

## 5. Topologías

A lo largo del tiempo se han ido desarrollando nuevas topologías para poder conseguir mejores prestaciones en los convertidores de potencia. Atendiendo a diferentes criterios se pueden hacer diferentes clasificaciones.

Dependiendo del número de terminales externos disponibles podemos hablar de convertidores monofásicos, trifásicos, trifásico más neutro (cuatro hilos), etc.

Según el número de tensiones que se pueden conseguir a la salida del convertidor podemos hablar de convertidores de 2 niveles, 3 niveles, etc.

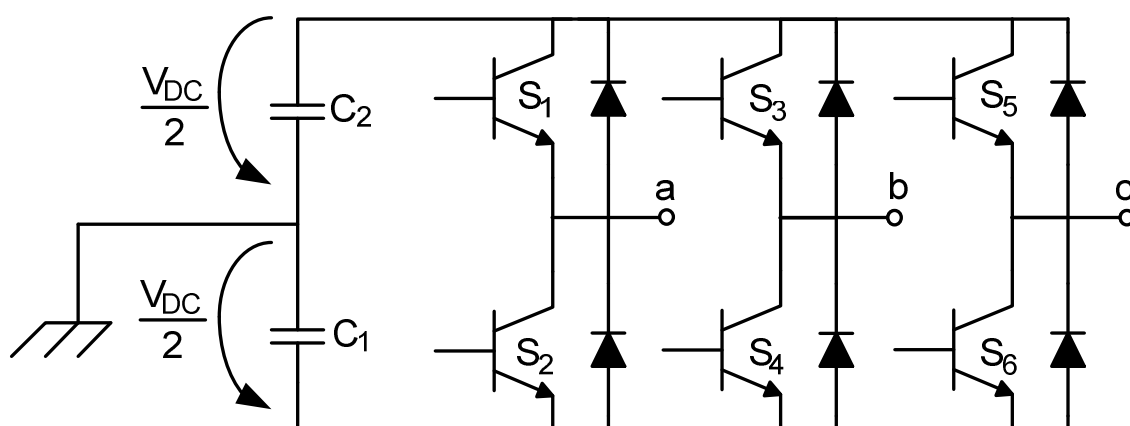


Figura 3 Convertidor trifásico de dos niveles.

En la Figura 3 se encuentra representada la estructura del convertidor más simple que existe. Con este convertidor se pueden conseguir dos niveles de tensión a la salida de cada fase sin más que activar uno de los interruptores mientras se deja el otro desconectado. Lógicamente no se pueden conectar los dos interruptores de una misma rama de forma simultánea ya que se produciría un cortocircuito en el DC-Link.

S1	S2	V <sub>OUT</sub>
On	Off	V <sub>DC</sub> /2
Off	On	- V <sub>DC</sub> /2

Tabla 1 Opciones de conmutación de un convertidor trifásico de dos niveles.

Existen diferentes formas de conseguir más de dos niveles de tensión a la salida. En el caso de añadir más interruptores a cada rama para poder disponer de más combinaciones posibles es necesario utilizar alguna estrategia para conseguir que

cuando los interruptores estén abiertos la caída de tensión en cada uno sea simétrica dentro de la misma rama. Según la técnica que se utilice para conseguir simetría en las tensiones de los interruptores se puede hablar de convertidores *Diode-Clamped* o *Flying Capacitor*. Con ambas técnicas se pueden conseguir topologías multinivel.

Existe otra estrategia para conseguir más niveles como la conexión en cascada de dos (o más) convertidores de otras topologías ya conocidas.

Otra variante conocida como estructuras híbridas consiste en combinar de forma simultánea varias de las técnicas comentadas previamente.

Un repaso muy completo de las distintas topologías conocidas de convertidores multinivel para aplicaciones de media tensión puede encontrarse en [3].

A continuación se muestran algunas para ilustrar la evolución que han experimentado.

### 5.1 Convertidores con topología Diode-Clamped (DCC)

Tal y como se ha comentado previamente, partiendo del convertidor de la Figura 3 se puede conseguir un nivel adicional sin más que añadir dos transistores adicionales en cada rama más una pareja de diodos para que pueda circular la corriente.

