

## VARIADORES DE FRECUENCIA

Los motores asíncronos trifásicos experimentan una velocidad de rotación dada por la siguiente expresión matemática.

$$n = 60 \times f / PP \times (1-S)$$

Donde cada letra simboliza lo siguiente

n: Velocidad de rotación , f: Frecuencia , PP: Cantidad de pares de polos , S: Resbalamiento

Por ende, vemos que, para variar la velocidad de rotación del motor, podemos variar cualquiera de los 3 parámetros f, PP y S.

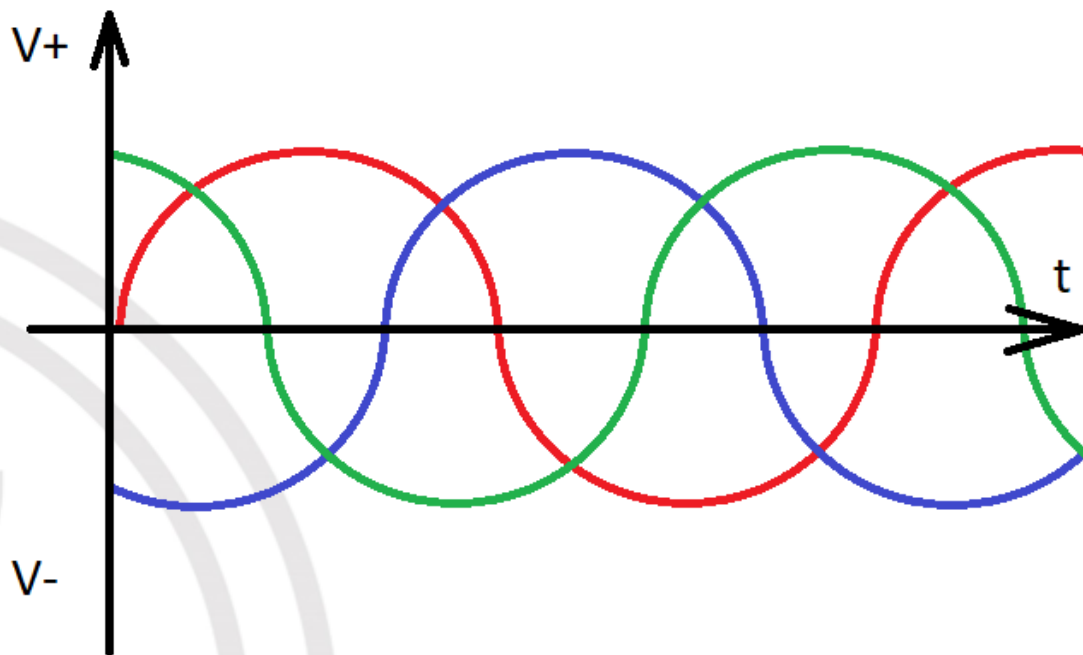
S hace referencia a la diferencia de velocidad entre el giro del rotor y el giro del campo magnético. Es una característica constructiva del motor que se debe principalmente a la imposibilidad del rotor de girar exactamente a la misma velocidad que el estator (si por ejemplo la velocidad de un motor está establecida en 1500rpm, muy posiblemente gire a 1450rpm debido a rozamientos internos entre otras cosas). El valor S es difícil de variar en la práctica.

PP hace referencia a la cantidad de pares de polos del conexionado de las bobinas. Es una característica constructiva del cableado eléctrico. La variación de este parámetro es discreta. Para 1 par de polos se tiene una velocidad definida, para 2 pares de polos es la mitad de la velocidad, para 4 pares de polos es un cuarto y así. En la práctica no se pueden obtener otros valores de velocidad que no sean estos saltos aumentando o disminuyendo el número de pares de polos así que tampoco es una forma práctica de variar la velocidad del motor.

f es la frecuencia proveniente de la alimentación de la red trifásica. En nuestro país es un valor fijo de 50 hertz. Con el uso del variador de frecuencia, este parámetro se puede cambiar y obtener cualquier otro valor deseado, obteniendo la velocidad de giro requerida. Veamos cómo se logra esto.

## RECTIFICAR LA ALIMENTACIÓN TRIFÁSICA

El primer paso es **rectificar** la alimentación trifásica. Cada una de las 3 fases de la alimentación del motor describe una curva **sinusoidal** como se ve a continuación:



