



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## PLAN DE INCORPORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORK) EN LA EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRIDS

Autor: Luis Javier Hidalgo Ramírez

Director: Ignacio Martín Díaz de Cerio

Co-Director: Javier Matanza Domingo

Madrid

Agosto de 2023



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**PLAN DE INCORPORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SDN (SOFTWARE DEFINED  
NETWORK) EN LA EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRIDS**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: L. Javier Hidalgo Ramírez

Fecha: 18 / 08 / 2023

Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**



Fdo.: Ignacio Martín Díaz de Cerio

Fecha: 18 / 08 / 2023





# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## PLAN DE INCORPORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORK) EN LA EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRIDS

Autor: Luis Javier Hidalgo Ramírez

Director: Ignacio Martín Díaz de Cerio

Co-Director: Javier Matanza Domingo

Madrid

Agosto de 2023



# **Agradecimientos**

A mi padre. Su ayuda, esfuerzo y conocimiento han hecho posible que hoy haya llegado a donde he llegado y no podría haberlo conseguido sin él.

A María. Su apoyo en los momentos difíciles me ha dado las fuerzas necesarias para no rendirme y seguir mi camino.

A mi familia y amigos que siempre han estado ahí cuando más los he necesitado, dentro y fuera de lo académico.

A mi director de proyecto, Ignacio, que me ha enseñado todo lo aprendido en estos meses y siempre ha estado dispuesto a ayudarme.



# **PLAN DE INCORPORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORK) EN LA EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRIDS**

**Autor: Hidalgo Ramírez, Luis Javier.**

Director: Martín Díaz de Cerio, Ignacio.

Entidad Colaboradora: Iberdrola

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este proyecto fin de máster busca describir el porqué del uso de la tecnología SDN en las nuevas redes de distribución, las Smart Grids. Para ello se hace una presentación de la tecnología SDN y una presentación de las Smart Grids. Una vez introducidas se ha realizado una justificación del uso del SDN en las Smart Grids presentando sus ventajas y analizando la viabilidad de la instalación. Por último, se ha desarrollado el plan de despliegue del SDN en la red de telecomunicaciones de Iberdrola.

**Palabras clave:** Smart Grids, Telecomunicaciones, SDN, DSO.

## **1. Introducción**

La tecnología SDN pretende revolucionar los sistemas de telecomunicación separando el plano de datos del plano de control. Esto permite automatizar la red de telecomunicaciones optimizando enormemente el funcionamiento de estas. Las Smart Grids son una evolución de las redes tradicionales de distribución. Estas tienen un mayor nivel de automatización y digitalización y por tanto necesitan de una red de telecomunicaciones que transmita toda la información que se genera en ellas.

El SDN por tanto pretende optimizar la red de telecomunicaciones de las Smart Grids, mejorando la operación, seguridad, versatilidad, escalabilidad y resiliencia. Con estas ventajas el control de las Smart Grid será más rápido y estable, posibilitando una evolución del modelo DNO a DSO el cual permitirá un mayor control del sistema por parte de las empresas de distribución eléctrica permitiendo controlar la generación distribuida, así como tener una gestión activa de la demanda.

El sistema SDN trabajará sobre todos los sistemas de telecomunicaciones actuales como pueden ser la red MPLS, la fibra FTTH y 4G de otros operadores, las conexiones punto a punto o punto multipunto, etc. La principal red de actuación sobre la que se realizará el despliegue del SDN es la red de telefonía móvil 4G, ya que esta conecta la mayor parte de los centros de transformación y es una de las tecnologías de telecomunicación más críticas.

## **2. Descripción del SDN**

La tecnología SDN se desarrolló a principios del siglo XXI para intentar solventar los problemas que iban apareciendo en las redes de telecomunicaciones tradicionales.

Las redes tradicionales dependen de dispositivos físicos, el hardware, como son los switches y routers tradicionales. Estos tienen el control en cada uno de los dispositivos. El SDN permite realizar una separación del plano de control con el plano de datos. Esto permite que tener una gestión centralizada y programable de la red.

En las SDN el plano de control se encuentra centralizado. El control lo realiza el controlador de red que se encarga de supervisar y dirigir el tráfico dentro de la red. El controlador, que es un software, utiliza protocolos de comunicación como Open Flow para establecer y controlar las reglas y políticas de la red.

La gran revolución que tiene el SDN es la separación del plano de control y el plano de datos. Esto permite más flexibilidad y adaptabilidad en la red. El administrador de red puede programar y gestionar las políticas de red de manera centralizada lo que da eficiencia a la hora de realizar cambios de configuración, ahorrando tener que configurar cada dispositivo de manera individual.

El SDN también permite la virtualización de la red. Esto significa que existe la posibilidad de crear redes lógicas, así como segmentos virtuales en una infraestructura física compartida. Con esto se facilitaría la creación de entornos de red aislados y personalizados para diferentes servicios o usuarios.

### **3. Descripción de las Smart Grids**

Las Smart Grids son redes de distribución de energía eléctrica inteligentes. Estas redes son una evolución natural de las redes de distribución tradicionales, las cuales se han visto en la necesidad de evolucionar hacia la digitalización y automatización lo que implica una nueva forma de concebir estas redes de distribución y una nueva manera de operar con ellas.

La intención de las Smart Grids es mejorar la eficiencia, sostenibilidad y confiabilidad en el proceso de distribución de energía eléctrica. Para conseguir esto, las Smart Grids deben incorporar dispositivos de automatización y por supuesto una red de telecomunicaciones estable que permita el envío y recepción de información. Las Smart Grids engloban nuevos elementos que se encuentran repartidos a lo largo de la red de distribución que antes no se encontraban ahí. Ejemplos de este tipo de elementos son las baterías, los vehículos eléctricos, la generación distribuida, los Smart meter, etc.

Todos estos elementos han creado la necesidad de tener una red de distribución inteligente que permita gestionar de forma simultánea todos estos nuevos elementos, así como automatizar elementos tradicionales que ya existían en ella como los centros de transformación y las subestaciones.

Las Smart Grids por tanto buscan tener una monitorización completa de la red, así como una operación en remoto desde un centro de control.

Uno de los mayores cambios en la red de distribución es la incorporación de la generación renovable en ella. Esta generación renovable no se puede gestionar, estando a merced de las condiciones medioambientales. Es por ello que las redes tienen la

necesidad de automatizarse y gestionar de forma autónoma todas estas variaciones en la producción de electricidad.

El riesgo de interrupción de energía eléctrica es algo que muchas fábricas y negocios no pueden permitirse, por lo que es fundamental que ante algún problema el sistema se reponga lo antes posible. Esto también es una de las características de las Smart Grids que tienen la capacidad de gestionarse remotamente para reponer el servicio en tiempo mucho más cortos que hasta la fecha.

#### **4. Ventajas del SDN en las Smart Grids**

El SDN aporta a las Smart Grids tres ventajas principales: La centralización del plano de control, la separación underlay overlay y la separación hardware de software.

La centralización del plano de control quiere decir que todo el control del sistema SDN se puede realizar desde un único punto, evitando tener que acceder a cada dispositivo de manera individual para realizar cambios de configuración.

Esta centralización permite un enrutamiento por software lo que permite que, ante algún tipo de problema en el sistema de telecomunicaciones, el sistema se autoconfigure y reenvíe los paquetes de datos por la nueva ruta más óptima, mejorando la velocidad de transmisión de datos lo que es fundamental para la correcta teleoperación de algunos sistemas de las Smart Grids.

Con el SDN se puede enviar una nueva y única orden de configuración que se aplique a todos los equipos, lo que optimiza notablemente el proceso de reconfiguración de equipos, así como cambios en las políticas.

La separación del underlay y overlay consiste en separar el canal de transmisión de datos (underlay) con los datos emitidos o servicios (overlay). Los canales del underlay son las tecnologías de telecomunicación y los servicios del overlay puede ser cualquier servicio que necesite la red de distribución (telecontrol, telegestión, sistema de seguridad, llamadas de voz, etc). Esta separación es una gran revolución en las telecomunicaciones ya que permite tratar todas las tecnologías redundantes como una única.

La separación del hardware y software implica una ventaja en cuanto a dependencia de proveedores. Con el sistema actual, al instalar un hardware con un software definido implica que, para tener compatibilidad entre todos los equipos del sistema, el proveedor de servicios de hardware y software tiene que ser el mismo. Esta separación hardware y software permite que se instale el software de un proveedor (el que más se ajuste a las

necesidades de las Smart Grids) y se tenga dependencia a la hora de depender de quien es el proveedor de hardware. Esto es beneficioso para las empresas que impongan este sistema ya que no se encuentran “atados” a las condiciones de un único proveedor. Al tratar el software y el hardware de manera independiente, el sistema controla el software como una única unidad en lugar de cada uno de los hardware de manera individual. Esto permite que la monitorización del sistema sea más eficaz permitiendo como se ha comentado anteriormente, la centralización del plano de control.

## **5. Plan de despliegue**

Iberdrola quiere realizar un plan de despliegue de este sistema en su red de telecomunicaciones. Este plan de despliegue constará de varias fases hasta que el sistema esté completamente integrado. La fase 0 ya está desarrollada y se pretende realizar una fase 1. Esta busca desplegar el SDN en los centros de transformación que cuentan con conectividad 4G. Por tanto, se pretende sustituir el router 4G actualmente implantado por un nuevo router SDN.

Esto se pretende hacer aprovechando el fin de vida útil de routers 4G para reducir los costes de inversión del SDN.

Iberdrola posee 181.883 centros de transformación de los cuales 75.884, es decir un 42%, están conectados a la red de telecomunicaciones mediante tecnología móvil 4G.

El SDN se implementará en 45.768 centros de transformación a lo largo de 12 años que tiene de duración esta fase 1.

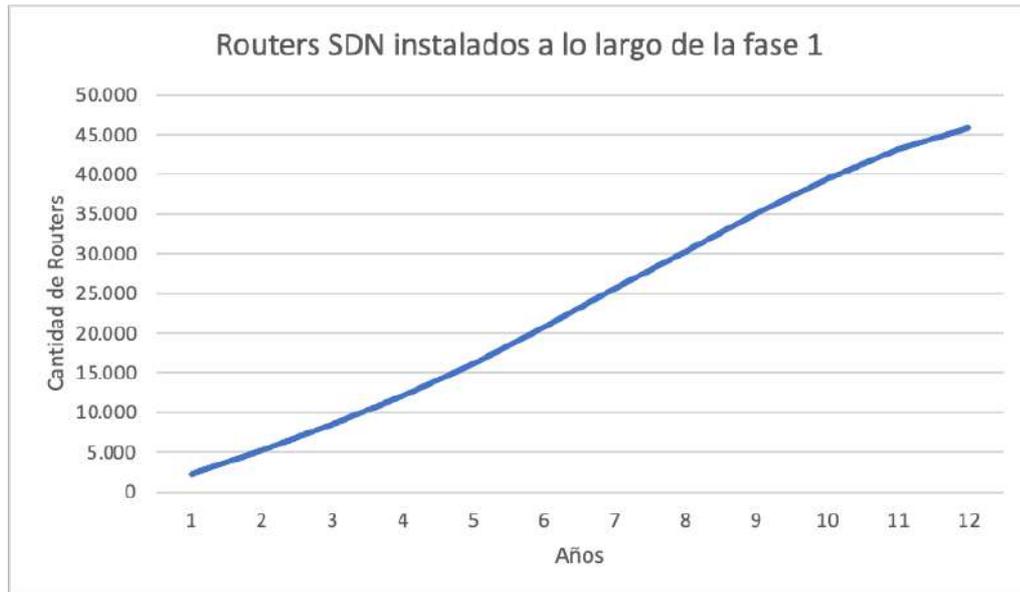


Figura 1: Despliegue temporal de la fase 1 (Fuente: Elaboración propia)

## 6. Referencias

- [1] W. Pratiwi and D. Gunawan, "Design and Strategy Deployment of SD-WAN Technology : In Indonesia (Case Study: PT. XYZ)," *2021 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)*, Miri, Malaysia, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/GECOST52368.2021.9538796.
- [2] A. Annaswamy, "IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap," in *IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap*, vol., no., pp.1-12, 24 Oct. 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6648362.
- [3] D. S. Kumar, D. Srinivasan and T. Reindl, "Optimal power scheduling of distributed resources in Smart Grid," *2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, Bangalore, India, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2013.6698777.
- [4] M. C. Falvo, L. Martirano, D. Sbordone and E. Bocci, "Technologies for smart grids: A brief review," *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Wroclaw, Poland, 2013, pp. 369-375, doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549544.
- [5] S. Tripathi, P. K. Verma and G. Goswami, "A Review on SMART GRID Power System Network," *2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, Moradabad, India, 2020, pp. 55-59, doi: 10.1109/SMART50582.2020.9337067.



# **PLAN TO INCORPORATE SOFTWARE DEFINED NETWORK (SDN) TECHNOLOGY IN THE EVOLUTION OF THE SMART GRIDS**

**Author: Hidalgo Ramírez, Luis Javier.**

Supervisor: Martín Díaz de Cerio, Ignacio.

Collaborating Entity: Iberdrola

## **ABSTRACT**

This master's thesis aims to describe the reasons for the use of SDN technology in the new distribution networks, the Smart Grids. To do so, a presentation of SDN technology and a presentation of Smart Grids are presented. Once introduced, a justification of the use of SDN in Smart Grids has been made, presenting its advantages and analysing the feasibility of the installation. Finally, the SDN deployment plan in Iberdrola's telecommunications network has been developed.

**Keywords:** Smart Grids, Telecommunications, SDN, DSO.

## **1. Introduction**

SDN technology aims to revolutionise telecommunication systems by separating the data plane from the control plane. This makes it possible to automate the telecommunications network, greatly optimising its operation. Smart Grids are an evolution of traditional distribution networks. These have a higher level of automation and digitalisation and therefore need a telecommunications network that transmits all the information generated in them.

The SDN therefore aims to optimise the Smart Grids telecommunications network, improving operation, security, versatility, scalability and resilience. With these advantages, the control of Smart Grids will be faster and more stable, enabling an evolution from the DNO model to DSO, which will allow greater control of the system by electricity distribution companies, enabling distributed generation to be controlled, as well as active demand management.

The SDN system will work on all current telecommunications systems such as the MPLS network, FTTH and 4G fibre from other operators, point-to-point or multipoint connections, etc. The main network over which the SDN will be deployed is the 4G mobile telephony network, as it connects most of the transformation centres and is one of the most critical telecommunications technologies.

## **2. Description of SDN**

SDN technology was developed in the early 21st century to address emerging problems in traditional telecommunications networks.

Traditional networks rely on physical devices, the hardware, such as traditional switches and routers. These have control over each of the devices. SDN allows a separation of the control plane from the data plane. This allows centralised and programmable management of the network.

In SDNs, the control plane is centralised. Control is performed by the network controller, which is responsible for monitoring and directing the traffic within the network. The controller, which is software, uses communication protocols such as Open Flow to establish and control network rules and policies.

The big revolution in SDN is the separation of the control plane and the data plane. This allows more flexibility and adaptability in the network. The network administrator can program and manage network policies centrally which gives efficiency when making configuration changes, saving having to configure each device individually.

SDN also enables network virtualisation. This means that there is the possibility to create logical networks as well as virtual segments on a shared physical infrastructure. This would facilitate the creation of isolated and customised network environments for different services or users.

### **3. Description of Smart Grids**

Smart Grids are intelligent electricity distribution networks. These grids are a natural evolution of traditional distribution grids, which have seen the need to evolve towards digitalisation and automation, which implies a new way of conceiving these distribution grids and a new way of operating them.

The intention of Smart Grids is to improve the efficiency, sustainability and reliability of the electricity distribution process. To achieve this, Smart Grids must incorporate automation devices and of course a stable telecommunications network that allows the sending and receiving of information. Smart Grids encompass new elements that are spread throughout the distribution network that were not there before. Examples of this type of elements are batteries, electric vehicles, distributed generation, smart meters, etc.

All these elements have created the need for a smart distribution grid that allows all these new elements to be managed simultaneously, as well as automating traditional elements that already existed in the grid, such as transformation centres and substations.

Smart Grids therefore seek to have complete monitoring of the grid, as well as remote operation from a control centre.

One of the biggest changes in the distribution grid is the incorporation of renewable generation into it. This renewable generation cannot be managed, being at the mercy of environmental conditions. This is why grids need to automate and autonomously manage all these variations in electricity production.

The risk of power interruption is something that many factories and businesses cannot afford, so it is essential that in the event of a problem the system is restored as quickly as possible. This is also one of the characteristics of Smart Grids that have the ability to be managed remotely to restore service in much shorter times than to date.

#### **4. Advantages of SDN in Smart Grids**

SDN brings three main advantages to Smart Grids: centralisation of the control plane, separation of the underlay overlay and separation of hardware from software.

Centralisation of the control plane means that all control of the SDN system can be performed from a single point, avoiding having to access each device individually to make configuration changes.

This centralisation allows software routing, which means that, in the event of any type of problem in the telecommunications system, the system auto-configures itself and forwards the data packets along the new, more optimal route, improving the data transmission speed, which is essential for the correct teleoperation of some Smart Grid systems.

With SDN, a new and unique configuration order can be sent to be applied to all equipment, which significantly optimises the equipment reconfiguration process, as well as changes in policies.

The separation of the underlay and overlay consists of separating the data transmission channel (underlay) from the broadcast data or services (overlay). The underlay channels are the telecommunication technologies, and the overlay services can be any service required by the distribution network (remote control, remote management, security system, voice calls, etc.). This separation is a great revolution in telecommunications as it allows all redundant technologies to be treated as one.

The separation of hardware and software implies an advantage in terms of vendor lock-in. With the current system, installing hardware with defined software means that in order to have compatibility between all the equipment in the system, the hardware and software service provider has to be the same. This separation of hardware and software allows software to be installed from one supplier (the one that best suits the needs of the Smart Grids) and to be dependent on the hardware supplier. This is beneficial for the companies imposing this system as they are not "tied" to the conditions of a single supplier. By treating software and hardware independently, the system monitors the software as a single unit rather than the hardware individually. This allows system monitoring to be more effective by allowing, as discussed above, centralisation of the control plane.

#### **5. Deployment plan**

Iberdrola intends to implement a deployment plan for this system in its telecommunications network. This deployment plan will consist of several phases until the system is fully integrated. Phase 0 has already been developed and a phase 1 is planned. This phase aims to deploy the SDN in the transformation centres that have 4G connectivity. Therefore, it is intended to replace the currently deployed 4G router with a new SDN router.

This is intended to be done by taking advantage of the end of life of 4G routers to reduce SDN investment costs.

Iberdrola has 181,883 transformation centres, of which 75,884, or 42%, are connected to the telecommunications network via 4G mobile technology.

The SDN will be implemented in 45,768 transformation centres over the 12-year duration of phase 1.

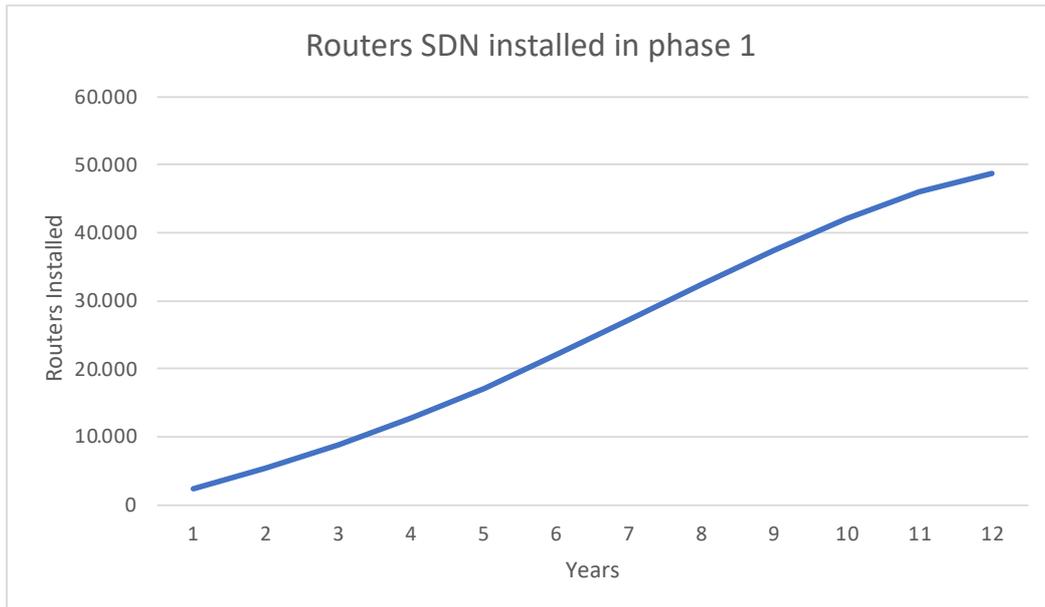


Figure 1: Routers SDN installed in phase 1

## 6. References

- [1] W. Pratiwi and D. Gunawan, "Design and Strategy Deployment of SD-WAN Technology : In Indonesia (Case Study: PT. XYZ)," *2021 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)*, Miri, Malaysia, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/GECOST52368.2021.9538796.
- [2] A. Annaswamy, "IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap," in *IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap*, vol., no., pp.1-12, 24 Oct. 2013, doi: 10.1109/IEEEESTD.2013.6648362.
- [3] D. S. Kumar, D. Srinivasan and T. Reindl, "Optimal power scheduling of distributed resources in Smart Grid," *2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, Bangalore, India, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2013.6698777.
- [4] M. C. Falvo, L. Martirano, D. Sbordone and E. Bocci, "Technologies for smart grids: A brief review," *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Wroclaw, Poland, 2013, pp. 369-375, doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549544.
- [5] S. Tripathi, P. K. Verma and G. Goswami, "A Review on SMART GRID Power System Network," *2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, Moradabad, India, 2020, pp. 55-59, doi: 10.1109/SMART50582.2020.9337067.

