



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**PROYECTO DE AHORRO ENERGÉTICO
PARA UNA INSTALACIÓN DE
ASCENSORES MEDIANTE ACOPLAMIENTO
DE VARIADORES DE FRECUENCIA A
TRAVÉS DEL BUS DE CONTINUA**

AUTOR: PABLO VERDUGO MACÍAS
TUTOR: MANUEL PINEDA SÁNCHEZ
COTUTOR: JUAN PÉREZ CRUZ

Curso Académico: 2020-21



Resumen

Este trabajo final de grado se centra en el ahorro y aprovechamiento eficiente de la energía que se puede generar durante la bajada de un ascensor perteneciente a una instalación de elevadores. En lugar de disipar esta energía a través de una resistencia de frenado, se utilizará un bus de continua para transmitir la potencia eléctrica generada a un variador de frecuencia, conectado a otro ascensor, el cual utilizará esta energía en la subida. Para demostrarlo, se realizará una simulación mediante la herramienta Simulink de Matlab y un análisis teórico de los resultados obtenidos. Finalmente, se llevará a cabo la programación del variador Micromaster 420 de Siemens para adecuarlo a las características de la instalación de ascensores simulada.

Palabras Clave: ahorro energético, máquinas eléctricas, variadores de frecuencia, Simulink.

Resum

Aquest treball final de grau se centra en l'estalvi i aprofitament eficient de l'energia que es pot generar durant la baixada d'un ascensor pertanyent a una instal·lació d'elevadors. En lloc de dissipar aquesta energia a través d'una resistència de frenat, s'utilitzarà un bus de contínua per a transmetre la potència elèctrica generada a un variador de freqüència, connectat a un altre ascensor, el qual utilitzarà aquesta energia en la pujada. Per a demostrar-ho, es realitzarà una simulació mitjançant l'eina *Simulink de Matlab i una anàlisi teòrica dels resultats obtinguts. Finalment, es durà a terme la programació del variador micromàster 420 de Siemens per a adequar-ho a les característiques de la instal·lació d'ascensors simulada.

Paraules Clau: estalvi energètic, màquines elèctriques, variadors de freqüència, Simulink.

Abstract

This final degree project focuses on the saving and efficient use of the energy that can be generated during the descent of a lift belonging to a lift installation. Instead of dissipating this energy through a braking resistor, a DC bus will be used to transmit the electrical power generated to a frequency inverter connected to another lift, which will use this energy during the ascent. To demonstrate this, a simulation will be carried out using the Simulink tool in Matlab and a theoretical analysis of the results obtained. Finally, the Siemens Micromaster 420 inverter will be programmed to adapt it to the characteristics of the simulated lift installation.

Keywords: energy saving, electrical machines, variable frequency drives, Simulink.



ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	3
1) OBJETIVOS	5
2) DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO	6
3) MOTIVACIONES	7
4) ANTECEDENTES	12
5) JUSTIFICACIÓN	21
6) ANÁLISIS TEÓRICO	25
7) SIMULINK	40
8) PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR MM420	65
PRESUPUESTO	72
1) INTRODUCCIÓN	74
2) PRESUPUESTO	74
PLIEGO DE CONDICIONES	79
1. DEFINICIÓN	81
2. NORMAS DE CARÁCTER GENERAL	81
3. CONDICIONES PARTICULARES	82
BIBLIOGRAFÍA	88



MEMORIA



Índice de la Memoria

1) OBJETIVOS.....	5
2) DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO.....	6
3) MOTIVACIONES	7
3.1) Aumento de la Eficiencia en Ascensores	8
3.2) Preservación del Medioambiente	9
4) ANTECEDENTES.....	12
4.1) Breve Introducción Histórica.....	12
4.2) Tipo de Instalaciones.....	13
4.2.1) Ascensores Hidráulicos.....	13
4.2.2) Ascensores Eléctricos.....	14
5) JUSTIFICACIÓN.....	21
5.1) Opciones de Ahorro Energético en Ascensores.....	21
5.2) Soluciones Alternativas	23
5.3) Solución Elegida.....	24
6) ANÁLISIS TEÓRICO	25
6.1) Motor de Inducción	25
6.1.1) Funcionamiento.....	25
6.1.2) Tipos de Motores Asíncronos.....	27
6.1.3) Régimen Motor y Generador	28
6.1.4) Velocidad de Giro	29
6.2) Variador de Frecuencia.....	30
6.2.1) Partes del Variador	30
6.2.2) Implementación en Motores.....	32
6.3) Supuesto Teórico	37
7) SIMULINK.....	40
7.1) Subida del Ascensor.....	40
7.2) Bajada del Ascensor.....	54
7.3) Subida y Bajada Simultáneas de un Par de Ascensores	60
7.4) Análisis de Resultados	62
8) PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR MM420.....	65

1) OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo final de grado, como su título indica, se centra en el ahorro energético que se puede conseguir en una instalación de ascensores. Este proyecto, en concreto, se enfoca sobre el aprovechamiento de la energía que se genera durante la bajada de un ascensor de tracción eléctrica, la cual, mediante los adecuados elementos de conversión de potencia, puede ser utilizada para diferentes fines dentro del sistema que engloba a la consiguiente instalación de ascensores. En este caso, a través del acoplamiento en paralelo del bus de continua de un par de variadores de frecuencia presentes en la instalación, se utilizará la energía generada durante la bajada de uno de los ascensores para impulsar la subida de otro.

Las necesidades actuales de aumento de la eficiencia energética y preservación del medio ambiente hacen que este proyecto final de carrera resulte de especial interés para permitir que nuestra sociedad se desarrolle de forma sostenible. En este aspecto, la reducción del consumo de electricidad en un escenario en el que la demanda energética y el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero se hallan en alza, resulta un objetivo prioritario que justifica por sí mismo el desarrollo de este proyecto de ahorro energético. Más adelante, en el apartado “3) Motivaciones”, se exponen de forma más detallada los motivos existentes para el aumento de la eficiencia energética en instalaciones de ascensores y cómo estas mejoras pueden ayudar a preservar el medioambiente. Además, todas las mejoras de rendimiento en instalaciones que se llevan a cabo, aunque de forma poco significativa singularmente, permiten reducir costes como el del kWh, ya que reducen la demanda global de energía.

El trabajo final de grado que aquí se desarrolla, pretende constituir una guía para entender cómo funciona el sistema de transmisión de potencia eléctrica de una instalación de ascensores de tracción eléctrica, los cuales incorporarán variadores de frecuencia. Mediante la interconexión de los buses de estos elementos, se mostrará que se pueden alcanzar elevados rendimientos con las mismas prestaciones que aportan las instalaciones convencionales de ascensores eléctricos. Además del aumento del rendimiento energético, en el presente proyecto se incluirá la programación del variador Micromaster 420 de Siemens (MM420), un presupuesto que cuantifique los costes y beneficios de las partes que se desarrollan a lo largo del trabajo (que tengan una aplicación práctica) y un pliego de condiciones que se centrará, principalmente, en las condiciones técnicas de instalación de los variadores de frecuencia MM420.

2) DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

En este trabajo final de grado “Proyecto de ahorro energético para una instalación de ascensores mediante acoplamiento de variadores de frecuencia a través del bus de continua” se pretende, como se comenta en el apartado previo “1) Objetivos”, aumentar los rendimientos de los ascensores eléctrico, cuyo sistema de transmisión de potencia eléctrica se compone principalmente de un motor de inducción y un variador de frecuencia, los cuales serán ejes fundamentales de este trabajo.

En pro de conseguir los objetivos que se exponen más adelante de eficiencia y preservación del medio ambiente, el mecanismo de aprovechamiento energético que se desarrolla en este proyecto pretende no desperdiciar la energía generada durante la bajada de un ascensor (aunque, debido a las propiedades del contrapeso que se conecta mediante poleas a la cabina, la instalación puede funcionar en modo generador en algunas ocasiones durante el ascenso de la cabina). Para aumentar el rendimiento de las máquinas de elevación, la potencia generada por el motor asíncrono durante el movimiento de la cabina (que actúa como precursor del par externo generador que llega al motor) se rectifica y transforma en tensión continua en el variador de frecuencia.

Con la finalidad de no malgastar esta energía en las resistencias de frenado que incluyen los sistemas convencionales de elevadores, se unirá este variador de frecuencia a otro a través de los terminales de sus respectivos buses de corriente continua (etapa intermedia del variador de frecuencia). De esta forma, el segundo variador podrá utilizar esta energía para impulsar otro ascensor y, así, no tener que extraer la energía que le proporciona el primer variador de la red eléctrica.

Al no disponer de un sistema de elevadores reales con el que experimentar para poder comprobar esta hipótesis, se realizarán simulaciones a través de la herramienta Simulink de Matlab, mediante la cual se modelizará una instalación de ascensores y se obtendrán datos precisos con los que calcular los rendimientos energéticos que se pueden llegar a conseguir con la conexión de los buses de los variadores de frecuencia en una instalación de ascensores eléctricos. Todos los datos serán medidos con la instalación trabajando en régimen permanente.

Antes de la modelización de la instalación: se introducirán las tecnologías de elevadores preexistentes a los ascensores eléctricos actuales, se mostrará la justificación de la solución elegida para conseguir el ahorro energético y se realizará un análisis más teórico de los motores de inducción y de los variadores de frecuencia.

Finalmente, se llevará a cabo la programación del variador Micromaster 420 de Siemens para adecuarlo a las características de la instalación de ascensores simulada.

Debido a las limitaciones de tiempo y contenido de este proyecto, no se profundizará en los transitorios de arranque y frenada de las cabinas de ascensores.



3) MOTIVACIONES

A nivel personal, la motivación para desarrollar este proyecto reside principalmente en el interés por la tecnología orientada hacia la electrónica de potencia, cuya utilización y mejora no ha dejado de aumentar desde su invención. Los sistemas eléctricos y electrónicos de conversión de potencia, desde transformadores hasta cargadores de teléfonos móviles, permiten cubrir una gran parte de las necesidades energéticas de las personas de una forma cómoda y eficiente; ya que habilitan la conexión de las distintas etapas de transporte y utilización de la energía eléctrica, desde su generación hasta el consumo que realizan los usuarios, tanto a nivel doméstico como industrial.

Como se puede observar, las etapas de conversión de potencia resultan indispensables para el correcto funcionamiento y desarrollo de nuestra sociedad. De la misma forma, los sistemas de elevación no están exentos de estas etapas. En las instalaciones de uso residencial, en la mayoría de ocasiones, los ascensores se encuentran alimentados por la energía que les llega de la red eléctrica. Esta electricidad, para las instalaciones de ascensores que incorporen un variador de frecuencia, es rectificadora y convertida en tensión continua para, posteriormente, ser manipulada y conseguir tensiones de frecuencia variable. Con estas tensiones, podemos controlar el comportamiento de los motores de inducción, que son los componentes de la instalación que transforman la energía eléctrica en mecánica para conseguir el movimiento de las cabinas de los ascensores.

Si a los avances en el campo de la electrónica de potencia le unimos la necesidad actual y futura de aumento de la eficiencia energética; ya que, por un lado, nos permite conseguir productos más competitivos, debido al menor uso de recursos energéticos y, por otro, ayuda a la preservación del medioambiente (como bien se expone a continuación), obtenemos como resultado que la mejora del aprovechamiento de la energía que se desperdicia en los ascensores constituye un campo de estudio preferente para el desarrollo de estas empresas.

De esta forma, tomando como protagonista al variador de frecuencia, se puede profundizar en las etapas de conversión electrónica de potencia que se dan en las instalaciones de ascensores y, a su vez, aumentar el rendimiento energético de estos sistemas por medio de la conexión del bus de continua de los variadores; además de que estos aparatos electrónicos permiten mejorar el comportamiento de los motores de inducción.

A continuación, se exponen los motivos principales que incentivan el aumento de la eficiencia energética en ascensores y como, a través de la mejora de sus instalaciones, se puede preservar el medio ambiente.

3.1) Aumento de la Eficiencia en Ascensores

Los edificios son los máximos consumidores de energía del planeta y, en las zonas comunes, el consumo energético del ascensor supone aproximadamente un 70% del total, pudiendo llegar hasta un 80%. De esta forma, los ascensores son uno de los elementos que más energía consume dentro un bloque de viviendas. Los sistemas que necesitan un mayor aporte de energía en los ascensores son: la iluminación de la cabina, el sistema de control de maniobra y el sistema tractor.

Según la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2016), en el mundo, hay aproximadamente instalados 10 millones de ascensores. Según el número de RAE's (registro de aparatos elevadores) contabilizados por la FEEDA (federación empresarial española de ascensores); en España hay más de un millón de unidades operativas. Estos realizan cada día 200 millones de viajes, transportando el equivalente a 8 veces la población de España. Recorren diariamente 2400000km, lo que equivale a dar 60 vueltas a la Tierra. De esta forma, los ascensores mueven 17 veces más pasajeros que todo el transporte público, aéreo, ferroviario y de autobuses de toda España juntos.

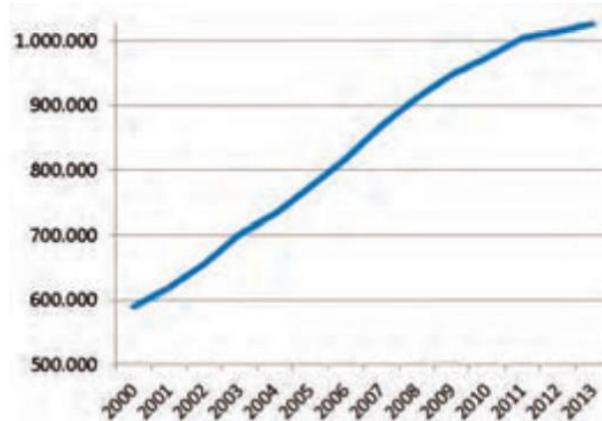


Figura 1. Evolución del parque de ascensores en España según el registro de Aparatos Elevadores [1].

Todos estos datos aportados muestran por qué el consumo eficiente de la energía utilizada por los ascensores puede suponer un gran ahorro en el consumo eléctrico de las instalaciones que dispongan de estos elementos, además de que esta reducción del consumo ayuda a la preservación del medio ambiente.

Durante las décadas de los 60, 70 y 80 se instalaron un número muy elevado de ascensores en España (la mayoría de uso residencial), ya que, en esas décadas, se construyeron la mayor parte de los edificios en las ciudades [1]. Esto provoca que muchas instalaciones de ascensores estén constituidas con tecnologías obsoletas. Actualmente, aproximadamente el 20% del total de ascensores se basa en sistemas de tracción hidráulicos, mientras que el 80% restante utiliza tecnología de tracción eléctrica [1].

Es por ello que, este proyecto, pretende mejorar la eficiencia energética de los ascensores eléctricos al suponer éstos el grueso del parque de elevadores en España.

3.2) Preservación del Medioambiente

En el Tratado de la Unión Europea publicado en el BOE el 30 de marzo de 2010, los países miembros de la unión (entre los que España se constituye como la cuarta economía en proporción a su PIB) se comprometen en el artículo 3, en pro del desarrollo sostenible de Europa, a alcanzar “un nivel elevado de protección y mejora de la calidad del medio ambiente”. Además, en los artículos del 191 al 193 de este tratado, la Unión Europea se responsabiliza a hacer un uso prudente y racional de los recursos naturales; y a fomentar medidas para hacer frente a problemas medioambientales, en particular las destinadas a la lucha contra el cambio climática [2].

La Ley 9/2020, aprobada el 16 de diciembre, regula de forma más estricta que la ley previa (Ley 1/2005) el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en España. Esta ley es la adaptación de la Directiva 2018/410 del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se intensifican los incentivos para la reducción de emisiones de forma eficaz con relación a sus costes y se facilitan las inversiones en tecnologías hipocarbónicas. Esta ley pretende cumplir el compromiso que adoptó el Consejo Europeo en 2014 de reducir los gases de efecto invernadero en la Unión Europea por lo menos en un 40% para 2030 con respecto a los valores de 1990, además de cumplir con el objetivo del Acuerdo de París de realizar todos los esfuerzos posibles para que la temperatura del planeta no aumente por encima de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales [3].

En este sentido, los sistemas de transporte vertical pueden resultar una fuente potencial de reducción de emisiones contaminantes. En España, el consumo total anual de los ascensores es de 1840 millones de kWh al año, lo que representa más que el consumo doméstico de energía de la isla de Gran Canaria. Debido al mix energético de España, se emiten alrededor de 0.65kg de CO₂ a la atmósfera por cada kWh de energía generado, lo que, teniendo en cuenta la energía consumida por los sistemas de elevadores, supone una emisión de casi 1200000 toneladas métricas de CO₂ al año por estos sistemas. Esto equivale a las emisiones de más de 350000 automóviles (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2016).

Para realizar un análisis completo del impacto ambiental de los ascensores, habría que realizar un análisis de su ciclo de vida entero: desde la extracción de materiales, fabricación componentes, embalaje, transporte y montaje de la instalación, hasta su etapa de uso, conservación y posterior tratamiento de los deshechos al final de su vida útil.

La primera etapa de extracción de materiales se puede optimizar mediante la utilización de elementos menos contaminantes y el uso de menor cantidad de estos; al igual que la emisiones y residuos generados en la etapa de fabricación son susceptibles de ser reducidos.

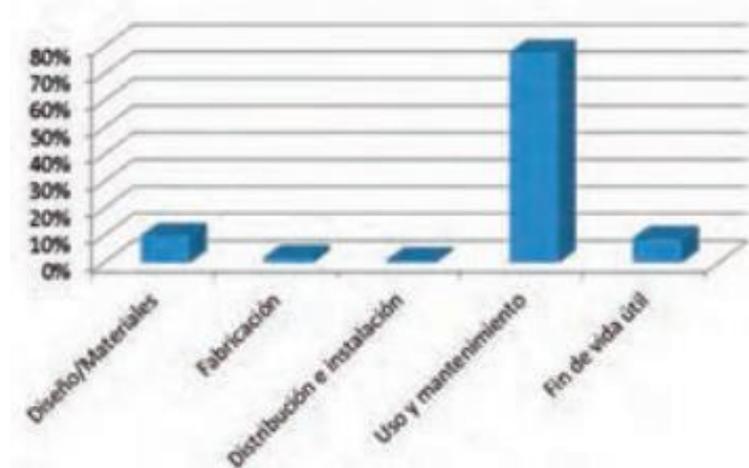


Figura 2. Porcentaje de impacto ambiental de las etapas del ciclo de vida de un ascensor [1].

Si embargo, como se observa en la figura anterior, la etapa que tiene una mayor relevancia con respecto al impacto ambiental que provocan los ascensores es, sin lugar a duda, la etapa de uso (y en menor proporción la de mantenimiento), debido a la larga vida útil del ascensor (de unos 30 años aproximadamente). Además, aunque la contaminación generada durante la etapa de tratamiento del fin de la vida útil del ascensor sea del 6%, el 90% del ascensor es reciclable, debido a su alto contenido en acero y aluminio [1]. Este hecho muestra como el uso más eficiente de la energía que pretende conseguir el presente proyecto de ahorro energético, empleando como eje central las cualidades y características de los variadores de frecuencia, interfiere directamente en la etapa que es más susceptible de proporcionar rendimientos elevados.

En la directiva 2009/125/CE se establecen los requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía, entre los que se incluyen los ascensores. Esta directiva puede proporcionar buenas indicaciones de cómo han de realizarse las instalaciones de elevadores de nueva generación y las mejoras parciales que se pueden integrar en los sistemas obsoletos [19]. No obstante, la Guía VDI 4707, establece mediante criterios objetivos una clasificación energética de los ascensores que puede servir como indicador de qué ascensores son más adecuados para una renovación o mejora de alguna de sus partes [1]. A este respecto, la norma EN ISO 25745-1 sobre eficiencia energética en ascensores, otorga directrices para la medida del consumo energético real de los ascensores y, de esta forma, proporciona métodos para comparar el ahorro energético que suponen las mejoras introducidas en las instalaciones de



elevadores [20]. Esto permite, por ende, comprobar la reducción del impacto ambiental de la instalación renovada.

Existen dos formas de reducir el impacto sobre el medio ambiente: dejar de contaminar o ser más eficientes con el uso de la energía para minimizar la contaminación en caso de que estas fuentes de energía utilizadas no sean 100% renovables, como ocurre con la red eléctrica española. En contraposición a esto, algunos ascensores de última generación incorporan un sistema de alimentación con placas solares (ascensores solares) consiguiendo que el ascensor sea totalmente autónomo y se pueda prescindir de conectarlo a la red [1]. Se eliminan el 100% de las emisiones de CO₂ en la etapa de uso de este sistema.

Aunque existan alternativas 100% libres de emisiones contaminantes, dejar de contaminar resulta una opción inviable debido a que supondría un retraso prácticamente insalvable en el desarrollo de nuestras sociedades. Es por ello que, este trabajo final de grado, pretende ser una pieza más del entramado académico que apuesta por un desarrollo sostenible que permita avanzar al conjunto de la sociedad sin que ello suponga renunciar a los niveles de calidad de vida alcanzados.

4) ANTECEDENTES

Antes de comenzar con los motivos que justifican la elección y exposición de este proyecto sobre otros cuya finalidad es también el ahorro de energía en instalaciones de ascensores, realizaremos una breve presentación histórica del desarrollo tecnológico de los sistemas de elevación y mostraremos las características principales de las instalaciones que se hallan operativas actualmente.

4.1) Breve Introducción Histórica

Su origen se remonta a los primeros sistemas rudimentarios que utilizaban los humanos primitivos para salvar desniveles del terreno y su posterior evolución a lo largo de los siglos hasta la incorporación de la máquina de vapor, entorno al año 1800, a los sistemas tractores de los elevadores, lo cual supuso dejar atrás los sistemas de tracción más rudimentarios como los impulsados por animales y personas. La primera implementación de la máquina de vapor en un elevador fue utilizada para la elevación de cargas, ya que los sistemas que incorporaban esta tecnología eran muy imprecisos y peligrosos.

Más adelante, se puso en funcionamiento el primer ascensor hidráulico, diseñado por William Thompson, el cual utilizaba agua a presión para la elevación de cargas. Sin embargo, el uso doméstico de estos aparatos no fue significativo hasta que en 1852 Elisha Graves Otis inventó el primer sistema de seguridad para evitar caídas y provocar la frenada del ascensor en caso de rotura del cable de sujeción de la cabina. Este hecho impulsó enormemente la implantación de los ascensores en la vida cotidiana y supuso el despegue de la comercialización del ascensor.

En 1880, Werner von Siemen incorporó los motores eléctricos para la propulsión de ascensores, dando así comienzo al desarrollo de esta tecnología, la cual fue ganando popularidad debido a su menor consumo de energía.

La memoria para las llamadas de los ascensores aparece en 1925. Esta tecnología permitía que, en instalaciones de elevadores con más de un ascensor, la cabina más cercana al piso donde se encontraba el usuario entrase en funcionamiento, antes que cualquier otra, para así reducir el recorrido y, por lo tanto, el consumo del sistema. Con la implantación de la memoria, dio comienzo la desaparición de la figura del ascensorista, el cual se encargaba de desempeñar estas funciones. Avances posteriores a éste fueron la incorporación del primer sistema protector de pasajeros y de apertura de puertas electrónico [4].

Este conjunto de innovaciones, hicieron que el ascensor se convirtiese en un elemento indispensable para el crecimiento de las ciudades verticales. Mejoras posteriores cualitativas fueron la obtención de mayor suavidad del movimiento, mayor precisión,

mayor alcance de altura, mayor velocidad y ahorro energético, reducción del espacio (eliminación del cuarto de máquinas), además de una mejora constante de su precio.