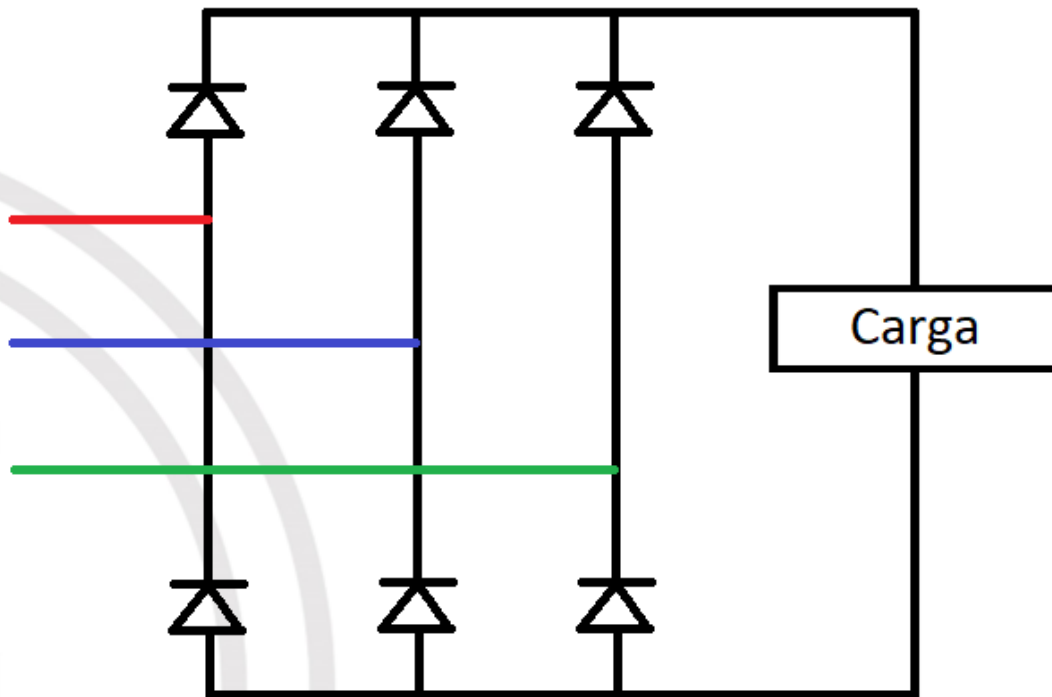
Para cada curva (roja, azul y verde), cuando está del lado del valor positivo de tensión representa que la corriente avanza por esa fase, y cuando está del lado negativo representa que la corriente vuelve por esa fase. Utilizando diodos (2 por cada fase, 6 en total) podemos controlar en qué momentos la corriente puede pasar y en cuales no, según el diodo esté conectado de manera directa o de manera inversa al sentido de avance de la corriente. Como la corriente es alterna, ella misma irá avanzando o no según se encuentre con los diodos de manera directa o en inversa. Podemos dividir los casos más representativos de la siguiente manera.



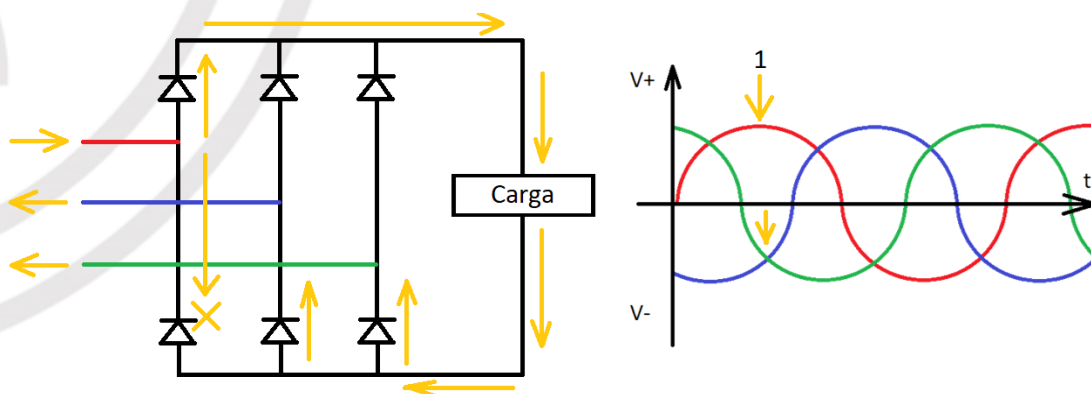
*Diodo en directa respecto a la circulación de corriente. Deja pasar la corriente.*



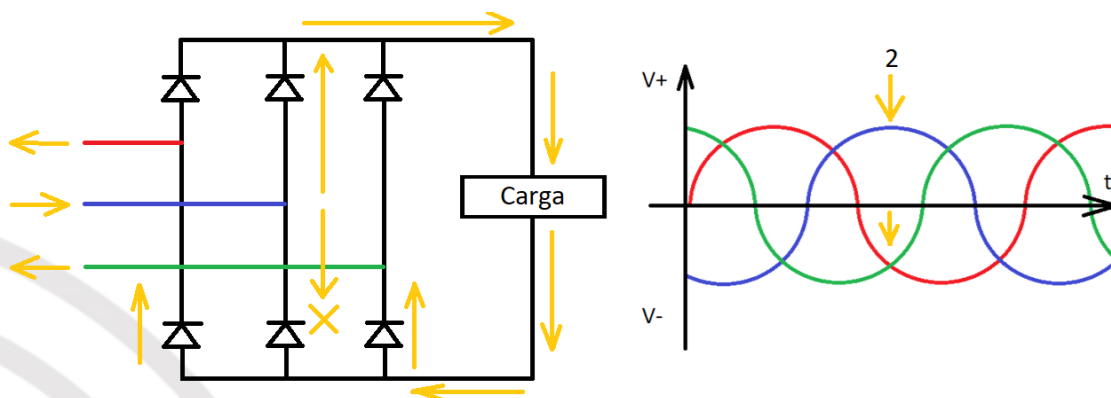
*Diodo en inversa respecto a la circulación de corriente. No deja pasar la corriente.*