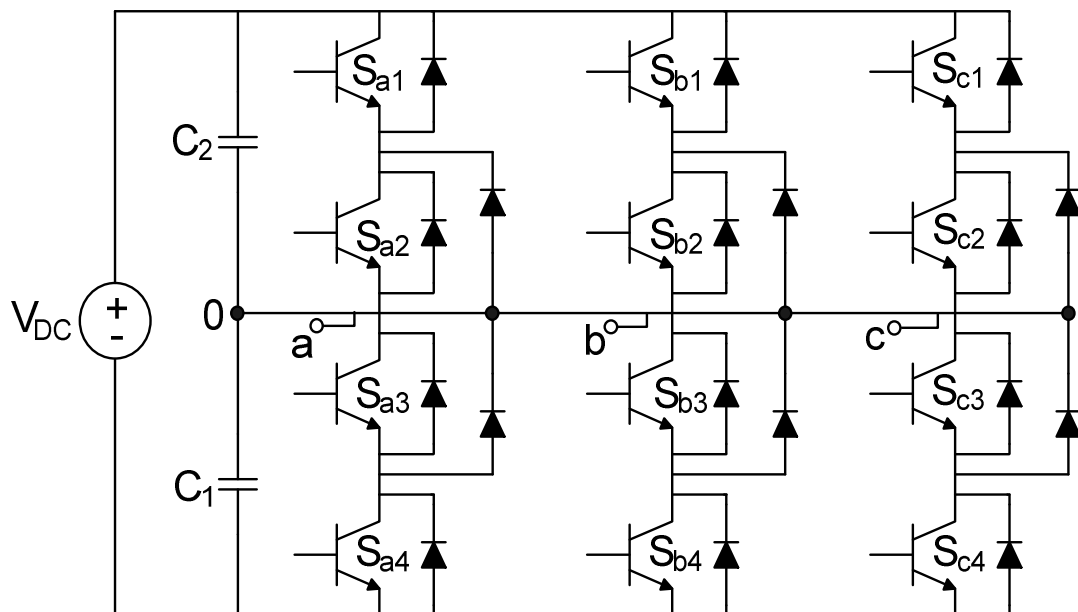


Figura 4 Convertidor trifásico de tres niveles Diode-Clamped.

Al cerrar los transistores S2 y S3 y dejar abiertos los otros dos, se consigue conectar cada fase con tierra. Esto proporciona un nivel adicional a costa de añadir

semiconductores a la topología. También es necesario detallar que a igualdad de transistores se puede duplicar la tensión del DC-Link y conseguir así un convertidor del doble de potencia.

S1	S2	S3	S4	V <sub>OUT</sub>
On	On	Off	Off	V <sub>DC</sub> /2
Off	On	On	Off	0
Off	Off	On	On	- V <sub>DC</sub> /2

**Tabla 2 Posibles combinaciones de los interruptores de un convertidor trinivel Diode-Clamped.**

Añadiendo más transistores a cada rama se pueden conseguir más niveles de tensión a la salida del convertidor. De esta forma, en la Figura 5 aparece detallada la topología de un convertidor monofásico de cinco niveles Diode-Clamped.

Las combinaciones de los interruptores que permiten conseguir los distintos niveles de tensión a la salida del convertidor aparecen representadas en la Figura 5. Las posibles combinaciones que no están incluidas en dicha tabla no son válidas ya que producirían algún cortocircuito en el DC-Link o dejan la salida flotando.