4.2) Tipo de Instalaciones

La clasificación más habitual es la que toma la naturaleza del sistema de tracción empleado como referencia. Básicamente, se emplean dos tipos de ascensores actualmente según su accionamiento: ascensores hidráulicos y ascensores eléctricos.

4.2.1) Ascensores Hidráulicos

Los ascensores hidráulicos funcionan mediante un motor eléctrico asíncrono que absorbe la potencia que requiere de la red eléctrica para accionar una bomba hidráulica que inyecta aceite a presión, a través de un sistema de válvula, desde un depósito (en el que se halla sumergido el conjunto motor-bomba) hasta el pistón (compuesto por un cilindro y el émbolo) que se encarga de sostener la cabina en el caso de los ascensores hidráulicos de acción directa:

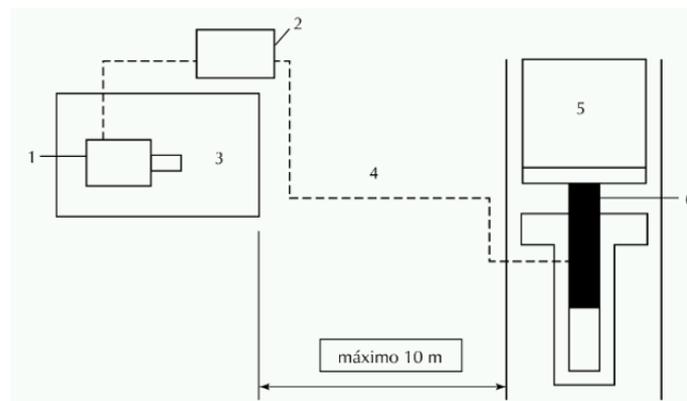


Figura 3. Esquema de un ascensor hidráulico de acción directa. 1)Conjunto motor eléctrico-bomba hidráulica. 2)Bloque de válvulas. 3)Tanque de aceite. 4)Tuberías. 5)Cabina. 6)Pistón [4].

Según Miravete y Larrodé (2012) los ascensores con sistemas de tracción hidráulicos fueron pioneros en los sistemas de transporte vertical para viviendas. En la imagen anterior se observa un ascensor hidráulico de acción directa, el cual fue el primer dispositivo que empleaba esta tecnología que se introdujo en el mercado. Más adelante se desarrollaron los sistemas de acción indirecta en los que el pistón acciona un sistema de poleas en lugar de aplicarse directamente sobre la cabina, permitiendo aumentar el recorrido y velocidad de estos ascensores.

Su principal ventaja es que pueden ser instalados en espacios reducidos, ideales para edificios en cuya instalación no hubiese sido pensado incluir un ascensor y el cuarto de máquinas puede ser instalado en cualquier sitio de la infraestructura, incluido el propio hueco del ascensor. Además, a diferencia de los ascensores eléctricos que se muestran

posteriormente, no necesitan contrapeso (con el consiguiente ahorro de espacio ya mencionado). Los motores asíncronos de estos ascensores, cuando se disponen a mover cargas elevadas, realizan un arranque estrella-triángulo para evitar las altas corrientes que se dan en el transitorio de puesta en marcha en el ascenso de la cabina [4]. La bajada en ascensores hidráulicos se consigue mediante la apertura de una electroválvula que libera la presión del fluido que provoca el ascenso. Este hecho hace que durante su bajada no se consuma energía.

Sin embargo, los ascensores con grupo tractor hidráulico están siendo sustituidos por los ascensores eléctricos por dos factores principalmente: las limitaciones de velocidad y altura alcanzable por los ascensores hidráulicos. Estos consiguen recorridos máximos de 15m (los ascensores eléctricos no tienen limitación en altura) debido a la longitud del pistón, ya que, a alturas elevadas, el precio de la instalación se dispara (debido al mayor dimensionamiento de este elemento) [4].

Otro factor que ha propiciado un mayor éxito del ascensor de tracción eléctrica ha sido el consumo más eficiente de energía que se puede llegar a realizar con este tipo de ascensores, ya que la tecnología hidráulica conlleva un coste de accionamiento elevado. En España, se estima que el consumo anual medio del sistema de elevación de un ascensor hidráulico es de 1800 KWh, mientras que los ascensores de tracción eléctrica consumen una media de 800 KWh al año; todo ello sin tener en cuenta otros gastos energéticos como el de los sistemas de iluminación de la cabina [1]. De esta forma, los ascensores hidráulicos están quedando relegados a ser usados como montacargas en instalaciones que requieren desplazar altas cargas de elevación.

4.2.2) Ascensores Eléctricos

El ascensor eléctrico funciona básicamente mediante un sistema de contrapeso y poleas accionadas mediante un motor de inducción (con rotor de tipo jaula de ardilla). Más adelante, se profundizará en las características de este último elemento mencionado, como se comentó en el apartado “2) Descripción Resumida del Proyecto”. Estos motores pueden ser de una o dos velocidades, o pueden incluir un variador de frecuencia. También se utilizan motores de corriente continua con convertidor alterna-continua en caso de estar alimentados por la red eléctrica y motores síncronos de imanes permanentes que incorporan los ascensores de última generación.

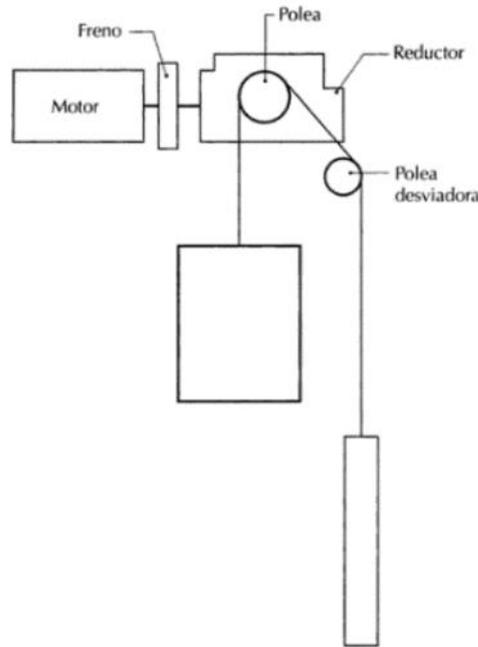


Figura 4. Esquema básico de un ascensor eléctrico [4].

Como se puede observar en la Figura 4, el esquema principal de estos ascensores consiste en un **motor de inducción** que proporciona el par necesario para desplazar la **cabina**, un **contrapeso** para que el motor no tenga que hacer elevados esfuerzos para impulsar la cabina y así alargar su vida útil, un **sistema de poleas** con las que transmitir los esfuerzos del motor a la cabina y equilibrarla con el contrapeso, un **grupo reductor** que, mediante engranajes, ajusta las velocidades de transmisión del motor a las adecuadas para el desplazamiento de la cabina mediante una simple ley de proporción (algunos sistemas denominados gearless se ahorran esta etapa de transmisión para evitar las pérdidas por fricción mecánica que se generan, como es el caso de los ascensores que utilizan un motor síncrono de imanes permanentes) y, finalmente, un **freno electromecánico**, acoplado por un enlace mecánico a la polea, que se activa cuando se produce un fallo de alimentación para que la cabina no se desplome, ya que cuando no hay tensión, se acciona el freno. Finalmente, cabe mencionar que el **cuarto de máquinas** es el lugar donde se encuentran los elementos motrices del ascensor eléctrico y su aparataje.

Realizada esta breve presentación esquemática del funcionamiento estándar de los ascensores eléctricos, se procede a desarrollar de forma un poco más extendida las características de algunos de los componentes de una instalación de ascensores de tracción eléctrica:

4.2.2.1) Contrapeso

Con el contrapeso se consiguen rendimientos elevados, ya que su diseño permite que cueste menos desplazar la cabina. El contrapeso del ascensor eléctrico de tracción se calcula como el peso en vacío del ascensor más un 50% de la carga nominal del ascensor (carga máxima que puede desplazar el ascensor sin sufrir deterioros graves o poner en peligro la integridad de los usuarios). De este modo, cuando la cabina baja cargada con más de la mitad de su carga nominal, esta pesa más que el contrapeso y baja por efecto de la gravedad. De la misma forma, cuando la cabina sube vacía o con una carga menor que la mitad de la nominal, el contrapeso pesa más y baja por efecto de la gravedad mientras provoca la subida de la cabina. En ambos supuestos, el motor en lugar de consumir energía, la genera.

Este diseño, simple pero efectivo, de los contrapesos hace que el motor no tenga que entregar en cada viaje de subida un par equivalente al peso íntegro de la cabina más la carga adicional de pasajeros; permitiendo así la elección de motores más pequeños, de potencia nominal más reducida y, por lo tanto, reduciendo el coste de las instalaciones y el consumo de potencia eléctrica promedio.

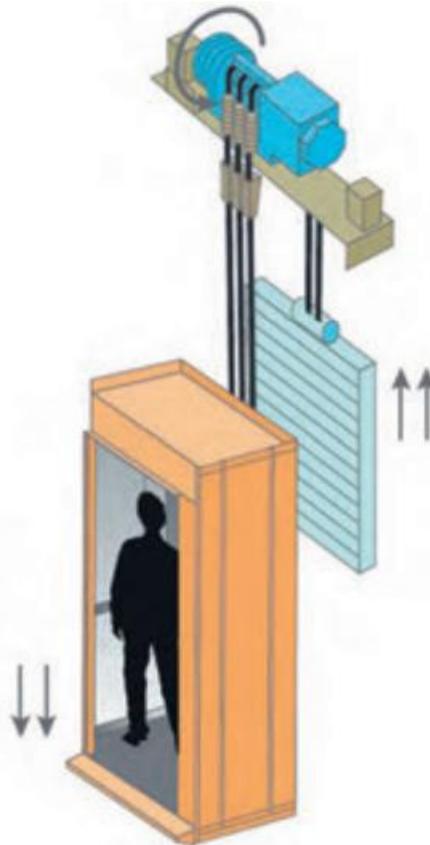


Figura 5. Contrapeso en acción [1].

4.2.2.2) Grupo Reductor

Este elemento se coloca entre el freno y la polea tractora. Actualmente, según Miravete y Larrodé (2012) casi todos los elevadores que incorporan este mecanismo son de tipo (tornillo) sinfín-corona (con una eficiencia del orden del 60%). Con sistemas alternativos como los de engranajes planetarios se consiguen rendimientos de hasta 90%. Siempre que la velocidad de los ascensores con motores asíncronos sea inferior a 2m/s, se implantan reductores. El tornillo Sinfín suele ser de acero y la corona de bronce.

El uso mayoritario del mecanismo Sinfín-corona se debe a que permiten una:

1. Transmisión muy compacta (ocupa poco espacio)
2. Reducción de cambios de piezas y mantenimiento (pocas piezas móviles)
3. Trasmisión silenciosa.
4. Alta resistencia al impacto.



Figura 6. Sistema reductor Sinfin-Corona [4].

4.2.2.3) Sistema de Poleas y Circuito de Elevación.

El circuito de elevación está formado por el conjunto de elementos que mantienen en suspensión la cabina y el contrapeso. Antiguamente, estaba constituido por cadenas y cables trenzados de acero, pero, en la actualidad, se emplean mayoritariamente estos últimos, aunque existen alternativas que buscan reducir al máximo el diámetro de las poleas en las que se integran para, de esta forma, reducir la potencia nominal del motor acoplado al sistema, como es el caso de las cintas planas de aceros recubiertas de poliuretano [4].

El movimiento de la cabina se realiza mediante la adherencia de los cables de acero a las gargantas de las poleas. En los ascensores eléctricos puede haber una polea o un tambor arrojando el cable que sostiene la cabina, siempre la velocidad del ascensor sea menor de 0.63 m/s [4]. Cuando la polea principal no consiga que entre los cables de la cabina y los cables del contrapeso haya la distancia requerida, se podrá emplear una polea de desvío, como se muestra en la Figura 4.



Figura 7. Poleas de desvío en una instalación de ascensores [21].

4.2.2.4) Sala de Máquinas.

La sala de máquinas, como su nombre indica, es el lugar que alberga los grupos tractores de la instalación de ascensores, el cual se sitúa en la parte superior de los edificios en el caso de los ascensores eléctricos. Sin embargo, el desarrollo de los ascensores ha permitido prescindir de este elemento en algunas instalaciones más modernas, las denominadas MRL (machine room-less), en las que casi todos aparatos encargados de transmitir movimiento a la cabina quedan incorporados en el hueco del ascensor [1].

4.2.2.5) Motores de Corriente Alterna.

Como afirman Miravete y Larrodé (2012) a principios del siglo XX, conforme la electricidad se fue extendiendo por todo el mundo, el ascensor hidráulico fue quedando relegado, dando paso al ascensor eléctrico de polea de tracción. En un principio, fueron impulsados por motores de corriente continua pero rápidamente fueron desplazados por las instalaciones con motores de corriente alterna, mucho menos costosas de mantener. Estos motores son:

- **Motores de una velocidad:**

Su curva par/velocidad apenas deja margen para variar la velocidad de funcionamiento. Su velocidad nominal solo varía según el número de pares de polos que tenga establecido la máquina según la ecuación (4) que se muestra en el subapartado “6.1.4) Velocidad de Giro”. Al solo poder adoptar una velocidad, sus frenadas son bruscas he imprecisas, por lo que incorporan volantes de inercia para asegurar que los ascensores queden bien nivelado en cada piso. Actualmente, están en desuso y prohibidos por las legislaciones de algunos países.

- **Motores de dos velocidades:**

Estas velocidades se consiguen mediante un motor trifásico de polos conmutables. Funcionan a una velocidad rápida durante el recorrido y otra lenta para el arranque y parada (con el consiguiente mayor confort para los usuarios debido a las frenadas menos bruscas) según la conexión de los devanados del estator. Esta conexión se consigue automáticamente mediante un dispositivo que se introduce en el circuito de maniobra que se acopla al motor. Los motores que más se emplean son los de 4 y 18 polos, cuyas velocidades nominales son 1450 y 325 r.p.m. aproximadamente [4]. Estos motores pueden prescindir de volantes de inercia, aunque su precisión de nivelación no es muy elevada. En la actualidad estos motores están siendo desplazados por los que incorporan un variador de frecuencia.

- **Motores con variador de frecuencia:**

Este sistema no necesita un volante de inercia dada su precisión para conseguir velocidades muy ajustadas sin sufrir cambios bruscos. Mediante el variador de frecuencia se pueden programar rampas de aceleración y deceleración para que los usuarios apenas noten las variaciones de velocidad. Excepto en los momentos de aceleración (en el arranque y en la frenada) el ascensor se desplaza a su velocidad nominal, con la tensión y frecuencia de la energía eléctrica suministrada al motor a su valor nominal.

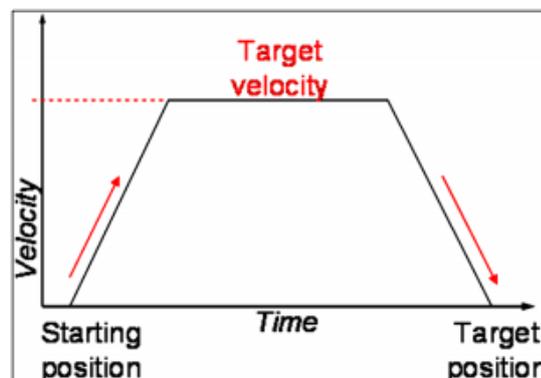


Figura 8. Perfil trapezoidal de las rampas de aceleración y deceleración del ascensor que se consiguen gracias a los variadores de frecuencia [22].



- **Motores síncronos de imanes permanentes:**

Se trata del único de los motores expuestos que no es de inducción. Lo incorporan ascensores de última generación, basados en sistemas de tracción directa en los que el eje del motor se acopla directamente a la polea que mueve el ascensor. De esta forma, se prescinde del sistema reductor de velocidad (se trata de un sistema gearless), con el correspondiente ahorro de energía. Con este sistema se reducen ruidos y vibraciones, además de que se evita la necesidad de lubricación de los elementos mecánicos de transmisión que ya no es necesario incorporar. Al igual que los motores asíncronos, pueden incorporar un variador de frecuencia y, aunque son más eficientes que los motores de inducción, su elevado coste hace que no sean tan competitivos como éstos.

Existen más elementos que forman parte de los sistemas elevadores, como son el circuito limitador de velocidad (también llamado paracaídas) el cual detiene la cabina en caso de exceso de velocidad y el sistema de control del ascensor. Sin embargo, no se desarrollan debido a la escasa relación que guardan con el objeto de este proyecto.

5) JUSTIFICACIÓN

En este apartado, se realiza una breve presentación de los aspectos mejorables para aumentar del rendimiento energético y global de los sistemas de elevaciones, los cuales complementan a los motivos expuestas en el apartado “3.1) Aumento de la Eficiencia en Ascensores”. Se mostrará una serie de soluciones alternativas que nos permiten utilizar la energía generada durante la bajada de los ascensores para diferentes fines y se justificará la solución elegida para llevar a cabo el ahorro energético de instalación. Todas las soluciones alternativas expuestas están pensadas para instalaciones de ascensores eléctricos que incluyan en sus sistemas de transmisión de potencia un variador de frecuencia por cabina, ya que todas necesitan la incorporación de estos elementos salvo el calentamiento de agua sanitaria.

5.1) Opciones de Ahorro Energético en Ascensores.

Los ascensores de última generación permiten conseguir grandes avances como una drástica reducción de consumo eléctrico y el uso de materiales reciclables no contaminantes para la elaboración de la mayor parte de la instalación. El consumo de menos energía favorece la reducción de emisión de gases de efecto invernadero. Mayoritariamente, estas nuevas tecnologías no necesitan cuarto de máquinas, con la consiguiente reducción de espacio inicial necesario para los sistemas elevadores en instalaciones de nueva construcción.

En España, la cifra de ascensores instalados fue de un millón en 2016, con un crecimiento medio de entre un 3% y un 4% anual [1].

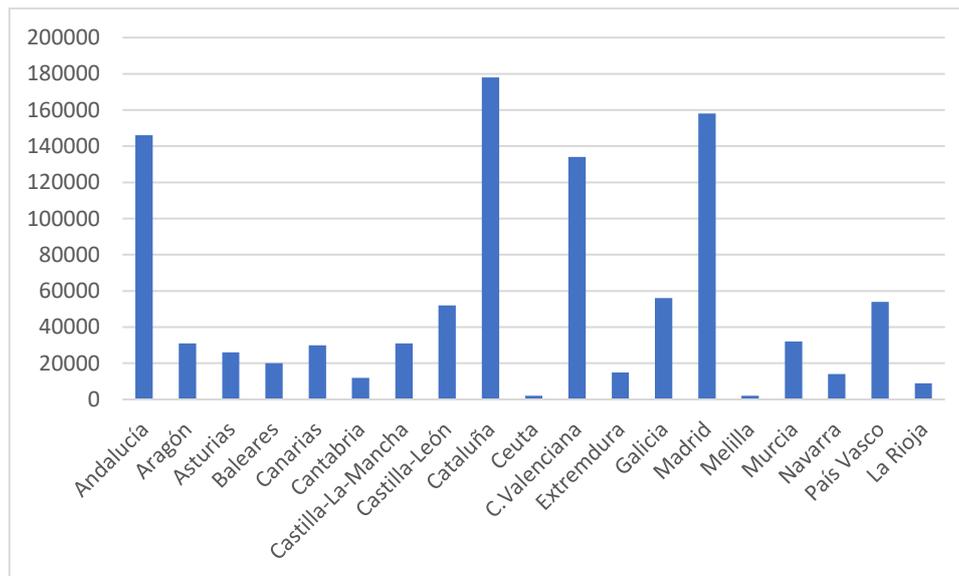


Figura 9. Reparto del parque de ascensores en España en 2011 [1].

De este millón de ascensores, aproximadamente 900000 contienen tecnologías obsoletas. Alrededor del 60% deberían ser sustituidas o modernizadas, ya sea por ineficiencia o por antigüedad; pero existen muchos ascensores que, por cuestiones técnicas, no pueden ser sustituidos por completo (hueco del ascensor de reducidas dimensiones, características de la estructura en la que se encuentran integrados, etc), haciendo inviable la implantación de ascensores de última generación en estos edificios [1].

Sin embargo, muchos de los aspectos que mayor consumo ineficiente de energía y recursos producen, pueden ser intercambiados por sistemas equivalentes más eficientes. Entre los sistemas a mejorar, destacan algunos como: los sistemas de engranajes que intervienen en las etapas de transmisión de potencia y que producen grandes pérdidas mecánicas (además de su elevado consumo de aceite para mantenerlos lubricados), los sistemas de iluminación permanente en las cabinas y, sobre todo, los sistemas de tracción eléctrica que tienen la capacidad de, con pequeñas mejoras, reducir el consumo de potencia eléctrica necesaria y aprovechar la energía producida en ciertas etapas del movimiento de los ascensores para su consumo, por ejemplo, en el propio sistema de elevadores [1].

Cabe mencionar que, en España, la luz de las cabinas permanece encendida constantemente en la mayoría de los ascensores instalados [1]. Este aspecto se puede mejorar fácilmente con el apagado automático de la iluminación de las cabinas. El apagado automático consigue un ahorro considerable del consumo eléctrico, reduciendo a su vez la temperatura de la cabina. Además, sustituyendo las reactancias convencionales por una electrónica, se eliminan los problemas de encendidos y apagados recurrentes en instalaciones con tubos fluorescentes (sistema de iluminación más común en España), alargando la vida útil de éstos [1]. En el caso de sustituir los tubos fluorescentes por leds, se necesita una mayor inversión inicial, pero se consigue rápidamente su amortización debido al menor consumo y mayor durabilidad que proporciona esta tecnología, la cual sufre un escaso deterioro debido a encendidos y apagados frecuentes.

Como ya se ha tenido ocasión de mostrar, el sistema de ahorro energético desarrollado en este proyecto se centra en el entramado del sistema de tracción eléctrica de los ascensores y, más concretamente, en las etapas de generación de energía por parte del motor de inducción que forma parte del sistema de transmisión de potencia eléctrica. Esta energía generada por el motor suele desperdiciarse en la resistencia de frenado en forma de calor. Sin embargo, la energía generada a lo largo de estas etapas puede ser empleada para distintos fines mediante la intermediación de los variadores de frecuencia, como se ve a continuación.

5.2) Soluciones Alternativas

Una de las alternativas para el aprovechamiento de la energía generada durante la bajada de un ascensor más interesantes consiste en la acumulación de esta energía en un módulo de supercondensadores específicos para este uso. Para ello, se conecta un convertidor bidireccional dc/dc al bus de continua del variador que nos permita transformar la corriente generada por el motor asíncrono en una corriente continua con un valor de tensión adecuado para la recarga de las supercapacidades. Este sistema es más ventajoso que las baterías debido a que los picos de potencia que se producen durante la recarga hacen que las baterías envejezcan muy rápido. Los supercondensadores tienen una mejor respuesta ante la entrega de potencias elevadas en cortos intervalos de tiempo, una larga vida útil con un rendimiento fiable, no requieren mantenimiento y permiten cargas rápidas [1]. Conforme se apilan más de ellos en paralelo, aumentamos de igual modo la capacidad de almacenaje del sistema. Esta energía es utilizada de nuevo para el movimiento de la cabina cuando es requerida, en lugar de utilizar la proporcionada por la red eléctrica.



Figura 10. Batería de supercondensadores [23].

Otra de las alternativas para el uso de esta energía consiste en verter directamente la energía generada a la red. Para ello, se conecta el bus de corriente continua del variador de frecuencia a una etapa inversora o al bus de otro variador de frecuencia que, transforma la potencia eléctrica que le llega, para que tenga los mismos parámetros de frecuencia y tensión que los de la red eléctrica a la que se conecta el sistema elevador.

