



DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3693

Simulación de la Implementación de un variador de velocidad en un motor mediante software especializado

Arturo Barbosa Olivares

arturo_barbosa_o@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8111-594X>

Jorge Alberto González Sánchez

caja6877@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2578-5831>

José Arturo Barbosa Moreno

barbosa.arturo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8262-8509>

Jair Hernández Martínez

jairhm@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-4607-6719>

Roberto Anibal Flores Guerrero

ra.fg@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-5557-9019>

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero
Ciudad Madero Tamaulipas - México

RESUMEN

Los sistemas eléctricos viven tiempos de constante evolución, numerosos cambios se están presentando precipitadamente en los últimos tiempos. Paralelamente a estos sucesos, la tecnología está evolucionando de una manera dramática. En este escenario, el desarrollo de herramientas que permitan optimizar y mejorar la simulación de sistemas eléctricos de gran dimensión se ha convertido en objeto de numerosas investigaciones recientes. El motor de inducción es a la fecha el motor eléctrico más económico y eficiente en aplicaciones industriales, por lo que es el más popular en dicha rama. Los variadores de velocidad para motores eléctricos pueden apoyar en gran medida a la reducción de consumo energético de los procesos industriales y prolongar la vida útil en los equipos.

Palabras clave: variador de velocidad; simulación; motor eléctrico; driver; implementación.

Correspondencia: arturo_barbosa_o@hotmail.com

Artículo recibido 15 octubre 2022 Aceptado para publicación: 20 noviembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: root, root, Barbosa Olivares, A., González Sánchez, J. A., Hernández Martínez, J., & Flores Guerrero, R. A. (2022). Simulación de la Implementación de un variador de velocidad en un motor mediante software especializado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 2446-2477. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3693

Simulation of the Implementation of a Speed driver on an Electric Motor using an specialized software

ABSTRACT

The electrical systems are in constant evolution, a lot changes are occurring precipitously in this days. Parallel to these events, technology is evolving in a dramatic way. In this scenario, the development of tools that allow optimizing and improving the simulation of large electrical systems has become the subject of numerous recent investigations. The induction motor is up today the most economical and efficient electric motor in industrial applications, making it the most popular in this area. The speed drives for electric motors can greatly support the reduction of energy consumption in industrial processes and extend the useful life of equipment.

Keywords: *speed driver; simulation; electrical motor; driver; implementation.*

INTRODUCCIÓN

Los simuladores son herramientas de la informática mediante las cuales se puede reproducir en una computadora la operación de diversos circuitos eléctricos y/o electrónicos, de tal manera que, sea posible hacer una valoración del circuito propuesto a manera de probar su operación, si es la deseada o no, es decir corroborar si se cumple las especificaciones a alcanzar; en caso contrario, que sea posible la detección de algún desperfecto o anomalía en el diseño de la circuitería para poder corregirlo o, en dado caso, valorar si es permisible, sin necesidad de armar el diseño físicamente o dañar piezas en el proceso de diseño (Santamaría, 2007).

Se le denomina software libre a todos aquellos programas que pueden ser utilizados de manera gratuita con cualquier finalidad y pueden ser distribuidos o redistribuidos con modificaciones en su código para mejoras o sin ellas. El uso de este software libre para el diseño y elaboración de proyectos es de decisión propia además de fomentar política y éticamente el derecho de las personas a aprender y compartir conocimientos con los demás, este se a convertido en elemento clave en el aprendizaje social ya que el conocimiento se puede aprovechar por los demás. (Free Software Foundation, 2020).

Si un software permite a sus usuarios su uso libre, estudio, distribución y mejora, es considerado libre; las características anteriores son denominadas cuatro libertades y son propias de los softwares libres. (Williams, 2010).

