



# El control de tensión en redes de distribución con Generación Distribuida (I)

**Palabras clave:** Generación distribuida (GD), Red de distribución, Gestor del sistema de distribución (GSD) y control de tensión.

## Resumen:

Desde inicios de la década de los 90 numerosos y relevantes cambios se han producido en el entorno de la generación eléctrica en el continente europeo y más concretamente en el territorio nacional. Aspectos como la conservación de los recursos naturales, la creciente preocupación por el impacto medioambiental, el incremento de los precios de los combustibles fósiles, la eficiencia energética y la continua búsqueda de una menor dependencia energética en combustibles fósiles han propiciado el desarrollo de directivas europeas y legislación de ámbito nacional que han promulgado el desarrollo de tecnologías de generación, más eficientes (como la cogeneración), por un lado, y de tecnologías de generación de origen renovable, por otro. De entre todos los retos que los gestores de las redes de distribución afrontan para la integración de la generación en este artículo se va a describir el funcionamiento, desde un punto de vista técnico, del control tensión-reactiva en redes de distribución y la aportación de la GD a dicho servicio.

**Key words:** *Distributed Generation, Distribution Networks, Distribution System Operator, Voltage control.*

## Abstract:

*Since the last two decades relevant changes have taken place in the electric generation sector, at both European and national levels. The increasing environmental awareness, higher fuel prices, and the aim of reduction of energy dependence on fossil fuels have driven the development of new European Directives and National Regulations to promote efficient technologies (such as cogeneration) and renewable generation. Among the main challenges that distribution system operators must face for the proper integration of distributed generation this paper will focus on the voltage control in distribution networks and the contribution of distributed generation.*



**David Trebolle Trebolle**

Ingeniero industrial (2001), Master en Gestión Técnica y Económica del Sector Eléctrico Español (2005), Diploma de estudios avanzados (2007) por la Universidad Pontificia de Comillas y PDD por el Instituto de Empresa Business School (2008). Actualmente es jefe del departamento de "Gestión Activa, Control de Red y Aplicaciones Avanzadas" en la dirección de Explotación de Unión Fenosa Distribución.



**Pablo Frías Marín**

Doctor Ingeniero del ICAI (2008). Trabaja como investigador en el Instituto de Investigación Tecnológica donde es responsable del área de Redes Inteligentes Sostenibles, a la vez que profesor en el Departamento de Electrotecnia y Sistemas, donde coordina el "Laboratorio de Máquinas Eléctricas".



**José María Maza Ortega**

Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad de Sevilla (2001), donde en la actualidad es Profesor Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Eléctrica.



**José Luis Martínez Ramos**

Doctor Ingeniero Industrial (1994) y Catedrático de Universidad (2007). Actualmente ejerce las funciones de Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.

## El control de tensión en redes de distribución

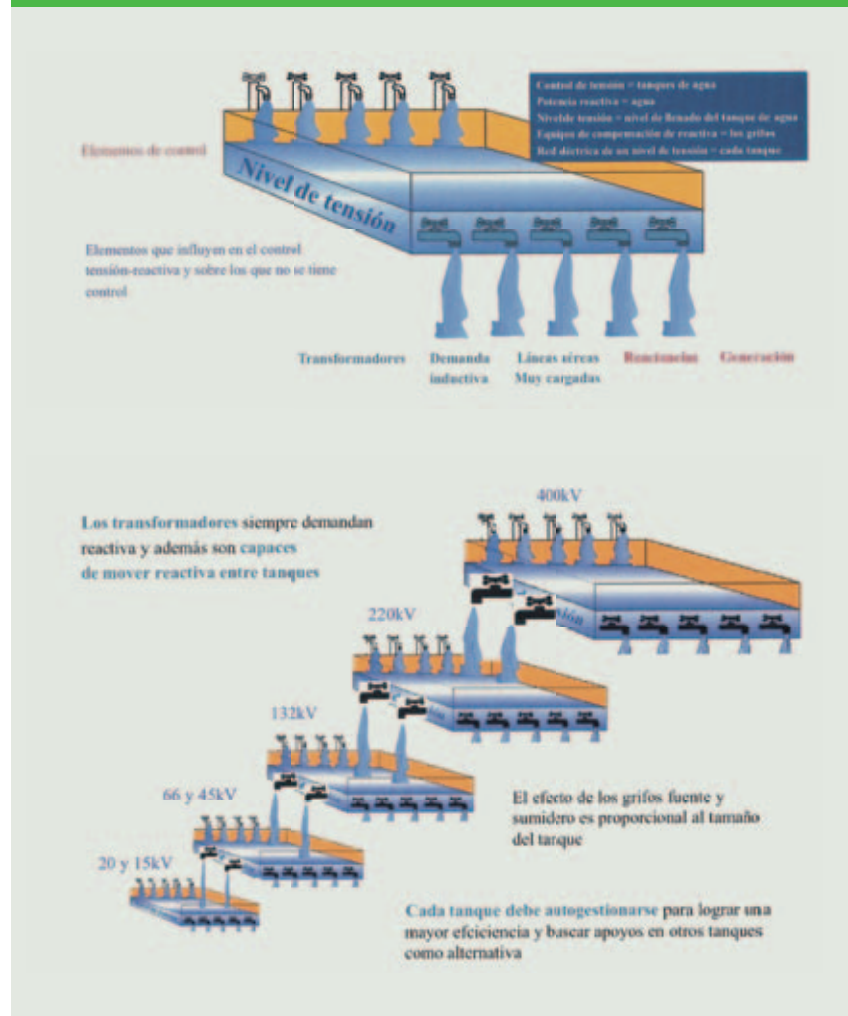
El control tensión-reactiva es uno de los servicios complementarios más importantes que lleva a cabo el operador del sistema, el gestor de red de distribución y la generación (de régimen ordinario y especial)<sup>1</sup>. El objetivo de este servicio complementario es mantener la tensión cerca de valores nominales y la optimización de los flujos de reactiva por la red.