## Índice de la memoria

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	7
1.2 Iberdrola .....	8
1.3 Objetivos de desarrollo sostenible.....	9
<b>Capítulo 2. SDN (Software Defined Network) .....</b>	<b>13</b>
2.1 ¿Qué es SDN?.....	13
2.1.1 SD-WAN.....	14
2.2 Evolución SDN.....	16
2.3 SDN en Iberdrola.....	17
<b>Capítulo 3. Smart Grids.....</b>	<b>19</b>
3.1 Redes de Distribución.....	20
3.1.1 Elementos de las subestaciones.....	24
3.2 Digitalización .....	27
3.3 Elementos que la componen.....	29
3.3.1 Generación Distribuida.....	29
3.3.2 Baterías.....	31
3.3.3 Vehículos Eléctricos .....	33
3.3.4 Smart Meter .....	34
3.4 Iberdrola .....	36
<b>Capítulo 4. Justificación del uso de SDN en SG.....</b>	<b>39</b>
4.1 Telecomunicaciones en las Smart Grid .....	39
4.1.2 MPLS .....	42
4.1.3 Tecnología 4G .....	44
4.1.4 Fibra Óptica .....	46
4.1.5 Radioenlace punto a punto .....	48
4.1.6 Radioenlace punto multipunto.....	49
4.1.7 PLC.....	50
4.2 Ventajas del SDN en las Smart Grids.....	52
4.2.1 Ventajas SDN.....	53

4.2.2	<i>Aplicación en las Smart Grids</i> .....	56
4.2.3	<i>Otros servicios</i> .....	58
4.3	Proveedores SDN .....	59
4.3.1	<i>Juniper</i> .....	59
4.3.2	<i>Nokia</i> .....	60
4.3.3	<i>Cisco</i> .....	60
4.4	Análisis Económico.....	61
<b>Capítulo 5. Viabilidad</b> .....		<b>65</b>
5.1	Viabilidad Técnica.....	65
5.1.1	<i>Oficinas</i> .....	65
5.1.2	<i>Subestaciones</i> .....	66
5.1.3	<i>Centros de Transformación</i> .....	67
5.2	Viabilidad Económica .....	68
5.2.1	<i>Ahorro de costes de operación</i> .....	69
5.2.2	<i>Ahorro de costes de Mantenimiento</i> .....	70
5.2.3	<i>Ahorro en seguros de ciberseguridad</i> .....	71
5.2.4	<i>Aumentos de ingresos por calidad de servicio</i> .....	72
5.2.5	<i>Inversión inicial</i> .....	74
<b>Capítulo 6. Plan de Despliegue</b> .....		<b>77</b>
6.1	Fase 0 y 1 .....	77
6.2	Fase 2.....	77
6.3	Fases Futuras .....	82
<b>Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros</b> .....		<b>85</b>
<b>Capítulo 8. Bibliografía</b> .....		<b>87</b>
<b>ANEXO I</b>		<b>90</b>

## Índice de figuras

Figura 1: Despliegue temporal de la fase 1 (Fuente: Elaboración propia) .....	13
Figura 2: Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (Fuente: ONU).....	9
Figura 3: Comparación redes LAN vs WAN (Fuente: Diffen) .....	14
Figura 4: Esquema de alcance de las Smart Grids (Fuente: Novelec).....	20
Figura 5: Mapa de zonas de cada empresa distribuidora de electricidad (Fuente: Endesa)	22
Figura 6: Órgano de corte de red (Fuente: LinkedIn).....	23
Figura 7: Seccionador instalado en una subestación (Fuente:Wikipedia).....	25
Figura 8: Interruptor instalado en una subestación (Fuente: Todo Luz y Gas).....	25
Figura 9: Transformador de intensidad (Fuente: Wikipedia) .....	26
Figura 10: Transformador de tensión (Fuente: Artech).....	26
Figura 11: Autoválvula (Fuente: Olval) .....	26
Figura 12: Bobina de bloqueo (FuenteVica T&D).....	27
Figura 13: Generación solar en una vivienda (Conectada a la red de distribución) (Fuente: Solarbex).....	30
Figura 14: Instalación de baterías (Fuente: Solarbex).....	32
Figura 15: Cargador para vehículos eléctricos (Fuente: Iberdrola).....	33
Figura 16: Smart meter (Fuente: RTE).....	35
Figura 17: Diferentes tecnologías de telecomunicaciones en las distintas capas (Fuente: Elaboración propia) .....	41
Figura 18: Resumen de las tecnologías de telecomunicación (Fuente: Elaboración propia) .....	42
Figura 19: Esquema de red MPLS (Fuente: Research Gate).....	44
Figura 20: Antena de comunicaciones 4G (Fuente: La Voz del Tajo).....	45
Figura 21: Comparación FTTH frente a otras conexiones de fibra óptica (Fuente: NAE) .	47
Figura 22: Esquema de conexión punto a punto (Fuente: Anvimur) .....	48
Figura 23: Esquema de radioenlace punto a multipunto (Fuente: Solucionesintegrales)....	50
Figura 24: Esquema de funcionamiento de PLC (Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana) .....	51

Figura 25: Resumen de ventajas aportadas por el SDN (Fuente: Elaboración propia).....	56
Figura 26: Distribution Network Operator vs Distribution System Operator (Fuente: Iberdrola) .....	57
Figura 27: Routers SDN instalados a lo largo de la fase 1 (Fuente: Elaboración propia)....	81
Figura 28: Routers SDN instalados por año (Fuente: Elaboración propia).....	82

## *Índice de tablas*

Tabla 1: Activos de las principales empresas distribuidoras de electricidad (Fuente: Elaboración propia) .....	24
Tabla 2: Calidad del suministro eléctrico de las distintas distribuidoras (Fuente: Elaboración propia).....	73
Tabla 3:Centros de transformación ya instalados de Iberdrola (Fuente: Elaboración propia) .....	78
Tabla 4: OCR ya instalados en Iberdrola (Fuente: Elaboración propia) .....	79
Tabla 5: Nuevos CT y CT migrados de Iberdrola (Fuente: Elaboración propia) .....	79
Tabla 6: Datos de desarrollo fase 1 (años 1-6) (Fuente: Elaboración propia).....	80
Tabla 7: Datos de desarrollo fase 1 (años 7-12) (Fuente: Elaboración propia).....	81



## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto busca avanzar en el desarrollo de las nuevas redes de distribución de energía eléctrica, las Smart grids. Para ello es necesaria la aplicación de las últimas soluciones desarrolladas en el ámbito de las telecomunicaciones. Una de estas tecnologías es el Software Defined Network también conocido por su acrónimo SDN. Con el uso del SDN se busca optimizar las redes de telecomunicaciones necesarias para transmitir datos de las Smart grids, permitiendo tomar medidas en tiempo real y mandar señales de actuación a los dispositivos de la red, minimizando los riesgos ante adversidades gracias a la versatilidad del SDN.

La implantación del SDN tiene como objetivo:

- 1- **Mejorar la Operación:** Reduce tiempos en la operación de la red de telecomunicaciones, permitiendo una reconfiguración mucho más rápida y eficaz ante algún problema.
- 2- **Seguridad:** Permite separar cada uno de los servicios que se envían por la red de telecomunicaciones, haciéndola más segura ante ciberataques, ya que en caso de que se produzca una brecha de seguridad esta solo afectará al servicio atacado, pudiendo el resto de servicios operar de forma ordinaria.
- 3- **Versatilidad y escalabilidad:** El SDN permite añadir nuevos servicios a la red de telecomunicaciones sin necesidad de añadir nuevos dispositivos a esta, lo que disminuye los costes asociados a nuevos servicios.
- 4- **Resiliencia:** La posibilidad de configuración del SDN para varias tecnologías hace que el propio SDN se autoconfigure para enviar la información por el canal más óptimo en cada momento, redirigiendo el tráfico de datos a otro canal en caso de adversidades.

Estas aportaciones del SDN aportan una clara mejoría a la red de telecomunicaciones, y por tanto hacen que la gestión de las Smart Grids sea más eficaz y eficiente.

## ***1.2 IBERDROLA***

Iberdrola es una de las mayores empresas de energía del mundo. Una de sus principales actividades en España es la distribución de energía en España, actividad que realiza a través de I-DE.

Iberdrola se fundó en el año 1992 fruto de la unión de Hidroeléctrica Española e Iberduero. En la actualidad posee 270.000 km de líneas de distribución repartidas en 10 comunidades autónomas y 25 provincias, a las que hay que añadir más de 98.000 centros de transformación, 1.100 subestaciones y más de 11 millones de clientes. En los últimos años Iberdrola ha mantenido una fuerte política de innovación en redes de distribución, automatizando tanto las subestaciones como los centros de transformación e instalando contadores inteligentes en cada uno de los suministros existentes en su red de distribución.

Con esta magnitud de cifras y debido a la importancia de un negocio tan esencial como son las redes de distribución, Iberdrola tiene su propia red de telecomunicaciones la cual continúa desarrollando para aumentar el nivel de seguridad y de control en el envío de información al no depender de empresas externas de telecomunicaciones. Esta red de telecomunicaciones propia es crucial para la operación y desarrollo de las Smart Grid, por lo que debe tener un alto nivel de resiliencia para disminuir el impacto en el caso de algún contratiempo, así como llegar a todos los puntos de generación y de operación de red como subestaciones y centros de transformación.

Esta red propia de Iberdrola engloba diferentes tecnologías de telecomunicación como la red MPLS, la red de fibra óptica, las líneas eléctricas mediante tecnología PLC, así como el uso de radioenlaces. Además de su red propia también se apoya en redes telefonía móvil y FTTH de teleoperadores externos. [1]

### 1.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) son unos objetivos establecidos por la ONU (17 objetivos) en el año 2015 y tienen como misión “lograr un futuro mejor y más sostenible para todos”. Estos 17 objetivos son la sucesión de los objetivos de desarrollo del milenio y se pretende que se alcancen en el año 2030.

Los 17 objetivos existentes se muestran en la figura a continuación:



Figura 2: Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (Fuente: ONU)

Este proyecto está alineado con 5 de estos ODS principalmente:

**7 (Energía asequible y no contaminante):** El uso del SDN en la red de telecomunicaciones de Iberdrola tendrá un gran impacto a nivel operacional, optimizando el uso de recursos de la red y reduciendo por tanto el consumo de los equipos de telecomunicaciones. También

mejorará la capacidad de operación remota de los dispositivos de la red de distribución eléctrica, mejorando la gestión de la generación de energía renovable.

**9 (Industria Innovación e Infraestructura):** El SDN es una tecnología innovadora que pretende cambiar el concepto de operación de red de telecomunicaciones. Por tanto, la implicación del SDN en las Smart Grid creará un precedente que otras compañías con red de telecomunicaciones propia probablemente usará como ejemplo.

**11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles):** El desarrollo de las Smart Grids permitirá la óptima integración de la generación distribuida. Esto mejorará el rendimiento de la energía producida, ya que el punto de consumo será mucho más cercano a la generación que antiguamente. Esta generación distribuida también provendrá de fuentes renovables lo que hará que se consiga el reto de emisiones cero, creando nuevas ciudades y comunidades sostenibles. Este desarrollo de las Smart Grids no sería posible sin una red de telecomunicaciones de apoyo que transmita todos los datos correspondientes a la Smart grid, y el futuro de esta red de telecomunicaciones no se concibe sin la tecnología SDN.

**12 (Producción y consumo responsable):** Para lograr un consumo responsable de recursos no solo vale con reducir el consumo en el punto final, sino que es necesario minimizar las pérdidas en el proceso de transformación de ese producto. En el caso de la energía, una reducción en las pérdidas de energía en las líneas de distribución tendría un gran impacto. Las Smart Grids tienen como uno de sus objetivos la reducción de las pérdidas en la distribución, así como mejorar el rendimiento de la generación. El SDN también tiene como misión la optimización de recursos de la red de telecomunicaciones, luego no solo se mejoraría el rendimiento a nivel energético sino también en cantidad de recursos a usar para suministrar un mismo servicio.

**13 (Acción por el Clima):** Los objetivos anteriormente mencionados tienen un gran impacto en el clima. El SDN, así como las Smart Grids tendrán un gran impacto positivo en la generación de energía renovable, cuyo desarrollo es vital para una completa descarbonización de la economía y del planeta.



## Capítulo 2. SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORK)

### 2.1 ¿QUÉ ES SDN?

Las SDN (Software Defined Networks) son un nuevo modelo de redes de telecomunicación que aporta flexibilidad, agilidad y permite una administración centralizada.

Las redes tradicionales dependen de dispositivos físicos, el hardware, como son los switches y routers tradicionales. Estos tienen el control en cada uno de los dispositivos. El SDN permite realizar una separación del plano de control con el plano de datos. Esto permite que tener una gestión centralizada y programable de la red.

En las SDN el plano de control se encuentra centralizado. El control lo realiza el controlador de red que se encarga de supervisar y dirigir el tráfico dentro de la red. El controlador, que es un software, utiliza protocolos de comunicación como Open Flow para establecer y controlar las reglas y políticas de la red.

La gran revolución que tiene el SDN es la separación del plano de control y el plano de datos. Esto permite más flexibilidad y adaptabilidad en la red. El administrador de red puede programar y gestionar las políticas de red de manera centralizada lo que da eficiencia a la hora de realizar cambios de configuración, ahorrando tener que configurar cada dispositivo de manera individual.

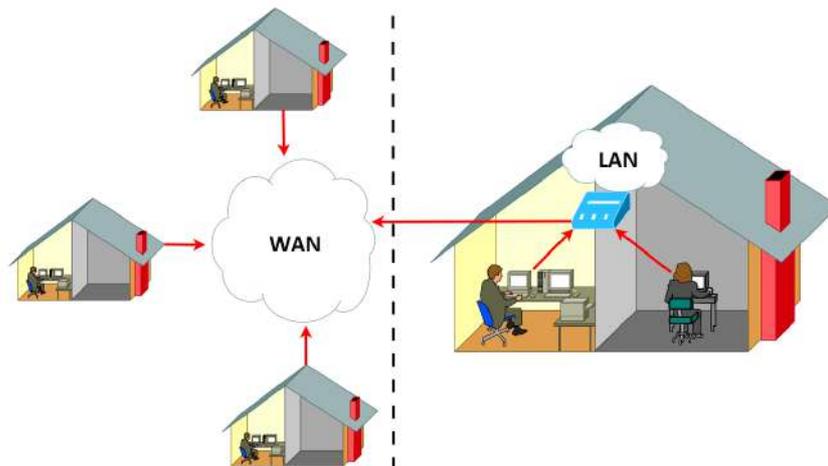
El SDN también permite la virtualización de la red. Esto significa que existe la posibilidad de crear redes lógicas, así como segmentos virtuales en una infraestructura física compartida. Con esto se facilitaría la creación de entornos de red aislados y personalizados para diferentes servicios o usuarios.

En conclusión, el SDN es un nuevo enfoque de las redes de telecomunicaciones que permite la separación de plano de control y plano de datos, con lo que se consigue que obtengan ventajas en la operación de la red, versatilidad y escalabilidad, seguridad y resiliencia. [2]

### 2.1.1 SD-WAN

Las SD-WAN son redes definidas por software que se extienden a un área extendida. Esta tecnología aporta las ventajas del SDN a las redes WAN.

Las redes WAN (Wide Area Network) son redes de ámbito extendido que conecta distintas instalaciones y distintas redes de ámbito local. El objetivo de estas redes es que la información generada en cualquier red LAN llegue a un dispositivo que se encuentre en otra red LAN. Estas redes WAN se han basado tradicionalmente en conexiones complejas y caras como puede ser el MPLS (Multiprotocol Label Switching), pero a medida que ha avanzado el tiempo y la tecnología se ha evolucionado hacia aplicaciones virtuales, con almacenamiento en la nube por lo que es necesaria una mayor agilidad y velocidad en el control de la red. Estas necesidades han hallado en la tecnología SDN una posible solución. El SD-WAN toma del SDN el uso de controladores centralizados que permitan administrar y orquestar la red WAN. Esto facilita la agregación de más conexiones de red, permite conexiones con diferentes tecnologías que se gestionen con configuraciones centralizadas, lo cual facilita la implementación de nuevas políticas de red y cambios de configuración ante la aparición problemas.



*Figura 3: Comparación redes LAN vs WAN (Fuente: Diffen)*

El SD-WAN tiene una serie de beneficios que se muestran a continuación:

- **Optimización del rendimiento:** El SD-WAN realiza un enrutamiento software en lugar de por ip como se venía haciendo tradicionalmente, luego los algoritmos de enrutamiento usan técnicas de optimización de tráfico para mejorar la calidad del servicio, así como minimizar la latencia.
- **Seguridad mejorada:** Se mejora la seguridad gracias a una mayor encriptación, así como unas políticas de seguridad centralizadas. También el poder usar una segmentación de red aporta mayor seguridad.
- **Flexibilidad y escalabilidad:** El SD-WAN permite separar cada uno de los servicios y transmitirlos de forma independiente lo que hace que añadir o eliminar servicios sea más fácil y menos tedioso, por lo que la adaptación a nuevas necesidades es mayor.
- **Reducción de costes:** La optimización de la red, así como redirigir la información por los canales más adecuados en cada momento según el tráfico de red hace que sea necesaria una menor infraestructura con la reducción de costes de capital y costes de operación que ello implica.
- **Gestión Centralizada:** La creación de nuevas políticas y configuraciones se realiza de manera centralizada, mandándose una única orden por el plano de control a todos los dispositivos, lo que minimiza el tiempo y recursos utilizados para la gestión de cambios.

En conclusión, el SD-WAN es una tecnología que aprovecha la base del SDN para aplicarlos a red de área extendida, las WAN, lo que permite mejorar estas redes de manera significativa, con una mayor simplicidad en la operación y una reducción del coste. [3]

## **2.2 EVOLUCIÓN SDN**

Las SDN tienen sus inicios en la década de los 2000. Las redes tradicionales tenían algunas limitaciones y para su evolución tenían que subsanar estas limitaciones, con ello se idearon lo que hoy en día son las SDN. Estas redes tradicionales necesitaban mejorar la flexibilidad y el control de las infraestructuras de red y es por ello de la aparición de la tecnología SDN.

La cronología del desarrollo del SDN se detalla a continuación:

- 1. Investigación inicial (2005-2007):** Los primeros trabajos de investigación sobre SDN se llevaron a cabo en universidades como Stanford y UC Berkeley. Nick McKeown y su equipo desarrollaron el proyecto, que introdujeron el concepto de separación del plano de control y el plano de datos en la red.
- 2. OpenFlow y primeros proyectos (2008-2011):** En 2008, se introdujo el protocolo OpenFlow, que permitía la comunicación entre el controlador y los conmutadores de red. Esto sentó las bases para la implementación práctica de SDN. En 2011, se crearon los primeros proyectos de SDN, como OpenFlow Hub y Beacon.
- 3. Aumento de la adopción comercial (2012-2013):** Grandes empresas de tecnología, como Cisco, Juniper Networks y VMware, comenzaron a mostrar interés en SDN y lanzaron productos y soluciones basados en esta tecnología. Se formaron organizaciones como la Open Networking Foundation (ONF) para promover los estándares y la adopción de SDN.
- 4. SD-WAN y expansión de casos de uso (2014-2016):** Durante este período, SD-WAN ganó popularidad como un caso de uso destacado de SDN. Las empresas comenzaron a adoptar SD-WAN para mejorar la conectividad y la gestión de sus redes de área amplia. Además, se exploraron más casos de uso de SDN, como centros de datos definidos por software (SDDC) y virtualización de funciones de red (NFV).

5. **Madurez y adopción generalizada (2017-2019):** SDN se convirtió en una tecnología madura y se implementó en una amplia gama de entornos, desde empresas hasta proveedores de servicios. Se realizaron inversiones significativas en la infraestructura de SDN, y los estándares y protocolos relacionados se mejoraron para ofrecer mayor interoperabilidad y flexibilidad.
  
6. **SDN y la era de la nube (2020 – act):** Con la creciente adopción de la nube y la necesidad de redes ágiles y escalables, SDN ha seguido evolucionando. Se están desarrollando nuevos enfoques, como SDN en la nube (Cloud SDN), para abordar los desafíos de las redes en entornos de nube híbrida y multicloud. Además, la seguridad y la automatización de la red se están convirtiendo en áreas clave de enfoque en el desarrollo de SDN.

La tecnología SDN ha tenido grandes avances en un breve periodo de tiempo y se espera que su crecimiento siga de manera exponencial. Es por esto que se puede prever que la mayoría de las redes de telecomunicaciones tradicionales evolucionarán hacia redes SDN para cubrir las necesidades del futuro. [4]

### **2.3 SDN EN IBERDROLA**

Iberdrola posee una potente red de telecomunicaciones, la cual incluye diferentes tecnologías de transmisión. Es por esto que funciona como un operador de telecomunicaciones, dando servicio solo al propio Iberdrola. Teniendo esta red de telecomunicaciones, la implantación del SDN es un avance en la evolución de sus sistemas de telecomunicaciones, por lo que ya está implantándose con proyectos piloto. Estos proyectos piloto han incluido el despliegue del SDN en algunas de sus oficinas y subestaciones.

Con los resultados de estos proyectos piloto y después de que los resultados hayan sido favorables, se espera que el despliegue del SDN en la red de telecomunicaciones sea total, desplegándose según tal y como se detalla en el capítulo 6 de este documento en los centros

de transformación y posteriormente en el resto, teniendo un despliegue de SDN en el 100% del sistema de telecomunicaciones.

## Capítulo 3. SMART GRIDS

Las Smart Grids son redes de distribución de energía eléctrica inteligentes. Estas redes son una evolución natural de las redes de distribución tradicionales, las cuales se han visto en la necesidad de evolucionar hacia la digitalización y automatización. Esto implica una nueva forma de concebir estas redes de distribución y una nueva manera de operar con ellas.

La intención de las Smart Grids es mejorar la eficiencia, sostenibilidad y confiabilidad en el proceso de distribución de energía eléctrica. Para conseguir esto, las Smart Grids deben incorporar dispositivos de automatización y por supuesto una red de telecomunicaciones estable que permita el envío y recepción de información. Las Smart Grids engloban nuevos elementos que se encuentran repartidos a lo largo de la red de distribución que antes no se encontraban ahí. Ejemplos de este tipo de elementos son las baterías, los vehículos eléctricos, la generación distribuida, los Smart meter, etc.

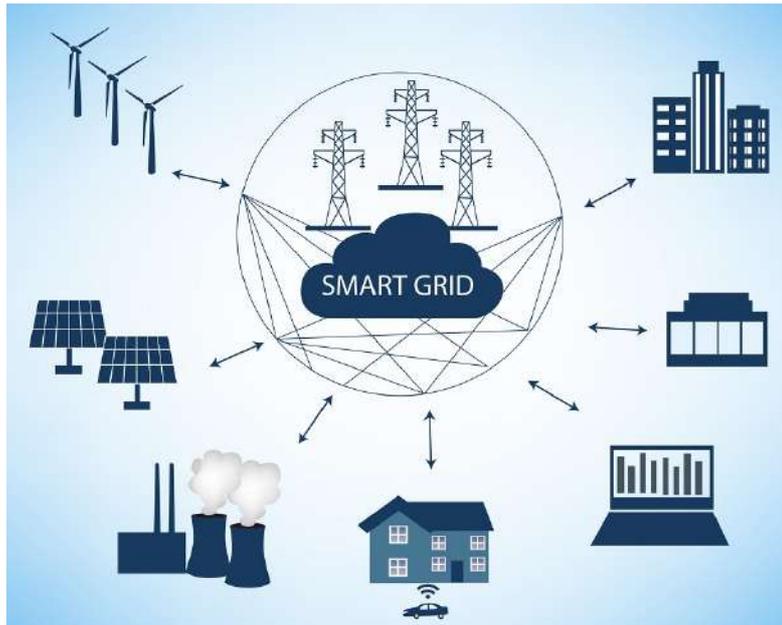
Todos estos elementos han creado la necesidad de tener una red de distribución inteligente que permita gestionar de forma simultánea todos estos nuevos elementos, así como automatizar elementos tradicionales que ya existían en ella como los centros de transformación y las subestaciones.

Las Smart Grids por tanto buscan tener una monitorización completa de la red, así como una operación en remoto desde un centro de control.

Uno de los mayores cambios en la red de distribución es la incorporación de la generación renovable en ella. Esta generación renovable no se puede gestionar, estando a merced de las condiciones medioambientales. Es por ello que las redes tienen la necesidad de automatizarse y gestionar de forma autónoma todas estas variaciones en la producción de electricidad.

El riesgo de interrupción de energía eléctrica es algo que muchas fábricas y negocios no pueden permitirse, por lo que es fundamental que ante algún problema el sistema se reponga

lo antes posible. Esto también es una de las características de las Smart Grids que tienen la capacidad de gestionarse remotamente para reponer el servicio en tiempos mucho más cortos que hasta la fecha.