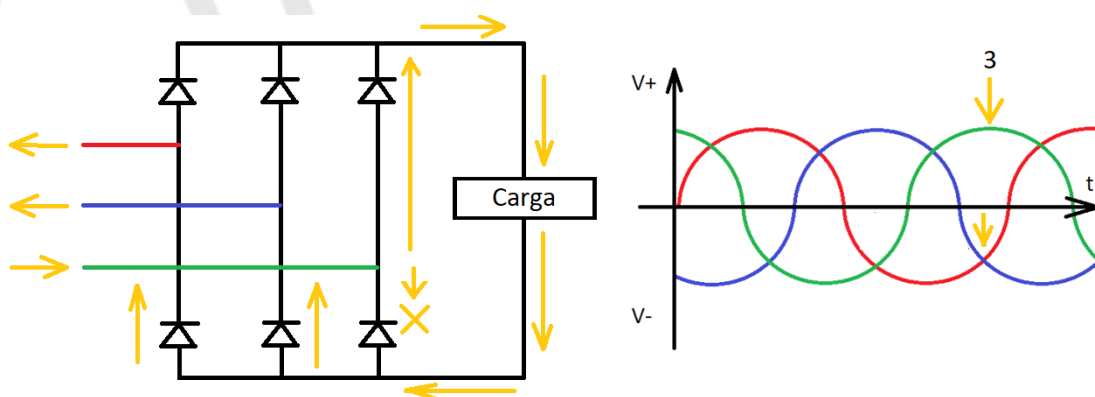
*Disposición de los 6 diodos para rectificar la corriente trifásica*



*Situación 1, la fase roja entrega la corriente*

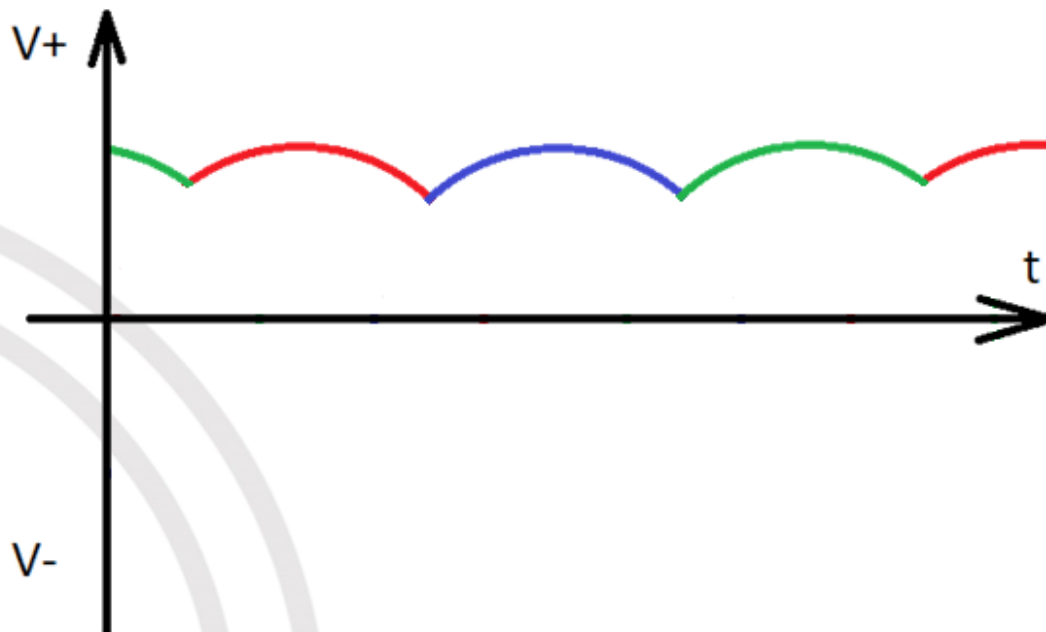


*Situación 2, la fase azul entrega la corriente*



*Situación 3, la fase verde entrega la corriente*

En cada caso, una fase suministra corriente, la cual vuelve por las otras. Los diodos impiden que la corriente avance por cualquier camino, definiendo aquel por el cual puede avanzar. Con esta disposición, la salida de los diodos (donde vemos conectada una carga cualquiera) siempre ve la misma circulación de corriente (en este caso de arriba hacia abajo). Por ende, la corriente que circula por la carga es siempre del mismo sentido, aún cuando las fases que alimentan cambian de sentido. El resultado se ve en el siguiente gráfico.