El control de la tensión en las redes eléctricas es básico ya que de un nivel adecuado de la tensión depende el buen funcionamiento de todos los equipos eléctricos conectados a la red. Por tanto la tensión es un parámetro fundamental que sirve de referencia para medir la calidad del producto entregado a los clientes por las compañías de distribución.

La potencia reactiva, término de potencia que no produce trabajo en sistemas de corriente alterna, tiene una clara influencia en la tensión. Para comprender el fenómeno de la reactiva y el control de tensión en la Figura 1 se va a comparar el control tensión-reactiva con un conjunto de tanques de agua conectados mediante grifos, donde el agua representa la potencia reactiva. Así, el nivel del agua de cada tanque representa el nivel de tensión existente en las redes, cada tanque se asimila a una red eléctrica con un determinado nivel de tensión y los grifos que añaden o vacían agua de cada tanque son los elementos que generan o absorben la reactiva de la red.

Como se observa en cada tanque existen elementos que influyen en el control de tensión (texto en color azul en la Figura 1), como por ejemplo los cables subterráneos, la demanda con comportamiento inductivo y capacitivo, los transformadores y las líneas aéreas con elevada carga. Existen otros elementos en la red (texto en color rojo) que son elementos de control usados por el operador del sistema y los gestores de las redes de distribución para optimizar los flujos de distribución y los niveles de tensión.

Figura 1. Simil hidráulico del control de tensión y potencia reactiva



Elementos ejemplo de control son los transformadores, los generadores, los condensadores y las reactancias.

Los transformadores juegan un papel determinante en el control de tensión ya que éstos representan a los grifos que mueven reactiva (agua) entre niveles de tensión (tanques).

Como se puede observar en la Figura 1 el tamaño de los tanques es básico y determinante, siendo éste mayor cuanto mayor es el nivel de tensión de la red en la que se realiza el control de tensión. Una misma cantidad de agua en el tanque de 400kV provoca una variación de tensión (nivel del agua) muy inferior a la que esa misma cantidad provocaría en el nivel de 15 ó 20kV. Por este motivo es muy

importante la autogestión de cada tanque con apoyos complementarios entre los niveles de tensión (tanques) adyacentes. Dicho de otro modo, los problemas de tensión de las redes de 400 y 220kV no pueden ser resueltos por las redes de 15 o 20kV. Por ejemplo, la desconexión de un circuito de 400kV es equivalente a la desconexión de un equipamiento de reactiva instalado equivalente a 400 subestaciones en una red de distribución.

### Elementos que participan en el control de tensiones

Para una mejor comprensión del control tensión y potencia reactiva, a continuación se describen cada uno de los elementos que intervienen en dicha gestión.

<sup>(1)</sup> El régimen especial es un concepto normativo según la ley 54/1997 en el que se define en España como todas aquellas instalaciones de generación que no superan los 50MW de potencia instalada. Las instalaciones de régimen ordinario son aquellas cuya potencia es superior a 50MW.

## Generadores

Son elementos que intervienen activamente en el control de tensiones y aportan un control dinámico en las tensiones.

Los generadores síncronos son capaces de generar y absorber potencia reactiva de la red por lo que pueden subir y bajar tensiones mientras que los generadores asíncronos únicamente consumen reactiva, y por tanto no pueden participar en el control de tensión. Existen otro tipo de generadores como por ejemplo los fotovoltaicos que, gracias al uso de inversores en su conexión a red, son capaces también de generar y absorber potencia reactiva.