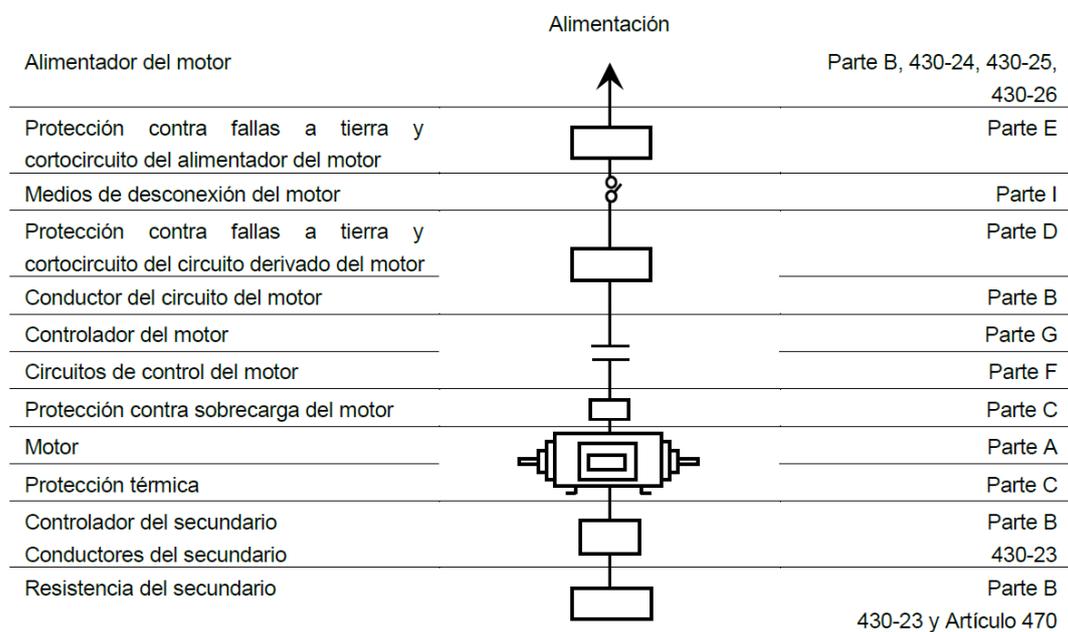
El software CAdE_SIMU es un compilador de la familia CAD el cual da la posibilidad de manejar diversos símbolos, los cuales se organizan mediante las librerías; la idea es facilitar el diseño y simulación de diagramas eléctricos, fácil y rápidamente. Este software fue creado por José Luis Villanueva Montoto y puede conseguirse de manera gratuita. Mediante este software de simulación se puede apreciar el estado de cada uno de los diversos elementos eléctricos del diagrama, así como identificar los cables conductores por los que circula corriente eléctrica. (Canal PLC, 2013).

El termino NOM hace referencia a la Norma Oficial Mexicana, y se denominan NOM al compendio de reglas técnicas obligatorias las cuales son expedidas por las diversas dependencias normativas del país mediante los Comités Consultivos Nacionales de Normalización. Todo este conjunto de normas está fundamentado en la LIC abreviaturas de la Ley de Infraestructura de la calidad. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2020).

Los diversos elementos que componen al motor eléctrico requieren de algún tipo de protección, el nivel de dicha protección será seleccionado de acuerdo a las condiciones de uso, así como de la importancia del proceso asociado, el cual es un parteaguas para la correcta selección del motor. Algunas veces los equipos de control incluyen en sus diseños algún tipo de protección para el motor y para los diversos elementos asociados a este, principalmente se considera la protección contra sobrecargas y la protección de cortocircuitos (Chapman, 2012).

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 de Instalaciones Eléctricas (es la norma que está en vigor actualmente) en el Artículo 430 referente a “Motores, Circuitos con Motores y Controladores”, marca el diagrama de conexiones necesarias para los motores de inducción, en cuyas partes se puede observar el alimentador por un inicio, una protección contra fallas a corto circuito y fallas a tierra, métodos de desconexión del motor, su controlador, protección contra algún tipo de sobrecarga, entre otras (Secretaría de Energía, 2012).