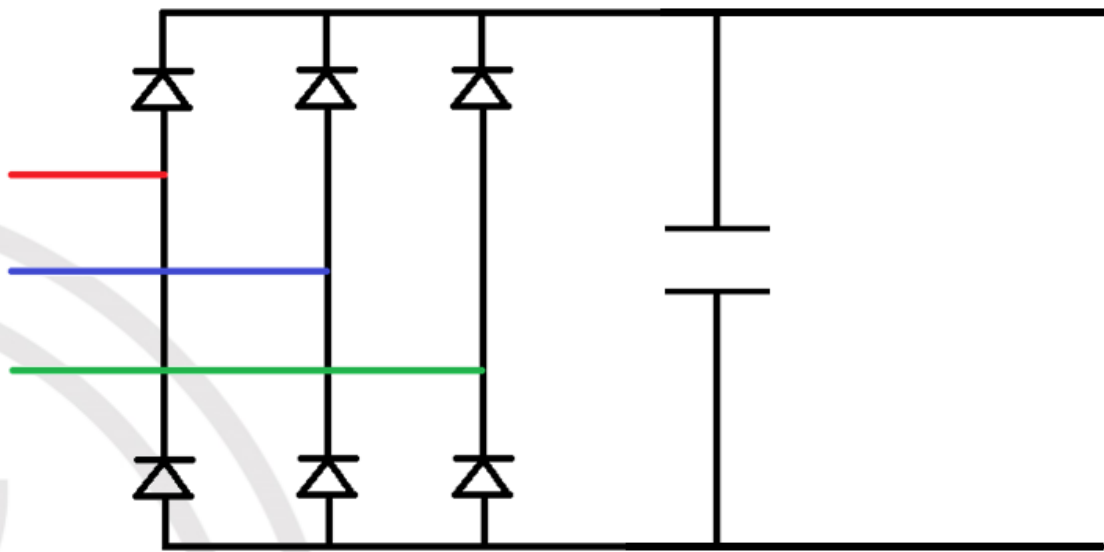


*Tensión que se manifiesta en la carga. Siempre en el mismo lado positivo debido a que los diodos obligan a fluir a la corriente siempre en la misma dirección*

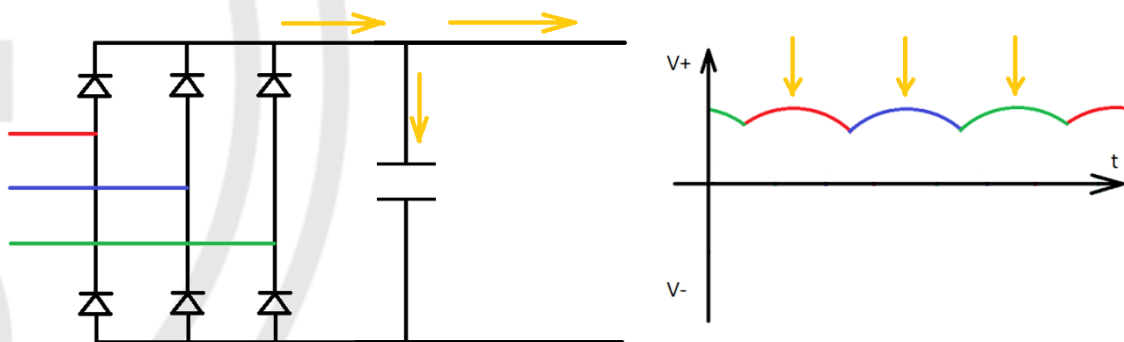
Con los 6 diodos logramos que la corriente de alimentación que experimenta sentidos positivos y negativos (alterna) se transforme en una corriente de alimentación con solo picos positivos (rectificada).

#### SUAVIZAR LA ONDA RECTIFICADA

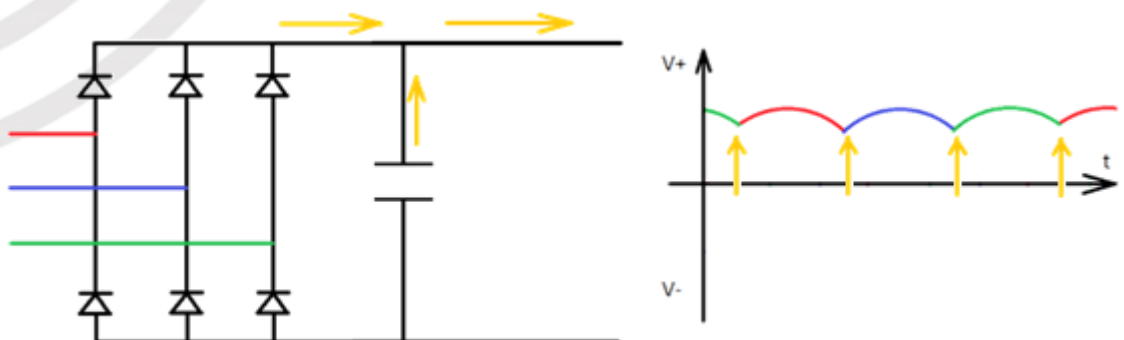
Una vez obtenida la **onda rectificada**, el siguiente paso es suavizarla hasta hacerla casi constante, como se comportaría una **corriente continua**. Para esto se ubica en el lugar de la carga un **banco de capacitores**. En los picos de tensión, estos elementos toman energía y en los valles de tensión liberan energía, haciendo que la fluctuación se suavice y la onda se asemeje a una línea constante.