Los generadores de régimen ordinario están conectados a la red de transporte y participan en el control de tensiones siendo gestionados por el operador del sistema Red Eléctrica de España (REE), con los criterios definidos en el procedimiento de operación P.O.-7.4<sup>2</sup>.

Los generadores acogidos al régimen especial están mayoritariamente conectados en las redes de distribución, y no intervienen directamente en el control de tensiones sino que tienen un incentivo económico para mantener un factor de potencia unidad, tal como se indica en Real Decreto 1565/2010 [4].

## Compensación pasiva/estática: condensadores y reactancias

Estos elementos intervienen activamente en el control de tensiones y aportan un control estático pero no dinámico en las tensiones. Cuando un condensador o una reactancia se conecta en un punto de la red eléctrica la tensión en ese punto de la red aumenta o disminuye, respectivamente.

La potencia reactiva que inyectan en la red depende cuadráticamente con la tensión (condensadores) y con la intensidad (reactancias):

$$Q_{\text{inyectada}} = \frac{V^2}{X}$$
$$Q_{\text{consumida}} = XI^2$$

Donde X es la reactancia que depende de las características constructivas del condensador/reactancia y de la frecuencia de la red.

El uso de los condensadores tiene una finalidad que se puede observar de dos formas distintas:

- El control de tensión: se conectan para subir tensión, típico de las redes de transporte y reparto (400, 220, 132, 66, y 45kV)
- Mejorar el factor de potencia: su objetivo es disminuir los flujos de potencia reactiva en las redes. Para este efecto, se colocan en las redes de media tensión y baja tensión (20, 15kV y 400/230V).

Por su parte, el uso de las reactancias se enmarca en la red de transporte para disminuir tensiones, sobre todo por las noches, donde las tensiones son más altas debido a la baja demanda eléctrica.

## Líneas eléctricas

Las líneas eléctricas consumen y generan potencia reactiva. La reactiva generada por una línea depende cuadráticamente de la tensión aplicada por lo que es un valor razonablemente constante. Además, la potencia reactiva consumida por las líneas depende cuadráticamente de la intensidad por lo que consumen tanta más reactiva cuanto más car-

gadas están. Por esta razón las líneas en vacío se comportan como condensadores (Figura 2).

Las líneas eléctricas son elementos que intervienen activamente en el control de tensiones cuando su objetivo es disminuir las tensiones en la red de transporte, mientras que para el resto de niveles de tensión no intervienen activamente pero sí influyen en las tensiones y por ende, en los flujos de reactiva por la red.

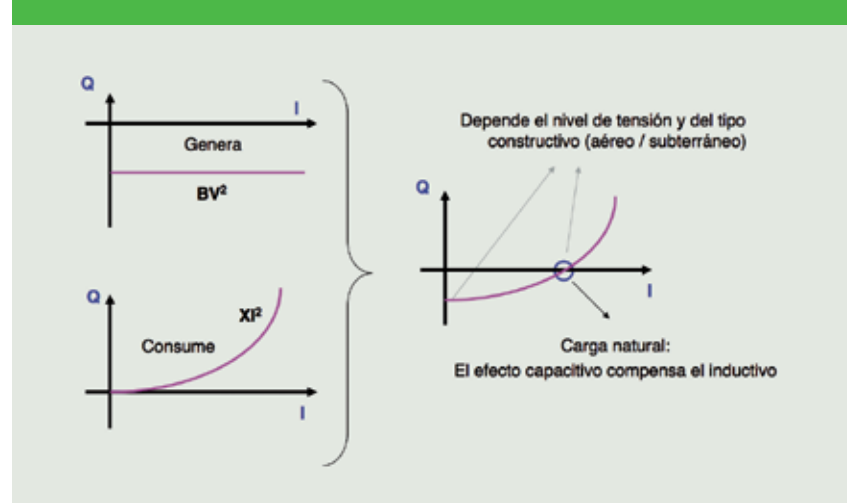
La Tabla 1 resume el comportamiento tensión-reativa de las líneas eléctricas en función del nivel de tensión, el cual depende de tres factores principalmente:

- De si se trata de un circuito aéreo o subterráneo: a igualdad de nivel de tensión generan más reactiva las líneas subterráneas que las aéreas.
- De la tensión nominal del circuito: para la misma longitud, los circuitos generan más reactiva cuanto mayor es el nivel de tensión
- Del grado de carga<sup>3</sup> del circuito: para la misma longitud e igual carga, la reactiva que consumen los circuitos es tanto menor cuanto menor sea el nivel de tensión de la línea.

## Transformadores

Los transformadores son elementos que intervienen activamente en el control de tensiones gracias a

Figura 2. Reactiva generada y absorbida por las líneas eléctricas



<sup>2</sup> Disponible en [www.ree.es](http://www.ree.es)

<sup>3</sup> Entendido carga como la intensidad que circula por el circuito.

