

DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD EN DIGSILENT 13.2

Jorge A. Morales V.
jorge.vallejo@funken.com.mx

Guillermo Espinoza M.
guillermo.espinoza@funken.com.mx

FUNKEN INGENIEROS S.A. DE C.V.
Col. Narvarte C.P. 03020, México D.F.
www.funken.com.mx

Resumen: - La utilización de dispositivos de variación de velocidad en motores es una práctica común hoy en día, es por ello que resulta necesario crear modelos que representen la operación de dichos variadores. En el siguiente artículo se presentan los resultados de un modelo de variador de velocidad de 12 pulsos y de 6 pulsos el cual fue creado en el software comercial DIGSILENT 13.2.

Palabras Clave: rectificador, convertidos, variador de velocidad, rampa, forma de onda.

I. INTRODUCCIÓN

Los variadores de velocidad, también llamados convertidores de frecuencia, son dispositivos utilizados para regular los procesos industriales. Se trata de equipos utilizados hoy en día en múltiples aplicaciones, existiendo un buen número de fabricantes y suministradores de los mismos.

Un variador de frecuencia, VFD por sus siglas en inglés (*Variable Frequency Drive*) o bien AFD (*Adjustable Frequency Drive*), es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Otra forma de cambiar la velocidad del motor sería cambiando el número de polos del motor, aunque esta técnica resulta ineficiente ya que habría que cambiar las características físicas del motor.

El principio de funcionamiento del variador de velocidad consiste en convertir el voltaje de CA a un voltaje de CD por medio de un puente rectificador trifásico compuesto por seis diodos para

posteriormente convertir ese mismo voltaje de CD a un voltaje de CA por medio de un puente inversor trifásico compuesto por 6 tiristores los cuales controlan el voltaje de CA variando su frecuencia. La configuración típica de un variador de velocidad de 6 pulsos es como la que se muestra en la figura 1 y la configuración típica de un variador de velocidad de 12 pulsos es como la figura 2. Los componentes del variador de velocidad son un puente rectificador trifásico y un convertidor PWM creado con tiristores.