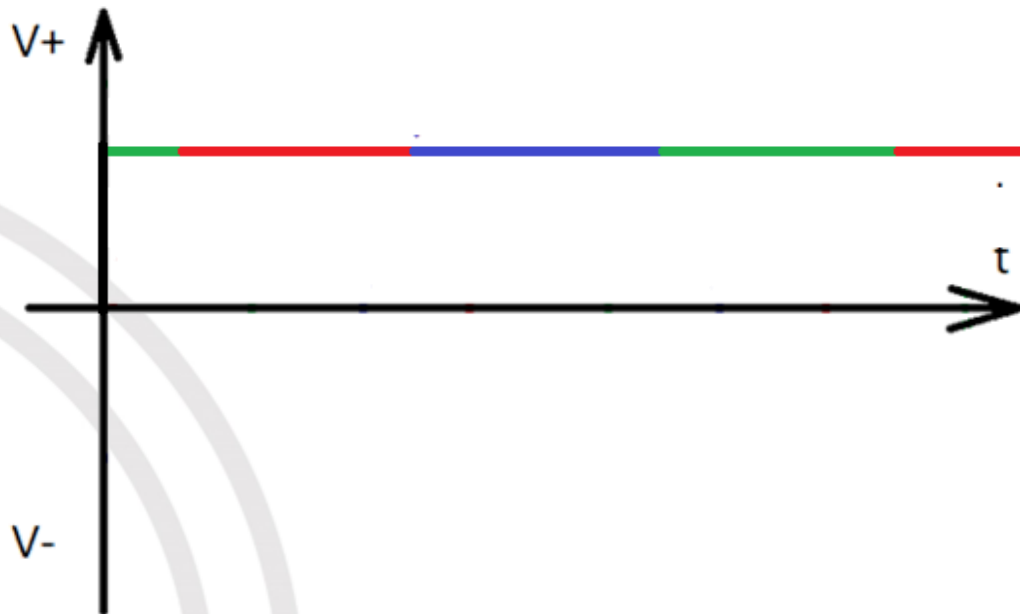
*Capacitores ubicados para recibir y descargar corriente*



*En los picos, los capacitores se cargan*



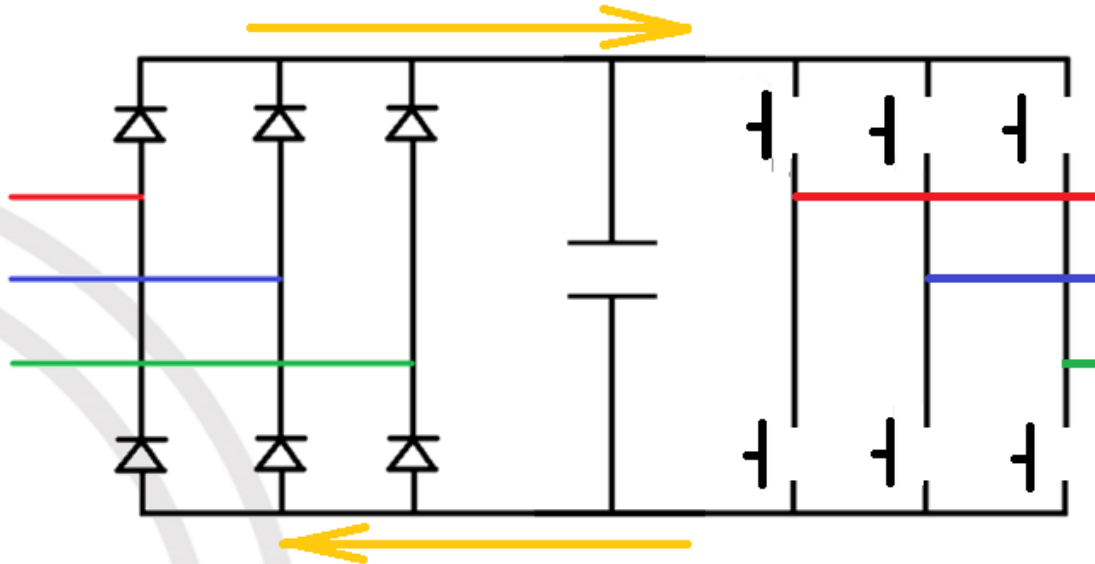
*En los valles, los capacitores se descargan*