**Tabla 1. Contribución de los circuitos eléctricos al control de tensión-reactiva**

Tipo de red	Nivel de Tensión (kV)	Tipo	Reactiva Neta (genera o consume)
Transporte	400	Aéreo	Genera a cargas bajas Consume a cargas altas
		Subterráneo	Genera Siempre
	220	Aéreo	Genera a cargas bajas Consume a cargas altas
		Subterráneo	Genera Siempre
Reparto	132	Aéreo	Consume reactiva a partir de cargas bajas
		Subterráneo	Genera reactiva siempre
	66	Aéreo	Consume siempre
		Subterráneo	Consume siempre
	45	Aéreo	Consume siempre
		Subterráneo	Consume siempre
MT	15 y 20	Aéreo	Consume siempre
		Subterráneo	Consume siempre
BT	400/230V		Despreciable

que presentan una relación de transformación variable (físicamente presentan un número N escalones discretos que dan lugar a N posibles relaciones de transformación). Por otro lado los transformadores por defecto consumen siempre potencia reactiva en una cantidad que dependerá cuadráticamente con la intensidad ( $X_{cc} I^2$ ), donde  $X_{cc}$  es la reactancia de cortocircuito cuyo valor típicamente se encuentra entre 5-15%.

Desde el punto de vista del modo en que se regulan se dividen en:

- Transformadores con regulación en

carga: pueden variar su relación de transformación sin interrumpir la carga que alimentan. Estos a su vez se dividen en transformadores con regulación automática y transformadores con regulación manual.

- Transformadores con regulación sin carga ni tensión: pueden variar su relación de transformación pero deben interrumpir la carga que suministran para cambiar de toma.

En redes mallasadas, los transformadores logran variar la tensión moviendo energía reactiva de unos niveles de tensión a otros, por lo que hacen de

“efecto condensador” cuando suben tensión y de “efecto bobina” cuando bajan tensión (Figura 1).

Una vez comprendido qué es el control de tensión y los elementos que intervienen en él a continuación se va a describir la operativa llevada a cabo por el operador del sistema en la red de transporte (400 y 220kV. Tanques de agua mayores) y los gestores de la red de distribución en sus redes (132, 66, 45, 20, 15kV y 400V. Tanques de agua menores).

### Operativa del control de tensión en las redes de transporte y distribución

El control de tensión en la red de 400 y 220 kV corresponde a Red Eléctrica de España (REE) en calidad del Operador del Sistema. Los niveles de tensión adecuados para la red de transporte se encuentran definidos en los Procedimientos de Operación correspondientes (P.O.1.1, 1.2, 1.3 y 7.4).

Así como la red de transporte es razonablemente homogénea en arquitectura, diseño y explotación, en la red de distribución cabría distinguir tres partes claramente diferenciadas (Tabla 2), en función del tipo de estructura, su modo de explotación, el número de instalaciones y clientes conectados, y el grado de flexibilidad y monitorización de las mismas.

El control de tensión en la red de reparto, media tensión y baja tensión corresponde a las

**Tabla 2. Partes integrantes de la red de distribución**

Tipos de red		Estructura	Tipo Operación	Clientes (Nº)	Instalaciones (Nº)	Flexibilidad Operación	Nivel Monitorización
Transporte (Seguridad de suministro) (400, 220 kV)		Mallado	Mallado	Muy pocos	Pocas	Alta	Alto
Distribución (Calidad de Servicio)	Reparto (132, 66, 45 kV)	Mallado / Radial	Mallado / Radial	Pocos	Bastantes	Media	Alto
	MT (20, 15 kV)	Mallado / Radial	Radial	Bastantes	Muchas	Baja	Medio
	BT (400, 380V)	Mallado / Radial	Radial	Muchos	Muchas	Muy Baja	Muy Bajo



compañías de distribución en cada zona que corresponda en calidad de gestor de red de distribución. La tensión entregada en la acometida de los clientes debe estar en un margen del 7% de la tensión nominal según el RD1955/2000. A continuación se describe para cada nivel de tensión la estrategia y acciones implementadas para el control tensión-reactiva.

### Red de Transporte: 400 y 220 kV

- Controlando los generadores para que aporten o consuman reactiva en el sistema, subiendo o bajando la tensión respectivamente (los generadores pueden típicamente generar/absorber el 75% / 30% de su potencia nominal).
- Actuando sobre las tomas de regulación de los transformadores de forma manual, subiendo ó bajando puntos al regulador en carga. La razón principal por la que se realiza manual se debe a que el control de tensiones debe venir acompañado de la optimización de flujos de reactiva y esto no se logra con el control automático en cada transformador.
- Conectando/desconectando condensadores o reactancias (valores típicos de 100-300Mvar).