*Figura 4: Esquema de alcance de las Smart Grids (Fuente: Novelec)*

Las redes de distribución se convierten en Smart Grids una vez que se automatizan y se dan los recursos necesarios para que pueda gestionar todo lo mencionado anteriormente. Uno de los elementos más importantes es una red de telecomunicaciones que de soporte a todo el envío de información que se genera en ella y que permita la recepción de ordenes de actuación en tiempos asequibles. [5][6][7]

### **3.1 REDES DE DISTRIBUCIÓN**

Las redes de distribución de energía eléctrica es un conjunto de elementos e infraestructuras que permiten transportar la energía eléctrica desde la red de transporte hacia los puntos de suministro finales. Estos suministros son muy variados, distinguiéndose principalmente en dos grandes grupos, industriales y residenciales. Con la evolución de la energía renovable y

la aparición de centrales de generación de energía eléctrica de menor potencia, se genera energía que es evacuada directamente a la red de distribución, sin pasar por la red de transporte. Las redes de distribución se componen principalmente de líneas eléctricas y subestaciones.

Estas líneas transportan la energía a diferentes niveles de tensión trifásicos comprendidos entre la baja (400V), media (20-60kV), alta (60-110kV) y muy alta tensión (>110kV). El nivel de tensión se adapta en función de las distancias que debe recorrer la electricidad para minimizar las pérdidas en el transporte de la energía. A medida que estas redes se acercan a lo puntos de suministro, la tensión se ve reducida para que sea más segura y se pueda utilizar en los consumos finales.

Las líneas de distribución están divididas en líneas aéreas y líneas subterráneas, siendo más común las líneas aéreas en niveles altos de tensión, ya que estas son más baratas de construir y mantener pero a medida que se reduce la tensión es más común encontrar líneas subterráneas ya que son más seguras en entornos con población, pero cada país tiene una regulación específica para este tipo de líneas, quedando en España reguladas las líneas de baja tensión por el reglamento electrotécnico de baja tensión y por el reglamento de condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión. [8]

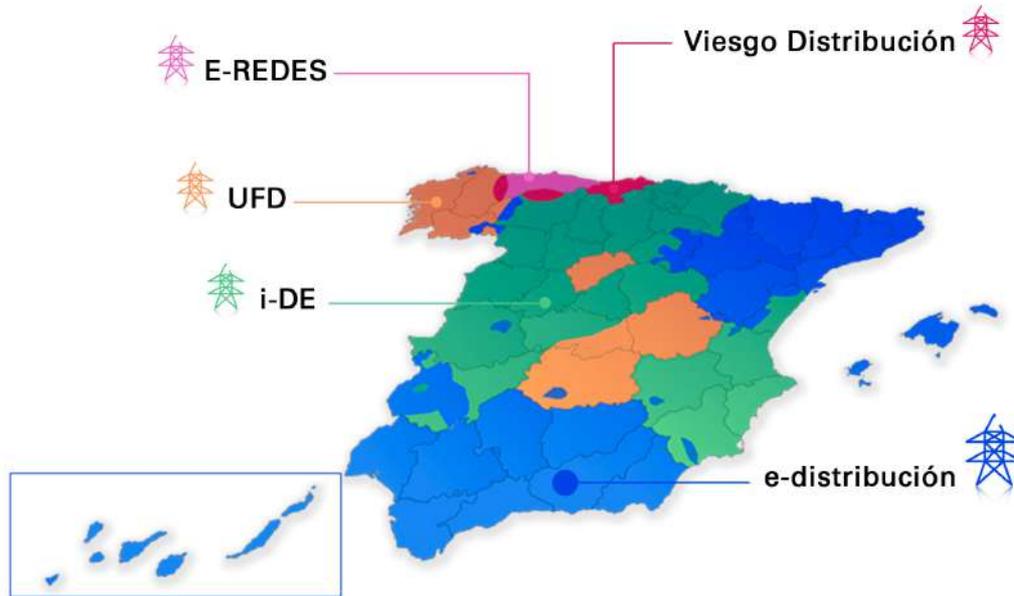


Figura 5: Mapa de zonas de cada empresa distribuidora de electricidad (Fuente: Endesa)

Las subestaciones son uno de los componentes principales de la red de distribución. Estas se encargan de la operación y maniobra de la red, así como de la adaptación de los niveles de tensión. Las subestaciones en la red de distribución se dividen principalmente en dos: Subestaciones primarias y secundarias (Centros de transformación).

Las subestaciones primarias son grandes instalaciones que se encargan de transformar la tensión de altos potenciales a potenciales más bajos. En ella también se opera la red de manera que se gestiona la apertura y cierre de los distintos circuitos existentes. Los elementos principales que componen las subestaciones son: Transformadores de medida, transformadores de potencia, interruptores y seccionadores, así como las protecciones necesarias. Con la evolución de la tecnología cada vez estas subestaciones están más automatizadas y por tanto tienen sensores y actuadores, así como una potente red de telecomunicaciones que transmita toda la información hacia el centro de control donde se puede analizar y se gestiona la subestación de manera remota. Esto es un paso fundamental para evolucionar de la red de distribución tradicional hacia la Smart Grid.

Los centros de transformación son subestaciones a pequeña escala, en ellos el elemento principal es el transformador que adapta la tensión a niveles aptos para los puntos de suministro. En él se distribuye la corriente eléctrica hacia los consumidores finales, por lo que es el elemento de la red más próximo a los consumos. Su correcto funcionamiento es fundamental ya que en caso de fallo el suministro no tendrá alternativa y dejará de tener por tanto energía.

Existe un tercer elemento en las líneas aéreas que son los OCR (órganos de corte de red). Los OCR son dispositivos que tienen la función de separar eléctricamente dos tramos de una línea aérea, siendo similares a los seccionadores e interruptores de una subestación, ayudando al control de líneas. Actualmente existen aproximadamente 200.000 OCR en la red de Iberdrola, siendo la automatización de estos elementos crucial para la evolución de las Smart Grids.



*Figura 6: Órgano de corte de red (Fuente: LinkedIn)*

Las redes de distribución son redes radiales o malladas que siempre se operan de manera radial. Que la red esté más mallada la fortalece y aporta fiabilidad en caso de fallo en algún punto de la red, pero esta tiene que ser operada de forma radial evitando así que se creen flujos de carga y aumenten las potencias de cortocircuito de las líneas. Por esto también es

necesaria un sistema de telecomunicaciones que dé apoyo a la red de distribución, para detectar faltas en la red mediante los diferentes sensores y que desde el centro de control de red se tomen las medidas necesarias para redirigir la energía por otros circuitos que no tengan faltas y así disminuir el número de suministros afectados.

En España así como en la mayoría de países las redes de distribución son un negocio regulado y por tanto las compañías que poseen estas redes están muy limitadas en su negocio, siendo el negocio de las redes de distribución un monopolio natural. Existen en España principalmente 5 compañías de distribución de energía eléctrica (Iberdrola, Endesa, Viesgo, Naturgy y EDP), siendo Iberdrola y Endesa las más importantes por su volumen de negocio.

	Líneas (km)	Clientes (Millones)	Subestaciones	Centros de transformación
Iberdrola	270.992,00	11,36	1.165,00	98.209,00
Endesa	316.500,00	12,50	1.326,00	130.575,00
Naturgy	114.000,00	3,80	N/D	N/D
E-Redes	20.867,00	0,67	N/D	N/D
Viesgo	31.547,00	0,70	N/D	N/D

Tabla 1: Activos de las principales empresas distribuidoras de electricidad (Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.1 ELEMENTOS DE LAS SUBESTACIONES

Las subestaciones, como se ha comentado antes, tienen la misión de transformar los niveles de tensión de la electricidad y operar los distintos circuitos que entran y salen de ella.

En una subestación se encuentran diferentes elementos de potencia como son: Seccionador, interruptor, transformador de intensidad, transformador de potencia, autoválvulas y bobinas de bloqueo. Todo esto a parte por supuesto del transformador.

- **Seccionador:** Se encarga de realizar una separación física de dos elementos de tensión.



*Figura 7: Seccionador instalado en una subestación (Fuente:Wikipedia)*

- **Interruptor:** Se encarga de cortar la corriente que circula por un circuito y proteger a la red.



*Figura 8: Interruptor instalado en una subestación (Fuente: Todo Luz y Gas)*

- **Transformador de Intensidad:** Adapta la intensidad para que sea medible por los equipos de medida.



*Figura 9: Transformador de intensidad (Fuente: Wikipedia)*

- **Transformador de Tensión:** Adapta la tensión para que sea medible por los equipos de medida.



*Figura 10: Transformador de tensión (Fuente: Artech)*

- **Autoválvulas:** Protegen la subestación frente a descargas atmosféricas.



*Figura 11: Autoválvula (Fuente: Olval)*

- **Bobinas de bloqueo:** Son filtros de alta frecuencia usado para telecomunicaciones.



*Figura 12: Bobina de bloqueo (FuenteVica T&D)*

Todos estos elementos se buscan que estén automatizados y telegestionados en las nuevas redes de distribución, las Smart Grids.

Todos estos elementos en un centro de transformación están contenidos en celdas, teniendo cada una de ellas una de estas funciones mencionadas anteriormente. [9]

### **3.2 DIGITALIZACIÓN**

En el punto anterior se ha hablado de los componentes de las redes de distribución tradicionales, pero a medida que la sociedad ha ido avanzando, las tecnologías de generación han evolucionado, así como los dispositivos de consumo.

La energía renovable es fundamental para el proceso de descarbonización del planeta, pero la instalación de estas tecnologías de generación cambia por completo el paradigma de la generación eléctrica. Se ha evolucionado de grandes centrales que generaban gran cantidad de energía en puntos muy localizados del sistema a pequeñas plantas de generación muy distribuidas a lo largo de toda la red. Esto implica que hay que tener un mayor control a lo largo de la red de distribución ya que han pasado de ser redes que solo consumían energía a consumirla, generarla y también almacenarla con la instalación de baterías. Para tener un control sobre estos dispositivos y poder operar el sistema de manera correcta es necesario un mayor nivel de automatización y digitalización. Es por ello que las redes de distribución han experimentado un alto grado de automatización en los últimos años.

Los vehículos eléctricos, las baterías y la generación distribuida han creado nuevos problemas de estabilidad, ya que hay puntos de la red que han visto incrementado considerablemente la generación y disminuido la demanda, provocando problemas de sobretensiones, al igual que en otros puntos de la red el problema ha sido justo el contrario. Esto se está solucionando con nuevos dispositivos en la red, pero sin la digitalización no sería posible su correcta operación la cual se realiza en remoto.

Esta digitalización ha mejorado además la flexibilidad, confiabilidad y eficiencia de la red, aparte de resolver los problemas anteriormente mencionados. Los principales beneficios y características de la digitalización son los siguientes:

- **Sistemas de supervisión y control avanzados:** La digitalización de las redes permite la implementación de sistemas de supervisión y control más sofisticados. Estos permiten a los operadores de las redes controlar y tener una monitorización más precisa y en tiempo real el flujo de energía, identificar rápidamente problemas y responder de manera proactiva a los cambios de la red.
- **Automatización de la red:** La automatización de diversas funciones de la red, como la operación y el restablecimiento automático de equipos, la gestión de la demanda y la integración de generación distribuida es impensable sin una digitalización. Esto ayuda a optimizar la distribución de energía, reducir las pérdidas y mejorar la calidad del suministro eléctrico.
- **Sensores y medición avanzada:** Los sensores y dispositivos de medición instalados en la red permiten recopilar datos en tiempo real sobre el estado de los equipos, la calidad de la energía y otros parámetros relevantes. Estos datos pueden utilizarse para realizar un monitoreo continuo, detectar anomalías y realizar un mantenimiento predictivo, lo que contribuye a una mayor fiabilidad y eficiencia de la red.
- **Integración de energías renovables y almacenamiento:** La digitalización facilita la integración de fuentes de energía renovable y sistemas de almacenamiento en la

red de distribución. Esto implica una gestión más eficiente de la generación distribuida, una mayor capacidad de respuesta a la variabilidad de la generación renovable y una mejor coordinación de la carga y el almacenamiento.

- **Optimización de la eficiencia y reducción de costos:** La digitalización de las redes de distribución puede conducir a una mayor eficiencia operativa, reduciendo las pérdidas de energía, optimizando el flujo de energía y minimizando los costos de mantenimiento. Además, la capacidad de respuesta mejorada y la identificación temprana de fallas pueden reducir los tiempos de interrupción y mejorar la satisfacción del cliente. [10]

### **3.3 ELEMENTOS QUE LA COMPONEN**

En el punto 3.1 se han mencionado algunas de las partes de la red de distribución eléctrica, pero están apareciendo elementos añadidos que hacen necesario un nuevo concepto de red de distribución conocido como las Smart Grids.

Estos elementos son los siguientes: Baterías, Generación Distribuida, Vehículos Eléctricos, Contadores, etc.

#### **3.3.1 GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

La generación distribuida es la generación de energía eléctrica en pequeñas centrales las cuales se encuentran repartidas a lo largo de la red de distribución, normalmente cerca de los puntos de consumo. Esta forma de generación es completamente opuesta a las grandes centrales que se encuentran muy localizadas.



*Figura 13: Generación solar en una vivienda (Conectada a la red de distribución) (Fuente: Solarbex)*

Las tecnologías de generación distribuida son en su gran mayoría energías renovables, incluyendo plantas fotovoltaicas, aerogeneradores, cogeneración y minihidráulicas. Las principales ventajas que aporta la generación distribuida son las siguientes:

- **Descarbonización del planeta:** La energía renovable presente en la generación distribuida permite una menor dependencia de fuentes de generación que utilizan combustibles fósiles para la producción de energía.
- **Cercanía al punto de consumo:** Al estar la generación más repartida a lo largo de la red, al igual que los consumos, la generación estará más cerca del consumo. Esto hace que las pérdidas en el transporte de energía se vean reducidas drásticamente con las correspondientes ventajas económicas, técnicas y medioambientales que eso supone.
- **Mayor Fiabilidad:** Al estar la generación deslocalizada y ser centrales más pequeñas, un fallo en una central tendría un menor impacto ya que afectaría a un

menor número de consumidores. También una falta en la línea no supondría un corte de suministro al poder cortar la línea y tener generación al otro lado del corte.

- **Integración de Consumidores:** Los consumidores de energía eléctrica también pueden ser generadores gracias a la generación distribuida, esto quiere decir que un consumidor tradicional va a tener momentos del día que consuma energía de la red y otros momentos que vierta energía a ella. Esto hace que el consumidor participe de forma activa en el consumo, y necesite de menos recursos de la red.

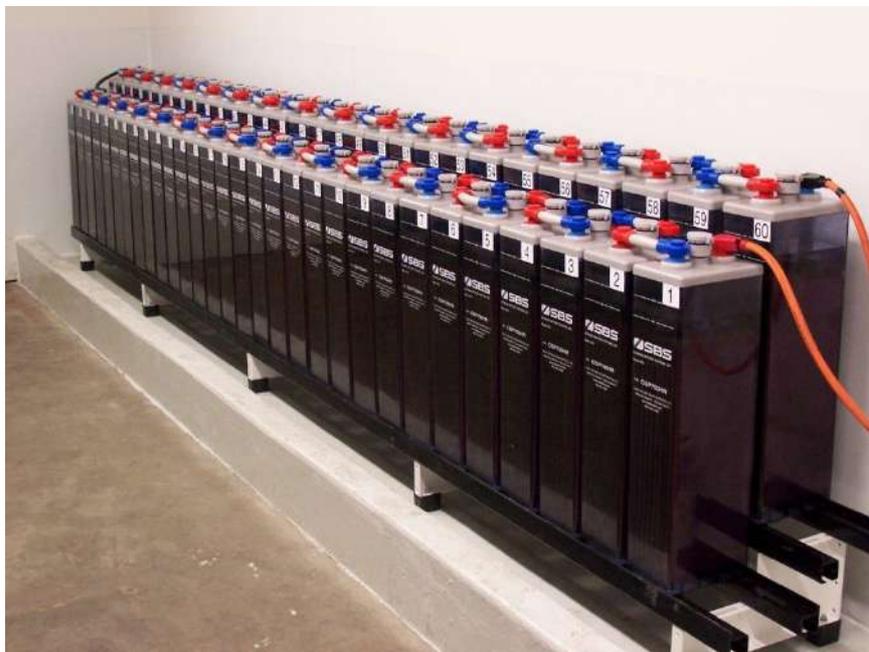
Esta generación distribuida tiene grandes ventajas como se ha visto pero también hace el sistema más complejo y es necesario controlarlo de manera remota, es por ello que la generación distribuida necesita al igual que otros componentes de la red de un sistema de telecomunicaciones que resuelva todas las necesidades de telecontrol.

La generación distribuida también mejorará el rendimiento del sistema, haciendo que sean necesarios menos recursos de red (líneas con menos capacidad) para suministrar una misma cantidad de energía. [11]

### **3.3.2 BATERÍAS**

El almacenamiento de energía eléctrica ha sido un problema para el sistema eléctrico desde sus inicios. Toda la energía que se producía tenía que ser consumida, ya que no existía la posibilidad de almacenarla (salvo en grandes centrales hidráulicas). Esto creaba grandes problemas de estabilidad ya que pequeños desajustes creaban problemas de tensión y frecuencia. La aparición de las baterías, y su evolución hasta la tecnología que tenemos hoy en día ha hecho posible que se pueda almacenar energía eléctrica a media escala. Esto hace que las curvas de demanda cambien, pudiendo almacenar energía en periodos de menor precio y consumirla cuando el precio sea más elevado. Usarlo a gran escala puede servir para evitar que los precios de la luz tengan las grandes variaciones que tienen actualmente a lo largo del día.

Una de las grandes ventajas que aportan las baterías es la posibilidad de gestionar la red y estabilizarla, siendo muy útiles para controlar las tensiones, así como gracias a la electrónica de potencia controlar la frecuencia. Controlar la red también implica que en caso de falta pueden seguir suministrando energía en la zona que queda aislada, lo que da fiabilidad y flexibilidad al sistema, minimizando al máximo los tiempos con interrupciones de suministro.



*Figura 14: Instalación de baterías (Fuente: Solarbex)*

Las energías renovables tienen grandes ventajas, como un precio muy bajo y la nula emisión de gases de efecto invernadero, pero no son fuentes de energía continua, estando muy expuestas a cambios meteorológicos. Esto hace que la generación de energía renovable no se mantenga estable. Este problema también lo resuelven las baterías, dando apoyo en momentos donde la fuente de energía renovable primaria escasea y absorbiendo energía en momentos de alta generación. También aportan flexibilidad ante rápidos aumentos de demanda que las energías renovables no sean capaces de suplir.

### 3.3.3 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos surgieron por la necesidad de avanzar en la descarbonización del transporte. Estos vehículos cargan su batería mediante energía procedente de la red de distribución, lo que ha provocado que haya cambiado completamente el paradigma de las curvas de demanda.

Los vehículos eléctricos para realizar cargas en tiempos reducidos necesitan de una gran inyección de potencia (más energía en menos tiempo igual a mayor potencia), esto quiere decir que los puntos de red donde se instalan puntos de carga deben estar adecuados para toda la potencia que se requiere, la cual es mayor normalmente que para un consumo normal. Estos puntos de recarga se encuentran repartidos a lo largo de toda la red de distribución lo que significa que habrá puntos con peores condiciones que otros para suministrar toda la potencia requerida.



*Figura 15: Cargador para vehículos eléctricos (Fuente: Iberdrola)*

Los vehículos eléctricos no solo consumen energía de la red, sino que también, al llevar incorporadas baterías, pueden evacuar energía a la red. Esto hace que al igual que las baterías sean elementos que ayuden a la gestión de la demanda, existiendo contratos que incentivan que el sistema tome energía de la batería del vehículo eléctrico para ayudar a aplanar la curva de demanda.

La combinación de vehículo eléctrico con generación distribuida hace una simbiosis perfecta, ya que ayuda al igual que las baterías a regular y estabilizar la energía producida por la generación distribuida, disminuyendo además el coste de recarga del vehículo.

Por tanto, el vehículo eléctrico es un elemento fundamental para la descarbonización del transporte pero un elemento que tiene un gran impacto en las Smart Grids el cual se puede considerar positivo.

### **3.3.4 SMART METER**

Los contadores de luz son dispositivos que se encargan de medir la energía consumida en un punto de suministro. Estos contadores han evolucionado hacia los Smart Meter también conocidos como contadores inteligentes. Estos son capaces de medir de manera bidireccional, es decir lo que se consume y lo que se genera, aparte de poder realizar esta medida de manera remota en tiempo real, dando la posibilidad de aplicar tarifas según el periodo del día.

Estos contadores llevan incorporados el ICP dentro del propio contador, así como un sistema de telecomunicaciones que permite la telegestión, y la operación en remoto. Gracias a estos dispositivos los límites de potencia pueden ser diferentes para cada periodo del día, así como se puede ampliar este límite sin necesidad de desplazar a un técnico.

El uso de los Smart Meter es fundamental para la Smart Grids. Gracias a ellos se puede tener un mayor control en los suministros, viendo en tiempo real cuanto se está consumiendo y cuanto se está evacuando gracias a la generación distribuida, baterías y vehículos eléctricos.

Con la lectura en tiempo real de los Smart Meter se pueden hacer curvas de consumo y estudios que permitan prever la futura demanda. Esto también ayuda a mejorar la eficiencia con nuevas aplicaciones que te proporcionan información sobre las lecturas de tu Smart meter y te ayudan a mejorar la eficiencia en tu suministro, reduciendo tu consumo de energía y reduciendo el precio de la factura de la luz.



*Figura 16: Smart meter (Fuente: RTE)*

También con la información proporcionada por los Smart meter se realizan estudios y balances de energía que ayudan a encontrar puntos de la red donde se hace un consumo anómalo, el cual puede proceder de una avería o de consumos ilegales. [12]

### **3.4 IBERDROLA**

Iberdrola, como empresa distribuidora de energía eléctrica, ha realizado grandes inversiones e investigaciones en el entorno de las Smart Grids. Esto ha llevado esta compañía a ser una de las compañías líder mundial en este tipo de redes.

Algunos de los grandes proyectos que ha desarrollado Iberdrola en el ámbito de las Smart grid se muestran a continuación:

- **Despliegue de contadores inteligentes:** Iberdrola ha realizado un despliegue masivo de contadores inteligentes en España a través del proyecto STAR. Estos medidores permiten la monitorización en tiempo real del consumo de energía y facilitan la gestión de la demanda, la facturación precisa y la participación de los clientes en la gestión de su consumo.
- **Integración de energías renovables:** Iberdrola ha invertido significativamente en la integración de energías renovables en sus redes eléctricas, incluyendo la generación eólica y solar. Las Smart Grids de Iberdrola permitirán en un futuro, con una evolución hacia un modelo DSO, una gestión eficiente de la intermitencia y variabilidad de estas fuentes de energía, facilitando su integración en la red y maximizando su aprovechamiento.
- **Sistemas de almacenamiento de energía:** Iberdrola ha desarrollado proyectos piloto y comerciales de sistemas de almacenamiento de energía en sus redes. Estos sistemas, como baterías de gran capacidad, permiten el almacenamiento de energía en momentos de baja demanda o alta generación renovable, y su liberación cuando sea necesario para equilibrar la red o cubrir picos de demanda.
- **Digitalización y automatización de la red:** Iberdrola ha implementado tecnologías avanzadas de comunicación y control para digitalizar y automatizar sus instalaciones en las redes como son subestaciones y centros de transformación. En un futuro se

espera que incluya la monitorización en tiempo real de la red, la detección y respuesta automática a fallas, y la gestión activa de la demanda y la generación distribuida gracias al modelo DSO.