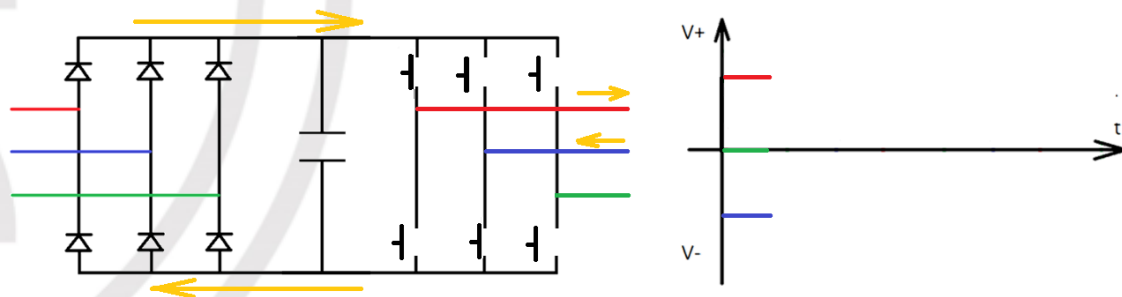
*Los capacitores toman corriente y hacen bajar la tensión en los picos, mientras que descargan corriente y elevan los valles, provocando una onda prácticamente de corriente continua*

#### INVERSIÓN DE LA ONDA PARA VOLVER A OBTENER TRIFÁSICA ALTERNA

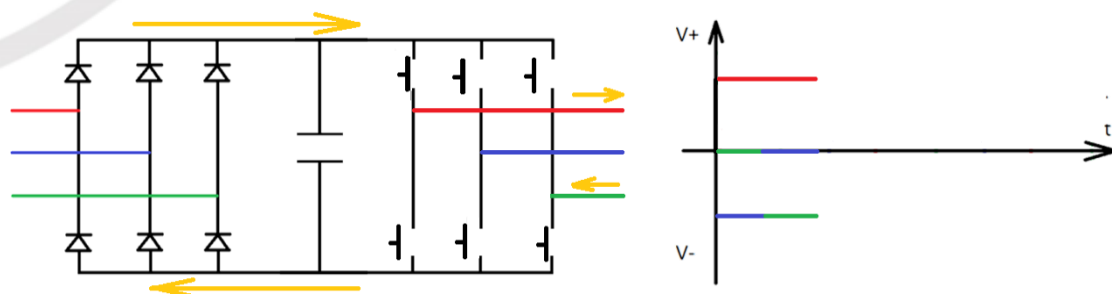
Con la alimentación de la onda lo más constante posible, la misma vuelve a transformarse en corriente trifásica alterna con un proceso inverso al descrito anteriormente de los diodos. En este caso se utilizan **transistores denominados IGBT** que, mediante controladores electrónicos, permiten o impiden el paso de la corriente abriendo y cerrando circuitos. Nuevamente por cada fase que se quiera obtener se colocan 2 controladores IGBT que van a cerrarse y abrirse enviando pulsos e invirtiendo los pulsos. Esto se resume en las siguientes imágenes.