Figura 1. Contenido del Artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012



De manera general se puede dividir la protección de un motor en los 3 niveles (Kosow, 2009):

Protección contra fallas a tierra y cortocircuito, existiendo para ello diversos tipos, como lo son los fusibles, el llamado guardamotor, la implementación de un interruptor de cuchillas, algún tipo de interruptor termomagnético, entre otros. Algunos de estos dispositivos son de carácter obligatorio en las instalaciones las normativas de seguridad.

Protección contra sobrecarga, esta es identificada con una sobrecorriente, la cual no llega a ser tan grande como la corriente de cortocircuito, pero si ocasiona aumentos en la temperatura de operación de los elementos, dicho aumento puede ocasionar daños irreversibles a los aislamientos de los motores. Existen unidades capaces de detectar dichos cambios en la temperatura y responder a estos, estos son denominados relevadores térmicos y poseen algún tipo de unidad sensora, ya sea bimetálica o de pastillas de aleación fusible.

Protección térmica incorporada al motor, el uso de un termistor incorporado en la parte interna del motor monitorea la sobrecarga o sobretemperatura existente de forma constante para evitar posibles daños al motor. El uso de un termistor incorporado "siempre" necesita el uso de un dispositivo externo para su lectura y su posible accionamiento (Pallas, 2008).

METODOLOGÍA

La investigación realizada fue de tipo descriptivo, ya que está fundamentada en los impactos ambientales en la generación energética y el beneficio de la implementación de dispositivos como son los variadores de velocidad para motores eléctricos en la industria, dicha investigación consiste en una revisión de la distinta literatura localizada, la cual presenta análisis de diversas autorías; y mediante la observación, fue posible notar el notable daño que se causa al medio ambiente al generar electricidad. De igual manera se percata de la existencia de varios métodos que podrían ayudar a eficientizar el consumo de energía en motores eléctricos, los cuales son considerados dentro de los principales consumidores de esta. Todos estos enfoques generan una diversidad de escenarios a presentar y analizar.

Se realizó una búsqueda de artículos relacionados con el tema, una vez revisados se tomó una muestra no probabilística por conveniencia de quince, derivado que tenían una relación estrecha con el tema de estudio; a partir de estos se desarrolló un análisis con el propósito de determinar el impacto que tiene la generación de energía eléctrica en el medio ambiente y las alternativas para disminuir el consumo energético industrial para dar a conocer las áreas de oportunidad en este ámbito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la configuración o conexión de un variador de velocidad de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 mediante el software CADe_SIMU es necesario llevar a cabo la siguiente

metodología.

Paso 1: Etapa de potencia. El primer elemento que se tiene en un circuito eléctrico es su alimentador el cual es un conductor cuya función es la de proporcionar la corriente que ocupa al conjunto de cargas a alimentar. Se podría decir que es el conductor que sale del transformador principal para suministrar energía eléctrica al circuito de carga de un edificio, dicho circuito llega a un interruptor general en un centro de carga (Harper, 2002). El CADe_SIMU cuenta con variedad de alimentadores los cuales se muestran en la siguiente figura.

Figura 2. Sección de Alimentaciones CADe_SIMU



Lo mejor es el que consta de las tres fases, el neutro y la protección eléctrica.

Paso 2: El disyuntor trifásico será el próximo elemento a seleccionar, cabe hacer mención que en el CADe_SIMU dicho elemento consta internamente de los contactos para conectar y desconectar los dispositivos de los alimentadores; a su vez consta de un disparador térmico en caso de presentarse un cortocircuito en los conductores del sistema, así como un disparador magnético el cual se activará en caso de una sobrecarga. En este caso se seleccionará el disyuntor indicado ya que este consta de la manipulación de tres fases que es lo único que se necesita.

Figura 3. Sección de Automáticos y Disyuntores en CADe_SIMU



Paso 3: El siguiente elemento a utilizar es un contactor trifásico el cual tendrá como función la conexión y desconexión del motor mediante una señal de control ajena a la etapa de potencia, dicho contactor está localizado en la sección de “Contactores e Interruptores” del CADe_SIMU en la posición número tres.