Por último, cabe mencionar que existen sistemas menos sofisticados que aprovechan la energía calorífica proporcionada por las resistencias de frenado de los ascensores para el calentamiento de agua sanitaria mediante el uso de una caldera secundaria en la que se integran estas resistencias. El agua calentada en esta caldera se traslada a una caldera principal donde adquiere los valores de temperatura y presión adecuados.

5.3) Solución Elegida

La solución elegida, expuesta previamente en el apartado “2) Descripción Resumida del Proyecto”, tiene como principal adversaria el uso de supercondensadores para el almacenamiento de energía, ya que esta solución alternativa posee un mayor rendimiento en el aprovechamiento de energía debido a que no depende de que otro ascensor se ponga en marcha para que la energía sea utilizada en el sistema. Sin embargo, el módulo de supercondensadores y el convertidor dc/dc resultan elementos costosos que requieren de un espacio establecido para su instalación.

La solución que procesa el vertido de la energía generada a la red eléctrica requiere de la utilización de un convertidor adicional que se emplee solamente para este fin, además de que los filtros que se sitúan a la salida de este variador son muy costosos y de grandes dimensiones, ya que no se deben filtrar los armónicos de elevado orden que arrastra la tensión modulada a la salida del convertidor.

La utilización de una caldera secundaria puede resultar poco eficiente y es necesario un espacio suficiente para la instalación del sistema. Este sistema solo puede ser empleado en algunas construcciones, como los hospitales que presentan un sistema centralizado de calentamiento de aguas sanitarias.

Por el contrario, la conexión a través del bus de continua de un par de variadores de frecuencia solo requiere de un par de cables que tengan las dimensiones y protecciones necesarias para realizar la conexión entre ambos aparatos electrónicos, reduciendo significativamente el coste y la complejidad de la mejora con respecto a las demás alternativas. Este hecho (que sea la solución con la ratio rendimiento/complejidad más elevada), unido a la limitación de tiempo y contenido de este proyecto, han favorecido la elección de esta solución sobre las demás. La solución elegida puede ser empleada en toda infraestructura que presente dos o más ascensores eléctricos.

6) ANÁLISIS TEÓRICO

Para comprender algunos aspectos del sistema de transmisión de potencia eléctrica en una instalación de ascensores, desde la fuente de alimentación hasta su conversión en potencia mecánica en el motor, se realizará un análisis más en detalle del funcionamiento del motor de inducción y el variador de frecuencia; y se mostrará como interactúan estos elementos para conseguir que, durante la bajada de un ascensor eléctrico, se pueda aprovechar la energía generada.

6.1) Motor de Inducción

Alrededor del 50% de la energía eléctrica que es consumida y el 90% de los motores utilizados en la industria son motores de inducción. Este motor es un tipo de máquina asíncrona que fue inventada por Nikola Tesla y está compuesta por dos partes: el rotor y el estator.



Figura 11. Motor de inducción [6].

6.1.1) Funcionamiento

Los tres devanados del estator son alimentados por corrientes alternas trifásica, las cuales generan en el seno del estator un campo magnético perpendicular al eje de la máquina, que es constante en magnitud, pero que varía su orientación conforme discurren por las bobinas del estator las corrientes suministradas por la red trifásica. A la velocidad con la que gira el campo se le llama velocidad de sincronismo. Este campo magnético variable induce sobre las barras del rotor unas fuerzas electromotrices (f.e.m.) según la ley de Lenz, las cuales a su vez inducen unas corrientes sobre estas barras cortocircuitadas del rotor (precisamente se le llama motor de inducción debido a que su funcionamiento depende directamente de estas corrientes inducidas en el rotor). Al discurrir estas corrientes en el seno del campo magnético generado por el estator, se produce una fuerza sobre cada una de las barras del rotor de valor:

$$\vec{f} = (\vec{i} \times \vec{B}) \cdot \ell \quad (1)$$

Siendo:

- f = Fuerza generada sobre una de las barras del rotor.
- i = Intensidad de la corriente que discurre por la misma barra del rotor.
- ℓ = Longitud de las barras del rotor.
- B = Intensidad del campo magnético generado en los devanados del estator.

Debido a que las líneas de campo magnético entran y salen del rotor en la dirección radial de la máquina y que las corrientes circulan en la dirección axial, por la ley antes impuesta, se obtiene que la dirección de las fuerzas que se generan son tangentes al rotor y perpendiculares al eje de la máquina, generando un par interno que provoca que el rotor gire mientras el estator se mantiene fijo.

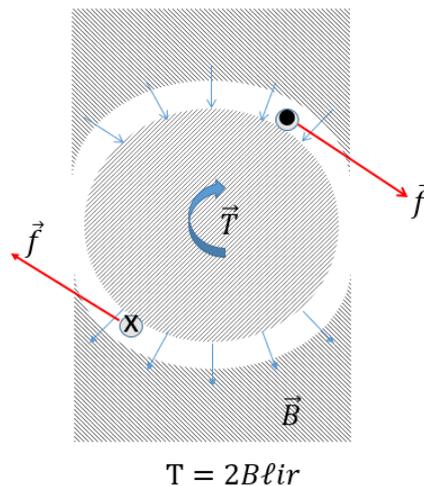


Figura 12. Par interno de los motores asíncronos [6].

Para aumentar el valor del par interno generado, se puede aumentar el flujo magnético reduciendo la reluctancia del circuito magnético. Esto se consigue intentado que todo el flujo de la máquina vaya por material ferromagnético, apilando chapas de acero en el interior del rotor y en la parte interna del estator para que el entrehierro sea mínimo. También se puede aumentar el valor del flujo magnético aumentando la fuerza magnetomotriz:

$$F_{mm} = N \cdot I \quad (2)$$

Siendo:

- F_{mm} = Fuerza magnetomotriz.
- N = Número de espiras de los devanados del estator.
- I = Intensidad de corriente que discurre por los devanados del estator.

Todo esto se debe a que el valor del flujo es directamente proporcional a la f.m.m. e inversamente proporcional al valor de la reluctancia del circuito magnético.

6.1.2) Tipos de Motores Asíncronos

Existen principalmente dos tipos de motores de inducción: los de rotor de jaula de ardilla y los de rotor bobinado. Los primeros consisten en un conjunto de barras cortocircuitadas con las que se obtiene un rotor robusto y de coste reducido debido a la automatización de su proceso productivo. Son el tipo de motor más utilizado y el que se implementará en la simulación. Los de tipo rotor bobinado resultan más costosos debido a que requieren una fabricación más manual para insertar una serie de bobinas entre las ranuras del rotor y necesitan un mayor mantenimiento al incorporar escobillas y anillos rozantes, pero esto permite modificar el comportamiento eléctrico del rotor.

Teniendo en cuenta el funcionamiento expuesto anteriormente de los motores asíncronos, se puede deducir que la máquina de inducción puede arrancar sola (siempre que el par resistente al que tenga que hacer frente sea lo suficientemente pequeño).

En el motor de jaula de ardilla, el par de arranque puede ser pequeño porque, durante el arranque, las corrientes de las barras están muy atrasadas respecto de la f.e.m. inducida en el rotor. El par puede ser pequeño a pesar de que las corrientes en el arranque son muy elevadas. Esto se debe a que el campo inducido por los devanados del estator gira muy rápido respecto al rotor, por lo que la frecuencia de la f.e.m. inducida en las barras es alta, aumentando el valor de la reactancia del rotor. Este desfase se va reduciendo conforme aumenta la velocidad de giro del rotor.

En cambio, en las máquinas de rotor bobinado y de anillos rozantes, durante el arranque, para reducir el desfase entre la f.e.m. inducida y las corrientes del rotor, se insertan resistencias en sus devanados. Esto permite que el par de arranque sea más elevado e, incluso, que la máquina arranque con el par máximo que proporciona el motor. Más adelante se verá cómo se emplean los variadores de frecuencia para que los motores de jaula de ardilla puedan arrancar con un valor de par nominal.

6.1.3) Régimen Motor y Generador

Según la ley de Lenz mencionada anteriormente, las fuerzas electromotrices inducidas en el rotor han de oponerse a la causa que las producen (el campo magnético giratorio).

Para que esto suceda, el rotor girará en el mismo sentido que el campo, ya que de esta forma la velocidad del campo respecto del rotor (velocidad de deslizamiento) será menor, lo que provocará un descenso de las ff.ee.mm inducidas en el rotor, con la consiguiente disminución de las corrientes que circulan por sus barras y del par interno que éstas generan.

Siempre que la velocidad de deslizamiento no sea igual que la de sincronismo (velocidad relativa entre el campo y el rotor nula), se inducirán ff.ee.mm en el rotor. Este es el origen de la denominación de asíncrona a estas máquinas, ya que siempre debe haber cierto desfase entre estos elementos para que aparezca un par interno en el motor. De esta forma, se puede establecer que las ff.ee.mm. inducidas en el rotor valdrán:

$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \ell \quad (3)$$

Siendo:

- e = Fuerza electromotriz inducida en una de las barras cortocircuitadas del rotor.
- v = Velocidad relativa del rotor respecto del campo magnético.

Se le añade el vector a la f.e.m. aunque sea una propiedad escalar para mostrar su orientación en la siguiente imagen:

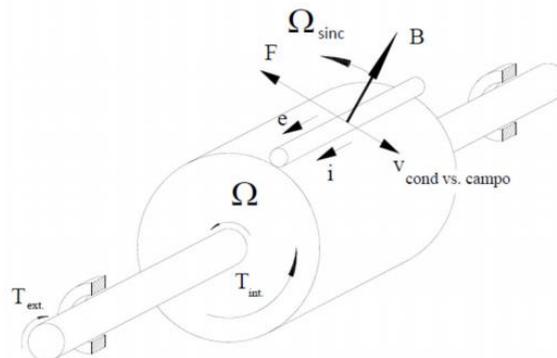


Figura 13. Dirección y sentido de las magnitudes que afectan al rotor en régimen motor [6].

Se ha de entender que, aunque el rotor gire en el mismo sentido que el campo magnético desde la perspectiva del estator, desde la perspectiva del propio campo, el rotor se aleja de él en sentido contrario. Esto hace que el rotor de la figura, el cual gira hacia la izquierda, tenga que la velocidad relativa va en sentido contrario.

Siguiendo las ecuaciones (1) y (3), se obtiene que, como ya se ha adelantado, la fuerza resultante impulse al rotor en el mismo sentido de giro del campo.

Una de las principales ventajas de los motores de inducción es que permiten pasar fácilmente de régimen motor a régimen generador. Si se considera que el rotor gira en el mismo sentido que el campo, pero más deprisa, esto hará que, desde la perspectiva del campo, la velocidad relativa entre ellos tenga el sentido contrario al que disponía cuando la máquina trabajaba como motor. De esta forma, siguiendo las mismas pautas que en la imagen anterior, la distribución de magnitudes quedaría tal que:

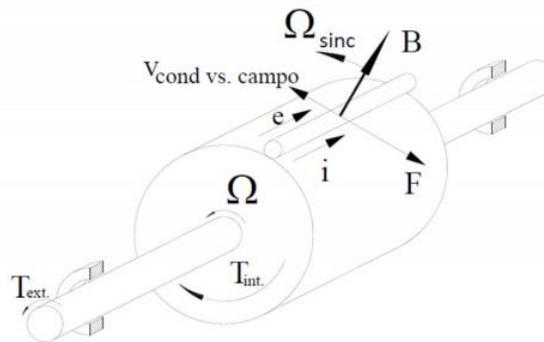


Figura 14. Dirección y sentido de las magnitudes que afectan al rotor en régimen generador [6].

En este caso, el par interno que se genera se opondrá al sentido de giro del par externo y, por lo tanto, al sentido de giro de la máquina. Este mecanismo es el que permite que, durante la bajada de los ascensores, el motor pase a funcionar en régimen generador y se pueda entregar potencia eléctrica a través de los terminales del estator.

6.1.4) Velocidad de Giro

La velocidad de giro del rotor en régimen nominal es próxima a la velocidad de sincronismo. La velocidad a la que el estator ve girar el campo magnético depende de la frecuencia de las corrientes que alimentan el estator y del número de pares de polos de la máquina, los cuales son una característica constructiva de los devanados del estator que varían su valor en función del número de bobinas de cada una de las fases y su disposición. Si se expresa la velocidad de sincronismo en r.p.m., queda que:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (4)$$

Siendo:

- n_s = Velocidad de sincronismo en r.p.m.
- f = Frecuencia de las corrientes que circulan por los devanados del estator en Hz.

- p = Número de pares de polos.

La velocidad de deslizamiento será cercana pero inferior a la de sincronismo y se determinará estableciendo el equilibrio entre el valor de la carga resistiva (par externo) y el par interno de la máquina.

En la siguiente tabla se ve como varía la velocidad de sincronismo en función del número de pares de polos con un valor de la frecuencia de la red de 50Hz (valor estándar de la red europea):

p (pares de polos)	1	2	3	4	5	6
n_s (r.p.m.)	3000	1500	1000	750	600	500

TABLA 1. Velocidad de sincronismo según el número de pares de polos del motor [6].

En la ecuación (4), se observa que la velocidad de giro del campo magnético producido por el estator depende directamente de la frecuencia de la corriente que circula por sus devanados, por lo que se puede variar la velocidad de giro de la máquina modificando la frecuencia a la que se alimenta el estator. Esto se consigue mediante el variador de frecuencia, el cual permite regular la velocidad y los periodos de aceleración de los ascensores.

6.2) Variador de Frecuencia

Con los variadores de frecuencia es posible conseguir que los motores de inducción trabajen con rendimientos altos en un amplio rango de velocidades (desde 0 hasta varias veces la velocidad nominal). Esto se consigue modificando la tensión y la frecuencia de su fuente de alimentación (la red eléctrica trifásica normalmente).

6.2.1) Partes del Variador

En la siguiente imagen, se muestran las tres ramas electrónicas que componen un variador de frecuencia estándar:

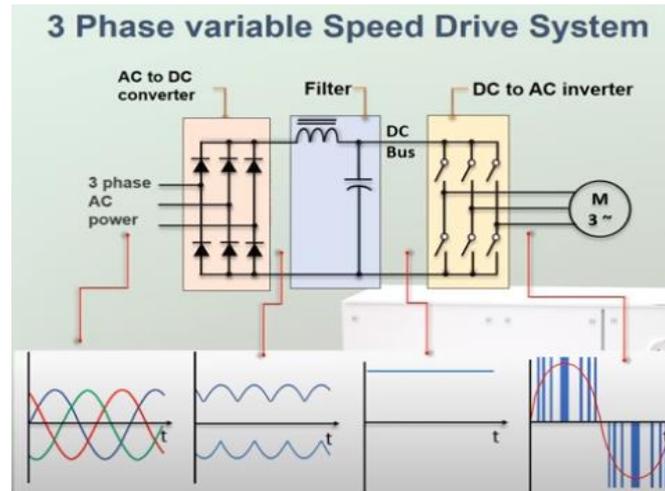


Figura 15. Etapas de un variador de frecuencia estándar [6].

La primera etapa, la llamada **etapa rectificadora**, consiste en un puente de diodos que transforma las tensiones trifásicas de la red en tensión continua con un fuerte rizado.

En la etapa intermedia se dispone de un filtro de potencia mediante un condensador dispuesto es paralelo para reducir el rizado de la tensión. Puede incluir una bobina en serie para alisar la corriente. Esta etapa intermedia es el denominado **bus de corriente continua**.

La última etapa (conocida como **etapa de inversión**) se compone normalmente de transistores IGBT y se alimenta con la tensión continua del bus de CC. Como estos transistores solo trabajan en las zonas de saturación y corte, se pueden representar como si fuesen interruptores, los cuales son abiertos aplicando una diferencia de tensión entre la puerta y el emisor del transistor que, a partir de cierto valor, permite la circulación de la máxima corriente posible entre el colector y el emisor, siendo la caída de tensión entre estos terminales prácticamente nula. En caso de que la tensión aplicada sea nula o negativa, los transistores permanecen cerrados.

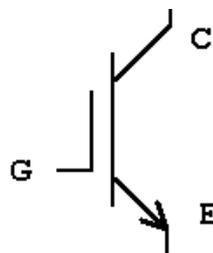


Figura 16. Esquema de un transistor IGBT [24].

Al ser interruptores electrónicos, la frecuencia de apertura y cierre de estos elementos es mucho más elevada que si fuesen interruptores mecánicos. La velocidad de apertura o

cierre de los transistores la va a determinar la frecuencia de los pulsos de tensión que le apliquemos en la puerta (gate) de cada elemento.

Se implementan unos diodos de recirculación en los transistores de la etapa de inversión debido a que, como estamos alimentando las bobinas inductivas de las fases del motor, cuando queremos interrumpir la corriente que circula por los devanados del estator, aparece una fuerza electromotriz que intenta mantener la corriente ($-L \cdot (di/dt)$) y que produce sobretensiones muy elevadas, por lo que se disponen los diodos en antiparalelo para que absorban esos picos de tensión y no destruyan los IGBT. Además, más adelante se verá que, cuando el motor funcione como generador durante el descenso de los ascensores, es posible utilizar los diodos de recirculación a modo de etapa rectificadora de la potencia generada.

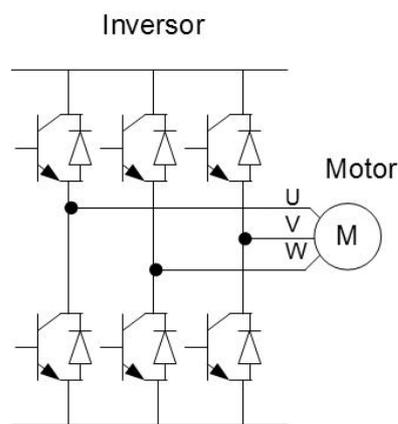


Figura 17. Imagen que muestra los diodos en antiparalelo que se incorporan a los IGBT de la etapa de inversión [25].

6.2.2) Implementación en Motores

Para que el flujo magnético del motor permanezca constante y, de esa forma, la máquina no pierda capacidad de proporcionar par, además de ajustar la frecuencia de alimentación, se ha de modificar el valor de la tensión que entra al motor, ya que la f.e.m. inducida en las fases del estator es proporcional a la intensidad del campo magnético del entrehierro y a la velocidad de sincronismo, lo que le relaciona directamente con la frecuencia de alimentación. Si se desprecia la caída de tensión en los devanados del estator, se puede considerar que la propia tensión de alimentación del motor es equivalente a la f.e.m. inducida en el estator, quedando que:

$$E \propto f \cdot \Phi \quad (5)$$

Siendo:

- E = Valor eficaz de la tensión de alimentación del motor.
- f = Frecuencia de la tensión de alimentación del motor.

- Φ = Valor del flujo magnético del campo generado en el motor.

En el pie de página de la Figura 12, se incluye la ecuación:

$$T = 2Blir \quad (6)$$

Siendo:

- T = Valor del par interno del motor de inducción.
- B = Intensidad del campo magnético (siendo $B \propto \Phi$).
- i = Intensidad de las corrientes del rotor.

De esta última ecuación es de la que se deduce que, para mantener el par nominal en todo el rango de velocidades de la máquina constante, se ha de mantener el flujo constante. Según la ecuación (5), esto lo podemos conseguir manteniendo la ratio entre tensión y frecuencia constante: $\Phi \propto E/f = cte$. Por ello, si se quiere reducir la velocidad de rotación del motor, se debe (al reducir la frecuencia) reducir la tensión de alimentación también.

Esto se consigue mediante un microcontrolador conectado a las bases de los transistores que permite conseguir las frecuencias deseadas y, además, realizarle cortes a la tensión para que su valor eficaz se reduzca mediante la técnica de PWM (modulación por anchura de pulso):

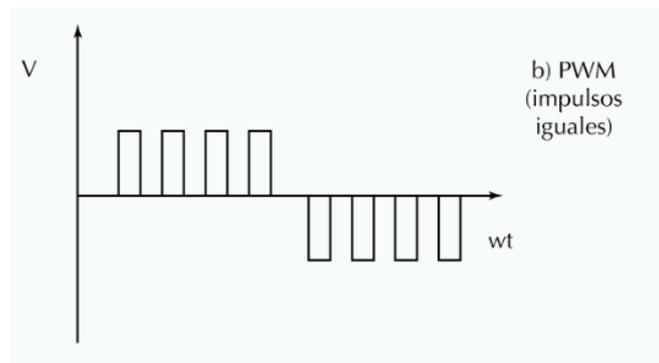


Figura 18. PWM de impulsos iguales [4].

Estos pulsos de tensión se consiguen con velocidades de conmutación de los IGBT más rápidas (del orden de kilohertzios). Jugando con la anchura de los pulsos mediante la técnica PMW, se pueden conseguir tensiones más parecidas a las senoidales (con menos armónicos) haciendo que los pulsos centrales del periodo tengan un ancho mayor que los pulsos en el extremo:

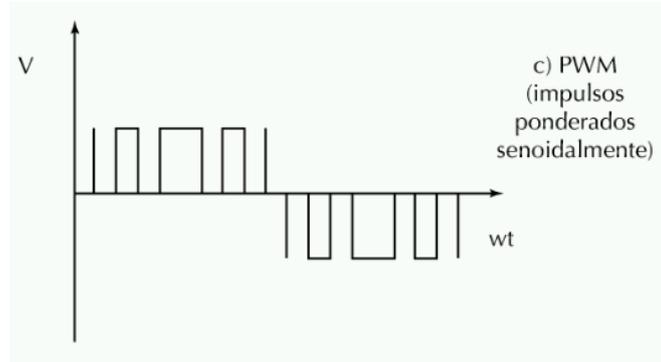


Figura 19. PWM de impulsos ponderados senoidalmente [4].

De esta forma, se puede aumentar o reducir el valor de la tensión generando pulsos más anchos o estrechos respectivamente.

En la siguiente imagen, se observa que la corriente que circula por los devanados del estator no tiene picos tan grandes como la tensión que sale de los variadores de frecuencia debido al efecto de inductivo de los devanados del motor:

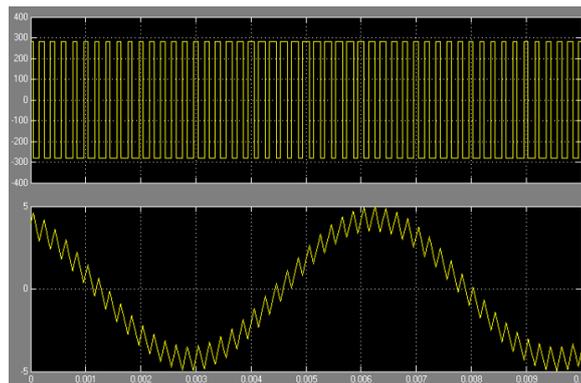


Figura 20. Tensión de entrada al motor y corriente respectivamente [6].

Se puede reducir el rizado de la corriente programando pulsos más finos y repetidos en el tiempo:

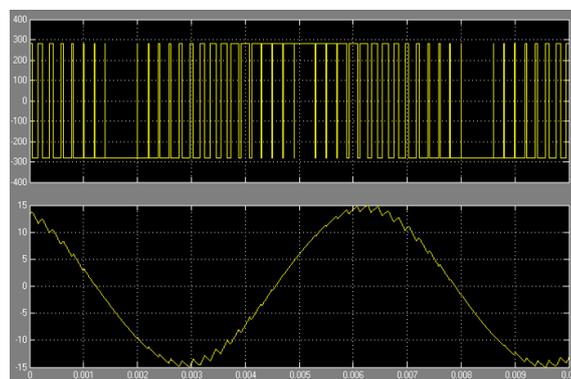


Figura 21. Tensión de entrada al motor y corriente respectivamente [6].

La técnica PWM, para permitir que el variador genere tensiones muy parecidas a las senoidales, emplea una onda triangular, la cual se genera previamente, por ejemplo, cargando y descargando un condensador, pudiendo elegir su frecuencia y amplitud en función de las características del circuito diseñado para generar esta señal: capacidad del condensador, tiempo de descarga, etc.