*Representamos los IGBT como simples pulsadores para simplificar la imagen*

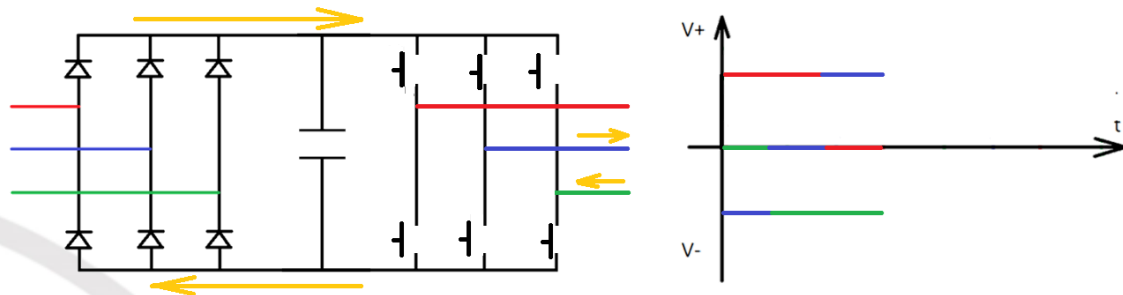


*Situación 1, la fase roja entrega corriente, la azul devuelve la corriente*

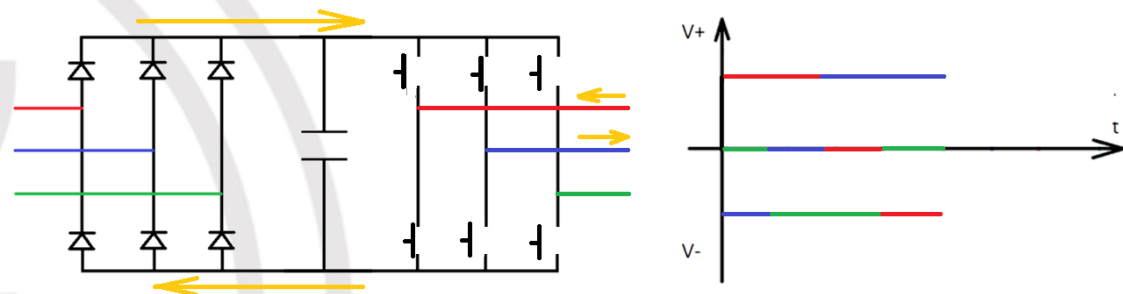


*Situación 2, la fase roja entrega corriente, la verde devuelve la corriente*

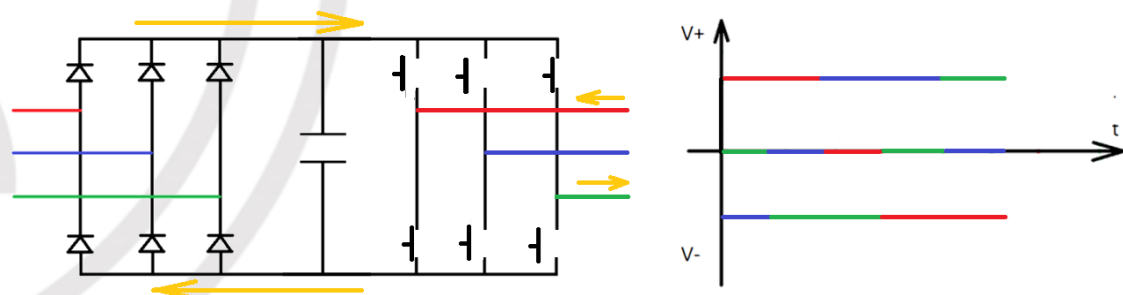




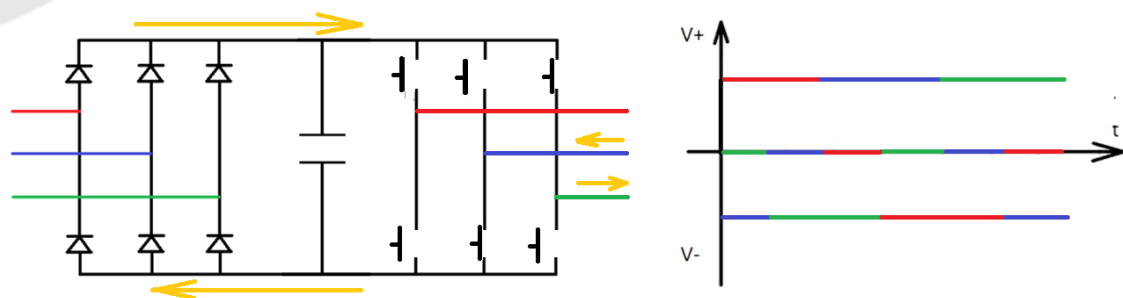
*Situación 3, la fase azul entrega corriente, la verde devuelve la corriente*



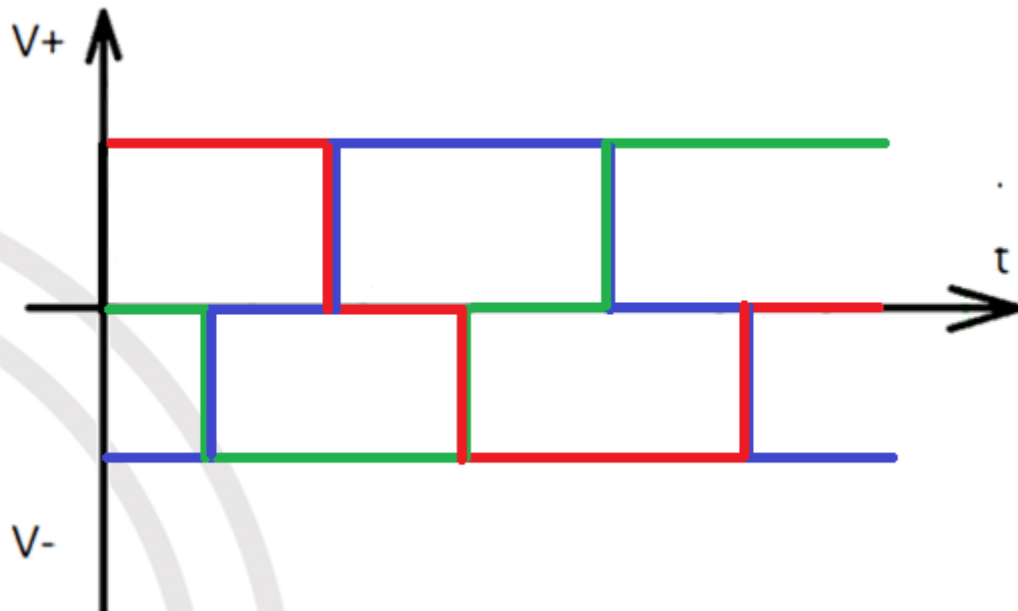
*Situación 4, la fase azul entrega corriente, la roja devuelve la corriente*