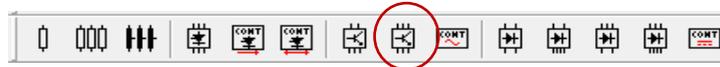
Figura 4. Sección de Contactores e Interruptores en CADe_SIMU



Paso 4: En la sección de “Potencia” se encuentran algunos componentes como arrancadores, autotransformadores y variadores de velocidad. Se elegirá el que se encuentra ubicado en la posición ocho, su controlador se encuentra en la posición nueve,

pero ese será útil en la etapa de control. La terminal de protección eléctrica (PE) se conecta manera directa a la terminal correspondiente.

Figura 5. Sección de Potencia en CADe_SIMU



Paso 5: El motor a utilizar es el motor trifásico simple ya que el control se realizará mediante el variador de velocidad.

Figura 6. Sección de Motores en CADe_SIMU



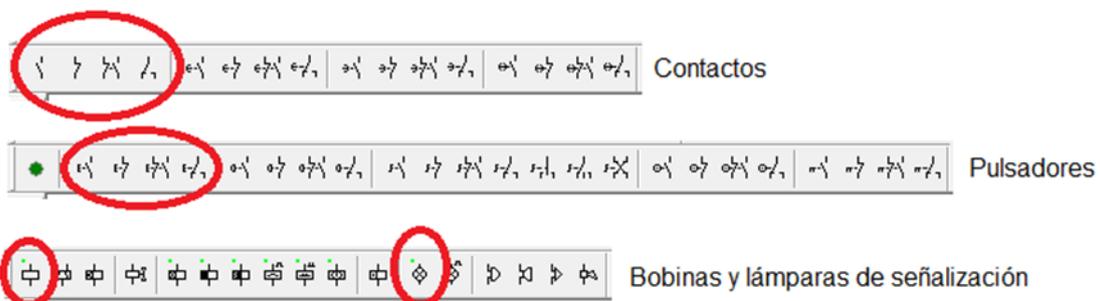
Paso 6: Aislamiento de la etapa de potencia y etapa de control, para llevar a cabo este paso lo recomendable es emplear un transformador monofásico el cual se conectará a una de las fases y al neutro. Dicho elemento aparece en la sección de “Alimentaciones”. Un transformador de aislamiento cuenta con devanados primario (entrada) y secundario (salida) separados. La relación de transformación puede ser cualquiera (208 / 208, 480 / 208), no tiene que ser unitaria (IEEE, 2006).

Figura 7. Transformador monofásico de la Sección de Alimentaciones CADe_SIMU



Paso 7: Etapa de control. Dependerá de la lógica a seguir en la activación o desactivación de contactores, pulsadores, la cantidad necesaria de bobinas y las lámparas de señalización que se deseen, dichos elementos se encuentran en las secciones de “contactos”, “accionamientos” y “bobinas y señalizaciones” respectivamente.

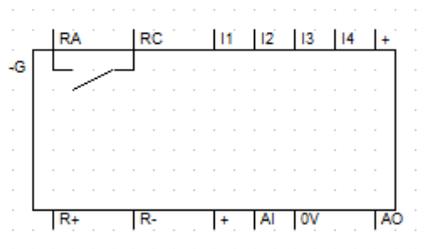
Figura 8. Elementos básicos de control en CADe_SIMU