De forma simplificada, el funcionamiento de los dispositivos que aplican la técnica PWM para sistemas de potencia trifásicos, trabajan generando unas señales trifásicas de control; de forma que, cada una de estas señales trifásicas se hace pasar por un comparador (por ejem.: un amplificador operacional trabajando en saturación) junto a la señal triangular expuesta previamente. Por ello, la señal de salida de cada comparador, cuando la señal senoidal sea mayor que la triangular, será +E, mientras que, si ocurre lo contrario, la señal será 0 o -E, dependiendo de la configuración de los comparadores.

Estos pulsos de tensión que salen de los comparadores se conectan entre las puertas y los emisores de los transistores IGBT, haciendo que estos trabajen, cuando el valor del comparador es +E, en saturación y permitiendo que circule la máxima corriente entre colector y emisor, siendo la caída de tensión V_{ce}^1 mínima (idealmente nula). El transistor trabaja entonces como un interruptor cerrado. Si V_{ge}^2 es menor o igual que la tensión mínima a partir de la cual comienza a circular corriente entre colector y emisor ($V_{ge}=0$ o -E), entonces el transistor funcionará como un interruptor abierto (zona de corte)

En cualquier caso, se ha de recordar que la tensión que proporciona la red no es la misma que la que genera las ff.ee.mm. en el estator. El valor eficaz de la corriente que circula por el motor es igual a su valor nominal en todo el rango de velocidades cuando el motor trabaja en régimen permanente para que el par interno no reduca su valor, ya que las corrientes inducidas en el rotor de la ecuación (6) dependen directamente del valor de las corrientes en el estator.

Este hecho hace que, a frecuencias bajas, haya que elevar la tensión por encima de la que proporciona la ratio E/f para así compensar las pérdidas de carga que se producen en el estator. Este aumento de tensión a frecuencias bajas es un parámetro que se puede programar en los variadores de frecuencia a través del microcontrolador que acciona las puertas de los transistores.

¹ V_{ce} = Tensión colector-emisor.

² V_{ge} = Tensión puerta-emisor.

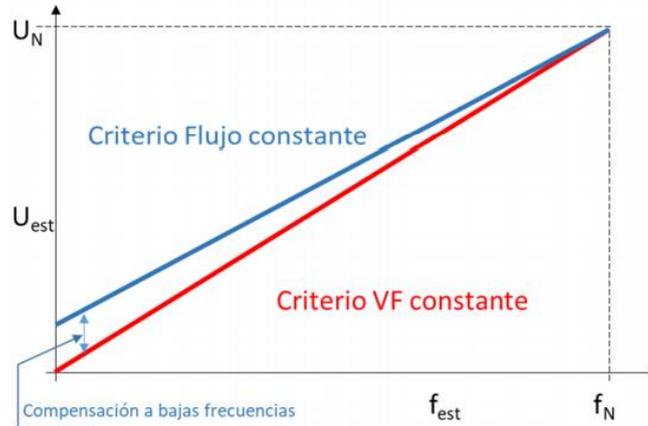


Figura 22. Boost de tensión a frecuencias bajas para mantener el flujo constante [6].

Gracias al variador de frecuencia se pueden programar rampas de aceleración para los ascensores arranquen a frecuencias bajas hasta alcanzar su frecuencia nominal. De la misma forma, se pueden implementar otras rampas en la que la frecuencia de las tensiones introducidas al motor se reduzca hasta anularse coincidiendo con la parada del mismo.

Ahora bien, para frecuencias mayores que la nominal (50Hz), no se puede mantener la ratio E/f , ya que el variador de frecuencia no puede proporcionar tensiones mayores que la de la red (230V para redes de baja tensión), por lo que, si se quiere aumentar la velocidad del motor por encima de la nominal, se producirá un descenso del flujo magnético (ecuación (5)) que provocará una reducción del par interno del motor de inducción.

Además, aumentar la tensión de alimentación por encima de la nominal puede generar un fallo en los aislamientos de los devanados y los variadores de frecuencia no admiten sobrecargas, ya que los convertidores electrónicos son más sensibles a estos fenómenos. De esta forma, a velocidades superiores a la nominal se establece el criterio de tensión constante.

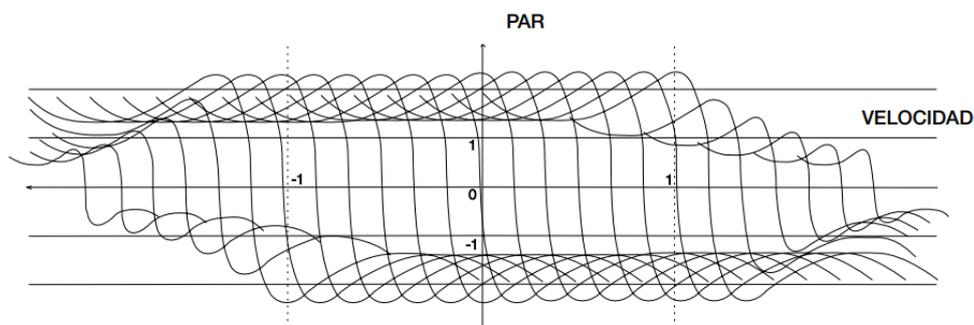


Figura 23. Curvas de par/velocidad de un motor de inducción alimentado por un variador de frecuencia [6].

Cabe mencionar que, en la práctica, a velocidades menores que la nominal, el motor entrega un par menor que el nominal, ya que el ventilador acoplado al motor va más despacio y no consigue evacuar tanto calor como a velocidad nominal. Este exceso de calor se debe a que, en todo momento, las corrientes de entrada al motor son iguales en valor a la corriente nominal. Para poder disipar este calor, se ha de reducir la corriente, y con ella disminuirá el par que entrega el motor, como se muestra en la gráfica 1) de la Figura 24. Si el ventilador se acciona de forma independiente, esta limitación no existe.

En la siguiente imagen se muestra el par mecánico que un motor estándar puede entregar respecto a su valor nominal para todo el rango de velocidades que va desde 0 hasta 2 veces la velocidad nominal.

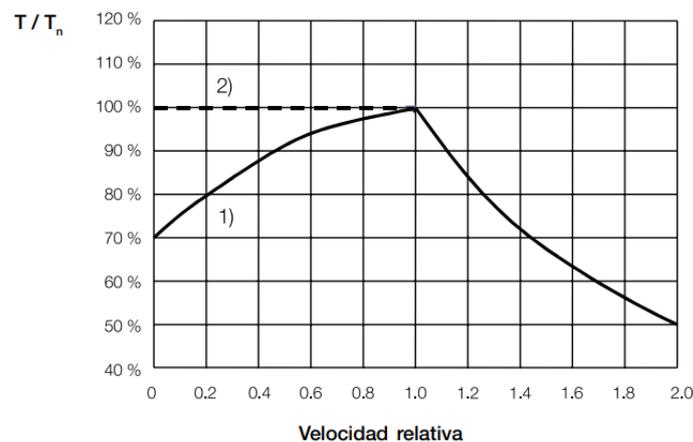


Figura 24. 1) Par que entrega el motor si el ventilador está acoplado a su eje. 2) Par que puede entregar el motor si el ventilador se acciona de forma independiente [6].

6.3) Supuesto Teórico

Una vez explicado el funcionamiento de los principales elementos que intervienen en este proyecto, se procede a mostrar cómo es posible utilizar estos dispositivos para conseguir aprovechar la energía que se genera durante la bajada de los ascensores eléctricos para impulsar, con este excedente de energía, otro ascensor durante su elevación.

Como ya se comentó en el subapartado “4.2.2.1) Contrapeso”, el contrapeso está diseñado para que una cabina que asciende con menos de la mitad de la carga nominal que puede albergar, se eleve por acción de la gravedad, ya que el contrapeso pesa más que la carga de la cabina y la propia cabina juntas. Sin embargo, a lo largo de este proyecto, se considera que la cabina de ascensor siempre trabaja con la máxima carga que puede contener (carga nominal). Es por ello que, el motor acoplado a un ascensor solo genera energía cuando este baja. De la misma forma, siempre tiene que proporcionar el par necesario en caso de que la cabina suba.

Antes de entrar en detalles técnicos, se ha de tener en cuenta el tipo de carga que ha de vencer el grupo tractor de los ascensores durante su subida:

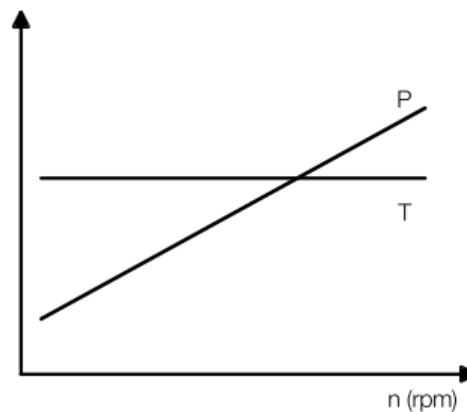


Figura 25. Curvas de par y potencia típicas en una aplicación a carga constante [6].

Como observamos en la Figura 25, el par resistivo que supone el ascensor es un par constante, por lo que el motor que se eligiera para un modelo dado de elevador tendrá que generar, para cualquier velocidad de la cabina según sea la frecuencia de alimentación del estator, un par nominal de igual valor al par resistivo del ascensor. Gracias al variador de frecuencia, el motor puede arrancar con valor de par nominal.

Ocurre que, en este tipo de cargas constantes, como se puede observar en la imagen anterior, la potencia que hay que suministrar al motor aumenta linealmente a mayor velocidad de la carga. Para realizar una instalación lo más eficiente posible, habrá que elegir un motor (que entregando el par nominal correspondiente) proporcione la misma potencia que consume la carga durante su ascenso.

El proyecto aquí desarrollado está orientado a la mejora de una instalación de ascensores eléctricos dada; pero, para el óptimo funcionamiento de la misma, los ingenieros que diseñaron la instalación a mejorar debieron de haber elegido un motor eléctrico apropiado, el cual sea capaz de entregar una potencia necesaria que pueda: compensar la carga no equilibrada por el contrapeso, alcanzar la velocidad de régimen de desplazamiento de la cabina y vencer todas las resistencias pasivas que se oponen al movimiento del ascensor, como el rozamiento sobre las guías de la cabina y contrapeso, la resistencia opuesta por la rigidez de los cables, el rozamiento en los ejes de las poleas y las resistencias en el movimiento del grupo tractor. Todas estas resistencias mencionadas se convierten en pérdidas energéticas que se disipan en forma de calor.

Durante la bajada de la cabina, el motor que funciona a modo de generador estará entregando por los bornes de su estator unas corrientes que irán a parar, en primera instancia, al variador de frecuencia que lleva acoplado. Estas corrientes se introducirán, como se mostró en la Figura 17, por la etapa inversora del variador que, gracias a los diodos en antiparalelo de los IGBT, funciona a modo de etapa rectificadora para esta potencia eléctrica, generando una tensión continua cuyo rizado se filtra gracias al condensador del bus de CC.

Llegados a este punto, el puente rectificador no permite el trasiego de energía de la máquina hacia la red; por lo que, en la mayoría de las instalaciones de ascensores actuales, una vez que se carga el condensador de la etapa intermedia del variador, se acciona un interruptor que conecta la ya mencionada resistencia de frenado a los terminales del bus de CC, por lo que se desaprovecha la energía generada por la bajada de los ascensores en forma de calor.

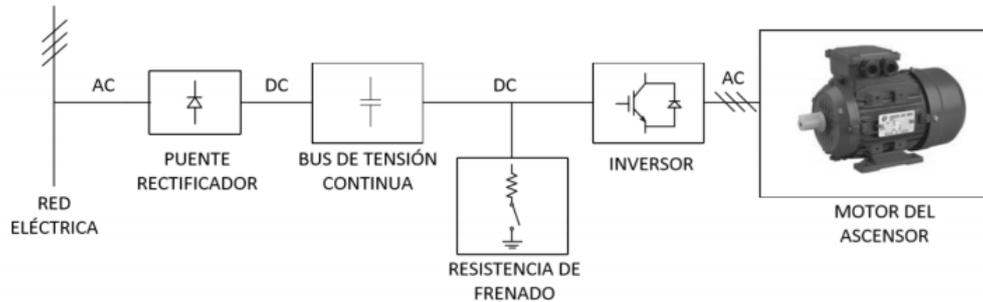


Figura 26. Esquema del trasiego de la potencia eléctrica en una instalación de ascensores [26].

Sin embargo, resulta más interesante aprovechar esa potencia eléctrica para impulsar otro ascensor uniendo este variador de frecuencia a otro mediante conexiones entre los terminales de sus respectivos buses de CC, como se muestra en la siguiente imagen:

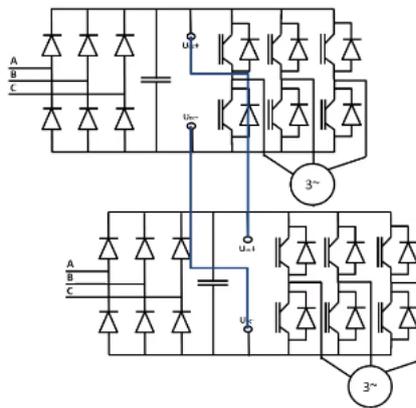


Figura 27. Conexión a través de los buses de CC de dos variadores de frecuencia [27].

Este segundo variador, que irá conectado al motor que impulsa el otro ascensor, utilizará la potencia eléctrica que le suministra el primer variador en lugar de la que puede obtener de la red eléctrica. La tensión que le llega, ya rectificada, pasará directamente a la etapa inversora para generar la tensión y corriente alterna necesarias para impulsar el segundo ascensor, consiguiendo así cumplir con el propósito de este trabajo final de grado.

7)SIMULINK

Como ya se comentó en el apartado “2) Descripción Resumida del Proyecto”, al no disponer de una instalación de ascensores con un mínimo de dos de ellos para experimentar, se realizará una modelización del sistema de transmisión de potencia eléctrica de un par de ascensores para conocer la energía que la conexión de los buses de continua permite dejar de demandar de la red eléctrica.

La simulación se ejecutará en tres pasos. En primer lugar, se realizará una simulación de la subida del ascensor sin la conexión de los buses, consumiendo enteramente la energía proporcionada por la red eléctrica establecida. En el siguiente script, se mostrará el funcionamiento estándar de la baja del ascensor, donde el excedente de energía generada en el motor será consumido por una resistencia de frenado. Finalmente, se conectarán un par de sistemas de transmisión de potencia a través del bus de continua y trabajarán simultáneamente para, de esta forma, obtener valores concretos de la potencia que proporciona la bajada de un ascensor a la subida de otro.

Esta energía que deja de consumirse de la red es el objeto principal del presente trabajo final de grado, ya que, a partir de ella, se podrán calcular los rendimientos que proporciona la mejora introducida en una instalación de elevadores. Los cálculos de estos rendimientos se recogerán en el subapartado “7.4) Análisis de Resultados”

Solo se tendrá en cuenta el funcionamiento en régimen nominal de las modelizaciones, dejando los problemas derivados de los arranques y paradas del motor de las instalaciones simuladas como situaciones interesantes para una posible ampliación de este trabajo.

7.1) Subida del Ascensor

En la siguiente, imagen se muestra al completo el script de la simulación de la subida del ascensor, en la que se han implementado los bloques que forman parte de la transmisión de potencia eléctrica, desde la fuente de energía (red eléctrica) hasta el motor asíncrono pasando por las diferentes etapas del variador de frecuencia.

Directamente se aplica un par resistivo sobre el motor, el cual equivale al par necesario que el motor ha de entregar para elevar la cabina del ascensor más el par adicional que se necesita para vencer las pérdidas de transmisión de potencia que se producen en el sistema de poleas y en el grupo reductor principalmente.

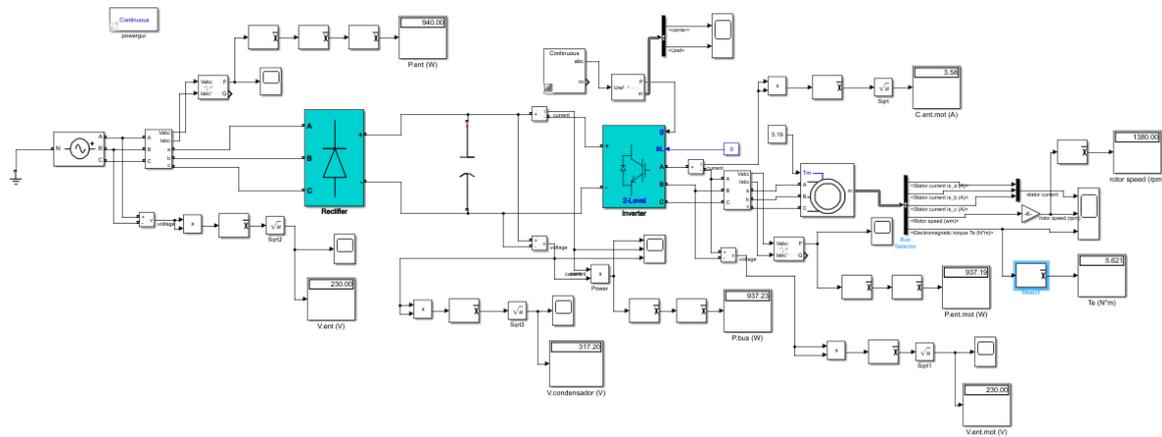


Figura 28. Script completo de la subida del ascensor.

El valor del par resistivo elegido para la modelización de la subida equivale al par nominal del motor cuyas características de funcionamiento han sido implementadas en todas las simulaciones realizadas. A continuación, se muestra su placa de características:

SIEMENS		DIN VDE 0530	
3~MOT		ILA2083-4AB10 080	
NoM 6962702	IP 55	IM B3	ThCl F
50 Hz Y/Δ 400/230 V		60 Hz Y 460 V	
0,75 Kw 1,9 / 3,3 A		0,9 Kw 1,9 A	
cos φ 0,79 1380/min		cos φ 0,78 1670/min	
IEC 38 ROT.KL 13 (F)			
32183 7305	95/06	OHO40008	

Figura 29. Placa de características del motor utilizado en la simulación [6].

Sabiendo que:

$$T = P_{mec} / \omega \quad (7)$$

Siendo:

- T = Par que genera el motor.
- P_{mec} = Potencia mecánica generada por el motor. $P_{mec} = 0.75\text{Kw}$ según la placa en régimen nominal.

- ω = Velocidad de giro del rotor respecto al estator en rad/s. ω
=1380rev/min*($2\pi/60$) =144.51rad/s en régimen nominal.

De esta forma, $T = 750w/144.51rad/s$; por lo que: $T = 5.19Nm$ cuando el motor trabaja a velocidad y potencia nominales.

Para una instalación de ascensores dada, el motor elegido habría de poseer un par nominal similar al par resistivo que genera el ascensor durante su subida y una potencia adecuada a la velocidad nominal de subida del ascensor. Como la instalación de ascensores con la que trabajamos es hipotética, se adecúa el funcionamiento de la instalación al motor del que disponemos.

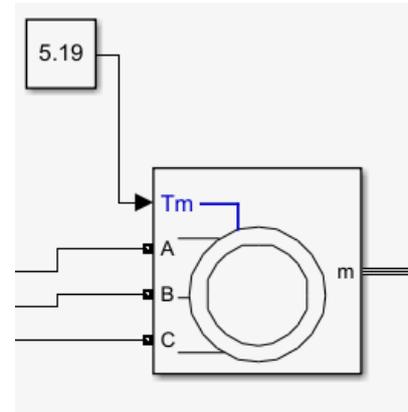


Figura 30. $T_m=5.19Nm$ como input del motor asíncrono.

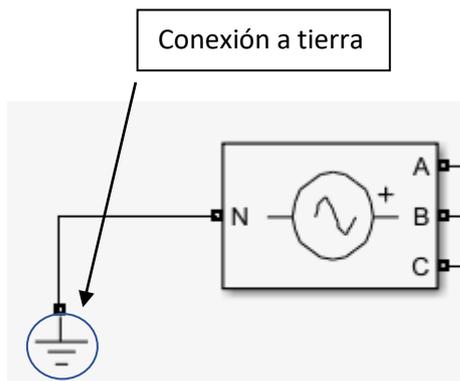


Figura 31. Red eléctrica de $U=230V$ y $50Hz$.

En régimen nominal, los motores trabajan en conexión triángulo; por lo que, según la placa de características, la fuente de tensión de la instalación será de $U=230V$ y $50Hz$, ya que se trabaja con la red eléctrica europea.

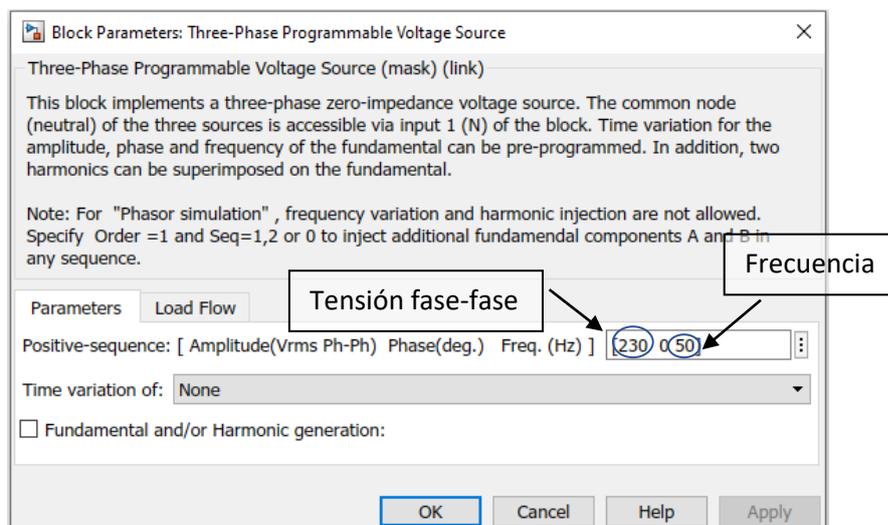


Figura 32. Pestaña que permite seleccionar las características de la fuente de tensión.

En la entrada del variador se generan picos de corriente muy altos y estrechos que se producen en los intervalos en los que la tensión que pasa por el puente de diodos rectificadores supera a la tensión del condensador. Estos elevados picos de corriente acarrearán armónicos de orden muy elevado que pueden producir problemas grandes en toda nuestra red. Si se conecta un osciloscopio a una de las fases que entran en el variador, podemos observar este fenómeno:

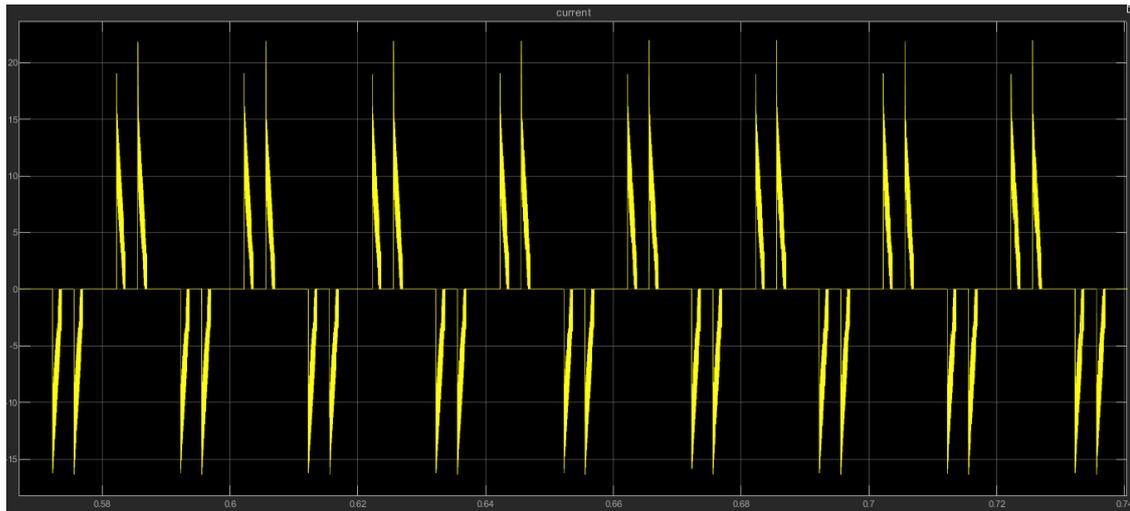


Figura 33. Corriente a la entrada del variador.