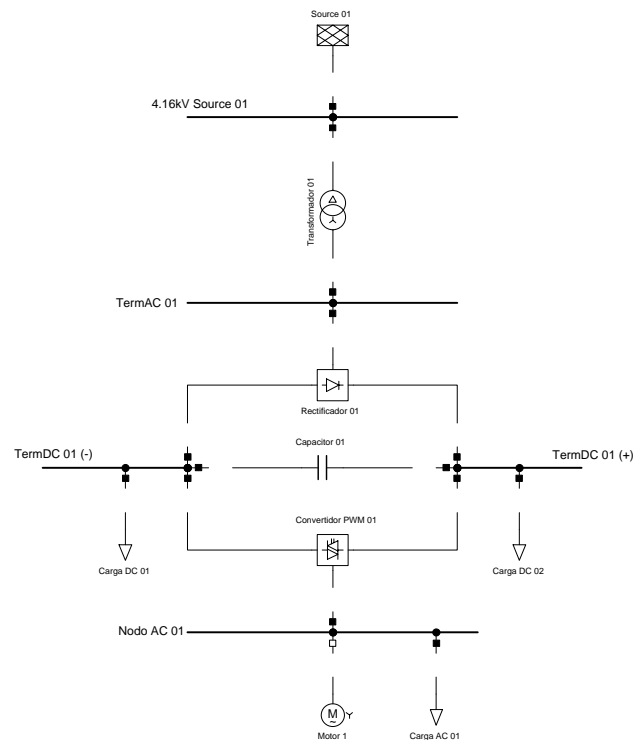


Figura 1. Configuración típica de un variador de frecuencia de 6 pulsos

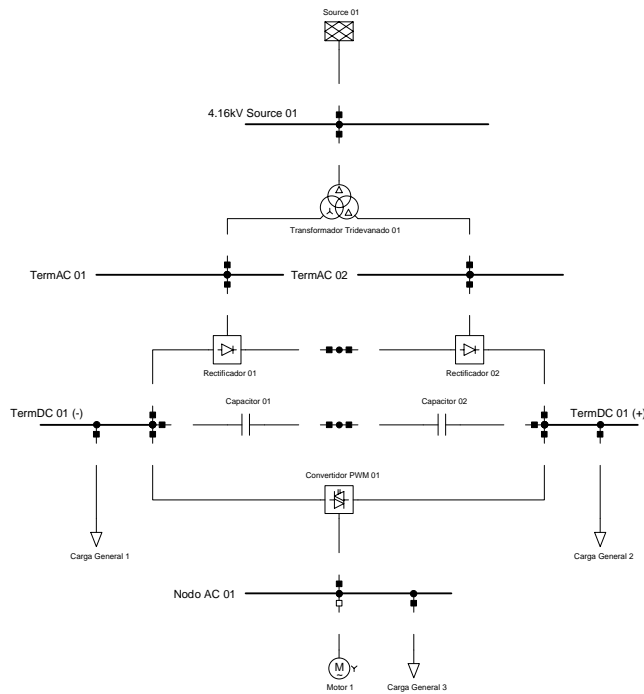


Figura 2. Configuración típica de un variador de frecuencia de 12 pulsos

II. PUENTE RECTIFICADOR TRIFÁSICO

El puente rectificador trifásico como el que se muestra en la figura 3 consta de seis diodos que convierten el voltaje de CA a voltaje de CD tal como se muestra en las formas de onda de la figura 4.

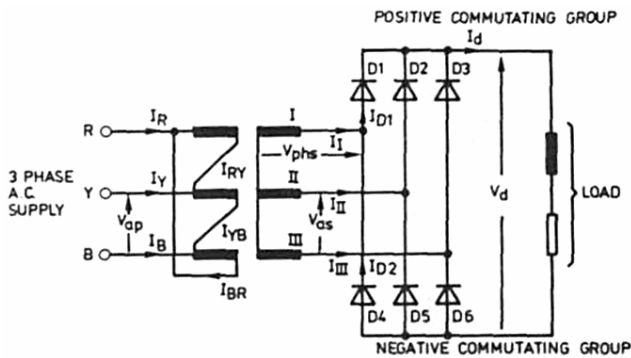


Figura 3. Puente rectificador trifásico con diodos.

La expresión general para el voltaje de salida en CD es la siguiente:

$$V_{CD} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{Ca} \quad (1)$$

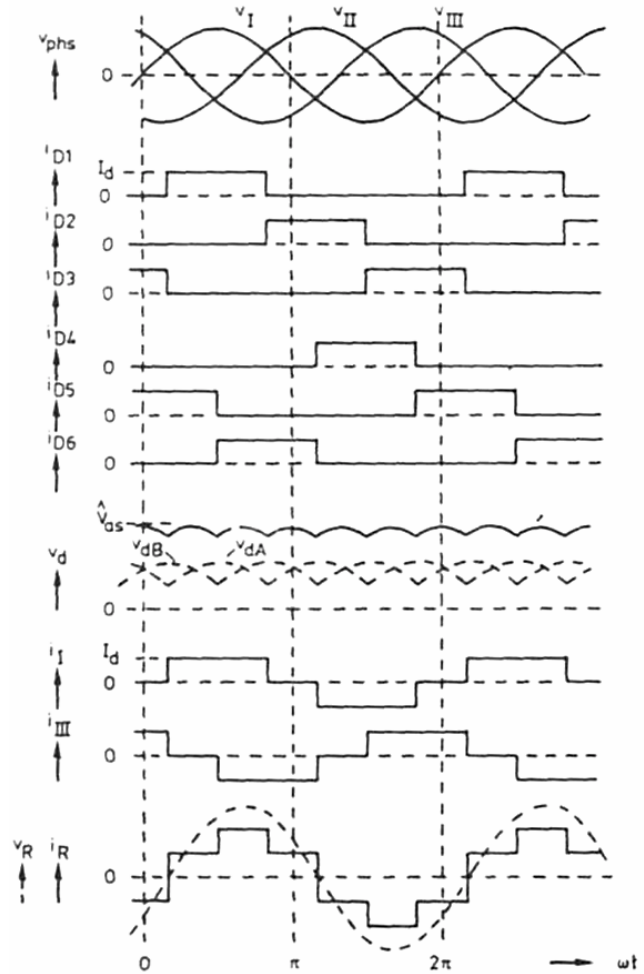


Figura 4. Formas de onda del voltaje en el puente rectificador trifásico con diodos.

III. PUENTE CONVERTIDOR TRIFÁSICO

Consta de tres pares de transistores o tiristores destinados al manejo de una de las fases del motor. En la Figura 5 se muestra la conexión de un convertidor trifásico con tiristores, el cual recibe el voltaje de CD rectificado.

Un convertidor es un dispositivo comúnmente empleado para variar la velocidad en motores de CA o para producir voltajes trifásicos a partir de una fuente de CD constante. Dado que una señal de CA está definida por dos parámetros, amplitud y frecuencia, es necesario desarrollar una estrategia que permita el control sobre estas dos cantidades. Esto se logra mediante pulsos los cuales logran variar los

parámetros del voltaje de CA a partir de la conversión del voltaje de CD rectificado.

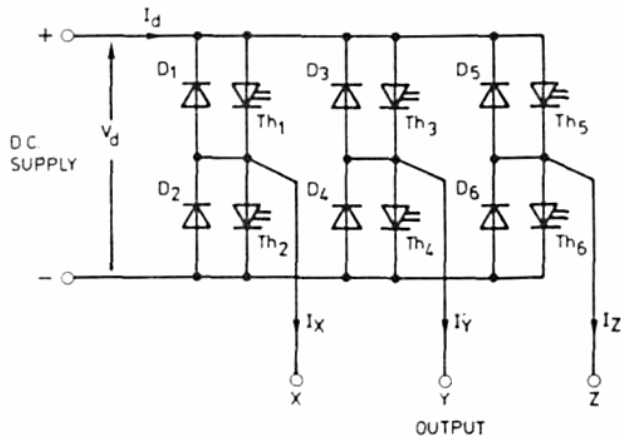


Figura 5. Puente convertidor trifásico con tiristores.

Las formas de ondas del voltaje de salida se muestran en la figura 6 y el modelo del puente convertidor trifásico en DIgSILENT se muestra en la figura 7.

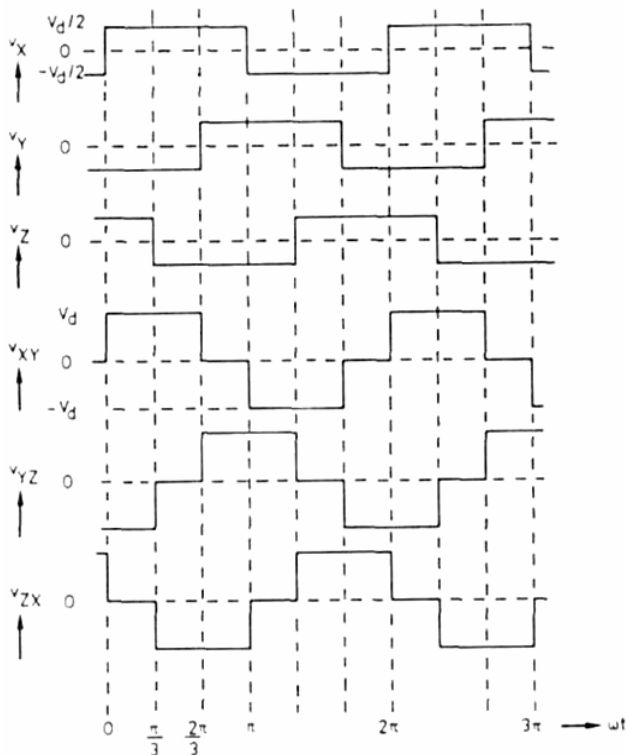
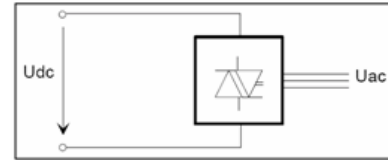
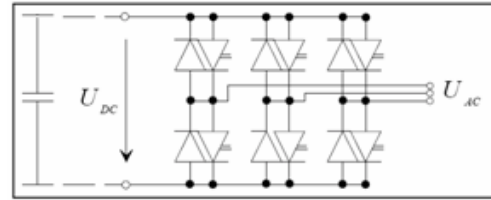