- Abriendo circuitos en momentos valle, por la noche, que según Figura 2 se comportan como condensadores, para así poder bajar tensiones.

### Red de Reparto de 132kV

- Conectando/desconectando bancos de condensadores (valores típicos 15-20 Mvar). En general los condensadores se deben conectar, para elevar tensiones, antes de emplear la regulación de los transformadores. La razón se debe a lo ya comentado en el apartado anterior en lo referente a la autogestión del agua en cada tanque. Es decir, hay que evitar mover la reactiva hacia niveles de 132kV desde 400kV y 220kV cuando ya tenemos al condensador para inyectar dicha reactiva en el sistema.
- Actuando sobre las tomas de regulación de los transformadores de forma manual, subiendo o bajando puntos al regulador en carga. Estos reguladores son los que hacen posible el movimiento de agua (reactiva) entre tanques tal y como se muestra en Figura 1.

Esta red se explota generalmente mallada por lo que es imprescindible vigilar que el flujo de reactiva no se desplace hacia otros niveles de tensión superiores, para evitar flujos de reactiva incontrolados que

provocarían pérdidas adicionales en la red. Así mismo en situaciones de colapso de tensión en las redes de transporte (400 y 220kV) es preciso desconectar la regulación automática de los transformadores de distribución. En caso contrario se estaría demandando agua en 132kV de unos tanques casi vacíos en 400 y 220kV, agravando aún más esta situación.

### Redes de reparto de 66 y 45 kV

- Conectando/desconectando bancos de condensadores (valores típicos 5-15Mvar). El uso de estos bancos es análogo al que se hace en 132kV.
- Por medio de transformadores con regulación en carga. Esta regulación se realiza automáticamente de modo centralizado en los centros de control de distribución, aunque también se puede controlar de forma manual. En este caso la razón se debe a la cuantía de transformadores y los requisitos de calidad en las tensiones (margen del 7%) y la explotación en general radial para la red de distribución.

Si hay peligro de colapso de tensiones<sup>4</sup> en la red de transporte hay que desactivar el control automático de estos transformadores y pasar a control manual.

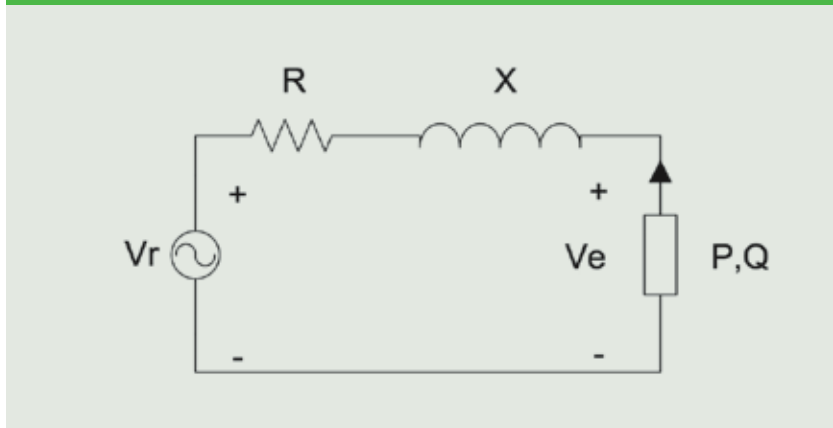
### Red de media tensión: 20 y 15 kV

- Conectando bancos de condensadores (valores típicos de 1-3 Mvar): los condensadores en estas redes se usan para corregir el factor de potencia y disminuir los flujos de reactiva en la red. Por esta razón estarán siempre conectados ya que se instalan en puntos en los que la demanda de reactiva es siempre superior a la generación del condensador.
- Por medio de transformadores con regulación en carga. Esta regulación se realiza automáticamente. El uso de los mismos es análogo al que se realiza en la red de 66 y 45kV.
- Con reguladores de tensión situados en las líneas de media tensión muy largas.



<sup>(4)</sup> El colapso de tensiones es un fenómeno por el cual se producen tensiones anormalmente bajas en las redes eléctricas poniendo en peligro la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico. Típicamente se producen cuando existe un déficit elevado de potencia reactiva en una zona o bien cuando hay que transportar grandes cantidades de energía a larga distancia desde los centros de producción a los centros de consumo.

Figura 3. Equivalente de la red en el punto de conexión de la GD



### Red de Baja Tensión: 400/230 V

- La regulación de tensión se hace en los propios centros de transformación (CT), típicamente en la salida de baja tensión (400V) con 5 tomas (margen del 2,5% ó 5%). Se caracterizan por disponer de regulación sin carga ni tensión.
- Condensadores: generalmente en instalación de cliente y se usan para la corrección del factor de potencia.