Para evitarlo, se puede conectar un filtro a la entrada del variador para que no contamine el resto de la instalación con los picos de corrientes, aunque este filtro reduzca el factor de potencia de la instalación.

En el caso de la instalación modelada, prescindimos de este filtro, por lo que conectamos la red eléctrica directamente a la primera etapa del variador. El puente de diodos rectificador.

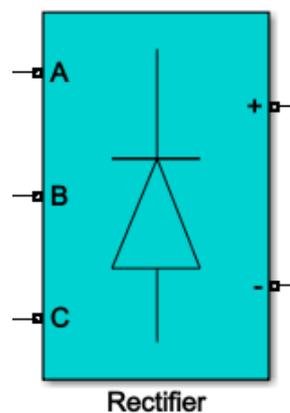


Figura 34. Etapa rectificadora del variador de frecuencia.

The screenshot shows the 'Block Parameters: Rectifier' dialog box with the following parameters and annotations:

- Universal Bridge (mask) (link):** This block implement a bridge of selected power electronics devices. Series RC snubber circuits are connected in parallel with each switch device. Press Help for suggested snubber values when the model is discretized. For most applications the internal inductance Lon of diodes and thyristors should be set to zero
- Parameters:**
 - Number of bridge arms:** 3. Annotation: "El puente de diodos tendrá 3 ramas para rectificar la corriente trifásica"
 - Snubber resistance Rs (Ohms):** inf. Annotation: "Se eliminan los valores RC de las ramas que la aplicación nos permite conectar en paralelo a cada diodo"
 - Snubber capacitance Cs (F):** 0. Annotation: "Se eliminan los valores RC de las ramas que la aplicación nos permite conectar en paralelo a cada diodo"
 - Power Electronic device:** Diodes. Annotation: "Se colocan diodos en las ramas del puente rectificador"
 - Ron (Ohms):** 1e-3. Annotation: "Se selecciona una resistencia para el paso de la corriente a través de los diodos de valor muy reducido para permitir la carga rápida del condensador de la etapa intermedia (bus de continua)"
 - Lon (H):** 0
 - Forward voltage Vf (V):** 0. Annotation: "No se selecciona ningún requisito de tensión para el paso a través de los diodos"

Figura 35. Pestaña que permite seleccionar las características de la etapa rectificadora.

Tras seleccionar adecuadamente los valores del puente rectificador, se conecta a la salida, en paralelo, el condensador del bus de continua que permite alisar la tensión en la etapa intermedia para que su rizado no sea muy elevado.

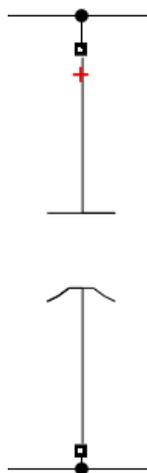


Figura 36. Condensador de la etapa intermedia.

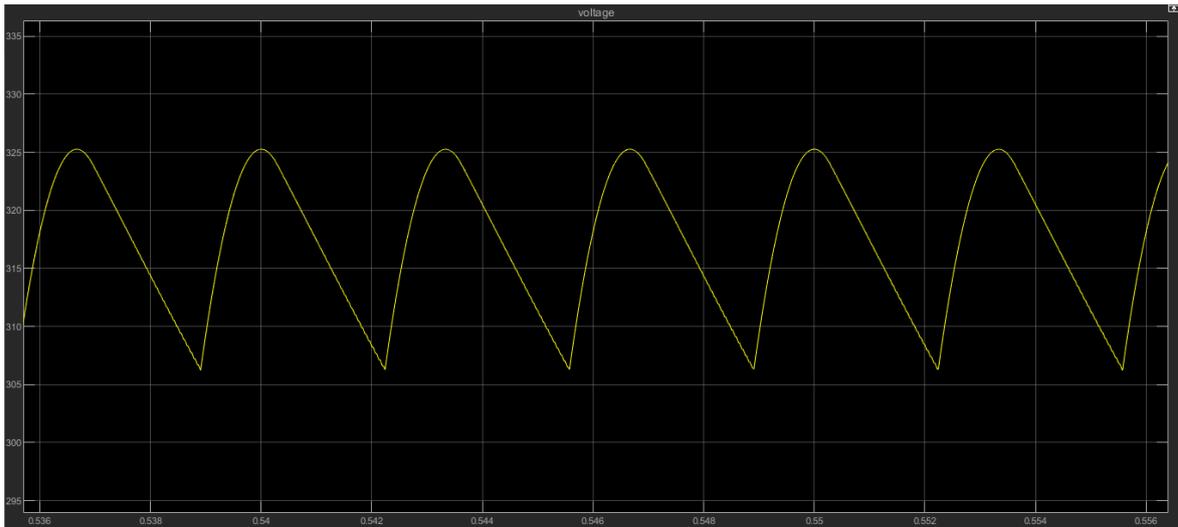


Figura 37. Rizado ampliado de la tensión continua que de la etapa intermedia.

En la imagen anterior, se observa el rizado de la tensión continua que se produce debido a las carga y descarga continuada del condensador, que proporciona un valor eficaz de 317,20 voltios de tensión, con la que se alimenta la etapa inversora del variador.

Se podría reducir el rizado de la tensión aumentando la capacidad del condensador, pero se le introduce un valor de 330uF, ya que esta es la capacidad del variador Micromaster 420 que se programará posteriormente.

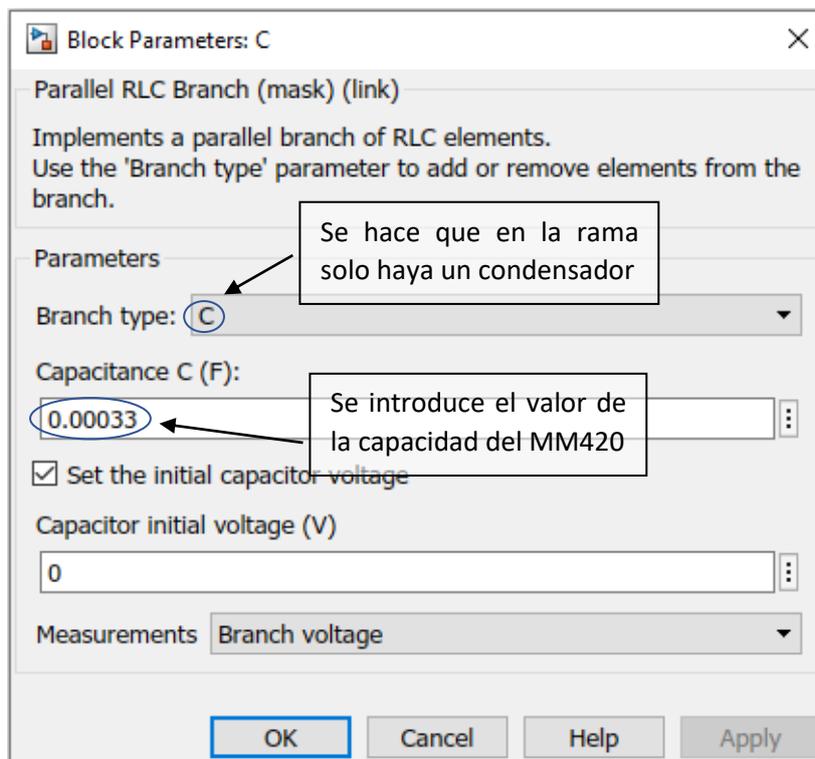


Figura 38. Pestaña que permite seleccionar las características del condensador del bus de CC.

A continuación, se conectan los terminales del condensador a la etapa inversora:

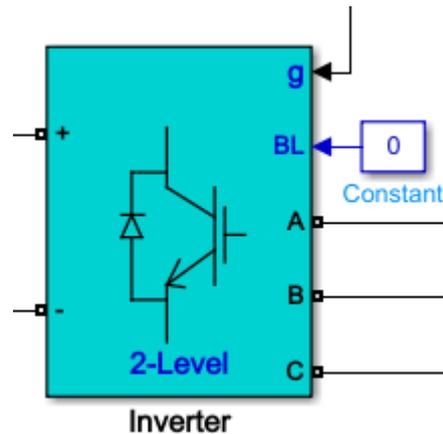


Figura 39. Etapa inversora.

Como ya se comentó en el subapartado “6.2.1) Partes del Variador”, se utilizará una etapa inversora compuesta por transistores IGBT y diodos en antiparalelo. La tensión trifásica que sale de esta etapa se modula mediante la técnica PWM que es controlada a través de la entrada “g”. La entrada “BL” sirve para inutilizar todos los pulsos de tensión del inversor en caso de que el valor implementado sea 1.

Opción que permite seleccionar el modelo con IGBT/diodos controlados por un generador de PWM

Block Parameters: Inverter

Two-Level Converter (mask) (link)

Implements a three-phase two-level power converter using the following modeling techniques:

1. Switching devices: The converter is modeled with IGBT/diode pairs controlled by firing pulses produced by a PWM generator.
2. Switching function: The converter is modeled by a switching function controlled by firing pulses produced by a PWM generator (0/1 signals) or by firing pulses averaged over a specified period (PWM averaging: signals between 0 and 1).
3. Average model (Uref-controlled): The converter is modeled using a switching-function model directly controlled by the reference voltage. A PWM generator is not required.

Technique 1 is the most accurate, while technique 3 yields to the fastest simulation. The two techniques in 2 are well-suited for real-time simulation.

Model type: **Switching devices**

Device on-state resistance (Ohms) **1e-3**

Snubber resistance (Ohms) **inf**

Snubber capacitance (F) **0**

OK Cancel Help Apply

Se introduce un valor reducido de las resistencias de los transistores para que no funcionen como interruptores ideales

Se eliminan los valores RC de las ramas que la aplicación nos permite conectar en paralelo a cada transistor

Figura 40. Pestaña que permite seleccionar las características de la etapa inversora.

Una vez programada la etapa inversora, se conecta a la entrada “g” un generador de PWM a través de su salida “P”. Este elemento genera una señal triangular que, dada las opciones de programación que se han elegido, es comparada con tres señales senoidales con las que se generan pulsos de tensión que permiten controlar el paso de corriente a través de los transistores IGBT.

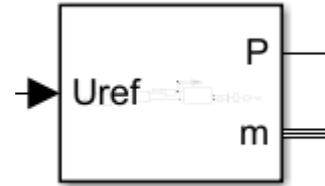


Figura 41. Generador de PWM.

Opción que permite generar la señal triangular directamente desde esta aplicación

$50 \cdot 320 = 16\text{KHz}$, máxima frecuencia de la señal triangular que permite generar el MM420. Se toma este valor porque es el más elevado múltiplo de 50Hz, frecuencia de las señales trifásicas que son comparadas con la triangular. 320 es el índice de modulación de este generador PWM. Cuanto mayor sea este índice, menos armónicos se introducirán

Esta opción permite controlar los pulsos de tensión de un puente de IGBT como el de la Fig. 17

Amplitud máxima y mínima de la señal triangular

Seleccionando “Natural” se consigue que, cuando se comparan las señales senoidales con la triangular, los pulsos generados sean positivos si la señal senoidal es mayor, en un instante dado, que la señal triangular

Figura 42. Pestaña que permite seleccionar las características del generador de PWM.

No se selecciona esta opción para poder generar las señales trifásicas externas que se introducen por “Uref”

En la siguiente imagen se puede observar una muestra de la señal triangular generada:

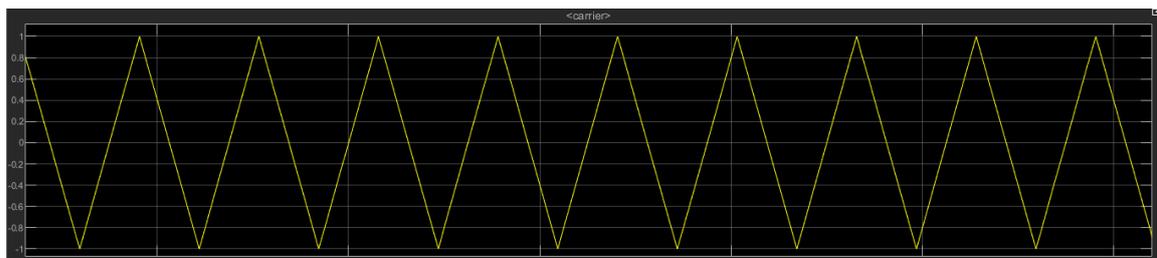


Figura 43. Señal triangular generada.

Como ya se ha indicado, a través de “Uref” se introducirán tres señales trifásicas con la amplitud necesaria para alimentar el motor de inducción con 230V. Dado que:

$$m_a = V_{control}/V_{tri} \quad (8)$$

Siendo:

- m_a = Índice de modulación en amplitud.
- $V_{control}$ = Amplitud de las señales senoidales que son comparadas con la señal triangular
- V_{tri} = Amplitud de la señal triangular.

Y, además:

$$V_{sal} = K * m_a * V_{DC} \text{ si } m_a \leq 1 \quad (9)$$

Siendo:

- K = constante de proporcionalidad.
- V_{sal} = Valor eficaz de la tensión fase-fase de la señal que sale de la etapa inversora hacia el motor.
- V_{DC} = Valor de la corriente continua que llega a la etapa inversora por el bus de continua. En nuestro caso, 317.20V.

La ecuación (9) muestra que existe una relación directamente proporcional entre la tensión que sale de la etapa inversora hacia el motor y la tensión de entrada al puente de transistores IGBT a través del índice de modulación en amplitud, siempre que no se produzca sobremodulación [8]. De esta forma, se puede regular la amplitud de las señales trifásicas que son introducidas en el generador de PWM para conseguir una tensión de alimentación del motor de 230V como se muestra en la placa de características del mismo.

Se puede obtener el valor del índice de modulación en amplitud de 2 formas: Iterando de forma manual hasta conseguir que la tensión a la entrada del motor sea de 230V o, siguiendo la lógica de la ecuación (9), al ser los valores de V_{DC} y K constantes, se puede realizar una tabla de valores de V_{sal} en función de m_a . Si son introducidos estos valores en una hoja de Excel y se genera un gráfico, se puede observar, efectivamente, que la proporción entre V_{sal} y m_a es lineal. Sabiendo que $V_{sal}=230V$, es posible obtener m_a despejando $V_{sal}=p*m_a+C$, siendo p la pendiente que se obtiene en la gráfica que se muestra en la Figura 44. De esta forma, $m_a=0.9524$.

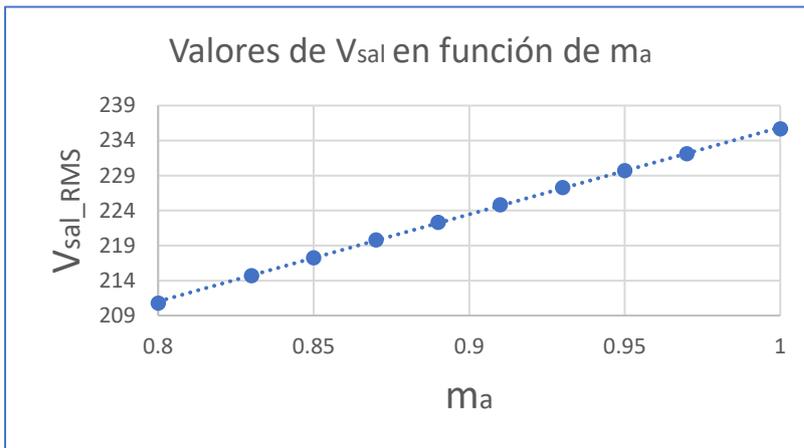


Figura 44. Gráfica de los valores de Vsal en función de ma.

ma	Vsal_RMS
1.00	235.67
0.97	232.11
0.95	229.71
0.93	227.28
0.91	224.82
0.89	222.34
0.87	219.82
0.85	217.28
0.83	214.71
0.80	210.78

TABLA 2. Valores de Vsal en función de ma.

La imagen contigua muestra el bloque que nos permite implementar los valores de amplitud y frecuencia de las señales trifásicas (señales de control) con las que se generan los pulsos en el bloque de la Figura 41. Al ser la amplitud de la señal triangular igual a la unidad, la amplitud de las señales trifásicas de control coincide con el valor de ma calculado previamente. Al trabajar en régimen nominal, solo se generan señales trifásicas de magnitud y frecuencia constante, siendo entonces la frecuencia de 50Hz.

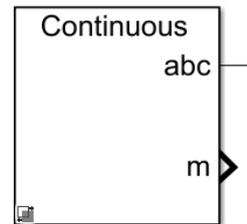


Figura 45. Bloque que genera las señales de control.

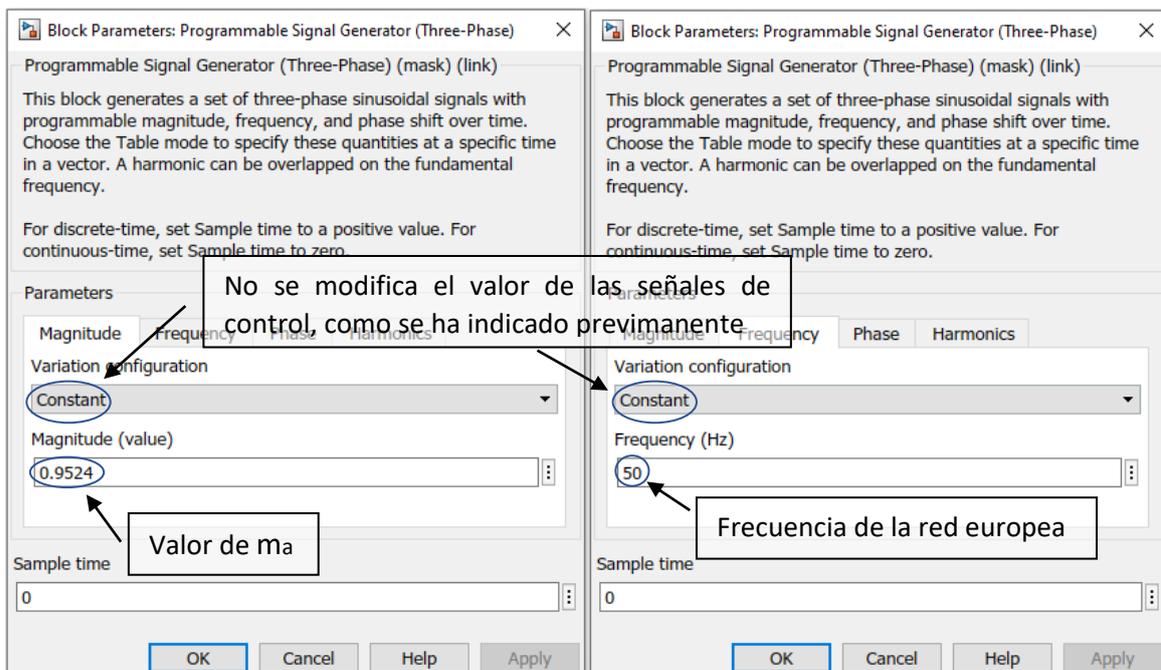


Figura 46. Pestaña que permite seleccionar las características de la señal de control.

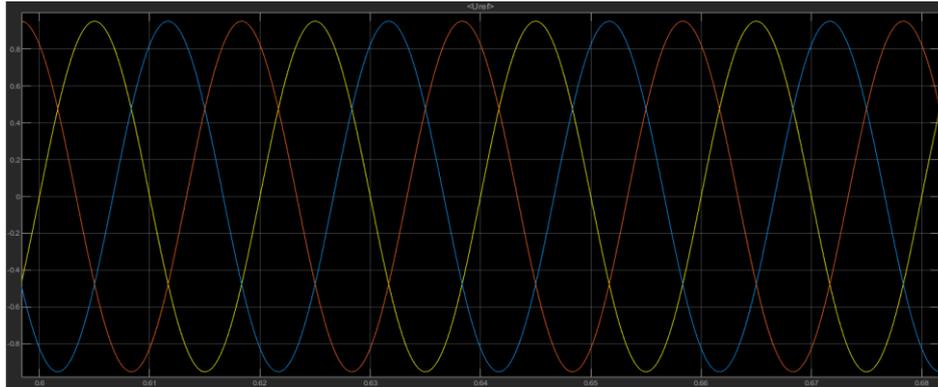


Figura 47. Señales trifásicas de control.

El motor que se conecta a la salida de la etapa inversora está diseñado para recibir tensiones alternas. Sin embargo, a la salida del variador de frecuencia, se le introducen tensiones que son pulsos de distintas anchuras. Estos pulsos degradan más rápidamente las protecciones de los devanados del estator (rotura de aislantes).

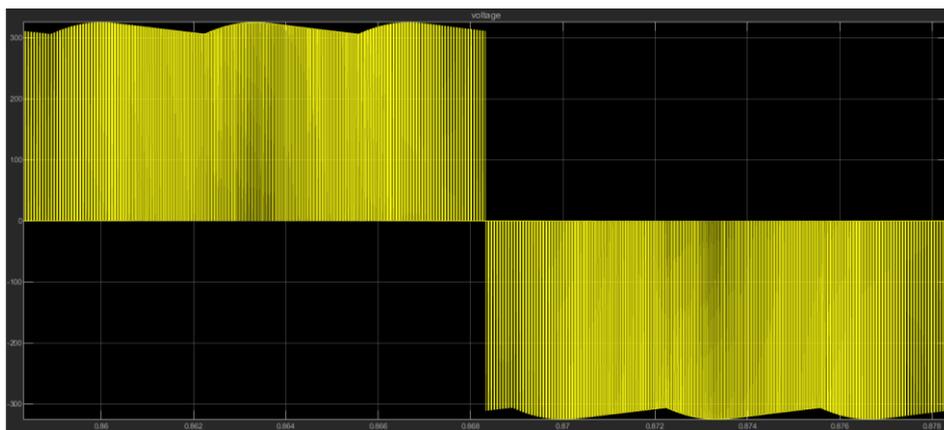


Figura 48. Tensión fase-fase que medimos a la salida del variador (PWM unipolar).

En la imagen anterior, se puede observar el rizado de la tensión continua que entra en la etapa inversora.

Si se introduce un filtro de armónicos para la tensión, su magnitud se reduciría y el motor no tendría la potencia suficiente para funcionar adecuadamente, por lo que se conecta la etapa inversora directamente al motor. En el documento “Pliego de Condiciones” se verá que los armónicos de frecuencias elevada que acarrea la tensión de entrada al motor producen radiación electromagnética que es posible eliminar mediante el apantallamiento y acortamiento de la longitud de los cables de que conectan el variador al motor. La radiación electromagnética será de mayor frecuencia conforme aumente la frecuencia de la señal triangular del generador de PWM.