Paso 8: El circuito de control del Variador de velocidad se encuentra ubicado en la parte de potencia (como se mencionó previamente) a un costado del icono del variado de velocidad (ver Figura 5). Este circuito posee un contactor entre las terminales RA y RC el

cual generalmente se usa para colocar una lampara indicadora del estado del variador. Terminales R+ y R-, el variador de velocidad utiliza una inyección de corriente continua para realizar un frenado dinámico al motor, se conecta una resistencia de disipación a estos bornes, para que por ella se disipe la energía producida en el frenado (ABB EMC compliant installation and configuration for a power drive system, 2012). Las terminales +, AI y 0V son para colocar el potenciómetro de control para el variador en modo manual (este se habilita utilizando una función del software). Por último I1, I2, I3 e I4 son terminales de selección de comportamiento del variador, I1 se activa siempre que se desee que el motor gire en sentido directo; con I1 activa, y las combinaciones binarias de I3 e I4 pueden seleccionar entre las tres diferentes velocidades preprogramadas para el motor, la terminal I2 generalmente se activa para realizar el giro en sentido inverso del motor, de igual forma puede utilizarse con I3 e I4 para utilizar las velocidades preprogramadas pero ahora en sentido inverso (ABB Low voltage AC drives and softstarters, 2020).

Figura 9. Circuito de control del Variador de Velocidad en CADe_SIMU y su configuración



Paso 9: Para la configuración del variador, basta con dar doble clic al circuito de control y se despliega la pantalla de configuración, en dicha pestaña aparecen 7 apartados, el primero “Velocidad del Motor”, hace referencia a la velocidad en RPM que tomara cuando la frecuencia en consigna sea de 60Hz (velocidad nominal). De igual manera está el “Control de Velocidad”, en esta sección podemos seleccionar el potenciómetro en caso de requerir un control manual del variador. En la sección “Frecuencia del Variador” se configura a una frecuencia mínima y una frecuencia máxima de la señal de alimentación entregada por el variador al motor, el control se realiza de modo manual con un potenciómetro. En algunas ocasiones para ciertos procesos es necesario tener una velocidad fija (o varias) esto se puede lograr en la sección “Velocidad Preseleccionada” en la cual aparecen 3 opciones de velocidades las cuales se seleccionarán mediante la combinación binaria de las terminales I3 e I4 (ABB Guide to variable speed drives, 2011). En la sección “Tiempo de Rampas” se configura el tiempo deseado para que se lleven a

cabo los incrementos y decrementos de las variaciones para alcanzar los valores deseados, es decir a menor tiempo más rápido se consigue llevar a la velocidad deseada pero mayor consumo de corriente; la velocidad de las variaciones dependerá del proceso en cuestión. En el apartado de “Inyección de Corriente Continua”, se puede ajustar el frenado dinámico mediante la inyección de C.C., aquí se puede ajustar el tiempo de duración de la activación del freno al término del periodo de deceleración del motor (Martínez, 2007).

Figura 10. Configuración del Variador de Velocidad en CADe_SIMU (circuito de control

Velocidad motor
 3000
 1500
 1000
 750

Control de velocidad
Entradas Digitales:
 2 Hilos
 3 Hilos
 Pot. Analógico

Frecuencia variador
Frecuencia mínima (0-200 Hz):
Frecuencia máxima (0-200 Hz):

Velocidad preseleccionada
1ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):
Valor ajustado entrada analógica
2ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):
3ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):
4ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):

Tiempo rampas
Tiempo de rampa aceleración (0-99 Seg):
Tiempo de rampa desaceleración (0-99 Seg):