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	V <sub>OUT</sub>
On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	V <sub>DC</sub> /2
Off	On	On	On	On	Off	Off	Off	V <sub>DC</sub> /4
Off	Off	On	On	On	On	Off	Off	0
Off	Off	Off	On	On	On	On	Off	- V <sub>DC</sub> /4
Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	- V <sub>DC</sub> /2

**Tabla 3 Posibles combinaciones válidas de un convertidor Diode-Clamped de 5 niveles.**

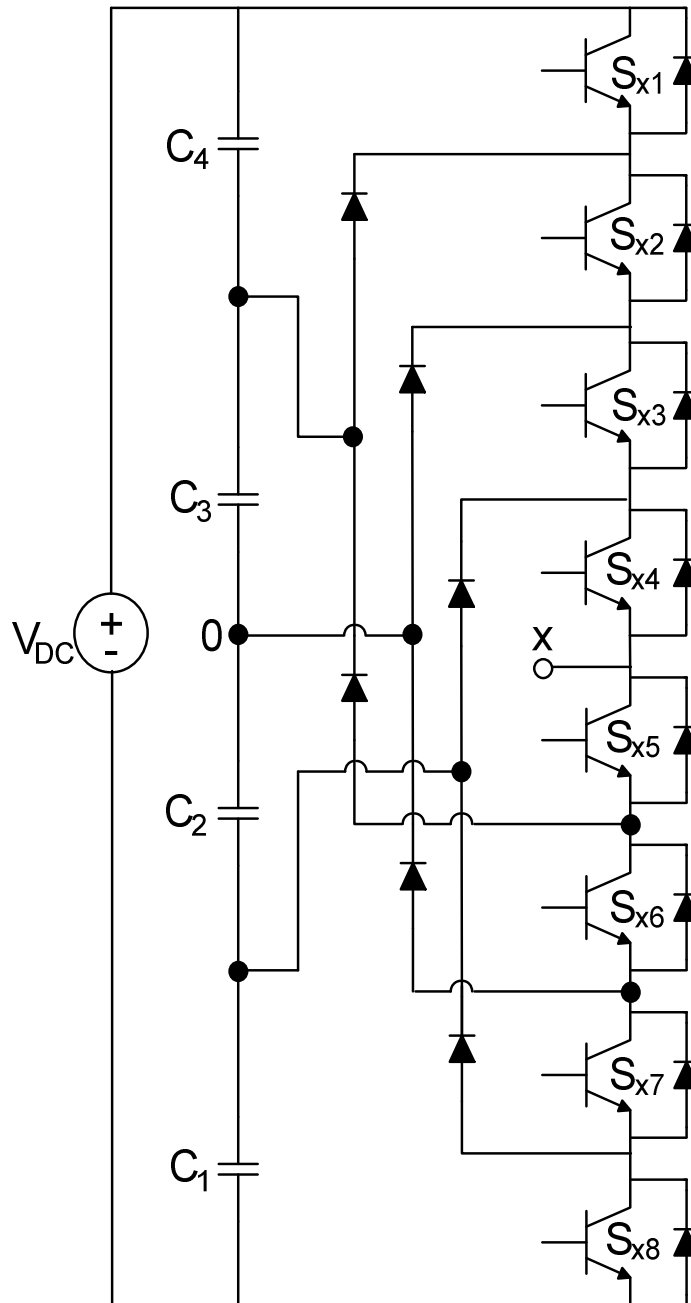


Figura 5 Convertidor de cinco niveles Diode-Clamped.

En general, en todas las topologías Diode-Clamped de  $N$  niveles, todas las posibles combinaciones de los interruptores están formadas por  $N-1$  transistores adyacentes conectados.

## 5.2 Ventajas y desventajas de la topología Diode-Clamped

Las principales ventajas de esta topología son las siguientes:

- El número de condensadores es más bajo que en otras topologías como la Flying Capacitor. Esto es muy importante debido al alto coste de estos elementos.

- Esta topología no necesita transformador.
- Únicamente hay un bus DC-Link.
- El cambio entre estados adyacentes se consigue con el cambio de dos únicos transistores.

Las principales desventajas son las siguientes:

- Las posibilidades para poder balancear las tensiones de los condensadores del DC-Link están limitadas. Es más fácil conseguirlo en otras topologías como la Flying Capacitor.
- Los principales fabricantes no disponen del convertidor por completo y es necesario montarlo por partes.

### **5.3 Convertidores con topología Flying Capacitor (FCC)**

En esta topología se utilizan condensadores en vez de diodos para conseguir el reparto de las tensiones entre los distintos interruptores cuando no están encendidos.