### Comportamiento de la carga frente al nivel de tensión

Un aspecto fundamental en la operativa es conocer la relación que existe entre el comportamiento de los consumos eléctricos (motores, iluminación, calefacción, refrigeración...) ante las variaciones de tensión. Con la práctica observada en los centros de control en las redes de distribución se podría estimar que:

- La carga de los transformadores que conectan las redes de transporte y reparto se comporta a potencia constante para la potencia activa. Respecto a la reactiva, subir tensión en el lado de baja del transformador conlleva el aumento de potencia reactiva que fluye por el transformador.

La razón del comportamiento de la carga a potencia constante para la activa se debe a que los transformadores situados en niveles de tensiones inferiores tienen un control de tensiones automatizado.

- La carga de los transformadores que conectan las redes de reparto

y media tensión se comporta a impedancia constante en general: bajar tensión conlleva reducir intensidad y viceversa. La razón se debe a que los CT's no tienen regulación en carga y el porcentaje de carga resistivo casi

siempre predomina sobre el inductivo-capacitivo.

### Influencia de la GD en control de tensión

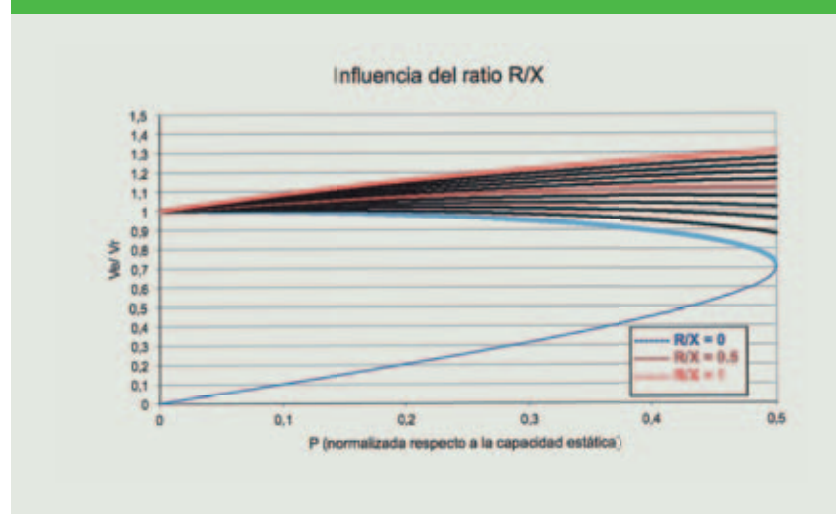
De cara al estudio de la influencia de un generador en el control de tensión en el punto de conexión se va tener en cuenta la Figura 3, en la que la red está representada a través de su equivalente Thevenin y el generador mediante una inyección de potencia P, Q. La relación entre la potencia activa y reactiva inyectada y la tensión en el punto de conexión está fuertemente condicionado por el parámetro  $k=(R/X)$  que relaciona la resistencia con la reactancia de un circuito tal y como se aprecia en la ecuación 1.

Esta relación tiende prácticamente a cero cuando hablamos de niveles de tensión muy altos y adquiere un

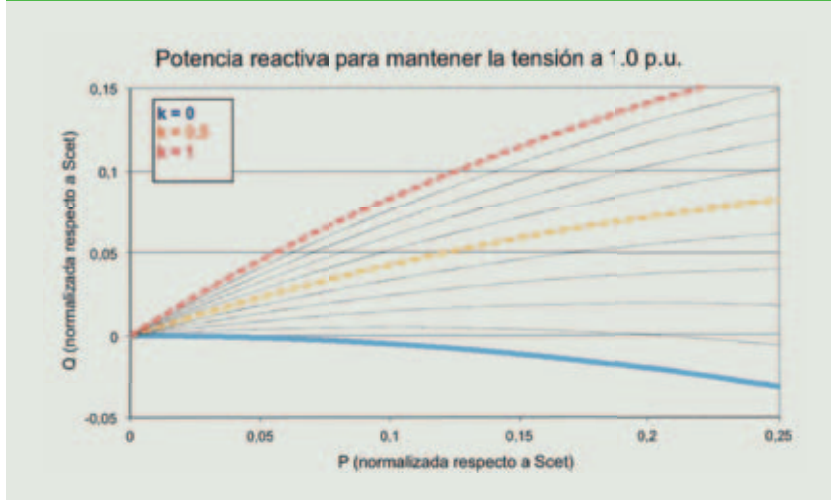
Tabla 3. Valores típicos del ratio R/X en función del nivel de tensión