Figura 6. Formas de onda del voltaje en el puente convertidor trifásico con tiristores.



(a)



(b)

Figura 7. Convertido trifásico en DIgSILENT, a) Icono real en DIgSILENT, b) Circuito equivalente del convertidor

IV. CONTROL PARA CONVERTIDOR EN DIgSILENT

Por medio del control de la figura 8 se logra variar la frecuencia (f_0) y el factor de modulación de pulso (Pm_in) que a su vez controla al voltaje de salida del puente convertidor trifásico modelado en DIgSILENT. En la figura 8 el bloque convertidor representa el puente convertidor trifásico que mediante los bloques PWM y Freq varía la modulación del pulso y la frecuencia respectivamente.

Lo anterior se logra por medio de rampas generadas por el diagrama de bloques de la figura 9, el cual dependiendo del valor de la variable de entrada (start) será la pendiente de dicha rampa y por tanto el tiempo que le tome al voltaje o frecuencia alcanzar su valor nominal. La figura 10 muestra las rampas generadas por el diagrama de bloques de la figura 9.

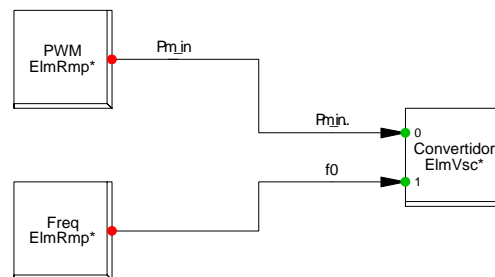


Figura 8. Control para el convertidor trifásico.