En la Figura 6 aparece representado un convertidor trifásico de tres niveles con topología Flying Capacitor. Al igual que en el caso DCC, se añaden dos interruptores en cada rama pero ahora se utilizan condensadores en vez de diodos para conseguir el nivel extra. Existen dos combinaciones para poner a cero cada fase tal y como aparece representado en la Tabla 4. Esta redundancia en las posibles combinaciones para poner la salida a tensión cero se puede utilizar para mantener el balanceo en los condensadores.

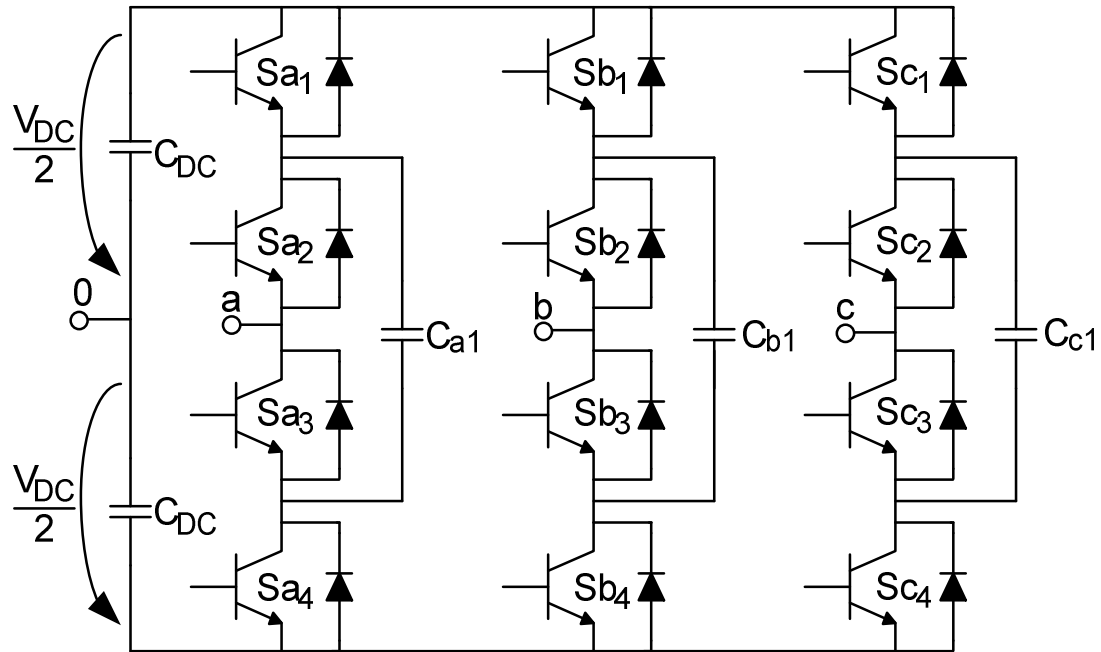
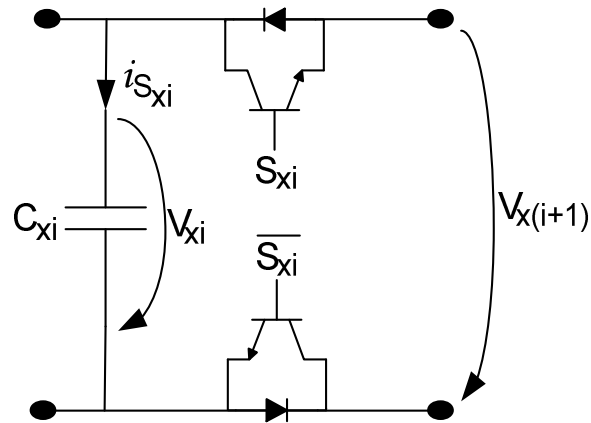


Figura 6 Convertidor trifásico de tres niveles con topología Flying Capacitor.

