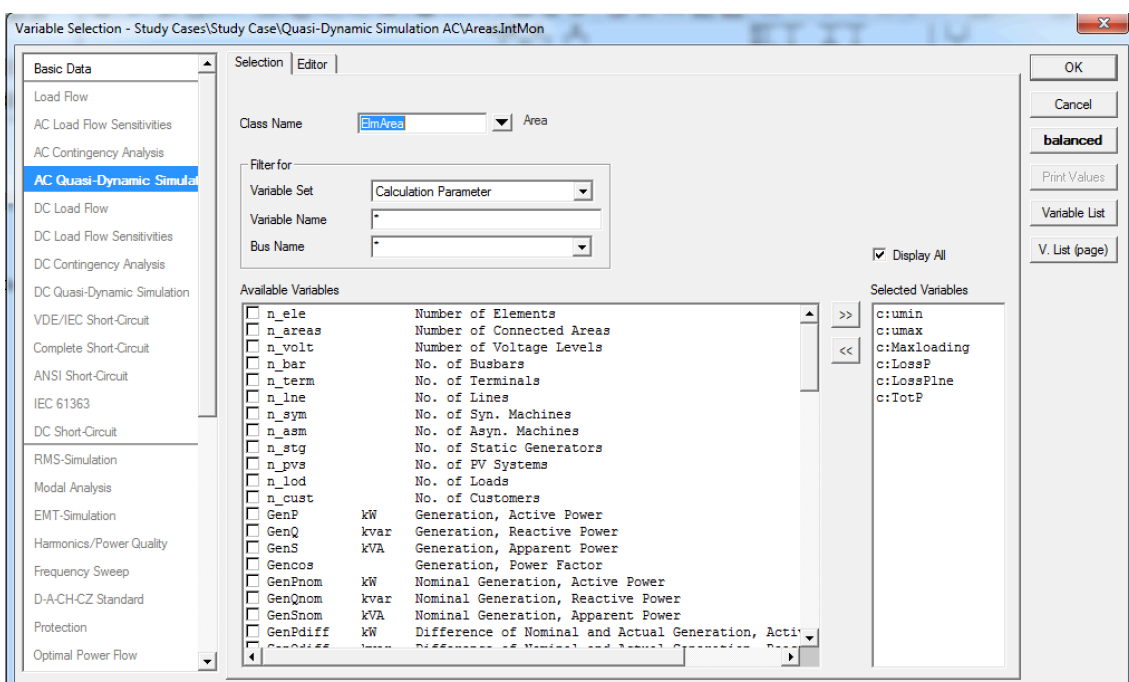


Ilustración 28 Selección de variables de estudio (2). Fuente: propia

Por ultimo se accede al siguiente comando clicando en el apartado que se encuentra a la derecha del signo igual, aparecerá una ventana emergente en la cual se debe seleccionar que tipo de elemento y cual de sus parámetros se van a representar.