- **Infraestructura de carga para vehículos eléctricos:** Iberdrola está desempeñando un papel activo en la expansión de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos. La compañía ha implementado una amplia red de puntos de carga y está trabajando en proyectos innovadores para la integración de vehículos eléctricos en sus redes eléctricas. También se ha aliado con diferentes empresas del sector del transporte para fomentar el vehículo eléctrico y crear una nueva red de cargadores, así como con empresas que disponen de grandes aparcamientos en sus instalaciones.

El objetivo de Iberdrola a largo plazo es seguir implementando proyectos de este tipo y seguir liderando la innovación en este tipo de redes gracias también a su centro de investigación Iberdrola Global Smart Grid Innovation Hub.



## **Capítulo 4. JUSTIFICACIÓN DEL USO DE SDN EN SG**

### ***4.1 TELECOMUNICACIONES EN LAS SMART GRID***

Las telecomunicaciones son fundamentales para el funcionamiento y evolución de las Smart Grids. Los sistemas de telecomunicaciones combinan diversas tecnologías para transmitir información desde su emisor a su receptor. Estas tecnologías usan distintos canales físicos, como pueden ser cables de fibra óptica, cables coaxiales, cables de transmisión de energía eléctrica con el uso de la tecnología PLC, y también puede usar canales inalámbricos como los que utilizan la tecnología 4G y los satélites. Todas estas alternativas se combinan para ofrecer una red de lo más versátil, haciendo posible el telecontrol y la telegestión de toda la Smart Grid, así como un mayor control en la generación distribuida e información sobre generación y consumo en tiempo real.

El uso de telecomunicaciones permite el telecontrol y telegestión de los equipos que se encuentran en la red. Gracias a esta telegestión se pueden tomar medidas en tiempo real de todos los Smart Meter que existen en la red y tratar los datos en el centro de control.

También gracias a las telecomunicaciones se podrá operar desde un centro de control la generación de la generación distribuida, permitiendo enviar órdenes a los grupos de generación para que produzcan energía acorde a las necesidades de la demanda en ese momento (demanda conocida gracias a los Smart meter).

Las necesidades de operación remota de la red ante problemas se ven resueltas mediante el uso de las telecomunicaciones. Estas permiten operar cada una de las celdas de las subestaciones y centros de transformación de manera que se abren y cierran circuitos de manera automatizada y centralizada en el centro de control para aislar faltas y minimizar los impactos de problemas. Esto es fundamental al ser la red de distribución operada de manera radial, lo que implica que tengan que estar abriéndose y cerrándose circuitos en el momento

en el que se produzca cualquier problema y gracias a las telecomunicaciones esto se puede hacer de manera remota.

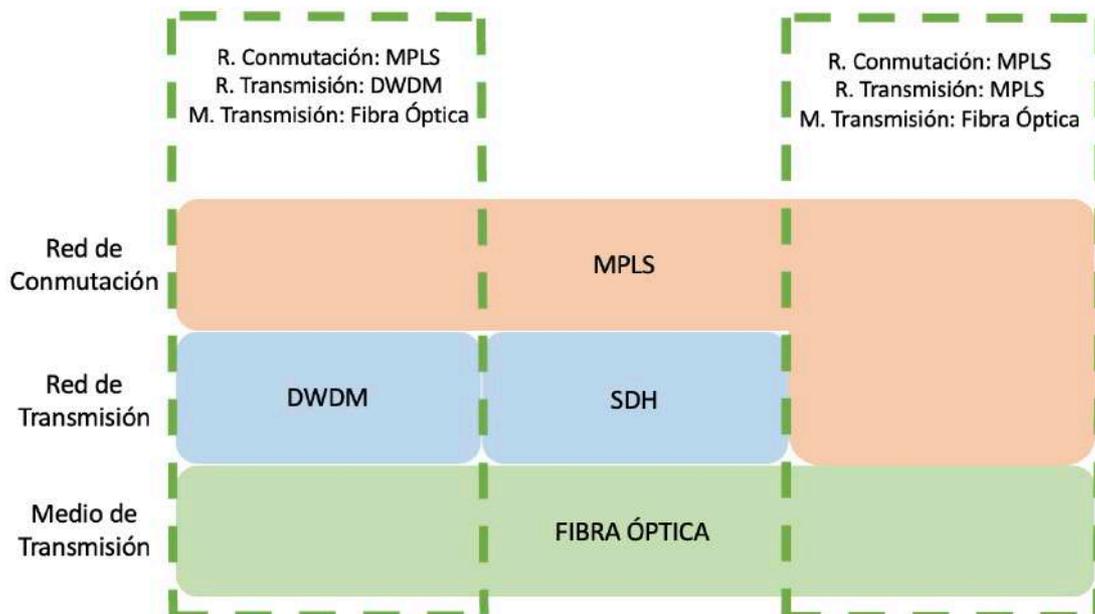
Las redes que se usan en las telecomunicaciones son principalmente de dos tipos: redes de área local (LAN, local area network) o redes de área extendida (WAN, wide area network). Las redes de área local son redes de ámbito local como su propio nombre indica. Se encarga de interconectar los equipos y servicios de un área muy reducida como puede ser una oficina o una subestación. Estas redes de área local se interconectan entre sí mediante redes de área extendida las cuales se encargan hacer una red de redes, interconectando las diferentes oficinas y subestaciones entre sí.

La ciberseguridad es imprescindible en las telecomunicaciones y más aún en las telecomunicaciones de un servicio esencial como es la distribución de energía eléctrica. Un ataque a esta red de telecomunicaciones puede ocasionar la incorrecta operación de una subestación dejando sin electricidad a miles de personas. Es por ello que se sigue una fuerte política de ciberseguridad y diversos protocolos para minimizar al máximo el impacto de un posible ataque.

En telecomunicaciones, se puede dividir el envío de información en tres capas: Medio de transmisión, Red de transmisión y Red de conmutación.

- **Medio de transmisión:** Es el medio físico por el que se transmiten los datos. Este medio puede ser una fibra óptica, un cable eléctrico, un cable coaxial, etc. En el caso de la fibra óptica, se denomina fibra oscura a al medio de transmisión, el cual es el cable sin iluminar.
- **Red de transmisión:** La red de transmisión es la encargada de realizar las conexiones punto a punto, es decir transmitir la información a través del canal físico entre un emisor y un receptor. Dentro de un medio físico como puede ser la fibra óptica se necesita un elemento que transmita la información dentro del medio. Un ejemplo de esta red de transmisión es el DWDM o el SDH. El DWDM envía la información a través de diferentes longitudes de onda dentro del cable de fibra óptica.

- **Red de conmutación:** La red de conmutación es la encargada de transportar la información desde el emisor hasta el receptor final. Este receptor puede no ser contiguo al emisor, teniendo la información que pasar por varios receptores (nodos), hasta el receptor final. La red de conmutación es la encargada de hacer el camino más óptimo a través de los distintos nodos hasta el receptor final. Una tecnología muy usada para la red de conmutación es el MPLS, el cual también puede usarse directamente en la red de transmisión.



*Figura 17: Diferentes tecnologías de telecomunicaciones en las distintas capas (Fuente: Elaboración propia)*

La división por capas muestra cómo se clasifican en función de las distintas capas, pero una misma capa puede dividirse a su vez en dos: Red troncal y Red de acceso

- **Red Troncal:** Es la red que se encarga de enviar la información recogida por la red de acceso y la envía a través de los diferentes nodos. En un símil eléctrico, la red troncal sería la red de transporte. La red troncal debe ser estable y robusta, por lo que

se requieren tecnologías con gran capacidad y velocidad de transmisión de datos. Un sistema MPLS en este tipo de red una de las mejores soluciones.

- **Red de Acceso:** La red de acceso es la red que da servicio a los nodos finales, y está conectada a la red troncal. En un símil eléctrico, la red de acceso es la red de distribución. Esta red de acceso no tiene que ser tan potente como la red troncal, pero sin embargo debe acceder a lugares geográficamente alejados. Es por ello que soluciones como radioenlaces y tecnología 4G pueden ser en ocasiones mejores soluciones que el MPLS.

Tecnología	Tipo de Red	Capa	Aplicación
MPLS	Troncal / Acceso	Red Conmutación	Subestaciones / Centros de Datos
Fibra Óptica	Acceso	Medio Transmisión	Oficinas / Centros de Transformación / Subestaciones/Centros de Datos
Radioenlace punto a punto	Troncal / Acceso	Red de transmisión	Subestaciones
PLC	Acceso	Red Conmutación / Red de transmisión	Smart Meter / Centros de Transformación
Radioenlace punto a multipunto	Acceso	Red de transmisión	OCR, Subestaciones
4G	Acceso	Red Conmutación / Red de transmisión	OCR / Centros de Transformación

*Figura 18: Resumen de las tecnologías de telecomunicación (Fuente: Elaboración propia)*

#### 4.1.2 MPLS

El MPLS (Multiprotocol label switching, conmutación de etiquetas de protocolos múltiples) es un protocolo de comunicación que establece rutas a través de la red de una manera alternativa a proceso estándar de enrutamiento.

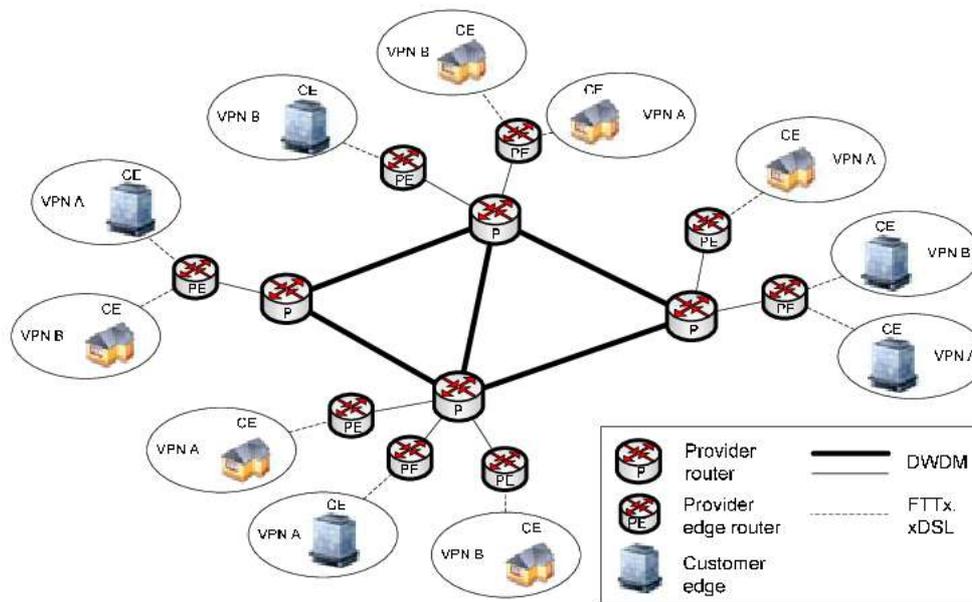
La información transportada en este tipo de red se empaqueta la información y manda estos paquetes por una ruta de red predeterminada ya establecida anteriormente en contraposición como lo hacen otras tecnologías (como internet) que utiliza el reenvío de paquete de datos de un nodo a otro hasta que llega al destino final. Con el MPLS se optimiza el tiempo de envío, ya que los routers gastan menos tiempo en decidir la ruta de envío.

Las principales características que ofrece el protocolo MPLS son las siguientes:

- **Enrutamiento basado en etiquetas:** El MPLS utiliza etiquetas para enrutar los paquetes de datos. Estas etiquetas se agregan a los paquetes en el origen y se utilizan para dirigirlos a través de la red hasta su destino final. Las etiquetas se asignan y se intercambian en los routers de la red MPLS, lo que permite un enrutamiento más rápido y eficiente.
- **Conmutación de etiquetas:** En lugar de examinar la dirección IP de cada paquete, los routers MPLS solo tienen que leer las etiquetas para determinar el siguiente salto en la ruta. Esto permite una conmutación más rápida y simplificada de los paquetes, lo que resulta en un mejor rendimiento y menor carga de procesamiento en los routers.
- **Calidad de servicio (QoS):** El MPLS también permite la implementación de políticas de calidad de servicio (QoS) en la red. Esto significa que se pueden asignar diferentes niveles de prioridad y recursos a los paquetes según sus etiquetas, lo que garantiza una entrega confiable y en tiempo real para aplicaciones sensibles al retardo y la pérdida de datos, como voz y video.
- **VPN (Virtual Private Network):** Permite la creación de redes privadas virtuales (VPN) seguras dentro de una infraestructura compartida, lo que permite a las organizaciones mantener la privacidad y la seguridad de sus comunicaciones mientras utilizan una red WAN compartida.

- **Escalabilidad y flexibilidad:** El MPLS es altamente escalable y flexible, lo que lo hace adecuado para redes de gran tamaño y con requisitos variables de ancho de banda y tráfico. Permite la creación de rutas eficientes y optimizadas, y puede adaptarse a cambios en la topología de la red o en los requisitos de tráfico sin tener un impacto significativo en el rendimiento.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se puede afirmar que la tecnología MPLS es una buena solución para el enrutamiento de las redes WAN. [13][14]



*Figura 19: Esquema de red MPLS (Fuente: Research Gate)*

### 4.1.3 TECNOLOGÍA 4G

La tecnología 4G es la cuarta generación de tecnología de telefonía móvil. Es la sucesora de la tecnología 3G y permite velocidades mucho mayores que su predecesor. La tecnología 4G es completamente inalámbrica y ofrece conexiones en lugares remotos donde no existe una conexión física de ninguna red de otro tipo como puede ser la fibra óptica. El LTE está englobado en el término 4G.

Una de las grandes ventajas del 4G y es lo que se pedía al que fuera el sucesor del 3G era aumentar las velocidades de transmisión de datos. El 4G ofrece velocidades de transmisión de datos de hasta 100Mbit/s en el caso en el que el receptor se encuentre en movimiento y de hasta 1Gbit/s en el caso de un receptor fijo. Esto es una gran evolución ya que su antecesor tiene velocidades de hasta 25 Mbit/s.

Otro parámetro importante en las telecomunicaciones es la latencia (Tiempo entre que se envía el mensaje y se recibe), y la tecnología 4G permite reducirlo a niveles muy superiores que el 3G por lo que gracias a esta tecnología se pueden conseguir nuevas aplicaciones en las redes de telefonía móvil que antes no eran técnicamente posibles debido a la alta latencia existente. Un ejemplo de aplicación son las videollamadas, las cuales se hacen imposibles si la latencia no tiene unos niveles aceptables.



*Figura 20: Antena de comunicaciones 4G (Fuente: La Voz del Tajo)*

La tecnología móvil está pensada tal y como su nombre indica para dispositivos móviles, por lo que una de las principales características que debe tener esta tecnología es mantener sus ventajas cuando el dispositivo se encuentre en movimiento. Esto es algo que consigue el 4G, mantener la conectividad con niveles muy similares de servicio cuando el dispositivo se encuentra en movimiento. En routers 4G usados en subestaciones y centros de

transformación esta no es una necesidad ya que el dispositivo no se encuentra en movimiento, pero si que se encuentra en zonas sin acceso por conexión por cable.

El ancho de banda utilizado por la tecnología 4G es mayor que su predecesor, esto es necesario para proporcionar una mayor capacidad de carga de datos y mejorar la experiencia del usuario a la hora de cargar o descargar datos, como también permite más envíos de información de forma simultánea, permitiendo tener varias aplicaciones ejecutándose a la vez.

LA tecnología 4G ha permitido el desarrollo de nuevos sistemas como el IoT o el control y operación en remoto de redes de distribución de energía eléctrica.

En España la tecnología 4g se opera principalmente con teleoperadores existiendo 3 teleoperadores de 4G principalmente: Movistar, Vodafone y Orange. [15]

#### **4.1.4 FIBRA ÓPTICA**

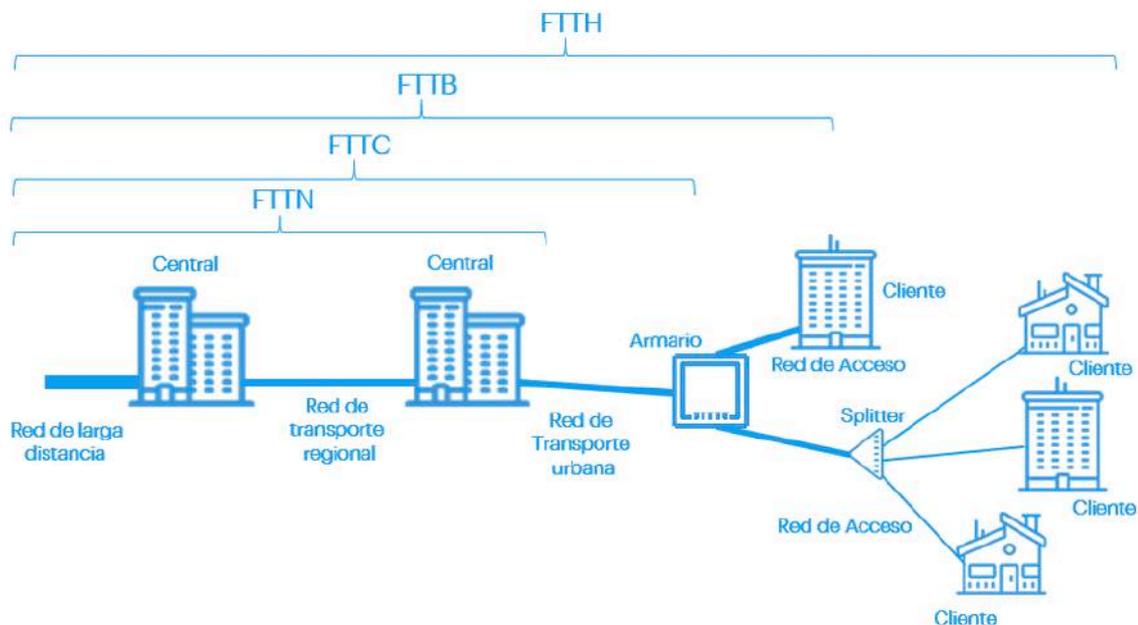
La fibra óptica es una tecnología de transmisión de datos. La tecnología se basa en la emisión de haces de luz a lo largo de hilos extremadamente finos los cuales están hechos a base de sílice. La fibra óptica está sustituyendo a los cables tradicionales (par trenzado y coaxial) debido a su ancho de banda, velocidad e inmunidad a interferencias electromagnéticas.

La fibra óptica es usada en las redes MPLS, pero también es usada por los operadores de telecomunicación en sus conectividades. La forma más común de fibra óptica que ofrecen los teleoperadores es el FTTH.

El FTTH (Fiber to the Home, fibra a casa) es una tecnología que permite tener fibra óptica que llegue directamente a oficinas y viviendas. Esto permite una velocidad de transmisión de datos más alta que el cable de cobre o el coaxial. El FTTH es propiedad de las empresas de telecomunicaciones las cuales te ofrecen una conexión privada a través de su propia fibra óptica.

El FTTH al ser fibra óptica ofrece velocidades de transmisión de datos muy superiores al resto de tecnologías, así como unos niveles de latencia mínimos. La velocidad de transmisión es simétrica lo que implica que la velocidad de carga y descarga es idéntica. Los niveles de ancho de banda del FTTH son superiores al resto de tecnologías por cable, lo que permite que se pueda transmitir una cantidad de datos mucho mayor aumentando así considerablemente el número de usuarios que pueden enviar información a través de un mismo canal FTTH.

La conexión mediante FTTH es inmune al ruido electromagnético lo que le aporta una gran ventaja frente al resto de tecnologías. Esto es posible ya que por el cable de fibra óptica no circulan electrones sino haces de luz los cuales no interaccionan con los campos electromagnéticos cercanos al cable. Esta tecnología por luz también mejora la seguridad de transmisión de datos, siendo prácticamente imposible que un externo pueda acceder a la información transportada en el cable sin un acceso en algunos de los terminales.



*Figura 21: Comparación FTTH frente a otras conexiones de fibra óptica (Fuente: NAE)*

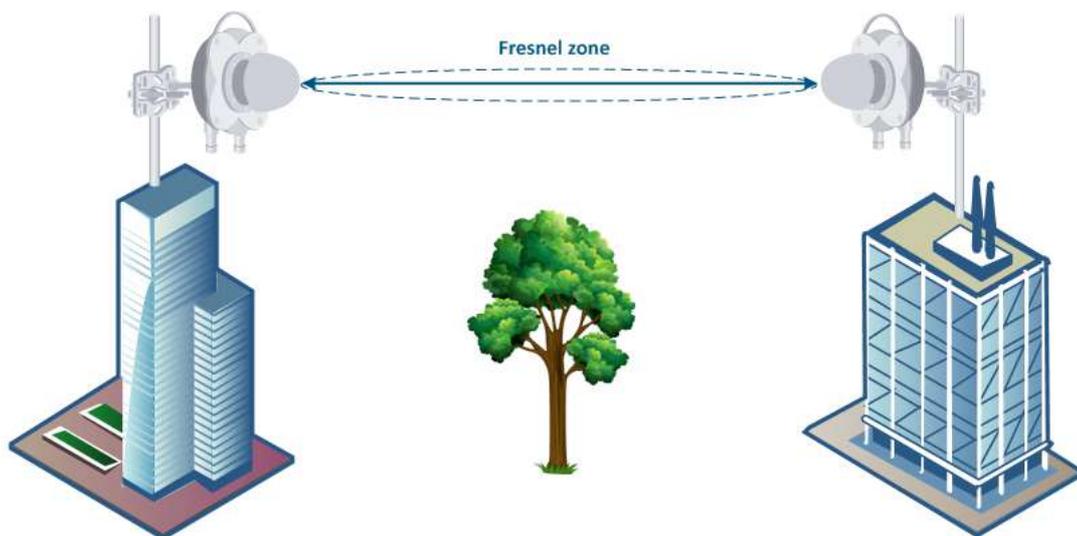
El FTTH ha permitido a usuarios tanto profesionales como domésticos aumentar su capacidad de emisión de datos, mejorando las velocidades y ayudando al uso de nuevas aplicaciones que solo son posibles gracias a estos niveles de velocidad y latencia. [16][17]

#### 4.1.5 RADIOENLACE PUNTO A PUNTO

Un radioenlace punto a punto es un sistema de telecomunicaciones inalámbrico que envía información entre dos antenas utilizando señales de radio.

Los radioenlaces punto a punto se utilizan para emitir señales a largas distancias, siendo más económico que la instalación de un cable físico o el uso de telecomunicaciones por satélite.

Las antenas que se usan en este sistema de telecomunicaciones deben estar alineadas, evitando los obstáculos que atenúen la señal, lo que puede degradar la señal afectando gravemente a su funcionamiento. La climatología también afecta a la atenuación de señales, creando interferencias que disminuyen la efectividad de esta tecnología.