*Situación 5, la fase verde entrega corriente, la roja devuelve la corriente*

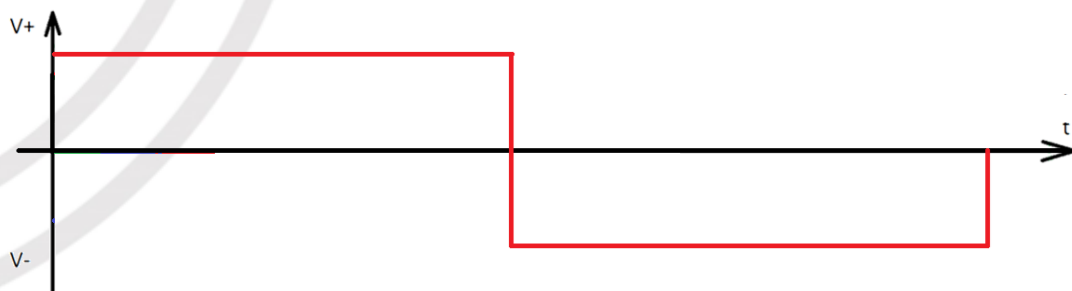


*Situación 6, la fase verde entrega corriente, la azul devuelve la corriente*

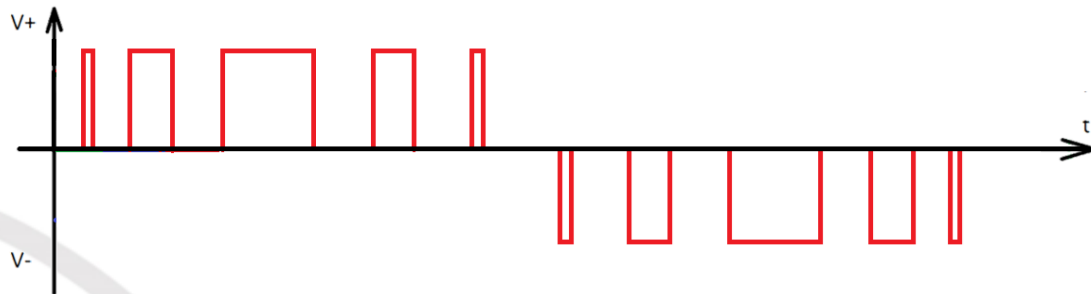


*Patrón de onda trifásica generada, cuadrado*

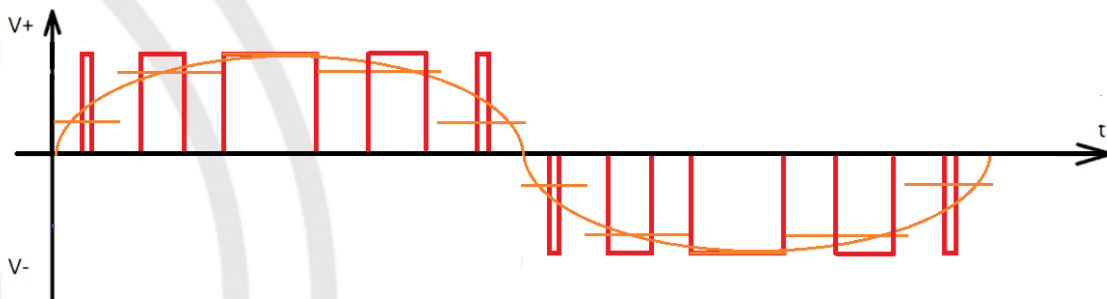
Para lograr que la onda sea lo más sinusoidal posible, la **duración** de los pulsos se **incrementa** cuando se desea que la onda llegue a los picos y se **reduce** cuando se llega a los valles (lo cual se conoce como **modulación del ancho de pulso**). Veámoslo en las siguientes imágenes para una de las fases (lo mismo se aplica en todas las fases).



*Patrón de onda cuadrada de la fase roja*



*En lugar de dar el pulso completo, se parte en pequeños pulsos modulados*



*El valor promedio de esos pulsos (color naranja) provocan que la onda resultante se asemeje a la sinusoidal*

### MODIFICACIÓN DE LA FRECUENCIA

Una vez que tenemos nuestra corriente trifásica sinusoidal a través de los IGBT, podemos modificar que tanto demoran en enviar cada una de las ondas o que tan rápido las generan. Si los transistores IGBT los hacemos trabajar más veces por segundo, entregaran la corriente trifásica con **más frecuencia** y el motor girará más rápido. Si por el contrario demoramos la activación de los IGBT, entregaremos la corriente trifásica con **menos frecuencia** y el motor girará más lento.

### MODIFICACIÓN DE LA TENSIÓN

Al mismo tiempo podemos modificar que tanta tensión entregamos partiendo los pulsos. Por ejemplo, entregando la mitad de los pulsos tendríamos la mitad de la tensión original.

### FLUJO MAGNÉTICO Y LIMITANTES

Para mantener el flujo magnético constante, lo cual asegura que la cupla o torque del motor se mantenga constante, el variador reduce la tensión de manera **proporcional** a la reducción de frecuencia. Esto tiene sus límites. Por un lado, no se puede superar la máxima tensión que ofrece la red de alimentación y por otro lado no se puede llegar a una frecuencia de casi 0 porque la

tensión sería tan baja como las pérdidas que se producen dentro del estator y no habría tensión que otorgar.