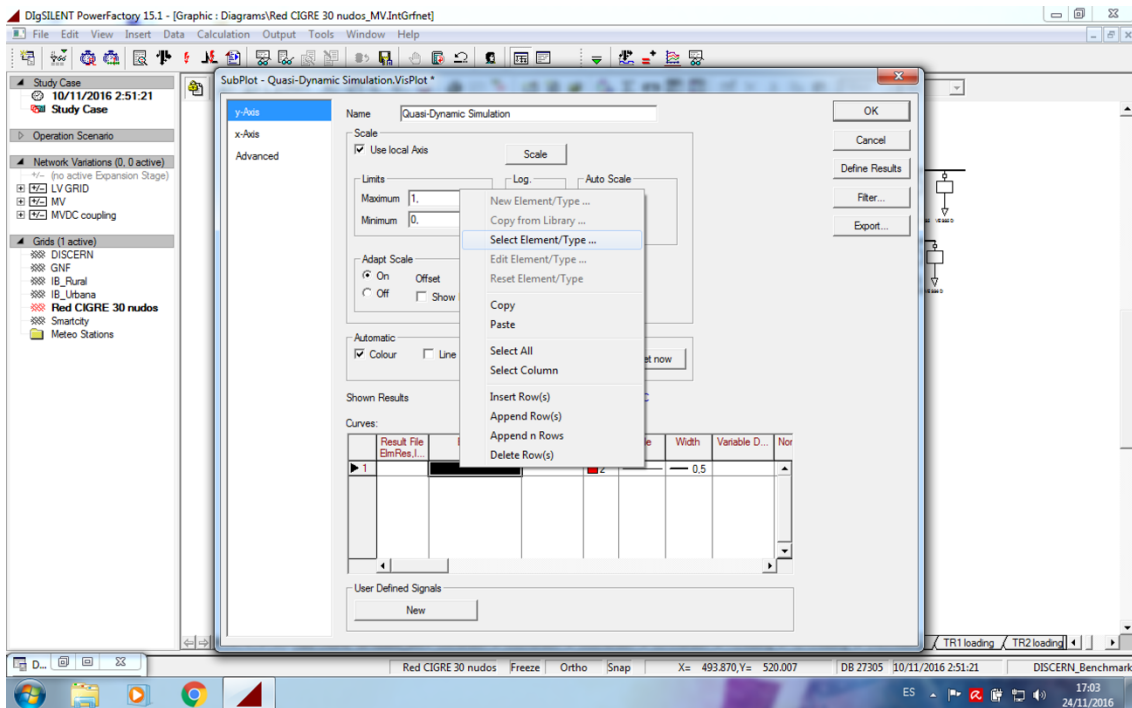


Ilustración 29 Selección de elemento a representar. Fuente: propia

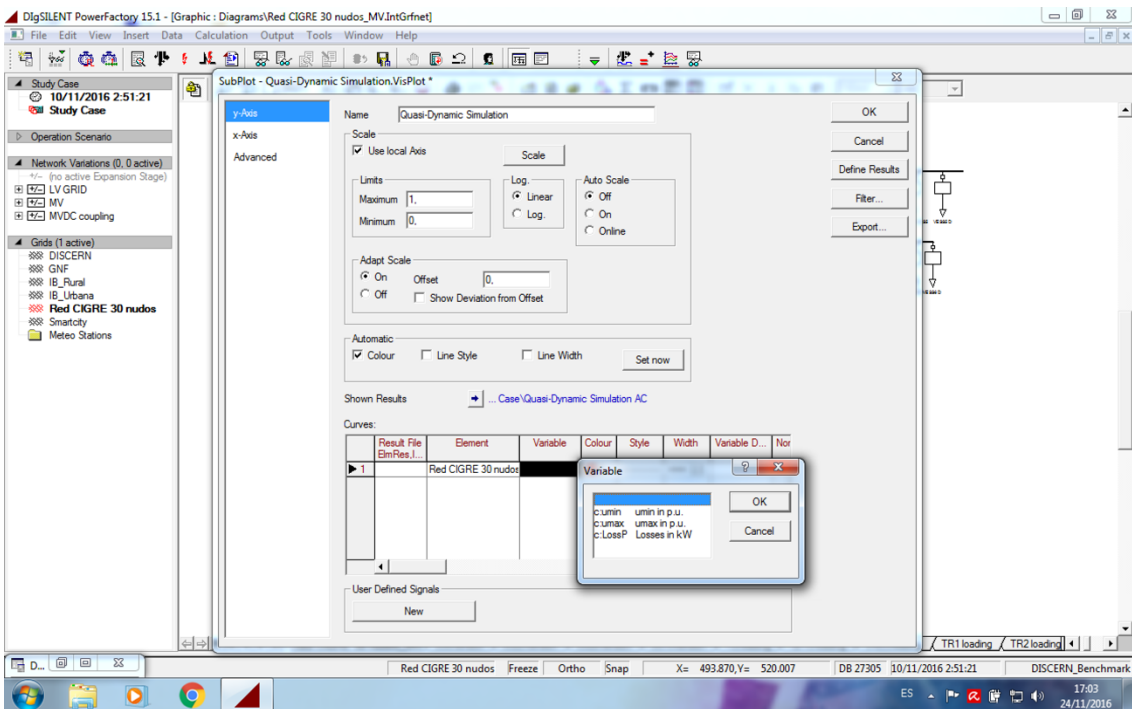


Ilustración 30 Selección de variables a representar. Fuente: propia