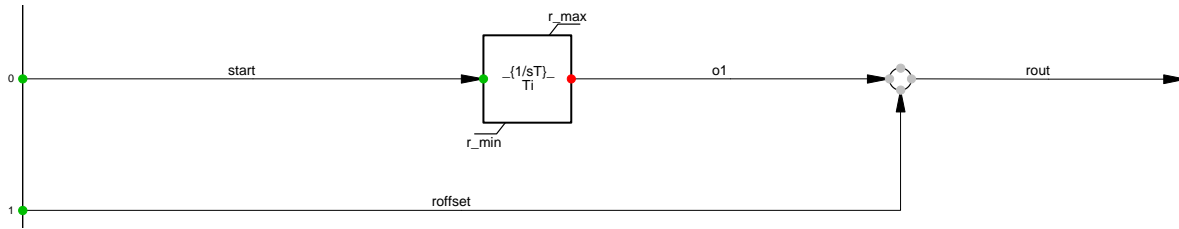


Figura 9. Diagrama de bloques para generar las rampas

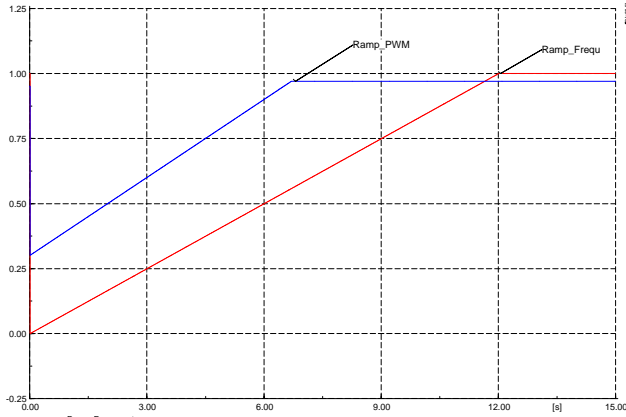


Figura 10. Rampas generadas por el diagrama de bloques

V. RESULTADOS OBTENIDOS

Al momento de conectar el motor 1 al Nodo AC 01 de las figuras 1 y 2 la frecuencia obtenida por el convertidor PWM 01 es variada por medio de la rampa Ramp_Frequ, la cual toma el valor nominal de la frecuencia de 60 Hz o 1 p.u. y lo lleva a cero para posteriormente ir incrementandolo hasta obtener otra vez el valor nominal de la frecuencia.

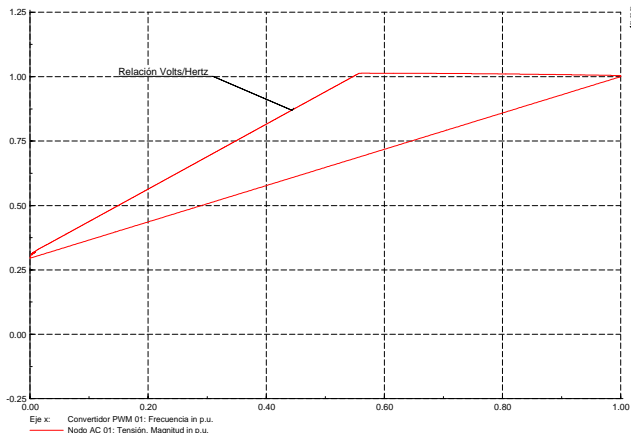


Figura 11. Relación Volts/Hertz.

Del mismo modo que la frecuencia, el voltaje obtenido por el convertidor PWM 01 es llevado a un valor de 0.3 p.u. y posteriormente incrementado a su valor nominal por medio de la rampa Ramp_PWM. Lo anterior es conocido como relación Volt/Hertz y se muestra en la grafica de la figura 11.

Debido a lo anterior, la velocidad del motor incrementará conforme la frecuencia lo haga, hasta que se alcance su velocidad nominal tal y como lo muestra la figura 12.

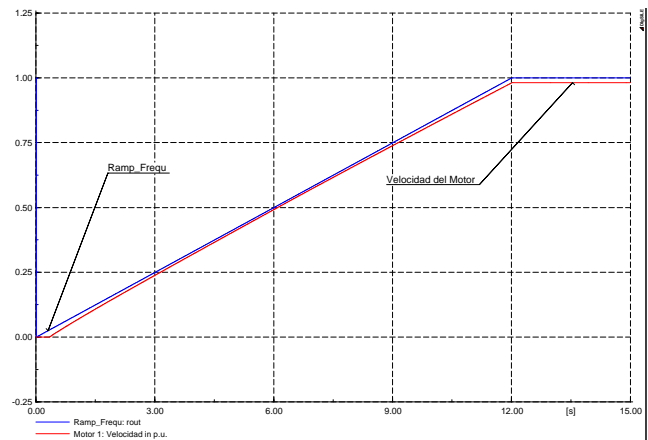


Figura 12. Comparación del incremento de la velocidad del motor 1 y la rampa Ramp_Frequ.

Por otro lado el incremento de la corriente de arranque se ve disminuido debido al control que se tiene del voltaje. La corriente de arranque del motor tiene el comportamiento que muestra la figura 15. Puede observarse en dicha figura como la corriente al momento de conexión del motor incrementa un 1.5 veces la corriente nominal para después reducirse e incrementar lentamente hasta alcanzar la corriente nominal.