Como se vio en el subapartado “6.2.2) Implementación en Motores”, debido al efecto de los devanados del estator, los picos de las corrientes que entran al motor son mucho más reducidos que los de la tensión:

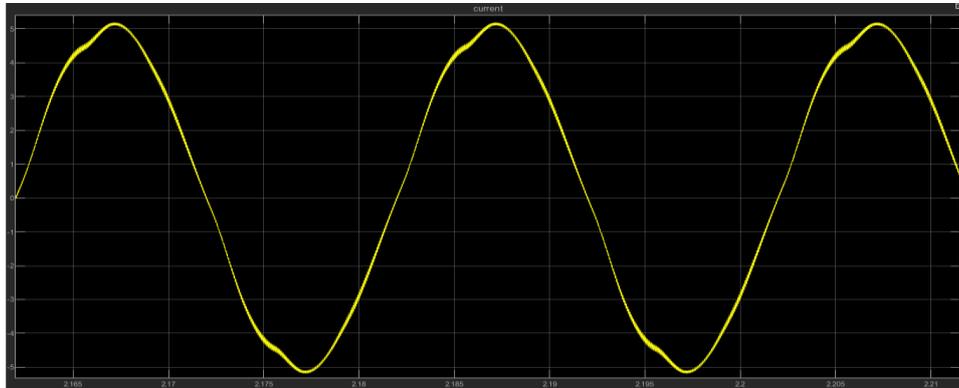


Figura 49. Corriente de una de las fases que es medida la entrada del motor.

Cuanto mayor sea la frecuencia de la señal triangular del generador de PWM, menor será el rizado de esta corriente.

Para finalizar la simulación de subida del ascensor, queda por implementar un motor con la placa de características de la Figura 29 utilizando el bloque mostrado en la Figura 30.

En este sentido, existe un parámetro que se ha de implementar, que no aparece en la placa de características, pero que es posible obtener fácilmente a partir de ella. La potencia aparente del motor.

Dado que:

$$S = \sqrt{3} * U_L * I_L \quad (10)$$

Siendo:

- S = Potencia aparente del motor.
- U_L = Tensión de línea del motor. $U_L = 230V$.
- I_L = corriente de línea del motor. $I_L = 3.3A$.

De esta forma, $S = 1314.626 VA$.

Al introducir los valores del motor en su bloque correspondiente y simular, se obtiene una velocidad más elevada que la velocidad nominal. Para conseguir que, sin modificar el par nominal, disminuya la velocidad de rotación del rotor, se aumenta el valor de la resistencia del rotor hasta alcanzar la velocidad nominal. Esto lo conseguimos iterando consecutivamente. En las siguientes imágenes se muestra la programación del motor:

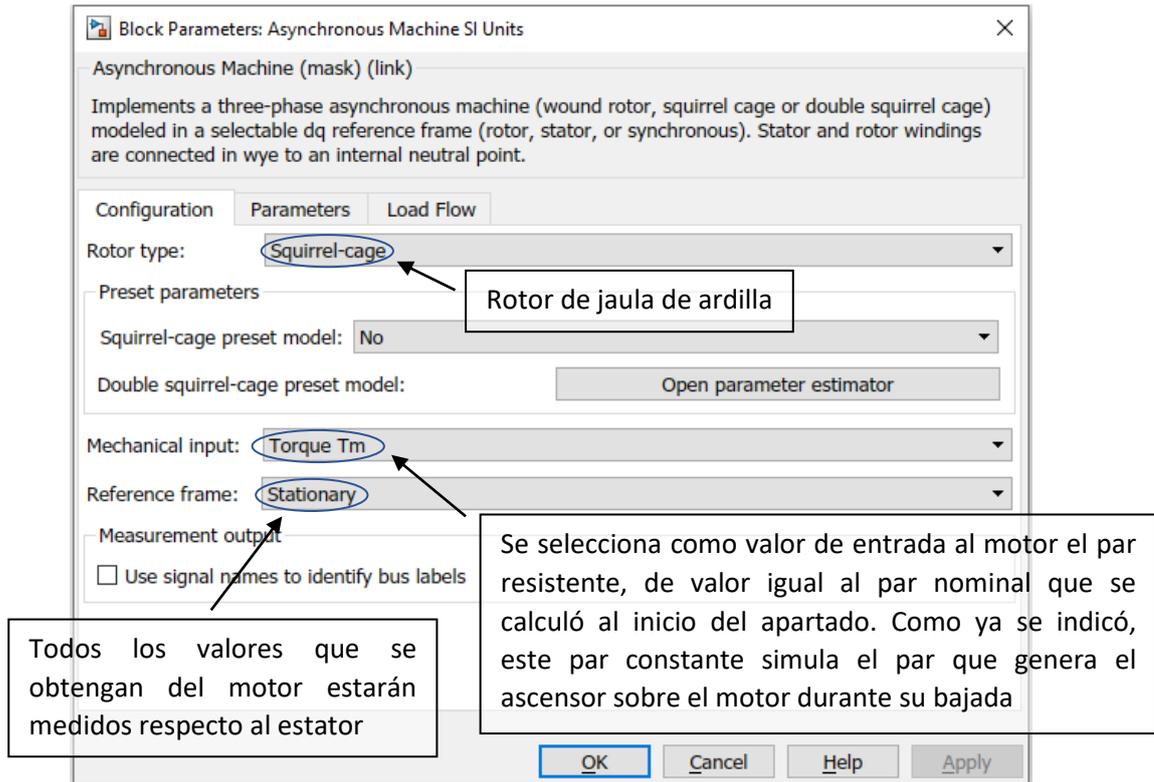


Figura 50. Pestaña que permite seleccionar las características del motor asíncrono (Configuración).

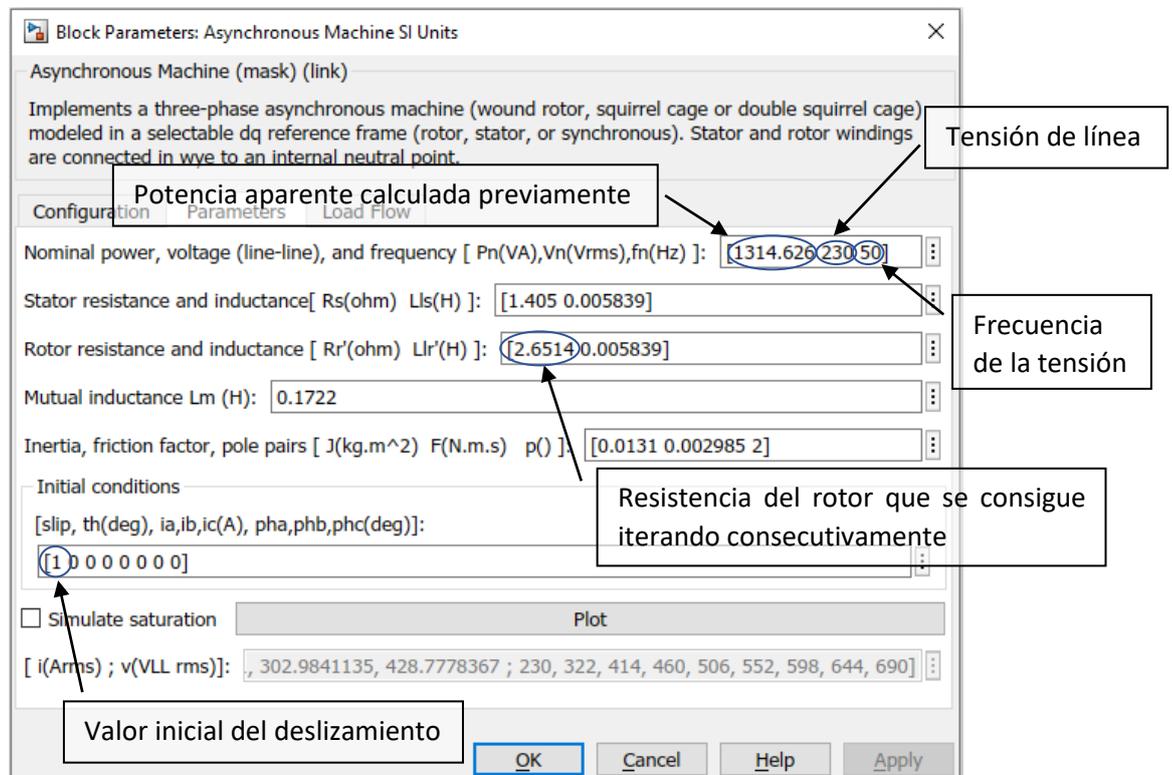


Figura 51. Pestaña que permite seleccionar las características del motor asíncrono (Parámetros).

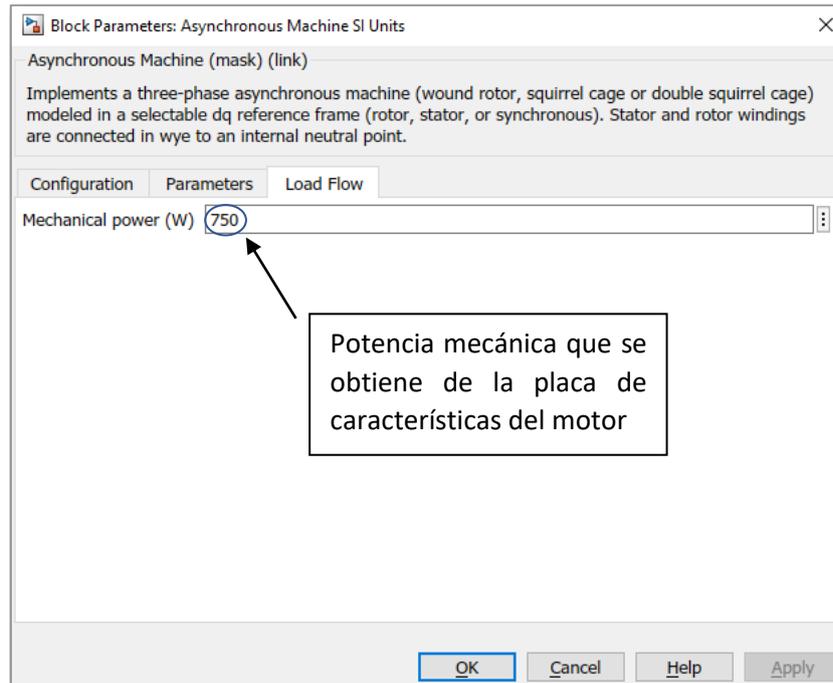


Figura 52. Pestaña que permite seleccionar las características del motor asíncrono (Potencia Mecánica).

Si se realiza una simulación del modelo diseñado, implementando todos parámetros de los bloques con sus valores correspondiente; como resultado final, el motor asíncrono proporcionará un par electromagnético de 5.62Nm que, al restarle las pérdidas mecánicas del motor, equivale a los 5.19Nm de par mecánico nominal del motor igual al par resistivo que se introduce como input (subida del ascensor). Al ser el par resistivo igual al par generado, la subida del ascensor será constante, siendo el valor de rotación del eje del motor de 1380r.p.m. (igual a la velocidad nominal). Por último, las corrientes medidas a la entrada del estator tendrán un valor eficaz de 3.58A, muy similar a los 3.3A que se indican en la placa de características del motor.

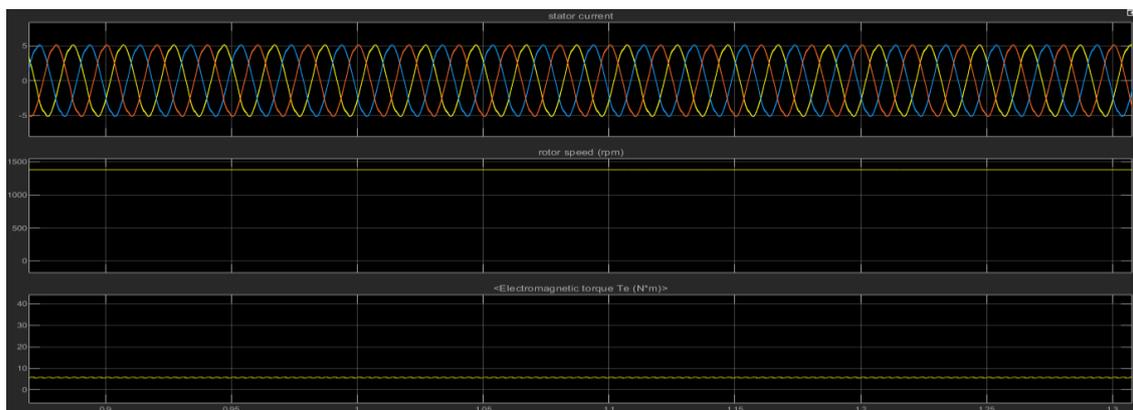


Figura 53. Valores de las corrientes del estator, velocidad del rotor y par electromagnético en régimen nominal.

Por último, se realiza de forma gráfica y numérica, un balance de la potencia consumida por las distintas etapas del modelo simulado:

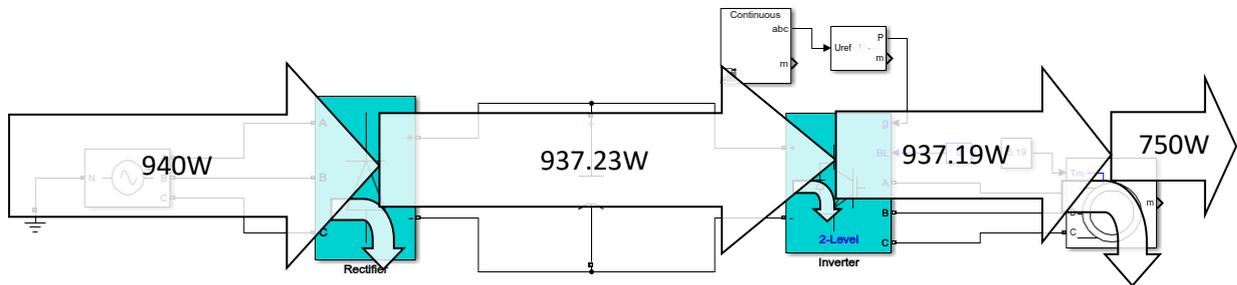


Figura 54. Script de la subida del ascensor, sin elementos de medición, con un balance de la potencia consumida superpuesto.

De esta forma, para que el motor proporcione una potencia mecánica de 750W, la red ha de suministrarle una potencia aproximada de 940W, produciéndose pérdidas de potencia en tres etapas: 2.77W en las resistencias del puente de diodos rectificador, 0.04W en las “conmutaciones” de los transistores IGBT y 187.19W en las resistencias internas del motor (resistencias del estator, entrehierro y rotor) y por las pérdidas mecánicas al transmitirse el par electromagnético al eje del motor.

7.2) Bajada del Ascensor

En la siguiente imagen, se muestra el script diseñado para la bajada de un ascensor de tracción eléctrica en el que, la energía generada por el motor, se consumen en la resistencia de frenado.

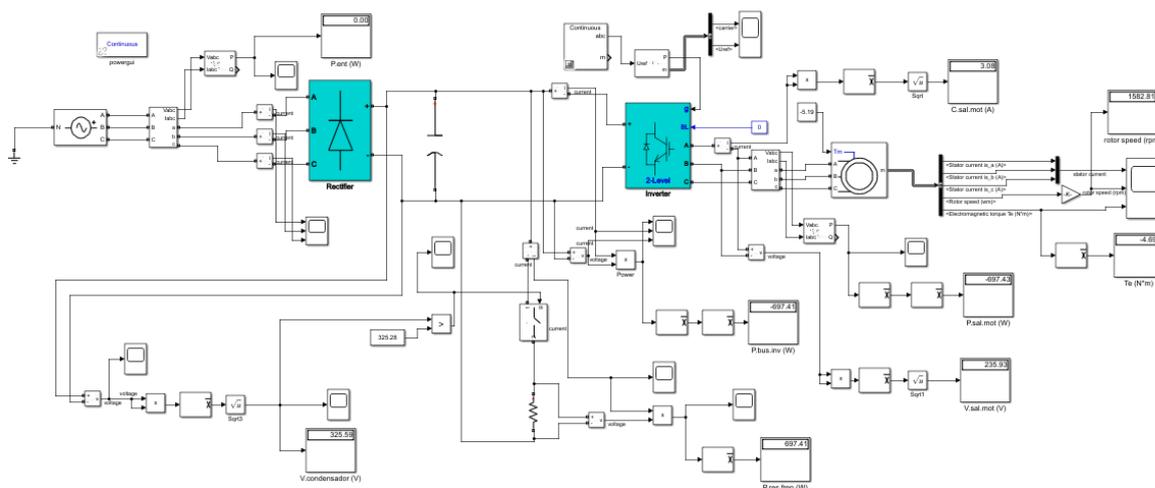


Figura 55. Script completo de la bajada del ascensor.

Esta resistencia de frenado se conecta a los terminales del bus de continua junto con un interruptor en serie normalmente abierto, de tal forma que, alcanzada una tensión determinada en el condensador (el condensador se carga), se cierra el interruptor para consumir la potencia generada por el motor, evitando sobrecargas y sobretensiones. Este interruptor puede consistir en un transistor IGBT que conduce corriente cuando se alcanza la tensión de carga del condensador; pero, como no es el objetivo de este trabajo final de grado diseñar este mecanismo, se le conecta un interruptor electrónico configurable.

El modelo diseñado es idéntico al del script de la subida, salvo por las siguientes modificaciones:

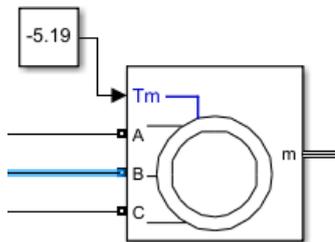


Figura 56. Par negativo que introducimos al motor.

Se indica en el modelo que el ascensor está bajando, introduciendo un par resistente negativo como input del motor, de forma que, como se vio en el subapartado “6.1.3) Régimen Motor y Generador”, el par generado será de sentido contrario a la causa que lo produce.

Para calcular un primer valor de la resistencia de frenado, sabiendo que:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (11)$$

Siendo:

- V = Valor eficaz de la tensión en el bus de continua.
- R = Valor de la resistencia de frenado.
- P = Valor medio de la potencia consumida durante la bajada del ascensor.

Se toman los valores de tensión y potencia en el bus de continua durante la subida del ascensor, de forma que $V=317.2V$ y $P=937.23W$, obteniendo que $R=107.35\Omega$.



Figura 57. Resistencia de frenado.

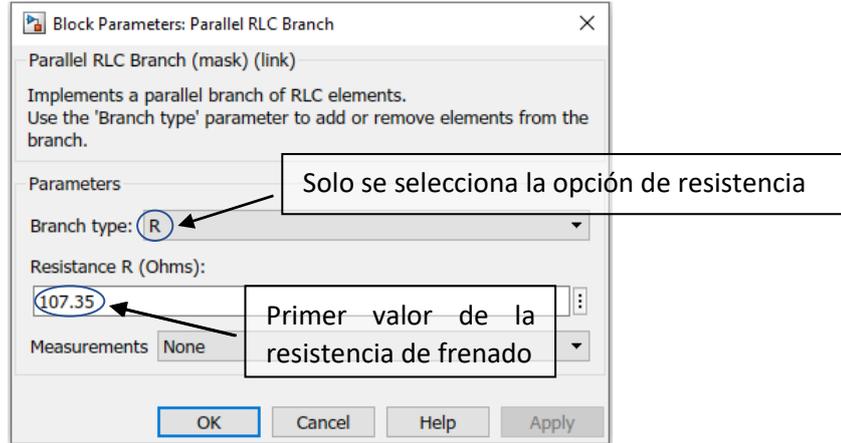


Figura 58. Pestaña que permite seleccionar las características de la resistencia de frenado. Primer valor de la resistencia.

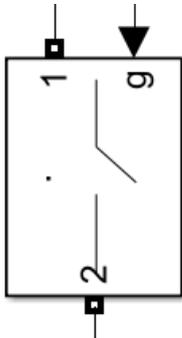


Figura 59. Interruptor ideal.

Se conecta en serie con la resistencia de frenado, como ya hemos señalado previamente, un interruptor ideal normalmente abierto, el cual se cierra cuando por su entrada “g” se introduce un valor de 1. De esta forma, el interruptor se cerrará cuando la tensión del bus de continua sea mayor que el valor de carga del condensador establecido.

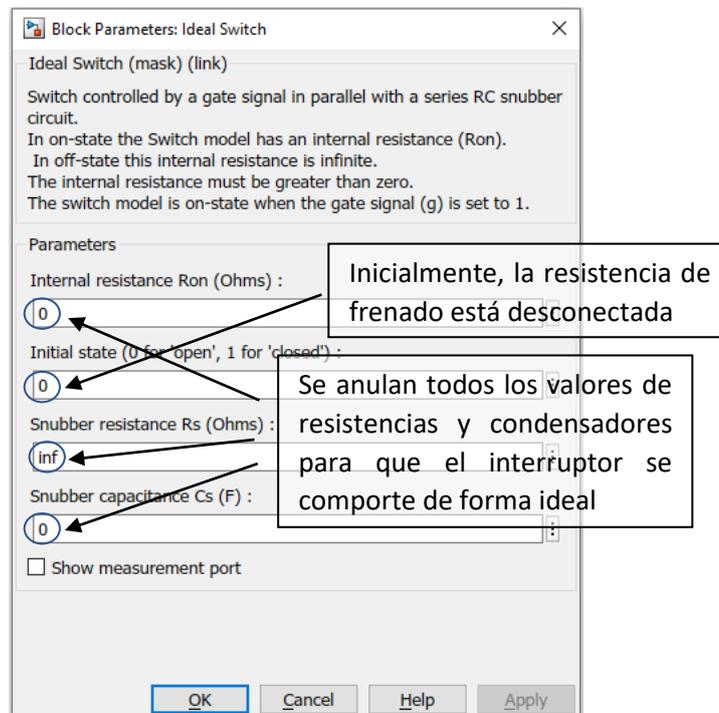
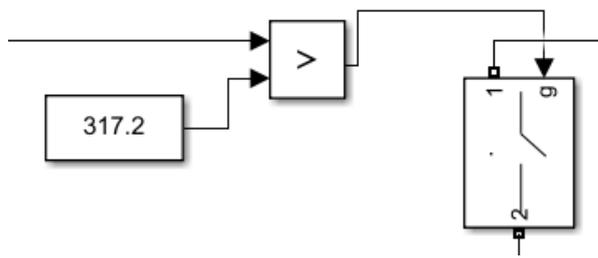


Figura 60. Pestaña que permite seleccionar las características del interruptor ideal.

En esta primera simulación del modelo, se introduce como valor de carga del condensador la tensión $V=317.2V$, con la que calculamos la resistencia de frenado.



Se inserta por la primera entrada del comparador ">" el valor eficaz de la tensión del bus de continua; ya que, se introduce su valor real, el interruptor ideal puede llegar a exceder su límite de conmutaciones por segundo.

Figura 61. Valor de la entrada "g" del interruptor ideal.

De esta forma, la salida del comparador será igual a la unidad cuando el valor de la tensión del bus de continua supere el valor de carga del condensador como ya se ha expuesto.

Si se pone en funcionamiento el modelo diseñado, se comprobará que la potencia que entrega el motor es de unos $697.2W$, por lo que el resto de la potencia que consume la resistencia de frenado será entregada por la red eléctrica. Para que la red no entregue potencia, se puede elevar la tensión de carga del condensador por encima de la tensión pico que entrega la red, de valor: $\sqrt{2} \cdot 230 = 325.27V$. De esta forma, la diferencia de tensión será negativa y el puente de diodos no permitirá que circule corriente desde el bus de continua hacia la red.

Esto hará que, cuando la resistencia de frenado se conecte, no circule corriente de la red hacia el condensador, pero al ser la potencia que demanda la resistencia de frenado demasiado grande ($P=937.23W$), esto hará que la resistencia de frenado se conecte de forma intermitente, ya que la tensión del bus de continua decrecerá rápidamente al conectar la resistencia. Cuando el interruptor ideal esté abierto, circulará corriente de la red hacia el bus de continua para cargar el condensador. Para que esto no ocurra y que, en régimen permanente, la resistencia de frenado esté conectada continuamente, se vuelve a calcular su valor, siendo esta vez $V=325.28$ (tensión levemente más elevada que la tensión pico de la red) y $P=697.2W$ (para solo consumir la potencia generada por la bajada del ascensor y no demandar así potencia a la red). Aplicando estos valores, se obtiene $R=152.15\Omega$. Se implementa el valor normalizado $R=152\Omega$ en lugar del calculado.