*Figura 22: Esquema de conexión punto a punto (Fuente: Anvimur)*

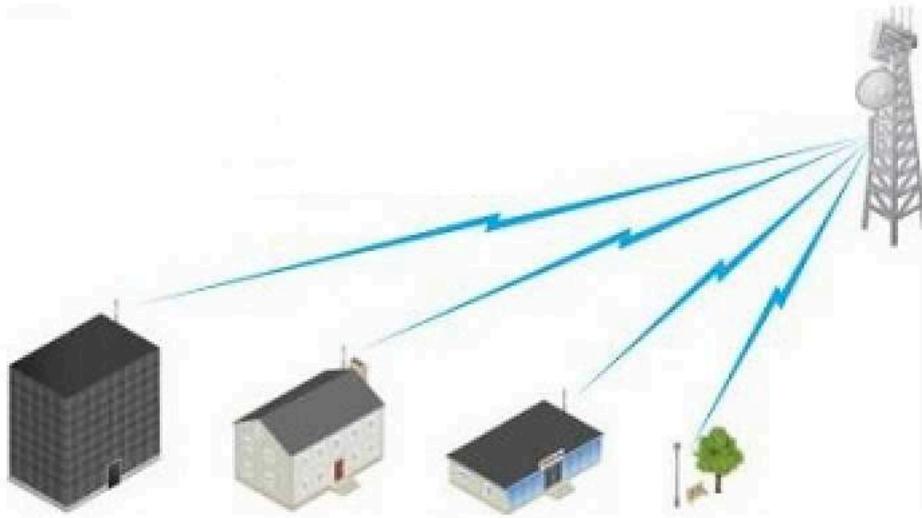
En las redes de distribución es una solución común que se utiliza para conectar por telecomunicaciones algunas subestaciones y centros de transformación en lugares donde no llega ninguna conexión por cable. En ocasiones, si la calidad de servicio es buena, se usa antes que una red 4G para evitar la dependencia de compañías de telecomunicaciones externas, siendo toda la infraestructura de la comunicación punto a punto propiedad de la compañía distribuidora de electricidad.

Mediante este sistema se puede gestionar tanto el telecontrol como la telegestión de subestaciones y CT.

#### **4.1.6 RADIOENLACE PUNTO MULTIPUNTO**

El funcionamiento del radioenlace punto multipunto es similar al radioenlace punto punto. En este caso la diferencia, es que una antena emite y existena varios receptores, pero todos deben tener visibilidad directa con el emisor ya que, en caso contrario, la conexión no sería efectiva.

En este caso la estación base actúa como punto central y coordina la comunicación con estaciones terminales.



*Figura 23: Esquema de radioenlace punto a multipunto (Fuente: Solucionesintegrales)*

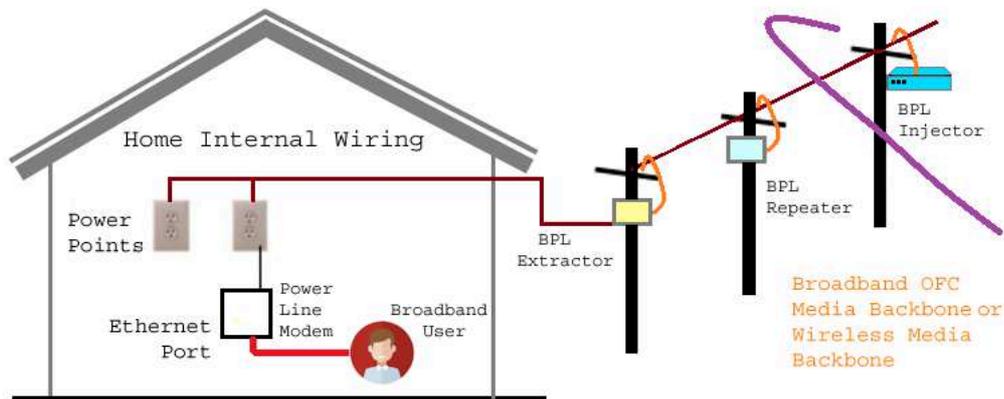
Al igual que en el caso anterior es muy usado por las compañías distribuidoras de electricidad para conectar subestaciones y centros de transformación, solo que en este caso desde la central base se obtiene la información de varios CT, lo que puede ayudar a que el sistema de telecomunicaciones salga más económico cuando los diferentes CT se encuentran en un área reducida.

#### **4.1.7 PLC**

La tecnología PLC (Power Line Communication) utiliza los propios cables de electricidad para enviar información.

En España la frecuencia a la que se encuentra el sistema eléctrico son 50Hz. El PLC envía información a través de armónicos con frecuencias muy superiores a la frecuencia eléctrica. Esto hace que cada armónico tenga una información transportada, utilizando un mismo cable para el transporte de energía eléctrica y el envío de información.

La tecnología PLC tiene una gran ventaja y son el ahorro de costes de construcción de una nueva red de telecomunicaciones, ya que usa la red eléctrica ya existente. Esto ha permitido que la conexión de los Smart Meter se haga con esta tecnología, ya que como ejemplo en Iberdrola hay 11 millones de contadores y crear una nueva conexión mediante cable o inalámbrica para cada uno de ellos hubiera supuesto una gran inversión y un gasto en tiempo enorme. Con la tecnología PLC no hubo que añadir ninguna nueva red y se usaron los propios cables eléctricos.



*Figura 24: Esquema de funcionamiento de PLC (Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana)*

Por el contrario, la tecnología PLC es muy sensible al ruido, afectando la electrónica de potencia gravemente al correcto funcionamiento del PLC, ya que la electrónica de potencia crea grandes interferencias y ruido. También el ancho de banda es muy limitado, por lo que la cantidad de información que se puede mandar simultáneamente no es tan amplia como otras tecnologías.

Es por esto que el PLC tiene aplicaciones muy potentes, como conectar dispositivos que no requieren de una gran emisión de información y que se encuentran aislados, lo que haría que crear una red de telecomunicaciones fuera muy costoso.

Estas características hacen que el PLC sea la mejor tecnología para conectar los Smart meter con el centro de transformación mediante PRIME. PRIME es un tipo de PLC de banda estrecha que utiliza armónicos de no muy alta frecuencia para enviar la información. Debido el limitado ancho de banda el uso de esta tecnología solo se usa para realizar medidas en Smart Meter, los cuales no envían una gran cantidad de datos.

Otro tipo de PLC es el de banda ancha, o BPL (Broadband Power Line). Este tipo de PLC tiene mayor capacidad de envío de información, utilizando para ello unos armónicos de muy alta frecuencia. Esta tecnología es usada para conectar los centros de transformación. El sistema de conexión consiste en conectar varios centros de transformación entre sí y conectar en uno de ellos un router 4G que permita la conexión con el resto de sistema de telecomunicaciones. [18]

## **4.2 VENTAJAS DEL SDN EN LAS SMART GRIDS**

En el capítulo 2 del presente documento se ha hecho una introducción al SDN. En el capítulo 3 del mismo documento se ha descrito el funcionamiento y funcionalidad de las nuevas redes de distribución, las Smart Grids. Estas necesitan de una red de telecomunicaciones potente y estable para asegurar su correcto funcionamiento, y las tecnologías que se usan para estas telecomunicaciones se han descrito en el apartado 4.1 de este documento.

La aplicación del SDN en las redes de telecomunicaciones de las Smart Grids busca mejorar y optimizar el funcionamiento de las telecomunicaciones y por tanto aportar mayor fiabilidad a la gestión remota de las Smart Grids. La tecnología SDN aporta unas ventajas que están a la altura de muy pocos sistemas de telecomunicaciones.

Las ventajas principales se pueden dividir en tres: Centralización del plano de control, Separación del underlay y overlay y la separación del Hardware y el Software.

## **4.2.1 VENTAJAS SDN**

### ***4.2.1.1 Centralización del plano de control***

Una de las mayores ventajas que aporta el SDN en la red de telecomunicaciones es la centralización del plano de control. Esto quiere decir que todo el control del sistema SDN se puede realizar desde un único punto, evitando tener que acceder a cada dispositivo de manera individual para realizar cambios de configuración.

Esta centralización permite un enrutamiento por software (en lugar de por ip como se venía haciendo tradicionalmente). Esto permite que, ante algún tipo de problema en el sistema de telecomunicaciones, el sistema se autoconfigure y reenvíe los paquetes de datos por la nueva ruta más óptima, mejorando la velocidad de transmisión de datos lo que es fundamental para la correcta teleoperación de algunos sistemas de las Smart Grids.

Tener el plano de control centralizado y separado del plano de datos aporta un gran beneficio a la hora de enviar nuevos protocolos y políticas de configuración. En los sistemas tradicionales cada dispositivo tiene su propio control, luego a la hora de modificar una configuración, esta tiene que ser modificada dispositivo a dispositivo. Con el SDN se puede enviar una nueva y única orden de configuración que se aplique a todos los equipos, lo que optimiza notablemente el proceso de reconfiguración de equipos, así como cambios en las políticas. Esto tiene un gran impacto en la seguridad, ya que ante algún tipo de ciberataque o brecha en el sistema se envía una nueva política de seguridad que se aplica instantáneamente en todo el sistema, disminuyendo drásticamente el tiempo de reconfiguración y los posibles errores que pueda haber al repetir una acción tantas veces (es más fácil errar repitiendo una acción 1000 veces que hacerlo en una única acción).

De todo lo anterior se deduce que con la centralización del plano de control hay una mejora en la eficiencia de la operación del sistema ya que se ahorran tiempos en las reconfiguraciones, se ahorra tiempo en el envío de información gracias al enrutamiento software y se reduce la posibilidad de error al realizar nuevas configuraciones.

#### ***4.2.1.2 Separación del Underlay y Overlay***

La separación del underlay y overlay consiste en separar el canal de transmisión de datos (underlay) con los datos emitidos o servicios (overlay). Los canales del underlay están descritos en el punto 4.1 y los servicios del overlay puede ser cualquier servicio que necesite la red de distribución (telecontrol, telegestión, sistema de seguridad, llamadas de voz, etc).

Esta separación es una gran revolución en las telecomunicaciones ya que permite tratar todas las tecnologías redundantes como una única.

Las redes de distribución son un servicio esencial y no se puede permitir perder el servicio. Es por ello que los sistemas de telecomunicaciones que las apoyan tienen redundancia, es decir están conectados al menos mediante dos tecnologías para evitar perder el servicio en caso de fallo de algún sistema.

Al tratar todos los canales de underlay como uno único, el SDN tiene la capacidad de unir la capacidad de transmisión de datos de todos los canales y tener plena disponibilidad de ancho de banda. En ocasiones al disponer de dos sistemas de telecomunicaciones, las políticas de comunicación establecidas hacen que un canal este al 100% y no permita el envío de más información y sin embargo el otro canal esté al 15%. El SDN tiene la capacidad de separar automáticamente cada servicio del overlay por cada canal del underlay, dejando libre parte de otros canales para no saturar ninguno de ellos. En el caso anterior el SDN por ejemplo equilibraría y pasaría de 100% canal 1 y 15% canal 2 a 60% canal 1 y 65% canal 2. En caso decaída de alguno de los canales del underlay todo el tráfico sería redirigido de forma automática por otros consiguiendo no perder conexión en ningún momento y sin pérdida de paquetes de datos.

Esto se traduce en un mayor ancho de banda disponible en todo momento y una mayor optimización de todo el sistema permitiendo reducir los costes de inversión en nuevas redes de telecomunicación para un mismo nivel de servicio.

La separación de underlay y overlay permite ofrecer servicios de telecomunicaciones de nivel 2 (nivel de enlace de datos) sobre servicios de nivel 3(nivel de red). Esto es una ventaja

para empresas como Iberdrola que diseñaron su sistema de telecomunicaciones sobre servicios de nivel 2 pero la evolución de las telecomunicaciones ha hecho que se requiera del uso del nivel 3 que son más eficaces en algunas aplicaciones. El uso de nivel 2 sobre nivel 3 que ofrece el SDN permite que Iberdrola no tenga que cambiar la arquitectura de su sistema de telecomunicaciones para obtener las ventajas de nivel 3, con el consecuente ahorro económico que ello conlleva al no tener que montar un nuevo sistema de telecomunicaciones desde cero.

El uso de nivel 2 sobre nivel 3 también resuelve problemas de bucle que se producen en las conexiones de nivel dos cuando se le añade un camino redundante. Esto podría resolverse mediante el Spanning tree, pero es más estable la solución de SDN.

Las conexiones que se hacen actualmente en centros de transformación que se encuentran en zonas alejadas y sin posibilidad de acceder mediante un cable de telecomunicaciones están conectados mediante 4G de teleoperadores ajenos a la compañía distribuidora de electricidad. Esto implica que para realizar la configuración de cada router 4G la compañía tenga que hacer una configuración de un APN para la instalación de cada tarjeta sim en el router y tener acceso a ella desde el centro de gestión de red. Con el SDN el APN es genérico lo que implica que no se realizará una nueva configuración por cada proyecto de un nuevo router 4G sino que todos llevarán la misma configuración usándose una genérica.

#### ***4.2.1.3 Separación Hardware y Software***

La separación del hardware y software implica una ventaja en cuanto a dependencia de proveedores. Con el sistema actual, al instalar un hardware con un software definido implica que para tener compatibilidad entre todos los equipos del sistema, el proveedor de servicios de hardware y software tiene que ser el mismo. Esta separación hardware y software permite que se instale el software de un proveedor (el que más se ajuste a las necesidades de las Smart Grids) y se tenga dependencia a la hora de depender de quien es el proveedor de hardware. Esto es beneficioso para las empresas que impongan este sistema ya que no se encuentran “atados” a las condiciones de un único proveedor.

Esta separación también implica la posibilidad de instalar un hardware universal, es decir, que el hardware sea compatible con el software de cualquier compañía así, en caso de cambiar el software SDN, no sería necesario cambiar el hardware.

Al tratar el software y el hardware de manera independiente, el sistema controla el software como una única unidad en lugar de cada uno de los hardware de manera individual. Esto permite que la monitorización del sistema sea más eficaz permitiendo como se ha comentado anteriormente, la centralización del plano de control.



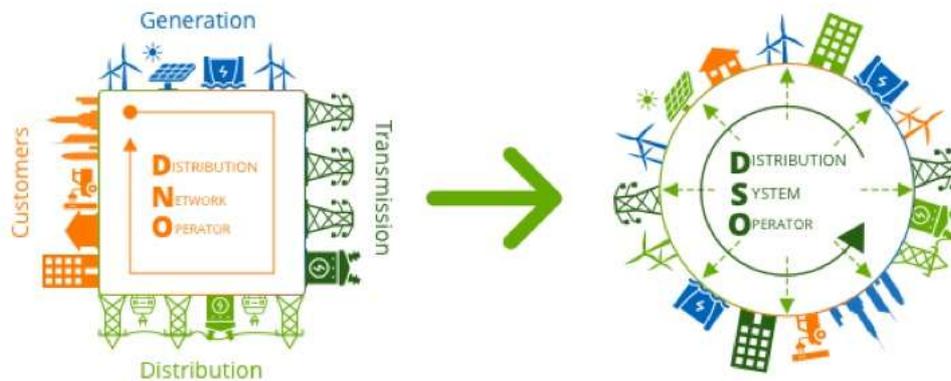
*Figura 25: Resumen de ventajas aportadas por el SDN (Fuente: Elaboración propia)*

#### 4.2.2 APLICACIÓN EN LAS SMART GRIDS

La implantación del SDN en el sistema de telecomunicaciones de las Smart Grids tiene un gran impacto en ellas. Como se ha mencionado anteriormente, las telecomunicaciones son fundamentales para el funcionamiento de las Smart Grids y por tanto el sistema de telecomunicaciones tiene que ser robusto. Es por esto que el SDN con las ventajas que se han mencionado en el punto 4.2.1 resuelven las necesidades de ciberseguridad, redundancia y capacidad que necesitan las Smart Grids.

Uno de los objetivos de las Smart Grids es la evolución de la existencia de un DNO (Distribution Network Operator) hacia un DSO (Distribution System Operator).

Con el modelo DNO, las empresas distribuidoras de electricidad se han encargado de operar y mantener las redes de distribución de electricidad. Su misión principal es garantizar la entrega de energía eléctrica a los usuarios finales cumpliendo los valores de calidad, así como reparar las posibles averías que surgieran en la red de distribución.



*Figura 26: Distribution Network Operator vs Distribution System Operator (Fuente: Iberdrola)*

El nuevo modelo DSO, al que se pretende evolucionar, busca tener una gestión y operación más amplia del sistema, realizando el mismo trabajo que realiza actualmente el TSO (Transmission System Operator) en la red de transporte.

Con este nuevo modelo DSO el operador del sistema podrá controlar la generación de energía renovable y gestionar activamente la demanda. Esto es fundamental para garantizar el correcto casamiento de oferta y demanda y dejar los valores de tensión y frecuencia en niveles seguros para el sistema. La gestión de la renovable permite activar y desactivar grupos de generación en función de las necesidades y utilizar las baterías y vehículos eléctricos para gestionar correctamente la demanda.

El DSO también debe coordinarse con otros agentes del sistema eléctrico, como el operador de mercado, generadores, el TSO, etc. Esta coordinación es imprescindible para garantizar la efectividad del DSO.

Como DSO también se tendrá el poder de gestionar la red de manera mallada lo que aporta beneficios a la hora de imprevistos en el sistema pero hace más compleja la operación de las líneas de distribución.

Por tanto, todos los elementos necesarios para garantizar la correcta operación de un DSO pasan por tener un sistema de telecomunicaciones robusto y que garantice el correcto funcionamiento pese a los problemas o inconvenientes que puedan surgir. Este sistema por tanto debe tener la última tecnología y estar lo más optimizado posible. Es por ello que el SDN resuelve todos estos problemas, aportando esa fiabilidad y resiliencia que el sistema necesita, así como una optimización del sistema que anteriormente no se conseguía.

### **4.2.3 OTROS SERVICIOS**

El SDN aporta grandes beneficios para la evolución de las Smart Grids, pero al ser un sistema tan versátil, su instalación también tendrá ventajas en servicios que utilizan las empresas de distribución de energía eléctrica. Ejemplo de estos otros servicios son las telecomunicaciones y servicios de oficinas, los sistemas de seguridad de las instalaciones, las comunicaciones de voz y llamadas, internet, acceso a servidores propios, servidores en la nube, etc.

Estos servicios son servicios auxiliares, aunque no son principales, son esenciales para el correcto funcionamiento de la red de distribución. El objetivo del SDN es englobar también estos servicios como otro servicio del overlay dentro del underlay común. Al separar el SDN cada servicio de manera independiente, se podrá acceder a los servicios necesarios en las oficinas sin tener ningún tipo de acceso a los servicios primarios de la red. Esto hace que el SDN englobe todos los tipos de comunicaciones e información transmitida.

### **4.3 PROVEEDORES SDN**

El SDN es una tecnología en fase de desarrollo y crecimiento que cada vez suple más problemas telecomunicaciones actuales. Es por ello que las empresas del sector están haciendo una evolución de sus productos hacia el SDN. Todo hace indicar que en un periodo corto de tiempo el SDN será la tecnología líder en telecomunicaciones por tanto proveedores como Juiper, Nokia o cisco están desarrollando este producto.

#### **4.3.1 JUNIPER**

Juniper Networks es una empresa multinacional fundada en 1996 que ofrece soluciones SDN bajo su plataforma Junos OS y su producto Juniper 128T . Juniper 128T es la solución SDN de Juniper Networks que proporciona un controlador de red centralizado para la gestión y automatización de la red. Algunas de las características y capacidades de Contrail incluyen:

**Orquestación y automatización de redes:** El sistema permite la configuración, implementación y gestión automatizada de redes a través de una interfaz centralizada. Esto facilita la administración y agiliza la implementación de servicios de red.

**Virtualización de la red:** Juniper 128T hace posible la creación de redes virtuales sobre la infraestructura física, lo que proporciona aislamiento y seguridad para diferentes servicios y aplicaciones.

**Integración con la nube:** Juniper 128T tiene la capacidad de integrarse con entornos de nube, lo que permite la extensión de políticas y servicios de red a través de múltiples nubes y centros de datos.

**Control de políticas y seguridad:** Juniper 128T ofrece un enfoque basado en políticas para el control de red y la seguridad. Permite definir y aplicar políticas de red de manera granular, lo que facilita la segmentación y protección de diferentes servicios y aplicaciones.

**Escalabilidad y flexibilidad:** Juniper 128T es escalable y se adapta a diferentes entornos de red, desde pequeñas implementaciones hasta redes a gran escala.

Estas son solo algunas de las características de la solución SDN de Juniper Networks. Juniper 128T se integra con los dispositivos de red de Juniper, como los routers de la serie Juniper MX, PTX, ACX y CTP y switches de la serie Juniper EX y QFX, para proporcionar una solución completa y robusta para redes definidas por software. [19]

### **4.3.2 NOKIA**

Nokia ofrece una solución SDN llamada Nokia Network Services Platform (NSP) que brinda capacidades de gestión y automatización centralizada para redes. Esta solución SDN de Nokia, ofrece varias características y capacidades que son muy parecidas a las de sus competidores ofreciendo las mismas características que Juniper como orquestación y automatización de red, virtualización de la red, control de políticas y seguridad, integración con la nube y análisis y visibilidad de red

La solución SDN de Nokia, NSP, se integra con los productos y dispositivos de red de Nokia, como routers y switches, para proporcionar una solución completa y escalable para la gestión y automatización de redes. Nokia a diferencia de Juniper proporciona el mismo sus servicios sin depender de empresas externas que lo comercialicen. [20]

### **4.3.3 CISCO**

Cisco ofrece soluciones de SDN a través de Cisco Catalyst SD-WAN. Las ventajas ofrecidas por este proveedor buscan simplificar la infraestructura de TI y disfrutar de una conectividad segura desde cualquier lugar. La automatización integrada, las capacidades multicloud, los análisis, la predictividad y la seguridad son características aportadas por el SD-WAN de Cisco. Mas detalladamente el SD-WAN de cisco se centra en:

- **Simplificación de la gestión de la WAN:** Aprovecha la compatibilidad con tejidos multitenancy y multirregión y la flexibilidad en implementaciones locales o en la nube. La WAN gestionará el crecimiento de la red con facilidad.

- **Facilita la construcción de la red:** Optimiza la seguridad de las sucursales y la nube, la comunicación y la colaboración, el rendimiento de las aplicaciones y el acceso a Cloud OnRamp mediante el uso de la solución SD-WAN de cisco.
- **Facilidad de conexión:** El despliegue de la WAN permite cualquier tipo de conexión, ya sea Internet, banda ancha, Multiprotocol Label Switching (MPLS), 5G/LTE o satélite. La red será más resistente y eficiente, y los usuarios tendrán una mejor experiencia con el SD-WAN.
- **Acceso seguro a cualquier plataforma, en cualquier lugar:** Fácil adaptación a las necesidades cambiantes con acceso seguro a plataformas físicas o virtuales para sucursales, colocación y entornos en la nube. Conexión segura al personal, esté donde esté, mientras se construye el camino hacia el SASE (Secure Access Service Edge).

Como se observa la solución tiene la mayor parte de sus ventajas en común con sus competidores. [21]

#### ***4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO***

Hasta ahora se han visto las ventajas técnicas, pero no las económicas que aporta la tecnología SDN. Los equipos SDN son equipos que pretenden sustituir a los routers actuales. Es por ello que el impacto del gasto de inversión se verá minimizado de forma que el coste añadido de inversión no será la compra de un equipo nuevo, sino que se aprovecharán el fin de la vida útil de los equipos actuales, siendo el sobrecoste de instalar el SDN la diferencia de precio entre los equipos SDN y los equipos actuales, no reemplazando ningún equipo que no fuera necesario reemplazar por fin de vida útil.