S1	S2	S3	S4	V <sub>OUT</sub>
On	On	Off	Off	$V_{DC}/2$
On	Off	On	Off	0
Off	On	Off	On	0
Off	Off	On	On	$-V_{DC}/2$

Tabla 4 Posibles combinaciones de los semiconductores de un convertidor trinivel Flying Capacitor.

Los convertidores FCC se pueden representar de una forma más compacta como una combinación de diferentes celdas básicas.



**Figura 7 Celda básica de un convertidor FCC.**

Los convertidores con topología Flying Capacitor también se pueden extender a más niveles. En la Figura 8 aparece representado un convertidor de cinco niveles.

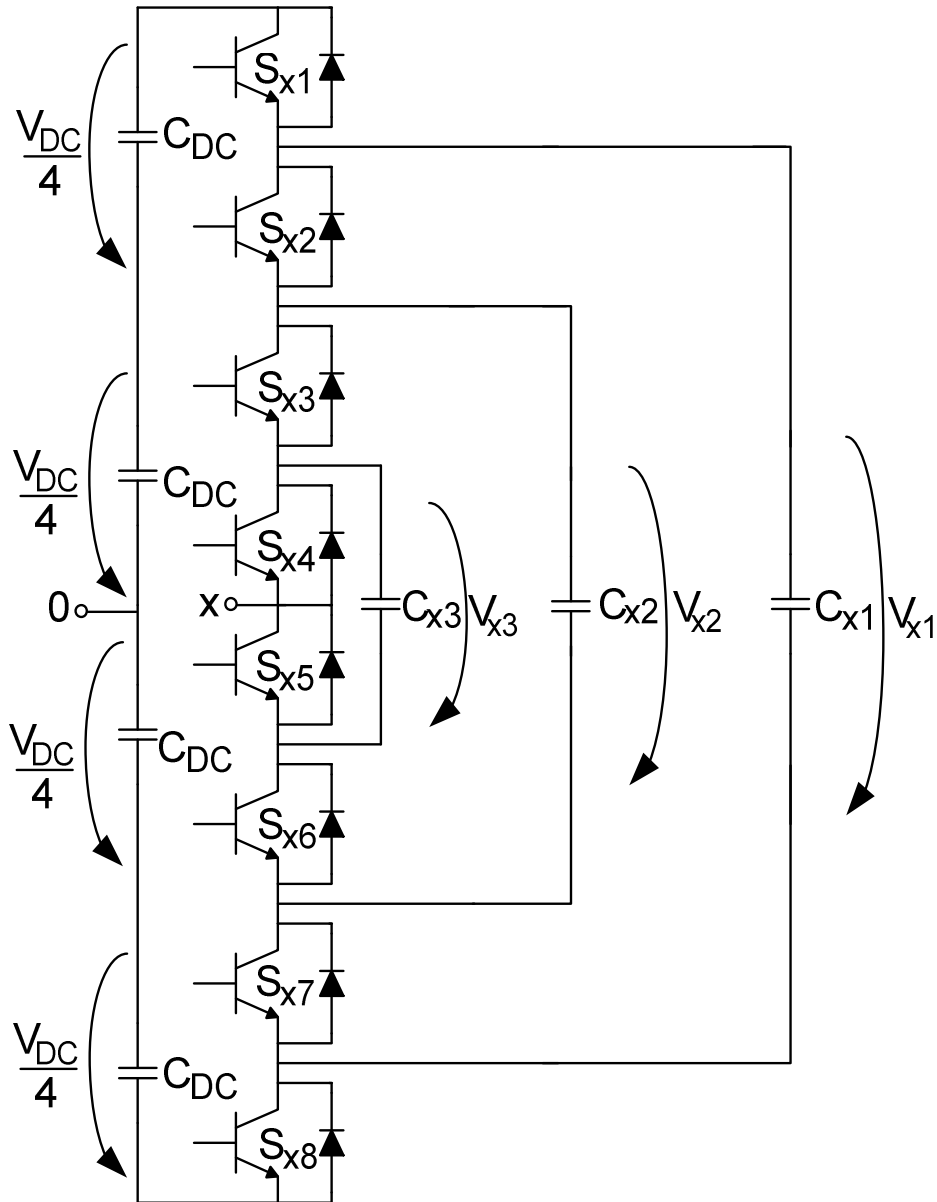


Figura 8 Topología de un convertidor de cinco niveles FCC.