Nivel de tensión	$k=R/X$	R ( $\Omega/km$ )	X ( $\Omega/km$ )
400 V	4.44	0.400	0.090
20 kV Subterráneo	2.29	0.270	0.118
20 kV Aéreo	1.065	0.426	0.400
66 kV	0.31	0.119	0.386
132 kV	0.175	0.072	0.410
220 kV	0.146	0.046	0.315
400 kV	0.097	0.027	0.277

Figura 4. Curvas PV para distintos valores del ratio R/X



**Figura 5. Potencia reactiva necesaria para mantener la tensión en el punto de conexión al valor nominal**



valor muy significativo para niveles de tensión de media tensión y baja tensión (Tabla 3).

$$V^2 = 0.5 + Q - kP \pm \sqrt{0.25 + Q - kP - (P - kQ)^2}$$

Ecuación 1

$$V_r = V_{r, CB} \quad V_r = V_{r, LB} \quad S_{CBT} = \frac{V^2}{X}$$

$$V = \frac{V_r}{V_r} \quad k = \frac{R}{X} \quad P = \frac{P_{MB}}{S_{CBT}} \quad Q = \frac{Q_{MVAR}}{S_{CBT}}$$

Teniendo presente la Ecuación 1 es posible realizar dos tipos de análisis:

- Variación de la tensión en el punto de conexión a red en función de la potencia activa inyectada cuando la reactiva es nula (Figura 4). Se puede comprobar la notable influencia del parámetro  $k=(R/X)$ . Para valores bajos del parámetro  $k$  la potencia activa no tiene prácticamente influencia en los perfiles de tensión (curva azul), mientras, conforme el parámetro  $k$  crece, el efecto de la potencia activa sobre las tensiones es muy determinante (curva roja). Dicho de otro modo, en media tensión y baja tensión la inyección de potencia activa por parte de la GD provoca aumentos de la tensión allí donde se conectan. Este efecto puede ser muy perjudicial en estos niveles de tensión, ya que las redes de media tensión y baja tensión se han diseñado bajo el esquema de flujos unidireccionales desde los puntos frontera con la red de transporte hacia los consumidores finales. De algún modo este efecto de la potencia activa en los niveles de tensión debe ser

compensado mediante la absorción de potencia reactiva para devolver los niveles de tensión a su condición de diseño en ausencia de GD, lo cual es analizado seguidamente.

- Potencia reactiva necesaria para mantener la tensión en el punto de conexión a red (Figura 5). Cuanto mayor es el parámetro mayor cantidad de potencia reactiva es necesario absorber para mantener la tensión en el punto de conexión a red. Nótese que en redes de media tensión ( $k$  alrededor de la unidad) la reactiva necesaria para compensar el efecto de la potencia activa es 2 a 1. En este sentido, la Figura 6 particulariza los ratios potencia aparente/potencia activa necesarios para mantener la tensión en el punto de conexión para valores típicos de longitud, ratio resistencia/reactancia ( $R/X$ ) del circuito y potencia de generación por nivel de tensión. De esta forma se pone claramente de manifiesto cómo la contribución de la GD al control de tensión en redes de media y baja tensión no es efectivo mediante la inyección/absorción de potencia reactiva. No obstante, para el resto de niveles de tensión sí puede contribuir a la regulación mediante tensión consignada en el punto en el que se encuentra conectada.

## Conclusiones

La presencia de generación distribuida en las redes de distribución modifica los flujos de energía por sus redes. Redes que venían teniendo un

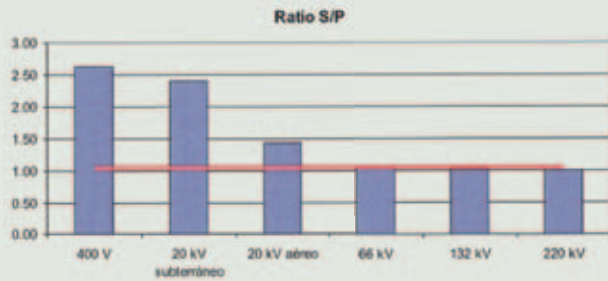
carácter pasivo, con unas condiciones de diseño y arquitectura de red bajo el supuesto de flujos unidireccionales desde los puntos frontera con la red de transporte hasta los consumidores finales. Así como la arquitectura de la red de transporte es homogénea en sus dos niveles de tensión, en este artículo se ha mostrado que la red de distribución comprende tres partes claramente diferenciadas atendiendo al modo en que se explota, su topología, el número de instalaciones y los clientes conectados (Tabla 2).

El cambio en los patrones de flujo energético, según condiciones de diseño y planificación de red, motivados por la presencia de la GD, implica que las soluciones implementadas durante el proceso de planificación de red no son suficientes y por tanto, deben venir acompañadas y complementadas por herramientas de gestión en la explotación que permita al gestor de red de distribución adaptarse en todo momento a las situaciones cambiantes en la red, maximizando la seguridad de suministro y la calidad de servicio.