Para asegurar que la red no entregue puntualmente tensión al condensador, se eleva el valor de la resistencia R_{on} de la Figura 35 a 1Ω . De esta forma, aumenta el valor de la diferencia de tensión que ha de haber entre los extremos del puente de diodos para que circule corriente de la red hacia el bus de continua.

Implementando estos cambios se consigue que, en régimen nominal de bajada del ascensor, la resistencia de frenado esté conectada de forma continuada, siendo el valor de la tensión del bus de continua en régimen nominal de $325.59V$ (mayor que la tensión que puede proporcionar la red).

La potencia generada por el ascensor que llega al bus de continua será de 697.43W y, por lo tanto, esta será la potencia que consuma la resistencia de frenado.

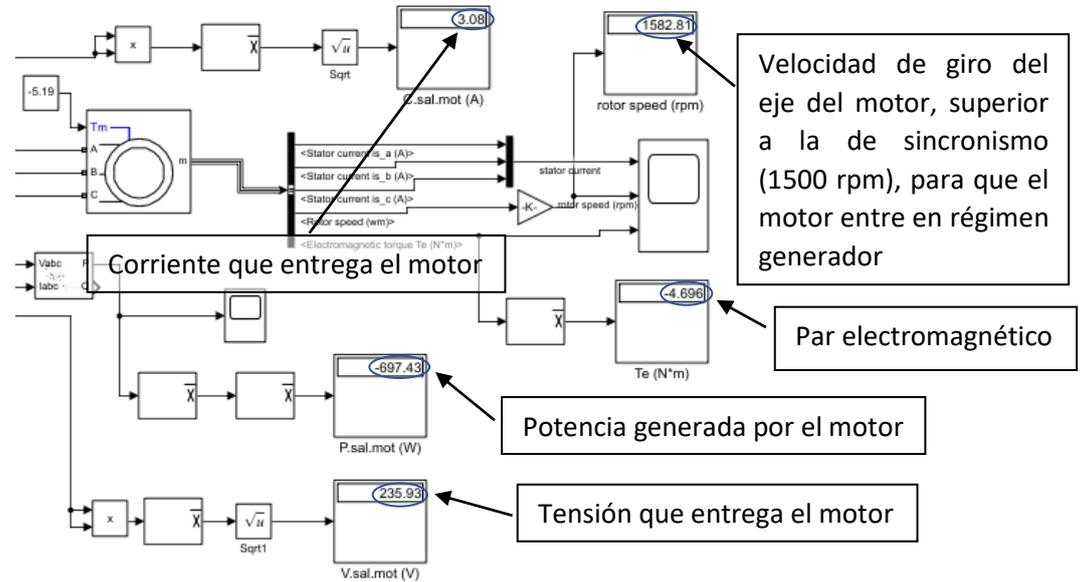


Figura 62. Captura del script con los valores que entrega el motor al sistema en régimen nominal.

El par electromagnético generado por el motor es de -4.696Nm, inferior en magnitud al par resistente que se introduce como input al motor (-5.19Nm), debido a que las pérdidas mecánicas en el eje del motor hacen que el par resistivo pierda fuerza y que, por lo tanto, el par resistivo que se transmite al motor, descontándole las pérdidas de carga, sea igual al par generado por el mismo, lo que se traduce en una bajada a velocidad constante del ascensor. Para que el motor entre en régimen generador, como se indica en el subapartado “6.1.3) Régimen Motor y Generador”, la velocidad de giro del motor ha de ser superior a la de sincronismo, siendo esta de 1582.8rpm.

Como se indica en el subapartado “6.2.1) Partes del Variador”, los diodos en antiparalelo de la etapa inversora actúan como etapa rectificadora para la potencia que genera el motor, transformando la tensión de 235.93V que genera el motor en tensión continua con un rizado que es aplanado por el condensador de la etapa intermedia.

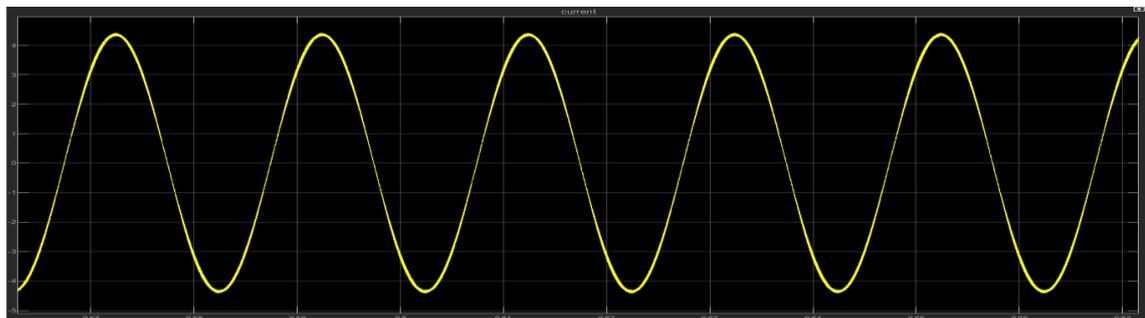


Figura 63. Corriente generada por el motor, con valor eficaz de 3.08A.

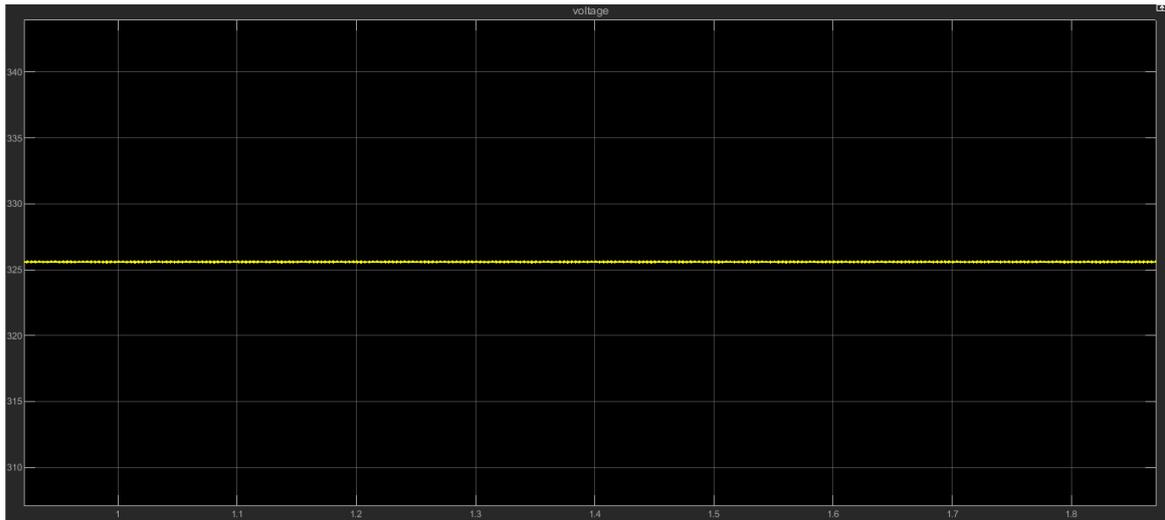


Figura 64. Tensión en el bus de continua tras ser rectificada por los diodos en antiparalelo de la etapa inversora.

En la imagen anterior, se puede observar que, a igualdad de escala con respecto a la Figura 37, el rizado de la tensión en la etapa intermedia, durante la bajada del ascensor en régimen nominal, es mucho menor que la tensión rectificada que llega de la red eléctrica.

Al igual que en el subapartado anterior, si se muestra de forma gráfica y numérica un balance de la potencia consumida por las distintas etapas del modelo simulado, se obtiene que:

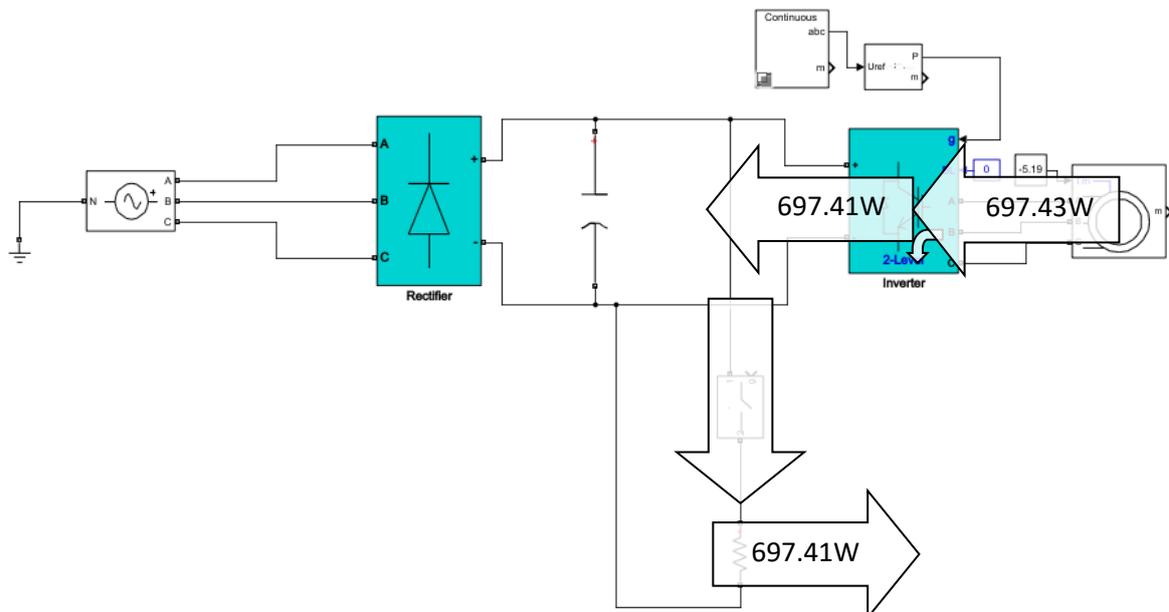


Figura 65. Script de la bajada del ascensor, sin elementos de medición, con un balance de la potencia consumida superpuesto.

7.3) Subida y Bajada Simultáneas de un Par de Ascensores

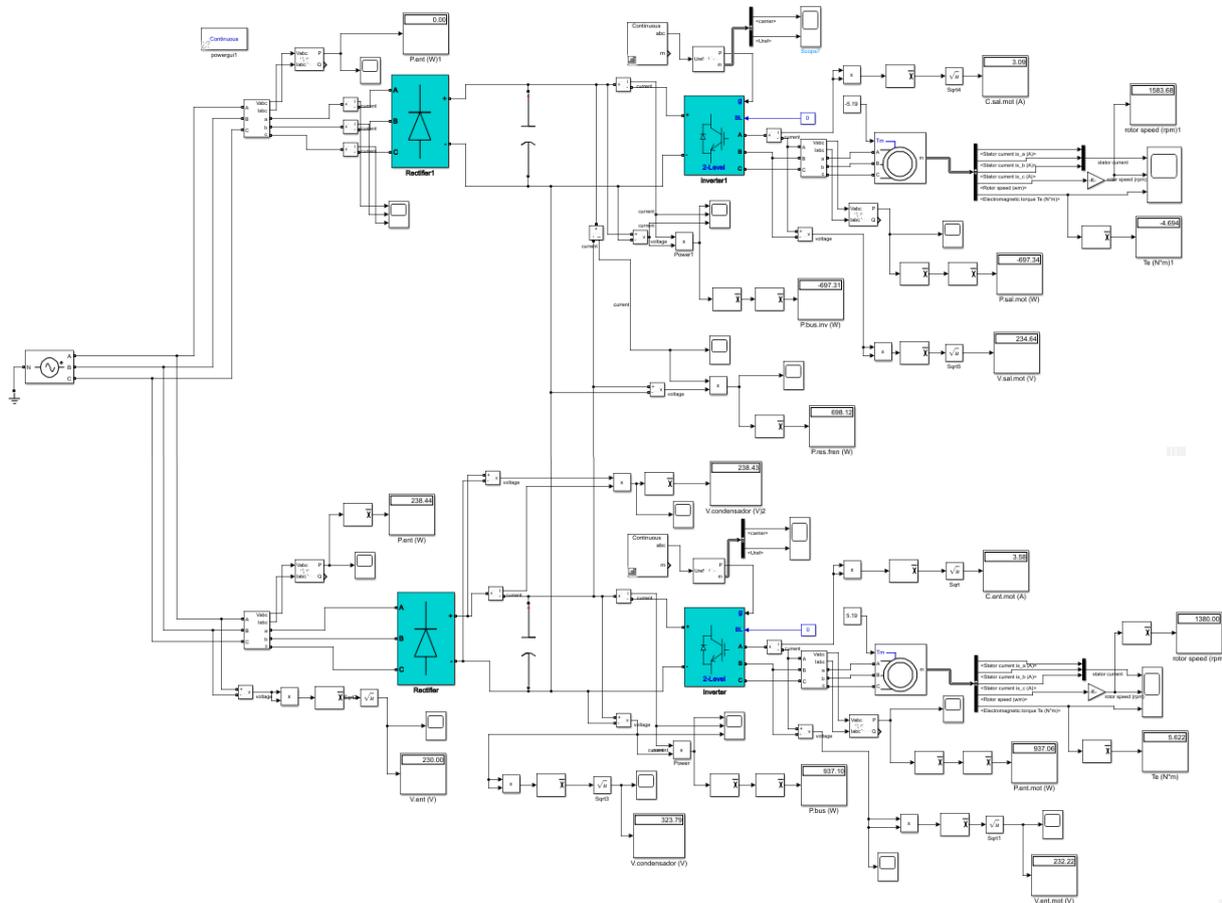


Figura 66. Script completo de la subida y bajada simultánea de un par de ascensores.

Finalmente, en consonancia con el título del presente proyecto final de grado y los objetivos de aumento de la eficiencia energética en ascensores (y preservación del medioambiente como consecuencia), se genera un script de Simulink en el que se conectan, en paralelo, los buses de continua de los variadores de frecuencia de un par de ascensores y se hace que ambos ascensores funcionen subiendo y bajando simultáneamente para, como se ha reiterado en numerosas ocasiones, la potencia generada por el ascensor en bajada se transmite hacia el ascensor que se eleva, reduciendo así la energía que se demanda de la red eléctrica durante la subida del ascensor.

Para generar este script, se toma el script del ascensor en subida y duplicamos el modelo, conectando en paralelos los buses de continua a través de sus terminales y suministrando potencia a ambos modelos de la misma fuente. En la Figura 66, la simulación del ascensor que modeliza la bajada se encuentra por encima del de la subida, por lo que se introduce como input de su motor un par negativo de valor igual al par nominal del motor como en la Figura 56.

Si se realiza una primera simulación del modelo completo, se verá que la tensión en la etapa intermedia de ambos variadores será de 323.79V, superior a la tensión de 317.20V que resultaban del script que simulaba solamente la subida; por lo que, se habrá de reducir el índice de modulación en amplitud de las señales de control que se introducen al generador PWM del ascensor que se encuentra en subida para reducir la tensión y velocidad que entrega el motor hasta conseguir valores cercanos a los nominales, de forma que:

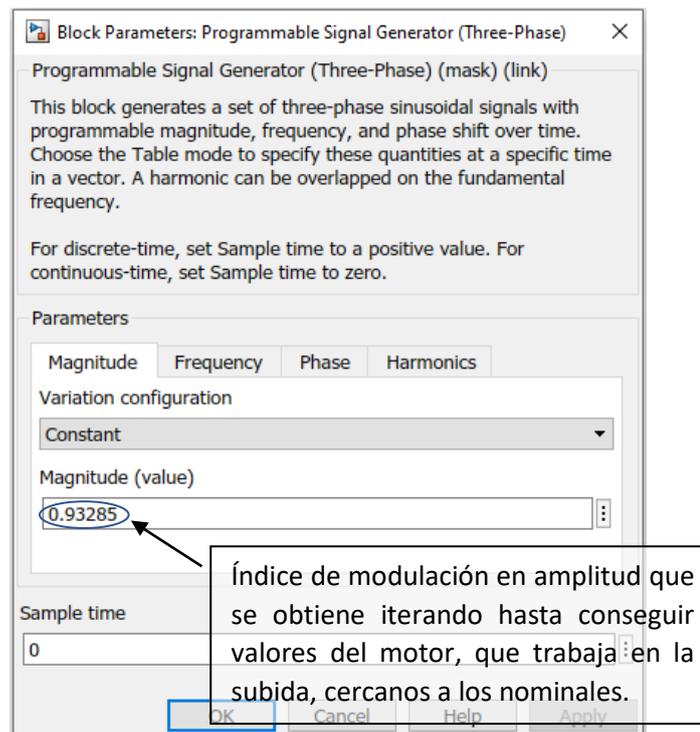


Figura 67. Pestaña que permite seleccionar las características de las señales de control. Ascensor en subida.

Por último, para que no circule corriente desde la red hacia el condensador de la etapa intermedia del ascensor que simula la bajada, al igual que en el script en el que se simula la bajada solamente, se aumentará el valor de la resistencia para el paso de corriente a través del puente de diodos a 1Ω , utilizando la pestaña de se muestra en la Figura 35.

De este modo, simulando una última vez, se consigue un modelo cuyo balance de potencia resulta ser:

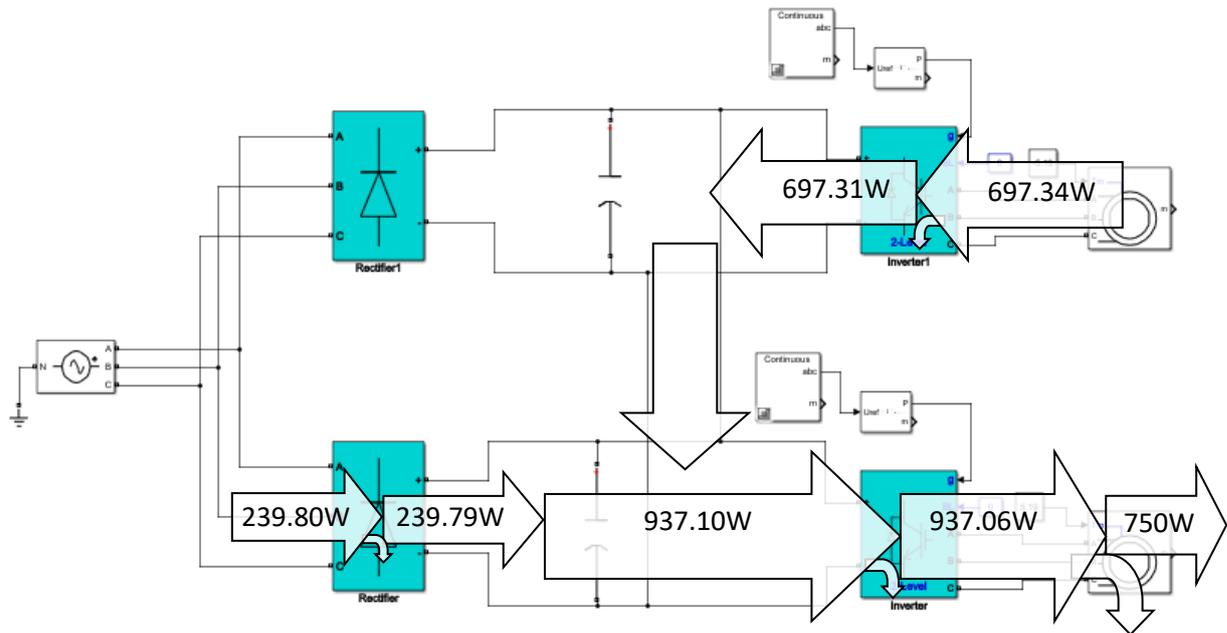


Figura 68. Script de la subida y bajada de un par de ascensores simultáneamente, sin elementos de medición, con un balance de la potencia consumida superpuesto.

Se puede observar que la potencia generada por el ascensor que baja, de 697.34W, es prácticamente la misma que la generada en el script del ascensor en bajada, de 697.43 W (solo 0.09W de diferencia). Lo mismo ocurre con la potencia en la etapa intermedia que demanda el ascensor que se eleva, de 937.10W, con una diferencia de solo 0.13W con respecto al script del ascensor en subida (de 937.23W). De esta forma, al realizar la conexión de los buses, casi el 75% de la potencia que demanda el ascensor en subida es suministrada por el elevador que desciende simultáneamente, reduciendo significativamente la energía suministrada por la red eléctrica.

7.4) Análisis de Resultados

En este apartado, se realiza una evaluación numérica del ahorro energético que supone la conexión de los buses de continua de un par de variadores de frecuencia, pertenecientes ambos al sistema de tracción eléctrica de sendas cabinas de ascensor. Para ello, se elaborará una tabla de rendimientos tomando los valores de consumo energético en régimen nominal obtenidos en los scripts de Simulink para una instalación de un par de ascensores que podrían pertenecer a un edificio de viviendas.

Los valores de ahorro energético se dispondrán en función del denominado Índice de Simultaneidad (IdS en adelante). Este índice indica el porcentaje con el que los ascensores de la instalación coinciden subiendo y bajando, respectiva y simultáneamente, a lo largo del tiempo.

En los momentos en los que haya simultaneidad de subida y bajada, por los terminales de los buses de los variadores discurrirá un flujo de potencia eléctrica tal y como se muestra en la Figura 68.

Se puede suponer que, en la instalación manejada, cada ascensor trabaja de media unas 8 horas a lo largo del día (8h/día). Si los tiempos de subida y bajada de ambos ascensores entre dos plantas son los mismos (velocidad de subida y bajada iguales), seguramente, cada ascensor se encontrará subiendo la mitad de esas 8 horas. Siguiendo esta referencia, dado que no se solicita energía de la red durante la bajada³, cada ascensor solo consumirá energía durante 4 horas al día (4h.gasto/día). Si las 4 horas de bajada de uno de los ascensores y las 4 horas de subida del otro no coinciden a lo largo de día y viceversa, no se producirá ningún ahorro energético (IdS=0%). En este caso, cada ascensor consumirá, como vimos en el subapartado “7.1) Subida del Ascensor”, 940W durante las 4h de subida de cada uno de los ascensores; por lo que, en la instalación se consumirá a lo largo de un día:

$$940W * 4h.gasto * 2ascensores = 7.52KWh/día.$$

Por el contrario, si IdS=100%, siempre que uno de los ascensores se encuentre subiendo, el otro se hallará bajando y viceversa, por lo que la energía solicitada a la red eléctrica por ambos ascensores a lo largo de un día, según el subapartado “7.3) Subida y Bajada Simultáneas de un Par de Ascensores”, será:

$$239.80 * 4h.gasto * 2ascensores = 1.9184KWh/día.$$

De esta forma, si en la tabla de rendimientos se disponen los valores del IdS del 0% al 100%, con una diferencia del 10% en cada valor del IdS, se obtienen los valores de consumo de energía diarios y el porcentaje de ahorro energético de la instalación en el sistema de tracción eléctrica (con respecto a la energía consumida cuando IdS= 0%) siguientes:

IdS (%)	Consumo (KWh/día)	Rendimiento (%)
0	7.520	0.00
10	6.960	7.45
20	6.400	14.90
30	5.840	22.35
40	5.279	29.80
50	4.719	37.24
60	4.159	44.69
70	3.599	52.14
80	3.039	59.59
90	2.479	67.04
100	1.918	74.49

TABLA 3. Valores de consumo de energía y rendimiento en función del IdS.

³ No se solicita energía de la red por lo que se comentó al inicio del subapartado “6.3) Supuesto Teórico”.