El único coste añadido es este sobre precio ya que los equipos SDN son más caros que los equipos actuales. En el resto el SDN solo tiene ventajas económicas, las cuales se detallan a continuación:

- **Reducción de costes de operación:** El SDN centraliza el plano de control y permite configurar todo el sistema con una única orden. Esto permite reducir drásticamente el tiempo de programación y por tanto se reduce el coste de personal necesario para sus reprogramaciones. También automatiza muchos de los procesos que se realizan actualmente de manera manual, lo que permite también reducir costes de personal en el ámbito de la operación.
- **Reducción de costes de mantenimiento:** El SDN permite tener una red más optimizada, por tanto, no es necesaria una red tan amplia para una misma cantidad de información transmitida. Tener una red más compacta y optimizada hace que el número de equipos a tener en cuenta sea menor, y por tanto el coste de mantenerlos se ve reducido.
- **Reducción de riesgos de ciberseguridad:** Las grandes compañías están expuestas a los ciberataques, estos pueden producir grandes impactos económicos y reputacionales en las empresas. Es por esto que, una manera de externalizar el riesgo es disponer de pólizas de seguros que cubran a la compañía ante un ataque informático. A mayor nivel de seguridad en las telecomunicaciones, menor es el riesgo de exposición a un ataque y por tanto a menor riesgo, menores cuotas de este tipo de pólizas de seguro, por lo que el aumento de ciberseguridad que proporciona el SDN puede reducir el gasto en seguros ante ciberataques.
- **Aumento de dinero recibido por mejora del servicio (tiepi):** Las compañías distribuidoras de electricidad en España perciben una retribución del gobierno que se fija según diferentes parámetros, los cuales se encuentran definidos en la circular 6/2019, de 5 de diciembre, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica. Uno de estos parámetros es el TIEPI (tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada), el cual se puede ver beneficiado al ser reducido con la instalación del SDN en la red de

telecomunicaciones, que permitirá reestablecer el sistema de telecomunicaciones y en algunos casos el sistema eléctrico en un menor tiempo.



## **Capítulo 5. VIABILIDAD**

La implantación del SDN aporta a la red de telecomunicaciones las ventajas señaladas en el capítulo 4 de este documento. A pesar de la existencia de estas ventajas, la implantación del SDN en el sistema de telecomunicaciones no se realizará si hay restricciones técnicas que imposibiliten el desarrollo de este sistema. Tampoco sería conveniente instalarlo en una empresa, como lo son las compañías distribuidoras de electricidad sin que fuera económicamente rentable.

### **5.1 VIABILIDAD TÉCNICA**

La instalación de el SDN implica instalar un equipo SDN que sustituya a los montados actualmente. Los equipos de la red de telecomunicaciones se encuentran repartidos a lo largo de todos los emplazamientos conectados a la red de telecomunicaciones. Estos emplazamientos pueden ser: Oficinas, Subestaciones o Centros de Transformación.

#### **5.1.1 OFICINAS**

Las empresas cuya actividad es la distribución de energía eléctrica suelen contar con oficinas distribuidas a lo largo de toda la zona en la que distribuyen. En ellas se generan y se procesan cantidad de datos, y más aún en las oficinas donde se encuentran los centros de control y operación de la red. Por tanto, en las oficinas se encuentran equipos que requieren de gran potencia para procesar toda la información, pero son entornos que disponen del suficiente espacio y tienen condiciones que son aptas para la instalación de dispositivos informáticos.

El Hardware

Los equipos actuales SDN tienen puertos que permiten la conexión a los sistemas actuales por lo que estos dispositivos se instalarían de la misma forma que están los equipos actuales, no siendo necesarias grandes modificaciones y por tanto no suponiendo ningún problema técnico su implantación en oficinas.

### **5.1.2 SUBESTACIONES**

El funcionamiento de las subestaciones tal y como se ha explicado en el apartado 3.1 de este documento, tienen la misión de transformar los niveles de tensión entre diferentes circuitos, por tanto, en estas instalaciones existen diferentes niveles de tensión.

Las subestaciones suelen ocupar un área bastante extensa, sobre todo las que son aislada por aire (AIS) y tienen un edificio en ella donde se encuentra alguna de la aparamenta, como lo son los equipos informáticos. Es por esto que el espacio no es una cuestión limitante de cara a instalar nuevos dispositivos como sí lo puede ser los diferentes niveles de tensión.

La forma de conexión de los equipos es similar a los actuales y como se ha comentado en el punto 5.1.1, no es una cuestión técnica restrictiva por lo que se puede cambiar un equipo por otro de cara a las conexiones de telecomunicaciones. El problema técnico en el que se puede concurrir en la implantación de equipos SDN en las subestaciones son las conexiones a tierra de los equipos informáticos, así como los niveles de tensión de alimentación del equipo y demás requisitos técnicos no funcionales.

Los equipos informáticos deben conectarse a la tierra del lado de baja tensión de la subestación. En el caso del SDN eso no debe cambiar. El problema en el que incurren los equipos SDN son los niveles de tensión de alimentación. Estos equipos se alimentan en continua, al igual que muchos de los servicios auxiliares, para que sigan funcionando gracias a las baterías en caso de corte de energía eléctrica en la subestación. Los equipos actuales tienen unos niveles de tensión de alimentación de 48 voltios, sin embargo, el SDN se alimenta a 12 voltios, por tanto, la tensión debe ser adaptada a 12 voltios. Esto es un inconveniente que se puede resolver de manera sencilla con un convertidor DC-DC de 48V a 12V.

Por tanto, es posible instalar los equipos SDN en las subestaciones sin realizar modificaciones sustanciales en la subestación.

### 5.1.3 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

Los centros de transformación tienen el mismo objetivo de funcionamiento que las subestaciones salvo que, para menores niveles de tensión y para circuitos más pequeños. Los centros de transformación se encuentran normalmente en espacios muy limitados, pudiendo ser prefabricados y estar dentro de edificios o en los aledaños y pudiendo estar también encima de postes que sostienen líneas eléctricas. Estas condiciones de emplazamiento de los CT hacen que el espacio sea un elemento restrictivo a considerar.

En la actualidad la mayoría de centros de transformación de Iberdrola tienen una conexión mediante telefonía móvil 4G. Los routers SDN deben reemplazar a los routers 4G, por lo que para que el espacio no sea problema, los routers SDN no deben tener un tamaño superior a los actuales 4G. Los principales proveedores de SDN ofrecen productos que tienen tamaños similares, luego esto no debería ser un problema. Si que lo es la alimentación eléctrica y la necesidad de añadir al igual que en las subestaciones un convertidor de 48V a 12V, lo que implica tener un dispositivo en un espacio donde antes había solo uno. Esto convertidores no son lo suficientemente grandes como para que implique un problema de espacio luego no sería un elemento restrictivo.

Otro de los problemas que surgen en los centros de transformación tal y como surgían en las subestaciones son las conexiones a tierra. Estas conexiones deben realizarse correctamente para no tener problemas con las diferentes tierras de los dos niveles de tensión existentes.

Los centros de transformación se encuentran expuestos a temperaturas extremas. Esto quiere decir que los equipos que se encuentran en el deben funcionar correctamente en este rango de temperaturas que pueden oscilar desde los -10°C hasta los 60°C. Los proveedores cumplen con este requisito en sus productos actualmente.

Otras características que deben tener los equipos SDN a instalar en los centros de transformación para que sean viables técnicamente es un grado de protección IP que los proteja frente al agua y el polvo, así como disponer del suficiente número de conexiones para dar servicio a todos los sistemas necesarios en el centro de transformación y

redundancia para que en caso de que uno de los sistemas falle, el SDN tenga otro canal del underlay disponible. En los routers SDN que sustituyan a los routers 4G se deben disponer de dos antenas para dos operadores y ofrecer así redundancia.

Los proveedores de SDN deben cumplir además una independencia de hardware y software y un CPE universal, siendo esto fundamental para que se pueda realizar correctamente el despliegue del SDN sin depender de un único proveedor en un futuro.

Todos los requisitos que limitan la viabilidad técnica del SDN son cumplidos por los principales proveedores que se presentan en el punto 4.3, por lo que es técnicamente viable la implantación del SDN tanto en oficinas como subestaciones como centros de transformación.

## **5.2 VIABILIDAD ECONÓMICA**

Tal y como se ha detallado en el punto 4.4 el SDN ayuda a reducir algunos de los costes de operación del sistema de telecomunicaciones. La reducción de estos costes y el aumento de beneficios que implica la instalación del SDN, debe ser menor que el coste de inversión ya que en otro caso la implantación del sistema SDN implicaría pérdidas económicas. Por tanto

$$\Delta CO + \Delta CM + \Delta RC + \Delta CS - \frac{INV}{PA} \geq 0$$

Donde:

$\Delta CO \equiv$  Ahorro de costes de operación

$\Delta CM \equiv$  Ahorro de costes de mantenimiento

$\Delta RC \equiv$  Ahorro asociado a riesgos de seguridad

$\Delta CS \equiv$  Aumento de ingresos de explotación por calidad de servicio

INV  $\equiv$  Inversión necesaria para el despliegue del SDN

PA  $\equiv$  Periodo amortización equipos (12 años)

### 5.2.1 AHORRO DE COSTES DE OPERACIÓN

La operación de la red de telecomunicaciones de Iberdrola tiene un coste que pretende verse reducido gracias a la implementación del SDN en la red.

La reducción de estos costes provendrá de reducir el volumen de horas de programación, al reducir la cantidad de nuevos protocolos y políticas al realizar gracias a la centralización del plano de control. En la actualidad, los proveedores que ofrecen este tipo de servicio lo ofertan a un precio medio de 400€ por jornada. A lo largo de una jornada el número de equipos que se consiguen cambiar de media son 450, realizándose a lo largo del año 5 cambios de este tipo.

Se prevén cambiar 45.768 equipos a SDN lo que quiere decir que en una futura programación se realizará una única orden en lugar de las 45.768 (una por cada equipo) que se deben hacer ahora.

$$\Delta CO = \frac{CJ}{NEJ} * NC * (NE - 1)$$

$$\Delta CO = \frac{400 \frac{\text{€}}{\text{jornada}}}{450 \frac{\text{Equipos}}{\text{Jornada}}} * 5 \frac{\text{cambios}}{\text{año}} * (45.768 - 1) \text{ Equipos}$$

$$\Delta CO = 203.408,89\text{€}$$

Donde:

$\Delta CO \equiv$  Ahorro de costes de operación

CJ  $\equiv$  Costes por Jornada

NC  $\equiv$  Numero de Cambios

NE  $\equiv$  Numero de Equipos Totales

NEJ  $\equiv$  Numero de Equipos cambiados por Jornada

## 5.2.2 AHORRO DE COSTES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento de la red de telecomunicaciones de Iberdrola tiene un coste que también pretende verse reducido con la implementación del SDN.

En la actualidad, cada vez que se produce un problema de cierta consideración en algún equipo de telecomunicaciones de un centro de transformación, hay que enviar a una patrulla que vaya in situ a resolverlo.

El coste del envío de esta patrulla es de 200€ por patrulla y el SDN pretende reducir en un 50% el número de veces al año que se envía una patrulla a un centro de transformación. El coeficiente de actuación de cada patrulla en un CT es de 0,3. Por tanto el SDN tiene un ahorro económico en este aspecto que se detalla a continuación:

$$\Delta CM = CR * CAT * RASDN * NCT$$

$$\Delta CM = 200 \frac{\text{€}}{\text{reparación}} * 0,3 * 0,5 * 45768$$

$$\Delta CM = 1.373.040\text{€}$$

Donde:

$\Delta$ CM  $\equiv$  Ahorro de costes de operación

CR  $\equiv$  Costes totales de operación

CAT  $\equiv$  Coeficiente de actuación en cada CT

RASDN  $\equiv$  Reducción de actuaciones gracias al SDN

NCT  $\equiv$  Número total de CT

### 5.2.3 AHORRO EN SEGUROS DE CIBERSEGURIDAD

La ciberseguridad es un tema que preocupa a cualquier empresa que disponga de servicios informáticos e información esencial en sistemas informáticos. Más aun empresas que tienen servicios esenciales como es la distribución de energía eléctrica. Es por esto que la mayoría de empresas disponen de seguros que asumen parte de estos riesgos de ciberseguridad a cambio de una cuota anual. La cuota se calcula en función de los riesgos que hay de ciberataque, y el SDN disminuye estos riesgos. Por tanto la cuota de un posible seguro de ciberseguridad se vería reducida con la implantación del SDN.

La cuota de un seguro de ciberseguridad para un riesgo de 50.000€ es de 1000€ anuales, suponiendo que este precio sea lineal, la cuota de este tipo de seguro es de un 2% del capital asegurado. Las empresas distribuidoras de electricidad mueven miles de millones de euros y por tanto su capital asegurado será de cientos de millones de euros. Suponiendo que está asegurado un 1% del total del activo, estaría asegurado un total de 1.418.616.200€. Esto implica que la cuota de un seguro de ciberseguridad sería de:

$$Cuota = 141.861.620 * 2\% = 2.820.000\text{€}$$

Teniendo en cuenta que la disminución de cuota asociada a la reducción de riesgo que implica el SDN es de un 5%, la reducción de cuota sería:

$$\Delta RC = RC * R$$

$$\Delta RC = 2.820.000€ * 5\%$$

$$\Delta RC = 141.000€$$

Donde:

$\Delta RC \equiv$  Ahorro asociado a riesgos de seguridad

$RC \equiv$  Costes de seguros

$R \equiv$  Estimación de reducción en porcentaje

#### **5.2.4 AUMENTOS DE INGRESOS POR CALIDAD DE SERVICIO**

En España, la retribución que el gobierno le da a las eléctricas se describe en la circular 6/2019 de 5 de diciembre.

La retribución se calculará siguiendo la siguiente fórmula:

$$R_n^i = RI_n^i + DESP_{n,15 \rightarrow n-2}^i + TER_{,15 \rightarrow n-2}^i + COMGES_n^i + REVU_n^i + ROTD_n^i + P_n^i + Q_n^i$$

El sumando de la anterior formula que tiene dependencia de la calidad de servicio es el termino  $Q_n^i$ .

Este término  $Q_n^i$ , se obtiene de la formula a continuación, que tiene en cuenta el TIEPI (tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada en media tensión) y el NIEPI (número de interrupciones equivalentes de la potencia instalada en media tensión).

$$Q_n^i = CALTIEPI_n^i + CALNIEPI_n^i$$

Tanto el CALTIEPI como el CALNIEPI, se calculan según las fórmulas descritas en la página 137556 de la circular 6/2019 de 5 de diciembre..

	TIEPI	NIEPI
Iberdrola	<38	0,9
Endesa	54,4	0,9
Naturgy	39,8	XXXX

Tabla 2: Calidad del suministro eléctrico de las distintas distribuidoras (Fuente: Elaboración propia)

La aplicación del SDN puede mejorar considerablemente el TIEPI y NIEPI, y se espera que sean mejorados en 2 minutos el TIEPI y 0,1 el NIEPI.

En 2018 (El último año disponible), la retribución que tuvo Iberdrola distribución (I-DE) fue de 1.768.619.211€, de los cuales 3.498.503€ fueron asociados a la calidad del suministro.

La retribución total asociada a la calidad del suministro de todas las empresas distribuidoras fue de 6.789.216€.

Con esta mejora de calidad, y suponiendo que sus competidores no tengan esta mejora, el incremento de la retribución del gobierno asociado a calidad del servicio puede verse incrementado en un 15%.

Por tanto, los ingresos que aportará el SDN en cuanto a mejora de servicio es de:

$$\Delta CS = CS * R$$

$$\Delta CS = 3.498.503€ * 15\%$$

$$\Delta CS = 524.775,45€$$

Donde:

$\Delta CS \equiv$  Aumento de ingresos de explotación por calidad de servicio

CS  $\equiv$  Retribución por calidad del servicio

R  $\equiv$  Estimación de aumento en porcentaje

La cantidad final a percibir por la empresa en concepto de mejora de calidad de suministro no superaría el 2% de su retribución sin incentivos, cumpliendo así el artículo 38 del real decreto 1048/2013. [22]

### **5.2.5 INVERSIÓN INICIAL**

La inversión inicial necesaria se vería reducida si se aprovechara el fin de vida útil de los equipos actuales, teniendo que considerar solo la diferencia de coste de los equipos.

Se realizará el cálculo de cuanto es la inversión máxima a realizar para que sea viable económicamente la introducción del SDN, y por tanto no aceptar propuestas de proveedores con una cifra mayor.

La vida útil de los equipos SDN es de 20 años aproximadamente, pero para calcular la inversión se tendrá en cuenta el periodo de amortización de equipos informáticos que son 12 años.

Por tanto el valor máximo añadido que pueden tener los equipos SDN es:

$$PA * (\Delta CO + \Delta CM + \Delta RC + \Delta CS) \geq INV$$

Donde:

$\Delta CO \equiv$  Ahorro de costes de operación

$\Delta CM \equiv$  Ahorro de costes de mantenimiento

$\Delta RC \equiv$  Ahorro asociado a riesgos de seguridad

$\Delta CS \equiv$  Aumento de ingresos de explotación por calidad de servicio

$INV \equiv$  Inversión necesaria para el despliegue del SDN

$PA \equiv$  Periodo amortización equipos (12 años)

$$12 * (203.408 + 1.373.040 + 141.000 + 542.858) \geq INV$$

$$27.123.672\text{€} \geq INV$$

El aumento de costes máximo que se puede permitir para que la instalación del SDN sea económicamente viable es: 27.123.672€.

Por tanto, al instalarse 45.768 equipos SDN en los centros de transformación, el sobrecoste unitario de cada equipo no puede ser mayor que:

$$\frac{27.123.672 \text{ €}}{45.768 \text{ equipos}} = 592\text{€/equipo}$$

Cada equipo debe tener como máximo un sobre coste de 592€ con respecto al equipo 4G.

Para estos cálculos no se ha tenido en cuenta el ningún tipo de inflación o valor futuro del dinero.



## **Capítulo 6. PLAN DE DESPLIEGUE**

Una vez demostrado que el SDN es beneficioso para las Smart Grids, y aporta una larga lista de ventajas tal y como se ha demostrado en los capítulos anteriores, y una vez realizado el estudio de viabilidad que indica que es viable técnica y económicamente, Iberdrola quiere realizar un plan de despliegue de este sistema en su red de telecomunicaciones.

Este plan de despliegue constará de varias fases hasta que el sistema esté completamente integrado.

### **6.1 FASE 0 Y 1**

La fase 0 y 1 fueron las primeras fases del plan de despliegue. Estas comenzaron en 2021 y tenían como objetivo un alcance de 50 oficinas, Fase 0 y 50 instalaciones operacionales (subestaciones y repetidores), Fase 1. Estas fases iniciales sirvieron como piloto para comprobar que efectivamente todo el potencial teórico que tenía el SDN en la práctica se cumplía.

La dificultad de realizar este despliegue era hacerlo sin perder las comunicaciones del sistema anterior. Esto se realizó con éxito y se solventaron todos los problemas que fueron surgiendo en su puesta en marcha, previniendo que esos errores se pudieran dar en la fase uno que será la primera fase no piloto que se llevará a cabo.

### **6.2 FASE 2**

La fase 2 pretende realizar el despliegue del SDN en los centros de transformación que cuentan con conectividad 4G. Por tanto, se pretende sustituir el router 4G actualmente implantado por un nuevo router SDN.

Esto se pretende hacer aprovechando el fin de vida útil de routers 4G para, tal y como se ha comentado en el punto 5.2.5 de este documento reducir los costes de inversión del SDN.

Iberdrola posee 98.209 centros de transformación de los cuales 75.884, es decir un 42%, están conectados a la red de telecomunicaciones mediante tecnología móvil 4G.

	Cantidad	% Sobre el Total
Centros de Transformación de Iberdrola	98.209	---
Centros de Transformación conectados mediante 4G (TGB, GTP, Router)	75.884	77,27%
CT conectados por 4G (Router)	27.839	28,35%
CT Conectado por PLC con salida 4G (Router)	1.429	1,46%
CT conectados por 4G que se cambiarán a PLC	-7.500	-7,64%
CT a conectar mediante SDN	21.768	22,16%

*Tabla 3: Centros de transformación ya instalados de Iberdrola (Fuente: Elaboración propia)*

Tal y como se observa en la tabla el SDN se impartirá en 21.768 centros de transformación ya que hay que considerar los 27.839 centros de transformación actualmente conectados mediante 4G con telegestión y/o automatización (los cuales son los más críticos en la operación, de ahí que estos sean los seleccionados para una primera fase) a los que hay que añadir los centros de transformación que actualmente están conectados mediante PLC, pero según estudios realizados por Iberdrola es conveniente cambiar su conexión a 4G. De la misma forma hay que eliminar del cambio aquellos centros de transformación que están conectados mediante 4G pero se modificarán a PLC.

Iberdrola también posee 100.000 OCR (Órganos de Corte de Red), los cuales no son tan dependientes del 4G como los centros de transformación, pero si hay algunos que usan esta

tecnología. De los 100.000 OCR que posee Iberdrola, 3.000 están conectados mediante 4G y por tanto se contemplan en esta segunda fase para su sustitución por SDN.

	Cantidad	% Sobre el Total
Total OCR Iberdrola	100.000	---
OCR conectados por 4G	3.000	3%

*Tabla 4: OCR ya instalados en Iberdrola (Fuente: Elaboración propia)*

Una vez contemplados los centros de transformación ya instalados en los que se pretende hacer el cambio a SDN, hay que tener en cuenta los nuevos centros de transformación por construir, los cuales irán ya conectados mediante la tecnología SDN y las migraciones de tecnologías a 4G, las cuales se migrarán a SDN directamente. En la tabla a continuación se pueden observar estos nuevos centros de transformación.

	CT/año
Nuevos CT (Cliente)	1.000
Nuevos CT (Propios Iberdrola)	300
Nuevos OCR	300
<b>Total Nuevos CT</b>	<b>1.600</b>
Migrado TGB a 4G	300
Migrado GTP a 4G	100
<b>Total CT Migrados</b>	<b>400</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2.000</b>

*Tabla 5: Nuevos CT y CT migrados de Iberdrola (Fuente: Elaboración propia)*

Una vez analizada la tabla se observa que hay que añadir 2.000 centros de transformación al año al plan de despliegue.

Esta fase 1 tiene como objetivo comenzar coincidiendo con el inicio del año 2025 y se pretende terminar en el mes de diciembre del año 2036, es decir, el tiempo de duración de esta fase será de 12 años. Por tanto el numero total de routers SDN a instalar a lo largo de 12 años será:

$$12 \text{ años} * 2.000 \frac{CT}{\text{año}} + 21.768 + 3.000 = 48.768 \text{ Routers}$$

La instalación de estos routers se hará de la manera que determina la tabla 4 a lo largo de los 12 años que dure esta fase del proyecto. Al inicio, la instalación será menor ya que se irán resolviendo problemas que vayan apareciendo, los cuales estarán resueltos en los años intermedios y posteriores y por tanto se podrá avanzar más en la implantación.