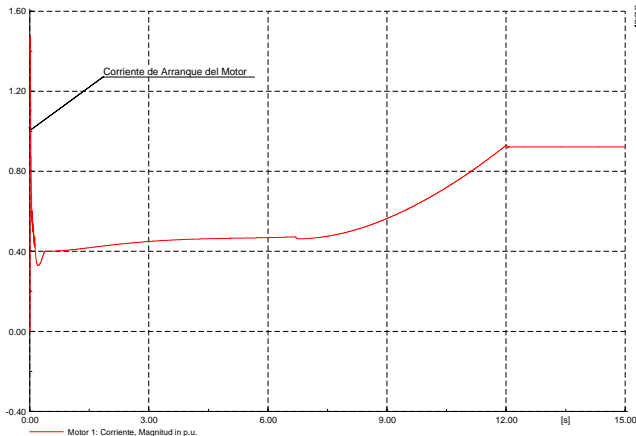


Figura 13. Corriente de arranque del motor 1.

El comportamiento del par mecánico y el par eléctrico con respecto al tiempo es mostrado en la figura 14, así mismo, el par mecánico y par eléctrico con respecto a la velocidad es mostrado en la figura 15.

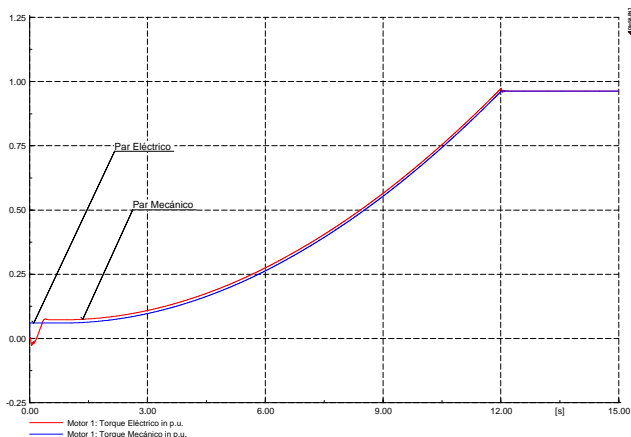


Figura 14. Par eléctrico y par mecánico con respecto al tiempo.

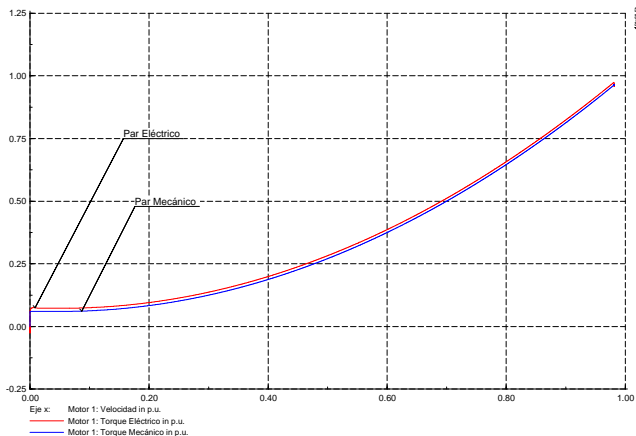


Figura 15. Par eléctrico y par mecánico con respecto a la velocidad.

La diferencia de usar un variador de velocidad de 6 pulsos y un de 12 pulsos radica en la deformación del voltaje que existe en el bus de conexión TermAC 01 tal y como se muestra en las figuras 16 y 17.

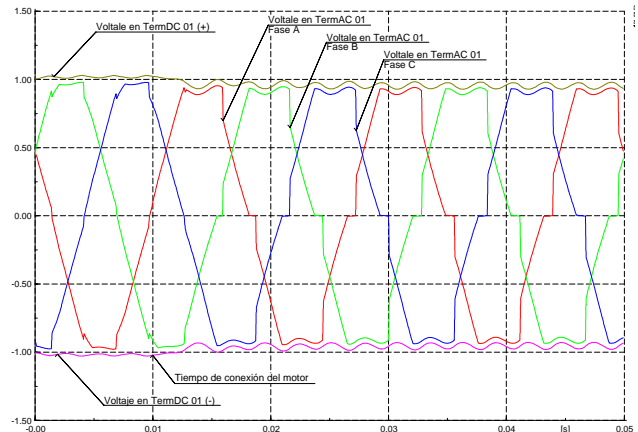


Figura 16. Forma de onda del voltaje en el bus de conexión de CA y en los buses de CD del variador de velocidad de 6 pulsos.