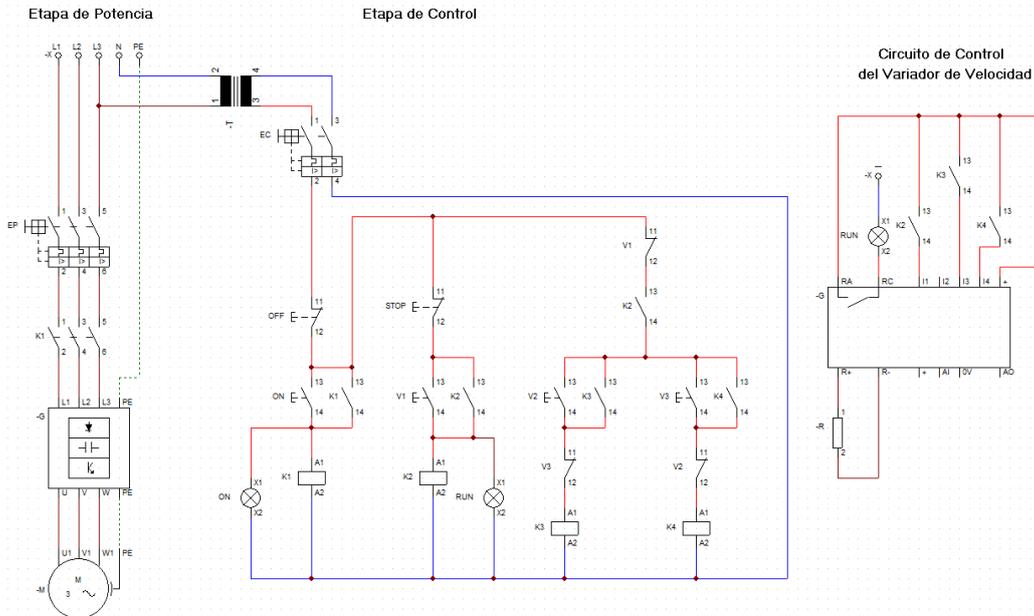
Inyección de corriente continua
 Tiempo de inyección en la parada(1-30 Seg):
 inyección de forma permanente

Tomando en cuenta las especificaciones del Artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012 se logró realizar un circuito para la simulación de un variador de velocidad para motores eléctricos, incluyendo las protecciones requeridas para su conexión.

Se muestra el diagrama de conexión del sistema antes mencionado en el que se incluyen conexión y desconexión de los alimentadores de manera manual para ambas etapas, la de potencia y la de control. Conexión y desconexión del motor eléctrico de la etapa de potencia mediante la etapa de control. Aislamiento de las etapas de potencia y control para que en caso de existir alguna falla la otra no se vea afectada. Lámparas indicadoras para conocer el estado del variador o si el motor se encuentra en marcha. Por último, el circuito de control cuenta con el botón de encendido para operar de manera manual, así como 3 botones extra para seleccionar alguna de las velocidades preestablecidas en el variador.

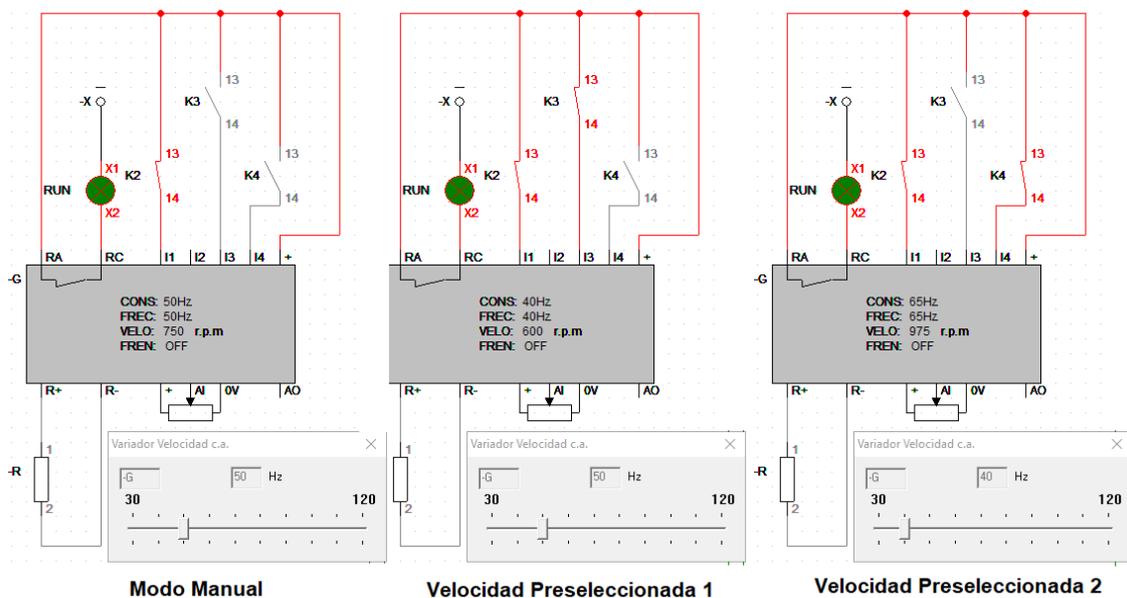
Las características que posee el software CADe_SIMU son bastante buenas y es ampliamente recomendado para su uso en los temas referentes a control de máquinas eléctricas, controlador lógico programable, instrumentación, electrónica digital, entre otras áreas afines.