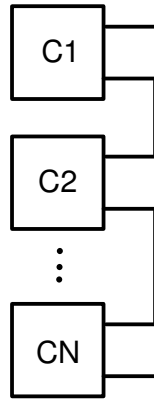
Existen dos técnicas a la hora de distribuir los niveles de tensión en los condensadores. Según se utilice una técnica u otra se obtienen niveles distintos a la salida para una determinada combinación en los semiconductores.

En esta topología se puede aprovechar de nuevo la redundancia para conseguir el equilibrado de los condensadores.

## 5.4 Convertidores en cascada

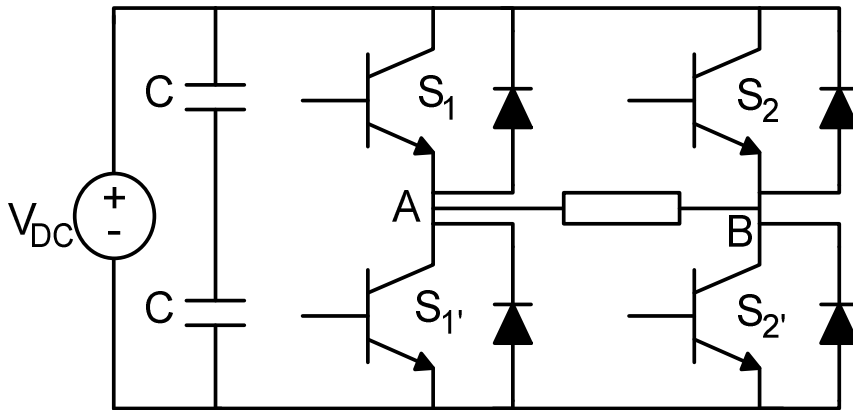
La idea consiste en conectar en cascada dos o más convertidores simples para conseguir un convertidor más complejo.





**Figura 9 Estructura genérica en cascada de un convertidor monofásico.**

La celda básica de un convertidor en cascada aparece representada en la Figura 10. En la Tabla 5 se indican las posibles combinaciones válidas de los semiconductores. Se puede apreciar que existe un estado redundante que permite equilibrar las tensiones de los condensadores del DC-Link.

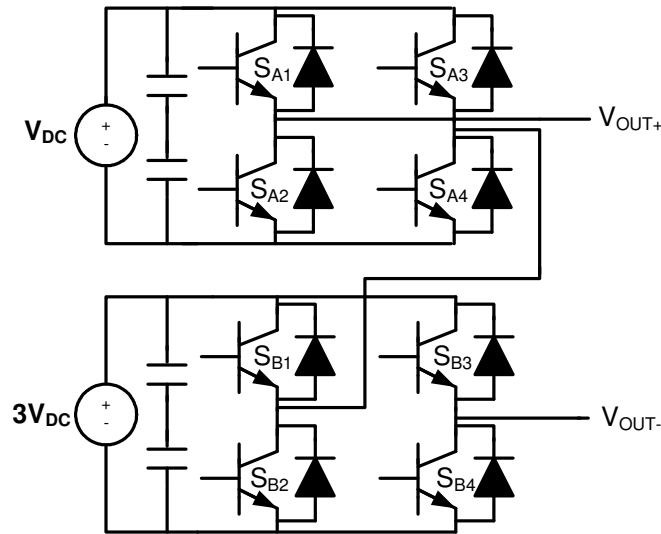


**Figura 10 Celda básica de un convertidor en cascada.**

S1	S1'	S2	S2'	$V_{AB}$
On	Off	On	Off	0
On	Off	Off	On	$V_{DC}$
Off	On	On	Off	$-V_{DC}$
Off	On	Off	On	0

**Tabla 5 Posibles tensiones a la salida según las combinaciones válidas en los semiconductores de la celda básica del convertidor en cascada.**

Combinando dos celdas básicas trifásicas y haciendo que el nivel de tensión en el DC-Link de una de las celdas sea el triple que el de la otra se pueden conseguir nueve niveles a la salida. En la Figura 11 aparece representado dicho convertidor.