	Año 1 2025	Año 2 2026	Año 3 2027	Año 4 2028	Año 5 2029	Año 6 2030
Nuevos CT	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Cambio 4G a SDN	362	1.085	1.446	1.808	2.350	3.073
Total Instalados Año	2.362	3.085	3.446	3.808	4.350	5.073
Total Instalados Acumulado	2.362	5.446	8.893	12.700	17.051	22.124

*Tabla 6: Datos de desarrollo fase 1 (años 1-6) (Fuente: Elaboración propia)*

	Año 7 2031	Año 8 2032	Año 9 2033	Año 10 2034	Año 11 2035	Año 12 2036
Nuevos CT	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Cambio 4G a SDN	3.073	3.073	3.073	2.712	1.989	723
Total Instalados Año	5.073	5.073	5.073	4.712	3.989	2.723
Total Instalados Acumulado	27.198	32.271	37.344	42.056	46.045	48.768

Tabla 7: Datos de desarrollo fase 1 (años 7-12) (Fuente: Elaboración propia)

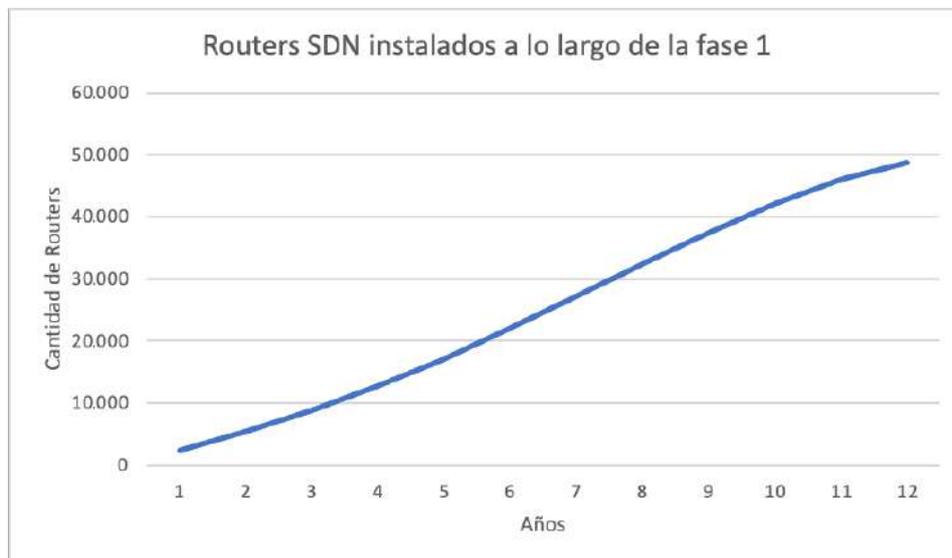
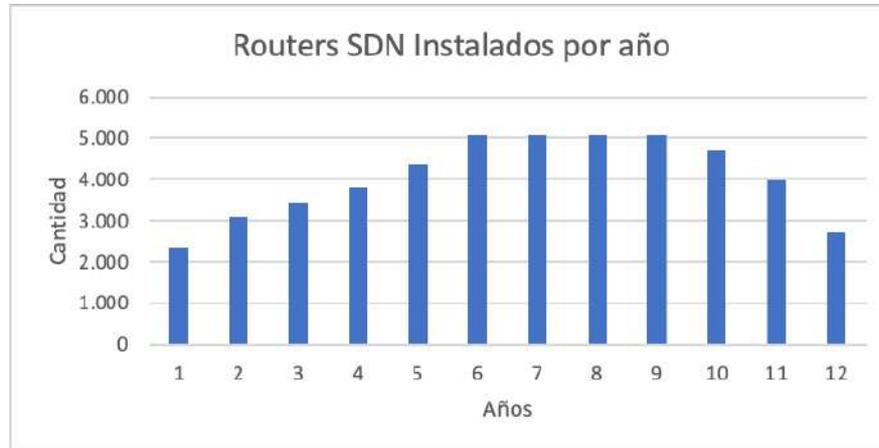


Figura 27: Routers SDN instalados a lo largo de la fase 1 (Fuente: Elaboración propia)



*Figura 28: Routers SDN instalados por año (Fuente: Elaboración propia)*

En las tablas 6 y 7 y en las figuras 27 y 28 se observa cuantos routers SDN se instalarán en cada año. La instalación de los routers tiene en cuenta que al inicio del despliegue pueden surgir problemas tal y como se ha comentado anteriormente, pero también tal y como se ha dicho en el punto 5.2.5 se ha seguido un plan de despliegue que fomente cambiar los equipos 4G por equipos SDN cuando los primeros estén llegando al fin de su vida útil con el fin de reducir los costes de inversión.

El despliegue de los routers SDN debe quitar el router actualmente instalado, realizar la instalación del nuevo router SDN. Una vez esté instalado se debe hacer la configuración para que se conecte con todo el resto del sistema SDN y se deben realizar las conexiones a los dos operadores de telefonía móvil, para que emitan correctamente a través de un teleoperador privado.

### **6.3 FASES FUTURAS**

La fase 1 busca implantar el SDN en centros de transformación automatizados y/o telegestionados, pero quedan algunos centros de transformación, que no entran en esta primera fase. El objetivo es que cuando la fase 1 esté completamente desarrollada, se amplie

el alcance del SDN con nuevas fases que incluyan más centros de transformación y otros puntos de la red.



## **Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

En el presente documento se ha descrito la tecnología SDN, analizando sus ventajas y el funcionamiento de las Smart Grids, las cuales todo hace indicar evolucionarán desde un modelo DNO hacia el modelo DSO.

Las Smart Grids necesitan de un sistema de telecomunicaciones potente, estable y resiliente que sea capaz de transportar toda la información necesaria para su correcto funcionamiento. Es por tanto que viendo las ventajas que aporta el SDN a una red de telecomunicaciones es el sistema más eficaz en la actualidad para gestionar una red de telecomunicaciones. Las ventajas en la operación son claras, pero también se espera una reducción del coste de operación de la red de telecomunicaciones por lo que las ventajas económicas también están presentes.

La mayor parte de empresas de telecomunicaciones están implantando el sistema SDN en su red de telecomunicaciones y cada vez más empresas tecnológicas están desarrollando su propio sistema SDN, lo que hace que haya más variedad de proveedores y por tanto más facilidades de cara a una futura implantación masiva.

Iberdrola ha sido pionera en la implantación de este sistema y muy probablemente debido a las necesidades, las empresas de distribución de energía eléctrica copien esta estrategia y acaben también implantándola debido a su enorme potencial.

El SDN sigue en proceso de desarrollo y los avances que se espera que lleguen hará del SDN un sistema más potente y versátil aun si cabe, aumentando por tanto la cantidad de proyectos enfocados a este desarrollo.



## Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iberdrola. (2023). Nuestra historia. Iberdrola. Obtenido de:  
<https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-empresa/nuestra-historia>
- [2] VMWare. (2023). What is Software-Defined Networking (SDN)? Obtenido de:  
<https://www.vmware.com/topics/glossary/content/software-defined-networking.html>
- [3] W. Pratiwi and D. Gunawan, "Design and Strategy Deployment of SD-WAN Technology : In Indonesia (Case Study: PT. XYZ)," 2021 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST), Miri, Malaysia, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/GECOST52368.2021.9538796.
- [4] Ccoyllo, I. (2018). Redes definidas por Software (SDN). IV Semana de la Informática 2018. Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de:  
<https://informatica.ucm.es/data/cont/media/www/pag-103596/transparencias/redes-por-software-SDN.pdf>
- [5] A. Annaswamy, "IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap," in IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap , vol., no., pp.1-12, 24 Oct. 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6648362.
- [6] D. S. Kumar, D. Srinivasan and T. Reindl, "Optimal power scheduling of distributed resources in Smart Grid," 2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), Bangalore, India, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2013.6698777.
- [7] M. C. Falvo, L. Martirano, D. Sbordone and E. Bocci, "Technologies for smart grids: A brief review," 2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Wroclaw, Poland, 2013, pp. 369-375, doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549544.
- [8] Fundación Endesa. (2023). Red de distribución. Obtenido de:  
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/red-de-distribucion>
- [9] Iberdrola. (2023). ¿Sabes cómo funcionan las subestaciones eléctricas? Obtenido de: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/smart-grids/subestaciones-electricas>

- [10] S. Tripathi, P. K. Verma and G. Goswami, "A Review on SMART GRID Power System Network," 2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART), Moradabad, India, 2020, pp. 55-59, doi: 10.1109/SMART50582.2020.9337067.
- [11] M. Wang and J. Zhong, "Development of distributed generation in China," 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, AB, Canada, 2009, pp. 1-7, doi: 10.1109/PES.2009.5275699.
- [12] Grupo Iberdrola. (2023). Contadores Inteligentes. Obtenido de: <https://www.iberdrola.es/distribucion-electrica/contadores-inteligentes>
- [13] Cloudflare. (2023). ¿Qué es MPLS (conmutación de etiquetas múltiples)? Obtenido de: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/network-layer/what-is-mpls/>
- [14] B. Soewito, F. E. Gunawan, S. Afdhal and A. Antonyova, "Analysis of quality network using MPLS and non MPLS," 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, Indonesia, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124044.
- [15] Y. Chi, H. Ahn, M. S. Park, E. Park, J. Han and S. Pack, "Technology Acceptance Perspectives on Mobile Services: A Comparison Between 4G and 5G Services," 2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Korea, Republic of, 2022, pp. 778-782, doi: 10.1109/ICTC55196.2022.9952821.
- [16] R. -J. Essiambre, "Fiber capacity limits: Information theory meets optical communication and fiber physics," 35th Australian Conference on Optical Fibre Technology, Melbourne, VIC, Australia, 2010, pp. 1-2, doi: 10.1109/ACOFT.2010.5929905.
- [17] Conectronica. (2023). FTTH y FTTX, ¿qué es? Obtenido de: <https://www.conectronica.com/fibra-optica/ftth-fftx-fibra-optica/ftth-redes-fftx-fibra-optica>
- [18] T. Zhang and W. Liu, "FFT-Based OFDM in Broadband-PLC and Narrowband-PLC," 2012 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, Sanya, China, 2012, pp. 473-478, doi: 10.1109/CyberC.2012.86.
- [19] Juniper Networks. (2023). Session Smart Router (formerly 128T). Obtenido de: <https://www.juniper.net/documentation/product/us/en/session-smart-router/>
- [20] Nokia. (2023). Network Services Platform. Automate, manage and control IP and optical networks. Obtenido de: <https://www.nokia.com/networks/ip-networks/network-services-platform/>

- [21] Cisco. (2023). Cisco Catalyst SD-WAN. Obtenido de:  
<https://www.cisco.com/site/us/en/solutions/networking/sdwan/index.html>
- [22] Comisión Nacional del Mercado de la Competencia. (2018). Acuerdo por el que se propone la retribución a reconocer a las empresas titulares de instalaciones de distribución de energía eléctrica para el ejercicio 2018. Aplicación de la metodología del Real Decreto 1048/2013. Expediente nº: INF/DE/225/17. Obtenido de: [https://www.cnmc.es/sites/default/files/2141059\\_10.pdf](https://www.cnmc.es/sites/default/files/2141059_10.pdf)

## **ANEXO I**

# Retribución estatal a Empresas de distribución de Energía Eléctrica

## Informe CNMC

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-001	941.945.148	416.359.175	42.167.544	5.371.357	42.887.355	1.104.785	4.407.027	292.163.684	3.498.503	17.464.061	1.250.573		1.768.619.211
R1-002	432.410.383	159.410.999	24.219.781	1.706.508	26.647.215	668.036	1.361.598	125.875.539	-10.730	46.510			772.335.839
R1-003	30.190.791	9.852.872	686.391	84.893	1.484.108	40.642	111.046	12.126.888	-79.110	102.438	2.824		54.603.784
R1-005	86.449.737	32.207.533	4.164.042	302.827	4.609.976	263.271	1.239.951	34.698.584	600.662	233.242	21.917		164.791.742
R1-008	97.676.497	39.491.568	3.119.387	263.003	2.996.239	106.293	1.428.943	43.178.964	548.100	1.882.609	1.798		190.693.401
R1-009	2.095.688	971.878	0	0	0	0	6.168	3.068.624	0	-793	433		6.141.998
R1-014	2.633.306	865.379	58.006	11.690	67.170	1.312	98.803	1.260.818	19.165	-33.982	2.419	1.133.680	6.117.767
R1-015	4.492.137	1.741.218	640.964	24.579	437.564	10.508	664.656	1.961.496	37.679	0	82	3.170.744	13.181.627
R1-016	2.978.494	749.861	52.695	3.690	87.297	1.192	9.950	1.144.910	10.106	4.848	234		5.043.277
R1-017	3.888.860	1.130.382	45.637	13.198	181.689	9.682	91.555	1.671.483	15.911	7.789	97		7.056.283
R1-018	9.952.543	3.422.378	306.831	14.300	735.865	6.844	-79.152	4.417.630	-71.747	-100.085	1.802		18.607.209
R1-019	3.053.228	1.059.637	54.896	10.812	52.079	1.540	57.000	1.671.959	26.275	4.084			5.991.509
R1-020	2.074.383	598.928	31.919	6.165	46.057	1.007	2.488	1.081.406	44.442	1.480	324		3.888.600
R1-021	9.114.141	5.280.073	33.285	10.729	61.666	6.192	70.199	5.225.322	56.505	53.811			19.911.922
R1-022	1.927.957	1.309.975	129.628	19.526	143.991	2.123	67.071	1.610.254	104.210	17.434			5.332.169
R1-023	801.582	529.623	21.899	686	21.502	190	286.773	465.641	-29.663	0		1.546.170	3.644.404
R1-024	36.701	16.047	0	0	0	0	-852	133.094		-524			184.465
R1-025	2.740.152	993.628	218.760	20.832	95.764	4.832	393.701	1.349.493	-1.408	46.212			5.861.966
R1-026	870.556	627.565	25.329	28.501	63.262	3.113	19.516	1.565.570	64.068	32.034	447	550.359	3.850.321
R1-027	2.001.868	1.506.494	59.256	8.624	84.637	4.156	774.514	2.573.371	-5.977	42.778	350	2.528.936	9.579.007
R1-028	3.287.854	2.005.182	159.134	23.928	104.983	2.563	34.992	1.831.618	49.153	17.408	4.162		7.520.978
R1-029	491.812	511.375	60.586	0	13.034	0	-34.743	57.471	21.991	10.995		1.262.476	2.394.998
R1-030	4.302.550	2.033.411	289.946	31.289	130.925	3.344	36.708	2.543.603	-12.160	3.774		257.504	9.620.892
R1-031	45.744	16.609	454	18.352	0	0	3.912	207.739		-5.856			286.953
R1-032	2.072.834	397.137	0	0	0	0	445.741	115.180	60.618	23.794			3.115.304
R1-033	1.894.721	550.116	15.288	1.860	35.459	429	-6.695	1.278.271	23.381	26.001		206.723	4.025.555
R1-034	1.206.398	279.679	15.835	2.759	20.324	4.973	171.113	1.344.872	-2.358	-4.935	226		3.038.885

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-035	5.781.341	2.994.757	190.780	39.982	191.974	5.500	-121.067	2.914.866	-734	119.981			12.117.381
R1-036	2.786.608	1.766.194	67.130	10.305	84.379	2.501	4.011	1.031.043	47.084	-22.893	247		5.776.610
R1-037	937.124	336.272	25.153	8.666	32.972	953	111.833	694.275	4.199	-432		253.520	2.404.536
R1-038	1.263.464	875.682	44.325	2.922	34.409	2.300	67.262	860.025	14.592	31.504			3.196.485
R1-039	1.433.674	770.927	44.927	5.492	69.564	737	-101.487	667.129	0	28.910	423		2.920.294
R1-040	1.557.682	678.484	2.160	521	36.015	3.967	-92.639	894.009	22.074	12.948	212		3.115.432
R1-041	1.303.430	540.716	33.650	7.463	40.469	202	14.847	968.760	58.191	11.693	546		2.979.967
R1-042	2.070.293	729.973	103.273	7.433	92.234	3.466	149.181	832.545	0	39.884			4.028.283
R1-043	1.891.252	569.570	86.467	94	44.711	662	76.054	1.571.898	84.814	42.407	1.941		4.369.870
R1-044	1.997.700	956.109	153.465	9.382	111.885	4.343	50.864	1.299.163	91.658	22.168			4.696.739
R1-045	491.975	365.797	20.082	966	36.097	591	-6.011	340.493	1.485	-3.370			1.248.106
R1-046	1.047.804	695.178	13.386	4.170	0	0	118.150	517.302	5.820	-41.906	1.066		2.360.970
R1-047	988.318	680.016	13.407	75	126.507	64	9.333	1.487.268	66.100	33.050	371		3.404.508
R1-048	819.142	485.693	24.105	6.033	17.933	458	64.572	693.188	-32.932	-1.015			2.077.177
R1-049	5.808.560	2.583.684	108.606	29.042	208.461	7.968	-350.570	2.269.348	-4.752	53.219			10.713.566
R1-050	1.445.461	588.791	19.428	2.484	23.337	33	24.685	972.180	-92.292	30.764			3.014.873
R1-051	495.858	188.316	24.546	3.380	42.570	1.365	147.096	344.224	4.014	4.530			1.255.898
R1-052	956.224	469.976	32.126	4.775	18.933	220	13.489	496.771	1.762	3.166		101.665	2.099.106
R1-053	1.177.576	625.830	10.647	6.108	8.772	665	-17.858	916.208	-1.960	-21.844			2.704.144
R1-054	1.892.549	1.326.860	104.314	6.600	13.358	360	98.315	909.360	36.081	10.275			4.398.071
R1-055	525.536	499.923	60.642	0	81.993	27	43.939	840.349	41.048	16.624			2.110.084
R1-056	963.247	464.455	15.506	1.196	24.266	1.444	38.219	833.115	27.725	23.414			2.392.587
R1-057	1.226.096	612.225	9.119	447	15.767	1.724	5.844	854.257	54.510	-19.234	484		2.761.240
R1-058	940.834	647.353	7.485	981	8.837	1.102	-334.110	597.541	0	-23.374			1.846.649
R1-059	1.254.285	404.685	24.919	13.251	0	0	286.598	315.122	-10.439	16.988			2.305.409
R1-060	791.691	568.041	0	194	0	0	-405.694	590.037	30.885			391.413	1.966.566
R1-061	663.649	214.756	28.979	2.762	20.606	192	68.376	631.182	-6.537	-3.680			1.620.286
R1-062	1.000.464	254.616	9.021	687	23.874	0	14.098	963.115	25.540	22.659		698.139	3.012.213

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-063	268.648	108.235	18.174	1.864	9.128	71	3.460	377.508	0	7.871			794.959
R1-064	565.061	272.926	38.180	1.230	24.335	32	23.130	451.422	11.095	9.837	89		1.397.336
R1-065	514.253	157.298	58.601	4.021	-1.610	300	15.381	254.595	15.479	-7.164	110		1.011.263
R1-066	208.406	57.956	18.513	409	35.376	310	93.212	328.287	-6.625	-299		125.268	860.813
R1-067	76.416	68.354	1.054	39	3.653	1	18.869	116.058	-1.481	1.589			284.551
R1-068	367.014	100.828	2.937	20	15.215	1.156	13.402	335.988	-9.141	8.366			835.786
R1-069	141.381	45.070	2.807	0	18.945	27	42.616	183.058	966	4.339			439.208
R1-070	175.563	41.766	7.033	805	12.692	0	12.142	100.172	3.859	941			354.973
R1-071	381.372	86.817	6.053	1.038	7.436	453	22.741	310.161	1.930	3.142			821.142
R1-072	571.886	152.853	9.111	75	31.068	757	18.825	347.083	-3.845	11.317		-60.275	1.078.856
R1-073	10.602	9.734	0	0	3.879	784	5.807	32.257		-78			62.984
R1-074	96.296	25.802	4.827	714	3.002	107	8.742	144.287	0	-264			283.514
R1-075	69.817	19.474	0	1	580	0	74	69.172	694	1.591			161.402
R1-076	1.006.961	606.983	51.004	1.352	54.002	781	-317.150	513.449	-1.631	57			1.915.808
R1-077	723.321	224.811	0	0	0	0	-58.582	219.282		11.088	534		1.120.455
R1-078	446.692	234.028	5.384	0	41.717	1.838	43.220	484.631		-25.150			1.232.359
R1-079	988.488	373.578	118.087	1.386	163.279	239	20.374	390.584	14.544	1.931			2.072.489
R1-080	190.228	46.893	39.407	342	6.383	2	12.622	135.237	-3.011	4.311			432.415
R1-081	338.601	139.119	6.054	1.667	16.241	13	22.983	257.475	6.122	-332	44		787.987
R1-082	211.060	51.019	8.257	1.865	2.553	121	17.380	218.956	-7.515	1.317			505.014
R1-083	535.467	285.528	18.805	7.781	42.333	4.838	4.180	406.907	-8.197	-8.408	207		1.289.441
R1-084	363.086	213.220	8.140	20	3.034	512	2.155	223.792	16.279	3.494			833.731
R1-085	36.533	51.755	-60	0	9.284	7.571	33.533	103.505	4.842	-22			246.941
R1-086	347.660	238.343	11.633	2.228	8.849	115	-26.557	321.743	-8.782	1.060			896.291
R1-087	300.214	133.617	7.857	0	18.299	423	4.261	320.312	2.779	1.061			788.824
R1-088	133.129	34.071	0	0	0	0	18.277	243.719	55	-3.297			425.954
R1-089	389.167	135.164	24.911	0	1.366	88	89.638	166.521	0	4.680			811.535
R1-090	1.422.208	764.930	175.788	52.332	68.892	2.145	113.074	1.397.826	-17.113	-16.720	244		3.963.606

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-091	411.493	419.014	23.355	2.121	12.606	150	-2.108	205.815	10.661	2.484			1.085.591
R1-092	379.049	158.223	1.855	296	28.704	4.032	2.247	286.850	3.760	-1.180			863.837
R1-093	26.572	7.200	0	0	0	0	0	16.702		-157			50.317
R1-094	231.371	131.228	10.229	1.166	5.484	371	50	256.774	10.455	5.375			652.503
R1-095	167.531	178.346	14.313	949	17.225	38	14.625	254.617	4.938	6.476			659.060
R1-096	160.279	96.643	453	0	1.708	0	20.694	176.676	-2.019	-20			454.415
R1-097	201.855	153.954	138	2.012	20.726	6.145	8.864	271.630	5.685	3.661			674.672
R1-098	734.706	342.858	13.430	4.540	44.054	168	-6.492	534.647	33.358	6.101	84		1.707.455
R1-099	191.682	246.979	8.829	1.235	11.203	5.242	-4.128	232.522	-367	6.936			700.133
R1-100	572.099	275.427	5.961	3.153	22.878	139	-74.672	399.496	-1.511	12.045	155		1.215.170
R1-101	520.454	384.229	33.348	968	39.043	163	25.541	513.035	-3.513	-1.502			1.511.766
R1-102	192.463	166.980	-1	957	0	0	28.575	270.451	132	-7.761			651.795
R1-103	269.530	52.537	5.608	69.207	161	0	13.652	242.892	13.072	6.536	34		673.228
R1-104	692.676	255.319	32.247	2.492	15.244	127	-21.121	537.865	-2.360	15.148			1.527.636
R1-105	182.650	174.374	2.314	91	899	130	88.514	378.737	824	859	197		829.589
R1-106	599.810	489.149	10.740	5.910	6.705	10	-16.644	567.746	33.269	-2.231			1.694.465
R1-107	760.597	164.562	-1.500	2.417	19.092	2.633	6.280	244.994	-2.839	-7.249		48.975	1.237.962
R1-108	733.150	395.217	-235	323	-224	127	304.523	489.712	-5.724	-8.174			1.908.696
R1-109	156.779	44.248	3.926	0	510	0	-7.830	168.959	7.332	1.140			375.063
R1-110	84.463	50.921	2.976	225	3.183	63	5.560	190.945	-6.312	-2.537			329.486
R1-111	40.517	24.320	0	40	0	0	7.922	68.045	-201				140.644
R1-112	372.543	283.178	0	0	0	0	39.438	218.978	18.283	-566			931.853
R1-113	67.952	64.604	9.106	0	0	0	22.762	248.359	-1.821	310			411.272
R1-114	132.731	114.593	5.432	1.469	4.809	304	8.660	184.355	9.047	-317			461.082
R1-115	1.160.934	507.673	53.247	3.938	38.613	747	61.367	897.317	12.606	27.238			2.763.680
R1-116	159.721	88.653	3.184	309	6.921	13	-226	192.906	-129	1.843			453.196
R1-117	106.834	28.308	111	0	7.604	0	25.220	190.555	0	1.667			360.298
R1-118	9.774	10.076	55	0	0	0	6.645	29.228	973	-48			56.702