Figura 11. Circuito de conexión para un variador de velocidad en CADe_SIMU



Dentro de la simulación se pudieron comprobar los cambios de velocidad, frecuencia y estado del frenado dinámico. Se utilizó el modo manual y el preseleccionado, mediante el potenciómetro y contactores respectivamente.

Figura 12. Velocidades y Modos de Operación del variador de velocidad en CADe_SIMU



CONCLUSIONES

Mediante el uso del simulador CADe_SIMU fue posible realizar una simulación de la operación de un variador de velocidad con las indicaciones señaladas en el Artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012.

La utilización de un software libre dentro de las TIC's ayudo a cumplir con el objetivo de enseñanza en referente a el aspecto práctico en el uso de variadores de velocidad y dispositivos de conexión bajo norma.

De igual manera se podrían localizar softwares libres para algunas otras simulaciones en diversas disciplinas, tanto en matemáticas, física, química, entre otras; los cuales cumplan con los requerimientos oficialmente requeridos para realizar la correcta simulación en dichas áreas.

LISTA DE REFERENCIAS

- ABB EMC compliant installation and configuration for a power drive system. (2012).
<https://search.abb.com/library/>. Obtenido de [https://search.abb.com/library/](https://search.abb.com/library/https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE61348280&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch)
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE61348280&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>
- ABB Guide to variable speed drives. (2011). <https://search.abb.com/library/>. Obtenido de [https://search.abb.com/library/](https://search.abb.com/library/https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE61389211&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch)
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE61389211&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>
- ABB Low voltage AC drives and softstarters. (2020). <https://search.abb.com/library/>. Obtenido de [https://search.abb.com/library/](https://search.abb.com/library/https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE68956200&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE68956200&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2020). Ley de la infraestructura de la Calidad. Ciudad de México: Secretaría de Servicios Parlamentarios.
- Canal PLC. (Noviembre de 2013). <http://canalplc.blogspot.com/>. Obtenido de [http://canalplc.blogspot.com/](http://canalplc.blogspot.com/:http://canalplc.blogspot.com/p/cadesimu.html): <http://canalplc.blogspot.com/p/cadesimu.html>
- Chapman, S. (2012). Máquinas eléctricas. Mcgraw Hill.
- Free Software Foundation. (08 de 2020). <https://www.fsf.org>. Obtenido de [https://www.fsf.org](https://www.fsf.org:https://www.fsf.org/about/what-is-free-software): <https://www.fsf.org/about/what-is-free-software>
- Harper, E. (2002). Control de motores eléctricos, última edición. Limusa.

- IEEE. (2006). Emerald Book. En IEEE, Emerald Book, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding of Sensitive Electronic Equipment. ISBN: 1-55937-231-1.
- Kosow. (2009). Control de máquinas eléctricas. España: Reverte.
- Martínez, R. (2007). Control electrónico y simulación de motores de corriente alterna. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Pallas, R. (2008). Sensores y Acondicionadores de señal. Alfaomega - Marcombo.
- Santamaría, T. P. (2007). Tecnología Electrónica. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Secretaria de Energía. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas. Ciudad de México: Secretaria de Energía.
- Williams, S. (Octubre de 2010). Free as in a freedom. En S. Williams, Richard Stallman and the Free Software Revolutoin (2 edición) (pág. 71). GNU.