**Figura 11 Convertidor monofásico en cascada de nueve niveles.**

Dependiendo de la relación entre las dos fuentes de tensión se pueden conseguir más o menos niveles a la salida del convertidor. En la Tabla 6 aparecen representadas las distintas combinaciones válidas para los semiconductores y los distintos niveles que aparecen a la salida con cada una de ellas en función de las tensiones genéricas de cada celda  $V_A$  y  $V_B$ . Cuando se particulariza con  $V_B=3V_A$  se obtienen los nueve niveles simétricos que aparecen en la última columna.

Dependiendo de la relación entre las tensiones de los DC-Link se pueden obtener más o menos niveles posibles a la salida. En la tabla Tabla 7 están representados todos los casos posibles considerando  $V_B$  mayor o igual que  $V_A$ .

S <sub>A1</sub>	S <sub>A2</sub>	S <sub>A3</sub>	S <sub>A4</sub>	S <sub>B1</sub>	S <sub>B2</sub>	S <sub>B3</sub>	S <sub>B4</sub>	V <sub>OUT</sub>	
								General	V <sub>B</sub> =3V <sub>A</sub>
On	Off	On	Off	On	Off	On	Off	0	0
On	Off	On	Off	On	Off	Off	On	V <sub>B</sub>	3V <sub>DC</sub>
On	Off	On	Off	Off	On	On	Off	-V <sub>B</sub>	-3V <sub>DC</sub>
On	Off	On	Off	Off	On	Off	On	0	0
On	Off	Off	On	On	Off	On	Off	V <sub>A</sub>	V <sub>DC</sub>
On	Off	Off	On	On	Off	Off	On	V <sub>B</sub> +V <sub>A</sub>	4V <sub>DC</sub>
On	Off	Off	On	Off	On	On	Off	V <sub>A</sub> -V <sub>B</sub>	-2V <sub>DC</sub>
On	Off	Off	On	Off	On	Off	On	V <sub>A</sub>	V <sub>DC</sub>
Off	On	On	Off	On	Off	On	Off	-V <sub>A</sub>	-V <sub>DC</sub>
Off	On	On	Off	On	Off	Off	On	V <sub>B</sub> -V <sub>A</sub>	2V <sub>DC</sub>
Off	On	On	Off	Off	On	On	Off	-V <sub>A</sub> -V <sub>B</sub>	-4V <sub>DC</sub>
Off	On	On	Off	Off	On	Off	On	-V <sub>A</sub>	-V <sub>DC</sub>
Off	On	Off	On	On	Off	On	Off	0	0
Off	On	Off	On	On	Off	Off	On	V <sub>B</sub>	3V <sub>DC</sub>
Off	On	Off	On	Off	On	On	Off	-V <sub>B</sub>	-3V <sub>DC</sub>
Off	On	Off	On	Off	On	Off	On	0	0

**Tabla 6 Combinaciones válidas de los semiconductores y tensiones generadas a la salida del convertidor en cascada de nueve niveles.**

La relación más interesante entre las dos tensiones es  $V_B=3V_A$  ya que consigue nueve niveles simétricos a la salida de forma que el salto entre dos niveles consecutivos cualesquiera es siempre constante.

$V_B = F(V_A)$	NIVELES	SIMETRICOS
$V_B = V_A$	5	Sí
$V_A < V_B < 2V_A$	9	No
$V_B = 2V_A$	7	Sí
$2V_A < V_B < 3V_A$	9	No
$V_B = 3V_A$	9	Sí
$V_B > 3V_A$	9	No

**Tabla 7** Número de niveles del convertidor según sea la relación entre las tensiones de los DC-Link.

Por último, las estructuras híbridas consisten en combinar varias de las estructuras descritas previamente.