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-119	468.651	134.979	0	0	0	0	32.907	181.663	0	8.182			826.381
R1-120	23.217	8.935	-43	10.871	3.683	0	1.816	161.898	786	1.556			212.719
R1-121	1.023.202	388.337	1.374	223	19.657	364	119.932	385.561	14.312	19.386	611		1.972.959
R1-122	134.891	240.978	2.636	211	9.514	290	10.944	313.746	-3.731	-5.269			704.212
R1-123	54.734	27.455	1.345	74	4.286	12	-2.671	126.186	0	748			212.168
R1-124	147.382	46.256	1.767	857	3.680	31	-3.046	120.956	-518	-199			317.166
R1-125	47.018	19.540	0	0	0	0	10.340	78.151	0	-95			154.954
R1-126	101.246	53.445	38	26	0	0	63.399	57.082	27	-31			275.232
R1-127	327.824	161.235	5.330	412	19.664	1.539	-24.861	401.882	17.860	8.930	190		920.005
R1-128	37.416	11.361	0	0	0	0	0	119.121					167.897
R1-129	102.550	43.296	2.062	33	1.835	67	8.348	113.073	1.848	19			273.130
R1-130	55.449	16.110	231	0	0	0	0	111.872	-442	46			183.266
R1-131	451.665	209.971	-79	2	-99	0	26.637	241.301	18.588	-831			947.155
R1-132	215.212	109.818	34.880	12.510	7.354	507	13.462	259.732	-18.658	6.535			641.351
R1-133	676.856	885.298	26.960	0	30.347	0	31.003	748.499		-47.979			2.350.984
R1-134	326.437	208.490	18.931	2.198	21.416	231	-6.397	187.503		4.336			763.144
R1-135	69.572	20.337	0	0	0	0	0	139.604	-5.293	2.295			226.514
R1-136	42.762	37.408	7.073	1.536	5.832	564	-8.422	108.102	0	1.949			196.804
R1-137	54.607	35.389	905	38	1.732	61	-25.744	107.857					174.845
R1-138	31.818	16.907	272	5	1.724	2	1.291	53.866		151			106.036
R1-139	93.755	46.221	0	0	0	0	53.497	142.025		502			335.999
R1-140	260.236	172.891	5.424	2.214	7.298	598	56.257	262.124	4.176	5.899			777.116
R1-141	97.820	60.061	822	23	7.344	12	14.780	130.168	472	686			312.188
R1-142	622.985	260.570	2.380	278	9.174	378	-47.328	426.305	25.495	12.747			1.312.984
R1-143	674.724	173.373	18.444	2.253	13.859	167	-372	322.566	0	-556			1.204.458
R1-145	456.048	140.257	18.700	913	18.465	23	1.340	85.268	5.174	-14.388		120.595	832.396
R1-146	648.099	400.414	15.040	1.798	14.473	54	-11.633	566.723	-13.102	7.793	183		1.629.843
R1-147	47.093	28.342	3.565	730	81.189	362	4.711	88.310	328				254.631

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-148	364.690	175.158	4.493	61	0	0	3.959	257.024	134	-3.123			802.395
R1-149	28.845	20.717	2.809	19	94	0	-1.535	74.075	2.501	-420			127.106
R1-150	145.564	126.278	0	0	0	0	-100.849	295.147	-1.009	4.661	810		470.602
R1-151	438.155	132.533	16.108	8.679	44.463	2.669	9.783	594.231	0	11.559			1.258.181
R1-152	102.653	96.209	0	0	0	0	-71.631	275.995	0	4.032	112		407.370
R1-153	108.261	38.055	-495	0	0	0	0	237.367	-1.394	136			381.930
R1-154	28.610	16.440	853	0	217	0	26.066	117.209	3.788	-2			193.180
R1-155	104.160	35.045	0	1.965	0	0	0	210.965	-921	-5.164			346.049
R1-156	20.871	11.885	0	0	0	0	1.907	30.174	1.297	-182			65.952
R1-157	269.677	188.640	0	0	0	0	-117.903	345.858	-20.588	6.863		121.518	794.065
R1-158	34.873	10.340	0	0	0	0	0	129.045		-3.485			170.773
R1-159	435.555	90.904	5.037	1.715	9.200	30	13.513	327.516	17.669	3.566		239.964	1.144.670
R1-160	45.448	12.089	7.849	1.414	400	0	29.075	136.602	561	-385			233.051
R1-161	109.475	29.542	2.723	92	-302	0	29.730	238.386		2.756			412.401
R1-162	8.909	4.304	552	0	0	0	4.552	43.809	-11				62.116
R1-163	36.456	9.935	0	0	1.084	0	4.686	43.497		-161			95.497
R1-164	55.864	25.298	336	0	3.229	0	1.195	119.622	-3.096	558			203.007
R1-165	88.892	122.776	5.184	30	6.523	45	-18.745	233.309	6.682	2.750			447.445
R1-166	205.121	112.616	2.334	211	12.567	81	-2.219	181.912	-9.466	5.126			508.283
R1-167	139.334	102.935	-158	0	3.609	0	13.569	175.337	-3.118	-63		42.861	474.308
R1-168	137.280	116.810	9.376	1.255	10.118	436	10.460	181.695	-2.162	1.586			466.854
R1-169	42.663	24.463	336	3	1.645	0	-4.118	55.937	2.419	236			123.582
R1-170	40.388	6.635	559	2	1.715	24	9.803	55.344	-1.811	75			112.734
R1-171	118.468	59.048	-94	282	748	8	2.507	176.308	-1.241	-605			355.430
R1-172	85.239	108.829	2.170	1.056	9.765	95	-86.673	99.123		540			220.145
R1-173	23.968	13.230	1.120	38	1.329	116	5.012	51.250		898			96.961
R1-174	1.683.947	1.129.681	46.658	5.738	230.974	1.767	-204.846	1.274.952	-2.779	-14.185	755		4.152.661
R1-175	1.175.085	466.204	977	217	344.594	17.496	-10.671	446.785	17.469	-4.418			2.453.740

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-176	314.681	129.514	-891	121	891	520	55.437	229.200	-469	-11.471			717.534
R1-177	234.743	95.241	309	750	-531	158	2.269	169.435	10.047	444			512.866
R1-178	85.957	51.745	1.989	0	0	0	-3.233	37.730	-906				173.282
R1-179	149.114	49.813	6.933	1.334	928	4	4.080	328.750	10.819				551.777
R1-180	962.745	592.347	13.204	1.147	22.842	198	138.398	229.584	0	4.327			1.964.791
R1-181	76.414	24.937	710	0	2.119	93	3.827	82.639	3.412	1.486	35		195.672
R1-182	502.863	270.208	110	733	7.634	389	9.201	537.316	26.569	-7.268			1.347.756
R1-183	24.784	11.939	0	117	0	0	-3.057	46.161	-463	799			80.281
R1-184	3.723	3.841	0	74	-3.958	8	7.829	40.966	-0	145			52.628
R1-185	10.250	3.016	0	0	0	0	1.671	52.049		670			67.656
R1-186	206.816	28.784	19.500	0	3.221	1.793	12.832	81.342	5.199	236			359.723
R1-187	78.285	22.201	3.654	452	4.640	24	8.255	57.202	-4.154	0		61.729	232.288
R1-188	11.282	4.245	1.468	0	1.389	33	2.624	64.149		-83			85.107
R1-190	140.339	85.204	5.481	941	-234	236	42.525	268.131	10.852	5.426			558.902
R1-191	573.908	313.781	17.834	2.697	95.097	106	-19.421	435.417	-5.362	993			1.415.049
R1-192	86.196	16.873	3.941	19.987	493	0	3.656	92.013	4.463	2.232			229.854
R1-193	42.180	18.934	580	66	2.987	115	5.560	72.149	-2.149	932			141.353
R1-194	468.523	160.194	25.608	5.934	23.676	1.205	-93.795	198.652	15.800	1.188			806.985
R1-195	30.008	26.391	3.777	5	5.548	5	567	90.689	3.140	0			160.130
R1-196	397.192	163.152	2.480	0	12.791	26	8.447	578.764	-12.576	11.629			1.161.905
R1-197	48.854	13.984	0	0	0	0	18.664	54.692					136.194
R1-198	106.002	45.405	0	0	0	0	16.668	89.460	5.151	-44			262.642
R1-199	1.270.597	708.498	10.992	105	0	0	70.904	642.243	3.868	27.033	339		2.734.579
R1-200	146.764	66.044	7.049	5.702	4.195	22	18.046	187.195	-2.935	-1.697			430.386
R1-201	213.030	259.259	3.447	458	12.518	298	-29.949	362.268	16.427	6.109			843.865
R1-202	21.697	27.990	181	8	0	1.092	-13.709	78.377	-584				115.050
R1-203	127.355	81.818	5.656	182	2.462	16	32.913	275.930	10.527	-1.965			534.893
R1-204	978.752	423.997	32.080	9.508	30.994	685	28.660	447.948	87	7.543			1.960.254

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-206	11.226	3.270	0	0	0	0	0	80.857		651			96.004
R1-207	33.082	18.797	13	8	693	1	19.867	99.617	-2	-424			171.652
R1-208	104.463	49.392	0	0	172	0	-28.363	99.117	4.496	2.248			231.524
R1-210	379.874	165.713	17.110	2.461	26.644	354	16.782	328.488	18.749	-1.204			954.970
R1-211	164.194	118.062	3.565	540	23.446	333	3.598	286.192	0	2.715			602.645
R1-213	72.607	23.427	1.069	230	-510	0	0	102.533	448	-324	35		199.516
R1-214	47.008	30.128	1.558	0	1.103	10	9.910	54.407	0	110			144.234
R1-215	59.210	21.523	578	0	2.367	33	1.202	64.939	1.980	54			151.886
R1-216	47.980	14.634	1.622	18.004	997	0	2.904	146.033	4.644	-934			235.885
R1-217	38.519	21.179	115	2	1.449	7	8.863	96.427	0	1.549			168.109
R1-218	428.380	104.841	2.300	4.876	8.214	9	6.761	172.944	7.860			288.753	1.024.938
R1-220	96.669	49.002	3.936	93	583	0	-10.842	138.678		473			278.593
R1-221	93.715	31.115	0	0	-185	0	26.132	262.989		-8.275			405.491
R1-222	91.416	120.761	10.605	455	13.873	3	-8.700	229.755	9.163	-440			466.891
R1-223	330.791	228.478	15.548	436	34.183	166	324.172	344.648	5.149	1.130			1.284.700
R1-224	31.945	11.978	0	0	0	0	4.362	37.343	-2.569	856			83.915
R1-225	14.471	6.486	1.935	401	-24	0	0	78.006	0	1.013			102.287
R1-226	52.176	22.166	1.701	113	2.129	135	13.206	117.622		2.092			211.340
R1-227	503.440	288.986	10.865	723	3.254	352	-8.105	485.677	25.704	-2.729			1.308.167
R1-228	45.809	28.888	233	117	784	103	4.524	62.048	0				142.507
R1-229	23.042	14.772	155	0	3.024	0	3.995	29.179		-217			73.951
R1-231	226.424	84.433	25.026	2.612	14.995	41	21.871	120.529	2.577	86		112.753	611.348
R1-232	532.110	304.232	8.155	1.062	14.024	656	-80.646	315.532	693	6.882			1.102.701
R1-233	136.129	145.177	7.003	0	10.297	0	2.883	230.816	1.549	5.323			539.177
R1-234	99.309	25.125	0	0	0	0	2.549	176.537	-321	-807			302.392
R1-236	101.524	88.511	2.847	116	-29	0	17.107	258.755	9.377	1.846			480.054
R1-237	170.278	88.101	4.157	234	9.797	380	-16.828	250.642		-483	158		506.435
R1-238	38.148	72.481	0	89	0	0	-56.314	71.124		-2.470			123.057

Empresa	RI <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-239	109.425	40.650	7.560	3.587	106	3	4.236	187.161	7.055	620			360.404
R1-240	118.441	96.404	-59	0	-99	0	18.181	106.242		670			339.780
R1-241	138.769	31.046	0	0	0	0	-2.189	149.601		1.349			318.576
R1-242	144.090	28.768	5.369	237	1.995	4	21.207	79.525	1.108	1.077			283.380
R1-243	68.430	18.285	1.283	1.834	5.680	367	3.182	74.297	-3.253				170.104
R1-244	125.883	31.658	3.733	341	1.839	2	11.774	56.513	-3.409	2.317			230.651
R1-245	31.184	75.347	0	0	283	19	1.815	50.221	3.177	1.589			163.636
R1-246	44.623	78.320	6.600	68	2.663	162	5.949	136.201	-1.444	2.285			275.426
R1-247	62.075	24.239	1.329	0	742	0	-1.497	169.305	1.333	2.562			260.088
R1-248	232.584	193.574	137	513	-99	0	-102.811	237.404	11.226	5.613			578.142
R1-249	33.190	27.509	1.078	2	4.580	0	5.476	64.286					136.120
R1-250	202.109	111.406	253	12.711	994	10	-38.230	222.158	-183	5.114			516.343
R1-251	36.705	17.004	6.755	2.747	5.609	0	18.431	146.242	-1.537	2.335		213.403	447.694
R1-252	5.524	19.799	1.127	17	0	250	17.357	35.985	712	311			81.084
R1-253	244.638	126.498	8.389	58	9.813	271	-5.609	272.878	13.139	6.569			676.644
R1-254	471.478	165.274	13.828	4.153	947	1	-7.431	281.944	3.756	-18.604			915.346
R1-255	58.672	33.677	3.454	2.008	2.083	37	-6.111	166.300	-1.177	-787			258.156
R1-256	575.259	322.563	30.482	4.875	198.595	2.536	113.827	748.303	-35.779				1.960.662
R1-257	645.246	392.206	-183	102	29.640	0	-83.420	474.089	16.338	14.577			1.488.595
R1-259	42.635	27.609	266	12	2.290	0	-15.382	50.558	0	901			108.890
R1-260	63.865	20.373	0	0	0	0	0	184.769	-289	-28			268.690
R1-261	150.086	74.921	1.196	48	12.246	44	-36.026	210.747	-927	-482			411.851
R1-262	239.513	203.336	12.935	952	31.303	818	-1.520	324.264	-8.160	8.116			811.557
R1-264	543.808	543.625	11.709	1.894	20.918	257	58.979	406.279	19.561	6.911			1.613.940
R1-265	30.490	9.642	731	9.886	2	0	565	68.905		1.202			121.423
R1-266	56.085	39.766	0	1	2.946	0	38.344	75.058	4.244				216.445
R1-267	15.442	6.327	1.036	0	119	0	117	23.072	734	-155			46.692
R1-268	645.403	148.674	27.563	5.529	34.130	19	0	418.972	25.606	-1.990			1.303.905

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DTª 2ª RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-269	27.706	11.502	-6	1	0	0	800	36.754	261	396	121		77.535
R1-270	201.071	47.794	8.986	3.510	7.659	2	12.299	135.821	-1.373	-670			415.100
R1-271	14.359	14.300	0	0	0	0	-5.413	39.454					62.700
R1-272	417.089	117.353	0	0	0	0	12.252	202.603	11.912	-2.352			758.857
R1-273	102.985	33.483	3.229	165	-426	8	25.127	179.925	-3.180	-1.878			339.438
R1-274	11.668	30.624	0	0	0	0	-27.190	65.232	-143	145			80.337
R1-275	46.308	17.652	1.219	0	1.846	7	7.593	123.726	-156	1.532			199.726
R1-276	18.363	4.282	340	0	0	0	-269	31.749		288			54.754
R1-277	302.425	232.560	2.187	331	28.048	6.112	60.943	170.719	14.905	-1.760			816.470
R1-278	336.623	352.388	8.079	996	6.764	152	665.450	577.840	-217	0	90		1.948.165
R1-279	162.664	31.775	0	0	0	0	0	179.645		0			374.084
R1-281	92.242	26.498	0	0	0	0	0	186.095					304.835
R1-282	88.376	76.426	2.294	0	5.717	104	1.885	120.483	5.906	-1.131			300.060
R1-283	73.528	31.142	1.492	0	9.378	0	61.358	272.887	0	4.498		92.694	546.977
R1-284	68.571	34.165	4.405	1.655	4.698	4	-14.251	100.446	-5.991	-681			193.021
R1-285	230.547	87.764	9.319	762	1.160	0	2.991	331.518	-1.400	-8.261		109.678	764.078
R1-286	79.838	25.186	0	0	170	40	-9.372	79.927	-1.130	-418			174.241
R1-287	70.099	52.122	0	0	3.395	0	-25.082	81.239	-1.059				180.715
R1-288	18.198	14.082	389	0	6.901	0	4.830	51.522		-1.178			94.744
R1-289	38.690	12.701	0	0	0	0	10.141	86.196		-366			147.361
R1-290	52.034	94.278	0	64	0	0	521	219.346	7.325	-1.963			371.604
R1-291	8.709	3.037	0	0	0	0	18.554	55.520	148	-195			85.773
R1-293	89.545	48.993	0	0	1.331	0	-1.903	25.717	-2.688	1.637			162.631
R1-294	3.537.623	671.706	3.493	3.325	44.118	4.811	60.956	1.802.466	-14.312	61.285	514		6.175.984
R1-295	137.876	96.468	3.926	103	14.800	159	-20.330	145.299		1.612			379.913
R1-296	116.319	189.595	-81	0	2.149	23	-175.609	136.999	-904	-815			267.675
R1-297	10.194	3.479	0	0	0	0	0	30.410		-159			43.924
R1-298	62.289	11.534	0	0	0	0	0	65.940	29	1.398			141.190

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-299	1.187.503.725	475.602.792	33.663.449	7.960.438	33.578.097	1.947.059	25.289.632	324.601.000	-174.861	-4.593.434	3.100.822		2.088.478.718
R1-300	49.021	15.471	0	0	0	0	0	101.000		-134			165.358
R1-301	176.584	64.527	0	3	0	0	4.005	199.150	8.885	105			453.259
R1-302	172.303	50.866	7.878	403	8.554	7	-12.338	123.803	-1.052				350.424
R1-304	574.292	94.956	4.286	2.859	23.727	228	6.150	202.105	18.172	-436			926.339
R1-305	34.486	5.958	0	0	0	0	0	54.806		952		11.084	107.286
R1-306	145.472	111.783	-57	18	848	47	7.436	201.628	-1.181	1.175			467.168
R1-307	38.105	31.473	0	0	0	0	13.618	63.172	664	914			147.945
R1-309	278.183	103.397	5.762	2.482	843	0	7.990	120.502	-77	-809			518.274
R1-310	967	210	0	0	0	0	1.087	10.586		-12			12.838
R1-313	40.723	13.360	3.513	368	1.959	62	22.167	26.046	-926	-384			106.888
R1-314	55.938	27.988	2.826	0	854	0	0	112.345		2.000			201.951
R1-317	85.185	34.763	7.289	0	9.701	170	13.270	226.821	-1.778	3.772			379.193
R1-319	108.120	58.971	1.712	414	3.712	69	2.949	168.555	-53	3.445			347.894
R1-320	118.629	42.550	946	96	0	0	6.320	139.598		1.683			309.823
R1-323	267.842	118.692	8.861	1.960	13.950	1.024	-50.170	201.798	11.279	5.640			580.876
R1-325	231.843	54.148	7.554	349	6.212	56	20.239	241.604	1.150	-1.776		110.079	671.458
R1-326	24.283	19.270	0	188	1.817	0	2.464	35.982					84.004
R1-327	65.617	17.924	7.644	0	10.060	28	0	116.371	-269	2.176			219.552
R1-329	152.470	42.594	-86	54	42	0	-1.794	200.425	-3.438	3.937			394.204
R1-330	36.523	10.483	0	9.696	1.641	457	0	49.399	-202	1.082			109.078
R1-335	82.447	16.596	2.571	387	0	1	-2.130	143.070	-251				242.691
R1-336	15.244	1.523	2.626	11	1.364	14	0	8.066		-405		11.303	39.746
R1-337	12.558	4.834	0	0	0	0	0	24.423		0		10.550	52.364
R1-338	112.862	62.864	322	36	4.992	117	1.598	71.457	-560	1.606			255.292
R1-339	130.680	51.624	830	893	14.570	5.879	3.233	45.557	-7.598				245.669
R1-340	21.681	8.676	0	0	0	0	-181	78.901	-10	1.091			110.158
R1-341	21.632	9.274	355	0	1.544	0	0	49.007	1.636	818			84.266

Empresa	R <sub>BASE</sub>	ROM <sub>BASE</sub>	RI 2015	ROM 2015	RI 2016	ROM 2016	ROMNLAE 2016	ROTD 2016	Q <sub>2016</sub>	P <sub>2016</sub>	F <sub>2016</sub>	DT <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> RD 1048	RETRIBUCIÓN 2018
R1-342	380.618	164.171	1.205	766	11.241	96	41.737	451.269	-1.193	10.511	140		1.060.561
R1-343	34.254	29.835	0	0	0	0	-20.703	113.422		-72			156.736
R1-344	122.404	29.743	7.015	1.170	0	3	17.383	142.960		3.207			323.886
R1-345	93.926	34.369	0	0	0	0	8.097	84.602		-195			220.798
R1-346	86.411	43.228	4.326	0	13.466	0	936	195.258	-223	3.436			346.839
R1-347	16.406	5.960	344	0	576	0	0	73.341	-2.899	966			94.695
R1-348	8.511	3.574	1.139	0	0	0	5.119	26.181					44.524
R1-349	7.565	1.984	0	0	0	0	0	53.415		-232			62.731
R1-350	38.759	18.557	4.907	730	0	0	-2.503	87.648	2.962	1.481			152.540
R1-351	78.700	12.991	-56	84	-52	0	536	77.757	3.399	-368			172.991
R1-352	57.733	31.618	0	0	0	0	11.566	54.579	-1.023				154.474
R1-353	59.903	11.711	1.876	0	-737	0	17.143	167.912	-181	-36			257.590
R1-354	7.832	1.875	0	0	0	0	6.624	42.983		593			59.906
R1-355	115.737	36.036	985	1.982	407	0	34.462	55.535	549	2.451			248.145
R1-356	5.856	2.024	0	0	0	0	0	23.661		-631		1.082	31.993
R1-357	53.935	25.356	1.973	174	1.193	0	16.086	73.572	3.446	222			175.957
R1-358	7.562	4.827	0	0	0	0	1.686	62.230		-67			76.239
R1-359	37.340	11.552	0	0	0	0	83.214	44.743		1.768			178.617
R1-360	144.619	45.953	110	966	291	0	0	219.131	-12.332	4.111			402.849
R1-361	847	490	0	0	0	0	0	2.537		0			3.874
R1-362	2.271	1.315	0	0	0	0	0	52.264		-63			55.786
R1-363	245.766	91.363	-206	211	8	390	39.288	8.350	-313	388			385.244
R1-364	231.310	108.636	2.506	136	27.957	0	51.600	43.951	0	0			466.096
R1-365	1.199.334	294.863	42.368	18.629	16.993	77	2.779	47.833	13.276				1.636.151