En lo que respecta al control de tensión en las redes de distribución con GD, la conexión de tecnologías de carácter distribuido conlleva un aumento de la tensión en todos los niveles de tensión de la red de distribución (Figura 4). Dicho aumento se debe a la inyección de potencia activa y reactiva en la red siendo mucho más importante el efecto de la potencia activa en las tensiones, muy especialmente en las redes de media y baja tensión. Dado que la potencia activa



**Figura 6. Cociente necesario entre la S y la P para mantener la tensión al valor nominal. Aportación por tecnología de GD**



Nivel de tensión	Tecnología de GD	Regulación factor potencia	Regulación de tensión
400	Fotovoltaica Micro cogeneración	✓	✗
20 kV subterráneo	Fotovoltaica Cogeneración Mini eólica	✓	✗
20 kV aéreo	Fotovoltaica Cogeneración Mini eólica	✓	✓
66 kV	Fotovoltaica Cogeneración Mini eólica	✓	✓
132 kV	Cogeneración Eólica	✓	✓
220 kV	Cogeneración Eólica	✓	✓

no es una variable de control en el control tensión-reactiva, aunque si influye directamente en él, en la Figura 5 y Figura 6 se observa cómo el efecto de la potencia activa en las tensiones no puede ser compensado con la absorción/generación de reactiva, ya que implicaría unos sobrecostes en tecnologías de compensación de reactiva, que tal y como se muestra en la Figura 6 llega a ser de más del doble de la potencia instalada de GD cuando ésta se conecta en redes de media y baja tensión. Así mismo este efecto no puede ser compensado mediante los equipos de control y compensación de los gestores de las redes de distribución en estas redes, donde el control de tensión se basa en condiciones de diseño durante el proceso de planificación (carácter pasivo).

Para que los gestores de la red de distribución puedan convertir su gestión de red en una gestión más activa es fundamental incentivar a la empresa de distribución para realizar inversiones que le permitan garantizar la cali-

dad de suministro eléctrico y permitir la conexión de nueva GD. Estas inversiones serían por ejemplo la instalación de compensación pasiva (reactancias y condensadores), la instalación de cambiadores de tomas en transformadores, la instalación de un sistema de control de tensión centralizado, etc. La regulación debe dotar de mecanismos para que estas nuevas inversiones se recuperen. Actualmente el mecanismo de remuneración a las inversiones de la distribución sólo contempla el impacto en los índices de calidad de suministro (TIEPI-NIEPI). Por su parte, el cumplimiento de la calidad de la tensión viene impuesto por la normativa técnica EN50160. En conclusión, actualmente no existe un mecanismo específico que permita la recuperación de estas inversiones. Por tanto, se deberían diseñar incentivos específicos que reconozcan el beneficio de estas actuaciones (calidad del servicio y además permiten la integración de un mayor volumen de generación renovable).

Asimismo es preciso y urgente habilitar a los gestores de las redes de distribución como gestores del sistema de distribución, de modo que puedan gestionar la GD embebida en su red para maximizar la calidad y seguridad del suministro, logrando así una integración eficiente de la GD.

En el próximo artículo se profundizará en los aspectos regulatorios de control tensión reactiva y la influencia de la GD en el control tensión-reactiva mediante análisis de distintos casos de estudio de redes reales de distribución.

## Agradecimientos

El trabajo y las conclusiones que se han expuesto en el presente artículo son fruto de los trabajos realizados en los proyectos Redes 2025 (desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas para la RED eléctrica española del 2025, PSS-120000-2009-29), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y PRICE (proyecto conjunto de redes inteligentes en el corredor de Henares. Gestión de la generación distribuida, IPT-2011-1501-920000). ■

## Bibliografía

- [1] AICIA, "Análisis de la contribución efectiva de la generación distribuida al control de tensiones", PSE-REDES 2025 (PSS-120000-2009-29), entregable PT4/2, junio 2010.
- [2] LABEIN/ZIV, "Tecnologías de control tensión-reactiva", PSE-REDES 2025, entregable PT4/3, junio 2010.
- [3] P. Frías, "Modelo regulatorio del control de tensiones en los sistemas eléctricos de potencia". Tesis doctoral presentada en la Universidad Pontificia Comillas. Madrid, 2008
- [4] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, RD1565/2010 de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- [5] D. Trebolle, "La generación distribuida en España". Tesis del Máster "Gestión técnica y económica del sector eléctrico español", Universidad Pontificia Comillas 2005.
- [6] T. Gómez, P. Frías y R. Cossent, "Las redes eléctricas inteligentes", editado por la Fundación Gas Natural Fenosa, 2012.