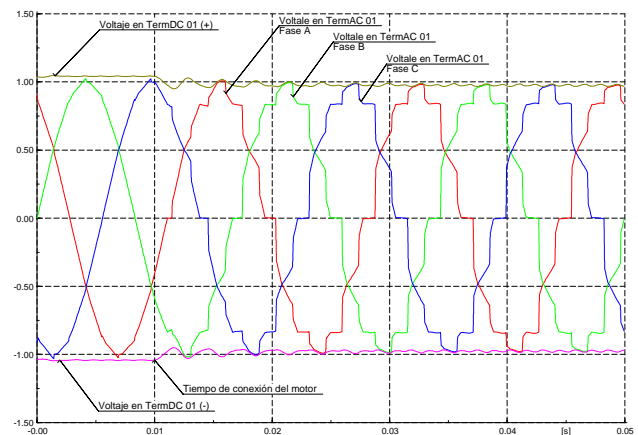


Figura 17. Forma de onda del voltaje en el bus de conexión de CA y en los buses de CD del variador de velocidad de 12 pulsos.

Antes de la conexión del motor, la cual sucede en 0.01 segundos, el voltaje de CA en el bus de conexión TermAC 01 del variador de velocidad de 6 pulsos ya está deformado y por tanto el voltaje de CD rectificado en los buses TermDC 01 (+) y TermDC 01 (-) tiene cierta variación, tal y como se muestra en la figura 16. Mientras tanto, con el variador de 12 pulsos en la condición de no conexión del motor, se tiene una mejor forma de onda del voltaje de CA en el bus de conexión TermAC 01 y por lo tanto el voltaje de CD en los buses TermDC 01 (+) y TermDC 01 (-) es mucho más uniforme, tal y como se muestra en la figura 17.

Cuando el motor es conectado en 0.01 segundos el voltaje de CA en el bus de conexión TermAC 01 del variador de velocidad de 6 pulsos es afectado deformándolo aún más, y por lo que el voltaje de CD tiene un mayor rizo, así como se muestra en la figura 16.

Del mismo modo la forma de onda del voltaje en el bus de conexión TermAC 01 del variador de velocidad de 12 pulsos es afectado con la conexión del motor.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el modelo del variador de velocidad como lo son: corriente de arranque del motor, velocidad, par eléctrico, par mecánico y frecuencia, son muy parecidos tanto para el variador de velocidad de 6 pulsos como para el variador de velocidad de 12 pulsos, aunque, el variador de velocidad de 6 pulsos suele tener un mayor impacto en la forma de onda del voltaje en el bus de conexión, esto es porque los armónicos que genera son mayores, mientras que el variador de velocidad de 12 pulsos tiene un mayor filtro contra armónicos logrando así tener una forma más limpia en el bus de conexión.

Es posible modelar estos dispositivos con un muy buen nivel de detalle en el software comercial DIgSILENT 13.2

VII. REFERENCIAS

- [1] B. M. Bird, K. G. King, D. A. G. Pedder “An Introduction to Power Electronics Second Edition”, John Wiley and Sons, ISBN: 0 471 92616 7.
- [2] Siemens **Technical Education Program** “Course of **Basics of AC Drives** and related products”.
- [3] ABB “Technical Guide No. 4 – Guide to Speed Drivers”.
- [4] Toshiba GE “Dura-Bil5 MV Parameter Setting Guide”.
- [5] DIgSILENT Technical Documentation “PWM Converter”, Germany 2007.