Se puede denotar que el consumo de energía cuando $I_{dS}=0\%$ equivale a no realizar la conexión de los buses de continua de los variadores de la instalación. Por ende, en el peor de los casos, el ahorro energético de la instalación será nulo con respecto al consumo que se produce cuando la instalación de ascensores supuesta trabaja con los terminales de sus buses desconectados permanentemente entre ellos.

Por el contrario, si $I_{dS}=100\%$, el ahorro energético llegará a ser de casi el 75%, reduciendo así, en gran medida, la energía consumida durante la etapa de uso de los ascensores.

Los valores de rendimiento obtenidos a partir del modelo simulado son orientativos pero extrapolables a los rendimientos alcanzables en una instalación real.

En una instalación real, se podrían tomar mediciones aproximadas del valor medio del I_{dS} que se da entre los distintos ascensores de la instalación pertinente para, conociendo los valores de la potencia que suministra la red eléctrica, determinar el ahorro real que supone la conexión de los buses de continua de los variadores. En este sentido, se podría modelizar la instalación considerada mediante Simulink, introduciendo las características reales de la red suministradora de energía, el variador de frecuencia, el motor de inducción y el par que entrega la cabina al motor, tanto en la subida como en la bajada, para conocer (como se ha hecho en la instalación modelizada) la potencia consumida por la instalación en cada caso.

8) PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR MM420

Como último apartado de la memoria descriptiva del proyecto final de grado, se realiza la programación del variador Micromaster 420 de Siemens (MM420), ajustando sus parámetros a los de la placa de características de motor de la misma marca expuesta en la Figura 29, para permitir el correcto funcionamiento de este motor si formase parte del sistema de transmisión de potencia que impulsa una cabina de ascensor perteneciente a una instalación de elevadores, en la que se conectarían los buses de continua de los variadores MM420 con el fin obtener unos rendimientos de ahorro energético análogos a los conseguidos en el subapartado “7.4) Análisis de Resultados.”.

Toda la información que se expone en este apartado se ha obtenido de la Guía rápida [10] y las Instrucciones de uso [9] del variador MM420.

Se presupone que el motor siemens utilizado es el adecuado para que, en régimen nominal, entregue los valores de par y velocidad de giro requeridos para el funcionamiento de los ascensores de la supuesta instalación, en la que cada ascensor dispondrá de su propio MM420.



Figura 69. Variador de frecuencia MM420 mostrado con sus respectivos tamaños A, B y C [10].

En la mayoría de las instalaciones de ascensores, los variadores de frecuencia de los distintos elevadores se sitúan en el mismo cuadro eléctrico, por lo que la conexión de sus buses resulta sencilla y requiere de un cableado de reducida longitud, lo cual abarata bastante la ejecución de esta mejora.

En este apartado, se muestra cómo realizar una puesta en servicio rápida del variador mediante el panel BOP (Basic Operator Panel). Más adelante, en el documento “Pliego de Condiciones”, se mostrará cómo llevar a cabo una instalación mecánica y eléctrica del variador, para aquellas instalaciones con ascensores eléctricos que no dispongan de

variador de frecuencia. En este tipo de instalaciones, se podrá realizar tanto la instalación de los variadores como la conexión de sus etapas intermedias para aprovechar el ahorro que esto supone.

Por defecto, el MM420 se entrega equipado con el panel SDP (Status Display Panel) y con una serie de parámetros preajustados, cuyos valores son compatibles con la mayoría de los motores estándar de Siemens. Mediante el panel SDP, se pueden realizar una serie de funciones básicas de control sobre el motor, como:

- Ponerlo en marcha y pararlo.
- Invertir el sentido de giro del mismo.
- Denotar fallos (se hacen visibles a través de los leds del panel SDP).
- Controlar su velocidad mediante un potenciómetro.

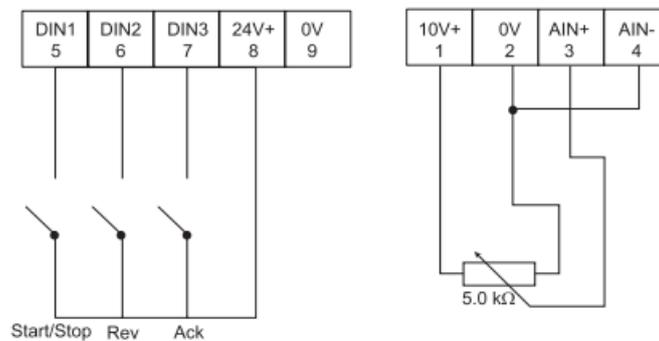


Figura 70. Conexión de los interruptores y el potenciómetro a las entradas y salidas del variador MM420 para poder ejecutar las funciones básicas del panel SDP [9].

Sin embargo, para conseguir un funcionamiento más eficiente de la instalación, se realiza una puesta en servicio rápida mediante el panel BOP, con el que también es posible controlar el motor Siemens a través de él, como se muestra en la siguiente imagen:

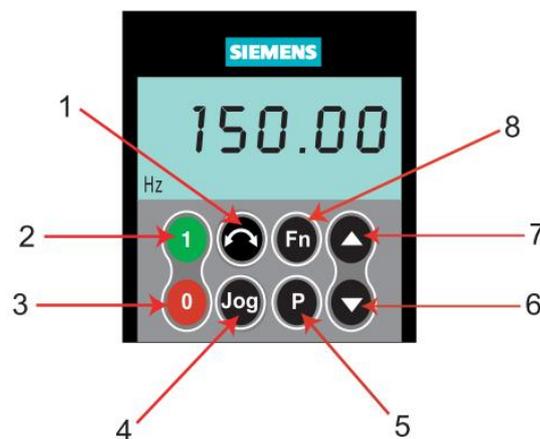


Figura 71. Panel BOP [10].

Los botones del panel BOP permiten, siguiendo la numeración de la imagen anterior:

1. Invertir el sentido de giro.
2. Poner en marcha el variador.
3. Parar el motor en el tiempo que se establece en el parámetro P1121. Si se pulsa este botón 2 veces o una de forma prolongada, el motor se para de forma natural (en función de su inercia)
4. Este botón hace que, si el variador no entrega ninguna salida, el motor arranque y gire la frecuencia preseleccionada Jog mientras que se mantenga pulsado.
5. Si se pulsa este botón, el usuario puede acceder a los parámetros del convertidor.
6. Con este botón, se baja el valor visualizado.
7. Con este botón, se sube el valor visualizado.
8. Nos permite visualizar información adicional.

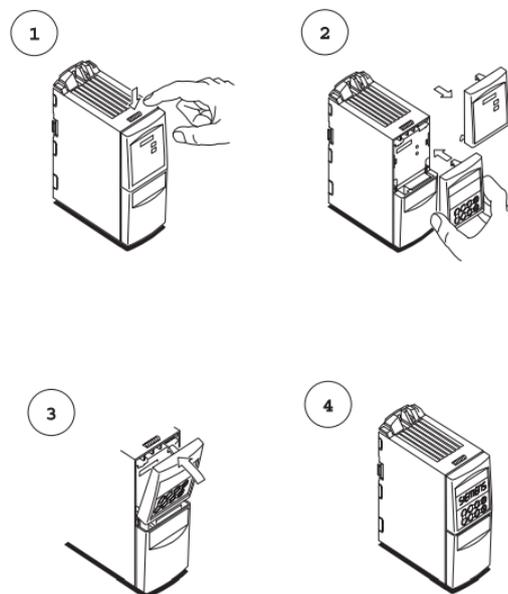


Figura 72. Pasos a seguir para intercambiar el panel SDP por el panel BOP [10].

Antes de programar los parámetros del variador, se dispone el interruptor DIP 2 (el cual se halla en su parte posterior) en posición OFF para que se ajusten por defecto los valores de la red europea (50Hz, KW, etc.). En el documento “Pliego de Condiciones” se verá que esto se debe realizar antes de efectuar la instalación eléctrica.

El panel BOP permite acceder a varios niveles de parámetros para modificar sus valores. Sin embargo, para tener acceso a los parámetros que permiten llevar a cabo la puesta en servicio rápida, basta con introducir en el parámetro P0010 el valor 1 (P0010=1).

En la siguiente imagen, se muestra como modificar el valor de un parámetro de la puesta en servicio rápida; en concreto, el parámetro P1082 (frecuencia máxima del motor).

Paso	Resultado en pantalla
1 Pulsar  para acceder a parámetros	r0000
2 Pulsar  hasta que se visualice P0010	P0010
3 Pulsar  para acceder al nivel de valor de parámetro P0010	0
4 Pulsar  para ajustar P0010 = 1	1
5 Pulsar  para salvar y salir del nivel de valor de parámetro	P0010
6 Pulsar  hasta que se visualice P1082	P1082
7 Pulsar  para acceder al nivel de valor de parámetro P1082	50.00
8 Pulsar  para seleccionar la frecuencia máxima deseada	35.00
9 Pulsar  para salvar y salir del nivel de valor de parámetro	P1082
10 Pulsar  para volver a P0010	P0010
11 Pulsar  para acceder al nivel de valor de parámetro P0010	1
12 Pulsar  para volver a P0010 = 0	0
13 Pulsar  para salvar y salir del nivel de valor de parámetro	P0010
14 Pulsar  para volver a r0000	r0000
15 Pulsar  para salir de la parametrización	35.00
En pantalla se alterna la frecuencia actual y la consigna de frecuencia requerida	00.00

Figura 73. Cambio de parámetros vía panel BOP [10].

Una vez que el variador ha sido instalado y está alimentado con la potencia de la red, se puede comenzar con la programación del mismo. En caso de que el variador haya sido utilizado previamente en otra instalación, conviene reiniciarlo, introduciendo en orden los valores 30 (ajuste de fábrica) y 1 en los parámetros P0010 y P0970 respectivamente.

Como ya se ha mencionado, para comenzar con la puesta en servicio rápida, se introduce el valor 1 en el parámetro P0010. De esta forma, se puede tener acceso a los parámetros que se muestran en la siguiente imagen:

Puesta en servicio rápida P0010=1	
P 0100	Europa / Norteamérica ↔
P 0300	Selección del tipo de motor ↔
P 0304	Tensión del motor ↔
P 0305	Corriente del motor ↔
P 0307	Potencia del motor ↔
P 0308	Factor de potencia del motor ↔
P 0309	Rendimiento del motor ↔
P 0310	Frecuencia del motor ↔
P 0311	Velocidad del motor ↔
P 0335	Refrigeración del motor ↔
P 0640	Factor de sobrecarga del motor
P 0700	Selección de fuente de órdenes
P 1000	Selec. consigna frecuencia
P 1080	Frecuencia mín.
P 1082	Frecuencia máx.
P 1120	Tiempo de aceleración
P 1121	Tiempo de deceleración
P 1300	Modo de control
P 3900	Fin de puesta en servicio rápida ↔

Figura 74. Parámetros de la puesta en servicio rápida [9].

Se pueden programar los parámetros, conforme a la placa de características del motor Siemens elegido, introduciéndoles los siguientes valores:

1. P0100: "0 = Potencia en KW y frecuencia por defecto en 50Hz".
2. P0300: "1 = Motor asíncrono".
3. P0304: "230 = Tensión nominal del motor en voltios"
4. P0305: "3.3 = Corriente nominal del motor en amperios"
5. P0307: "0.75 = Potencia nominal del motor en kilovatios"
6. P0308: "0.79 = Factor de potencia del motor"
7. P0309: "0.72 = Rendimiento nominal del motor a 50Hz"
8. P0310: "50 = Frecuencia nominal del motor"
9. P0311: "1380 = Velocidad nominal del motor en r.p.m."
10. P0335: "0 = Autorrefrigerado (ventilador acoplado al eje del motor)"
11. P0700: "1 = Permite que el panel BOP se convierta en la fuente de órdenes"
12. P1000: "1 = Consigna de frecuencia desde el panel BOP"
13. P1080: "0 = Valor de la frecuencia mínima del motor"
14. P1082: "50 = Valor de la frecuencia máxima del motor, igual a la nominal"
15. P1120: "10 = Tiempo que tarda el motor en arrancar hasta alcanzar la frecuencia máxima del motor (valor por defecto)"
16. P1121: "10 = Tiempo que tarda el motor en decelerar, desde la frecuencia máxima del motor, hasta pararse por completo (valor por defecto)"
17. P1300: "0 = V/f de forma lineal (valor por defecto)"
18. P3900: "1 = Permite ejecutar los cálculos con los valores introducidos, poniendo todos los parámetros, excepto los de la puesta en servicio rápida, a 0 (incluido el parámetro P0010)"

El rendimiento nominal del motor se calcula a partir de los valores de la placa de características, ya que:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{elec}} \quad (12)$$

Siendo:

- η = Rendimiento nominal del motor.
- P_{mec} = Potencia mecánica nominal del motor. $P_{mec} = 0.75KW$
- P_{elec} = Potencia eléctrica consumida por el motor en régimen nominal.

$$P_{elec} = S * \cos(\phi) \quad (13)$$

Siendo:

- S = Potencia aparente nominal del motor, calculada en la Pág. 51. $S = 1314.626$ VA.
- $\cos(\phi)$ = Factor de potencia nominal del motor. $\cos(\phi) = 0.79$.

Finalmente:

$$\eta = 0.75 / (1.314 * 0.79) = 0.72$$

Antes de poner en marcha el motor, se ha de volver a introducir el valor 0 en el parámetro P0010, movimiento que se ejecuta de forma automática al poner el parámetro P3900 a 1 como acabamos de ver.

Al insertar un 1 en el parámetro P0700, se consiguen transmitir las ordenes de funcionamiento del sistema a través del panel BOP; aunque en una instalación de ascensores real, estas órdenes se delegan al circuito de control de los ascensores. Lo mismo ocurre con el parámetro P1000, ya que, en una instalación de ascensores, las consiganas de frecuencia se dan de forma automática.

Como se trabaja con la instalación en régimen nominal, resultan triviales y ad hoc los valores introducidos en los parámetros P1080, P1082, P1120, P1121 y P1300, ya que todos ellos desempeñan su función en los transitorios de arranque y parada del ascensor. Es por ello que se dispone de los valores por defecto de estos parámetros siempre que los tengan. La determinación de estos valores puede considerarse una línea de estudio a seguir para ampliar los trabajos desarrollados en este proyecto final de grado.

Cuanto más valores se introduzcan en los parámetros de la puesta en servicio rápida, mayor será el rendimiento del variador MM420.

Es posible realizar también una puesta en servicio rápida con el panel AOP (Advanced Operator Panel), el cual dispone de las mismas prestaciones que el panel BOP, incluyendo una serie de características adicionales, las cuales se pueden consultar el subapartado 5.4 de la Guía rápida del Micromaster 420 de Siemens [10].

Para cambiar de forma rápida el valor de los parámetros del variador mediante el panel BOP, se pueden seguir los pasos siguientes:

- Asegurarnos de que estamos dentro del parámetro que se quieren modificar.
- Pulsar el botón **Fn**, con lo que parpadea el dígito derecho.
- Cambiar el valor del dígito pulsando los botones de subida y bajada.
- Volver a pulsar **Fn**, con lo que parpadea el siguiente dígito.
- Ejecutar los pasos del 2 al 4 hasta conseguir introducir el valor requerido.

Por último, cabe destacar (aunque en la supuesta instalación en la que se introdujese el MM420, no se controlaría el variador de frecuencia mediante el panel BOP) que se pueden visualizar los siguientes fallos de sistema a través del panel BOP:

Código fallo BOP/AOP	Estado del MICROMASTER 420
F0001	Sobrecorriente
F0002	Sobretensión
F0004	Sobretemperatura convertidor (PTC interno)
F0011	Sobretemperatura motor por cálculo de I ² t

TABLA 4. Códigos de fallo del sistema [10].

Como se indicó al principio de este apartado, toda la información expuesta puede ser consultada y ampliada a través de la Guía rápida [10] y las Instrucciones de uso [9] del variador MM420 de Siemens.



PRESUPUESTO



Índice del Presupuesto

1) INTRODUCCIÓN	74
2) PRESUPUESTO.....	74

1) INTRODUCCIÓN

Buena parte de este trabajo final de grado está concebido para mostrar contenido divulgativo sobre las mejoras posibles de rendimiento energético en ascensores eléctricos; en concreto, sobre el ahorro que supone la conexión de los buses de los variadores de frecuencia en una instalación de elevadores, así como para conocer y comprender el funcionamiento de las partes de la instalación (sobre todo, de los motores de inducción y de los variadores de frecuencia)

Sin embargo, la finalidad de este proyecto es constituir como una guía para modelizar el sistema de transmisión de potencia eléctrica de una instalación de ascensores eléctricos mediante el programa Simulink y, de esta forma, conocer en concreto los rendimientos energéticos de la instalación en la que se conecten los buses de los variadores de frecuencia pertenecientes al sistema de transmisión de potencia de cada ascensor. Los valores más frecuentes del IdS de los ascensores de la instalación se pueden conocer tomando mediciones de la simultaneidad con la que los ascensores suben y bajan.

Siguiendo esta lógica, se pretende realizar un presupuesto en el que se modelice la instalación en la que se requiere aumentar la eficiencia energética y, si los rendimientos obtenidos son lo suficientemente elevados como para que los propietarios de la instalación decidan realizar la conexión de los buses de los variadores, se incluye la instalación y programación de los variadores MM420 para las instalaciones de ascensores que no dispongan de variadores de frecuencia. Las tareas de medición del IdS y la conexión de los buses de continua se pueden delegar a las empresas que los propietarios de la instalación decidan.

Por descontado, la instalación real simulada se adecuará a la modelizada en el documento "Memoria" de este proyecto final de grado, por lo que se presupuestará sobre una instalación de dos ascensores eléctricos que, supondremos, no incluyen variadores de frecuencias en su sistema de transmisión de potencia eléctrica para poder implementar el coste la instalación y programación del variador MM420.

2) PRESUPUESTO

Buena parte del coste del presupuesto está constituido por las horas dedicadas a la modelización de la instalación y el cálculo de resultados, que se desglosan en la siguiente tabla:

FASES	OBJETIVOS	HORAS DEDICADAS
Creación del modelo de subida del ascensor	Modelización del variador de frecuencia MM420 y la red eléctrica	30
	Generación de la señal PWM	21
	Modelización del motor Siemens	27
	Obtención de datos mediante la introducción de elementos de medición	12
Creación del modelo de subida y bajada simultáneas del ascensor	Rectificación del modelo de subida para conseguir el modelo de subida y bajada simultáneas	12
	Obtención de datos mediante la introducción de elementos de medición	6
Análisis de resultados	Balance de potencia del modelo de subida	2
	Balance de potencia del modelo de subida y bajada simultáneas	2
	Análisis y realización de cálculos mediante los datos obtenidos	9
Informe del proyecto	Redacción de los cálculos y conclusiones del estudio para el cliente	6

TABLA 5. Horas dedicadas a la elaboración del proyecto.

Esta estimación de las horas invertidas en la elaboración de las distintas fases del proyecto da como resultado que 108 horas de un total de 127 horas son dedicadas a la creación de los modelos mediante Simulink. Esto se debe, entre otros factores, al tiempo que tardan en ejecutarse las sucesivas iteraciones que se llevan a cabo para que los inputs del modelo simulado se asemejen a los de la instalación real. El resto de las horas de trabajo (19 horas) consisten en realizar el análisis de los datos obtenidos en los modelos de la instalación y en pergeñar un informe para los clientes.

El total de 127 horas, dedicadas a la realización del proyecto, son ejecutadas por un ingeniero recién egresado. Según el XIX Convenio colectivo del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos recogido en el BOE, la jornada de trabajo máxima anual será de 1792 horas, con un salario asociado a "Diplomados y Titulares de 1º

Ciclo Universitario” de 20424.25€ anuales para el año 2020 [11]. Este tratado sigue en vigor, ya que aún no ha sido aprobado el XX Convenio.

Tomando ambas referencias, se obtiene que:

$$\text{Salario, } 1 = \frac{20424.25 \text{ €/año}}{1792 \text{ h/año}} \times 127 \text{ h} = 1447.48\text{€}$$

Por lo que el coste económico salarial por la realización del trabajo por parte del ingeniero recién graduado será de 1447.48€.

El uso de la maquinaria de trabajo empleada por el ingeniero, como es el caso del ordenador, propiedad del este (con el que se realizan los modelos de simulación) no se tendrá en cuenta para la elaboración del presupuesto; ya que este fue amortizado durante los años de estudio en la universidad.

Se han de tener en cuenta los costes de las licencias de los softwares Matlab y Office 365 durante el periodo de elaboración del proyecto, siendo estas:

SOFTWARE	COSTE ANUAL (€/año)
Matlab	800
Office 365	126

TABLA 6. Coste anual de las licencias de software [14],[15].

Se contrata la licencia para Empresa Estándar de Microsoft Office 365 (versión más barata con la que se tiene acceso a las aplicaciones Premium de Office).

Según el XIX Convenio, se puede trabajar un máximo de 46 horas semanales, por lo que las 127 horas de duración de la modelización pueden ser distribuidas holgadamente a lo largo de un mes. De esta forma, solo se le imputará un mes del coste de las licencias de software a los contratantes del proyecto:

$$\text{Coste Matlab} = \frac{800 \text{ €}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times 1 \text{ mes} = 66.67 \text{ €}$$

$$\text{Coste Office} = \frac{126 \text{ €}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times 1 \text{ mes} = 10.50 \text{ €}$$

Por ello, el coste de las licencias asciende a 77.17 €.

Una vez modelizada la instalación y habiendo entregado el informe elaborado sobre los rendimientos de la mejor a los contratantes, se procederá a realizar la instalación y programación de los variadores MM420.

La instalación será ejecutada por el ingeniero que realizo la modelización en calidad de programador y técnico, siendo el salario asociado a “Programador de Máquinas Auxiliares” según el XIX Convenio ya mencionado anteriormente de 18328.73€/año [11].

Por su parte, el salario correspondiente a “Técnico de Primera” se estima en 16.627,17€/año [11].

En la siguiente tabla, se muestran los tiempos invertidos en instalar y programar un variador:

TAREAS	HORAS DEDICADAS
Instalar un variador MM420	2.5
Programar un variador MM420	1.5

TABLA 7. Horas dedicadas a la instalación y programación.

Por lo que, el coste personal de instalar y programar un par de variadores MM420 será:

$$\text{Salario}, 2 = 2 \times \left(\frac{18328.73 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1792 \frac{\text{h}}{\text{año}}} \times 1.5 \text{ h} + \frac{16627.17 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1792 \frac{\text{h}}{\text{año}}} \times 2.5 \text{ h} \right) = 77.08 \text{ €}$$

Sin embargo, el grueso de esta etapa del proyecto reside en el precio de los MM420. La referencia del modelo que necesitamos para la instalación de ascensores es 6SE6420-2UC21-1BA1, ya que es el subtipo de MM420 que más se adecúa a las características de la instalación.

6SE6420-2UC21-1BA1

MICROMASTER 420 sin filtro 1/3AC200-240V+10/-10%
47-63Hz Par constante 1,1 kW Sobrecarga 150%
durante 60 s Par cuadrático 1,1 kW 202x 149x 172 (Al x
An x P) Grado de protección IP20 Temperatura
ambiente de -10 a +50 °C sin AOP/BOP

Figura 74. Hoja de datos del MM420 seleccionado [28].

De esta forma, el precio de mercado del variador MM420 seleccionado y del panel BOP para realizar la programación es de:

MAQUINARIA	PRECIO (€)
MM420	584.43
Panel BOP	98.99

TABLA 8. Precio de la maquinaria [16].

Por ello, el coste en maquinaria será:

$$\text{Coste Maquinaria} = 2 \times 584.43 + 98.99 = 1267.85 \text{ €}$$

Sobre los costes directos del proyecto, se aplicará un 6% de costes indirecto. Si bien las posibles variaciones que afectan al coste de la modelización de la instalación son ínfimas (ya que la cantidad de herramientas materiales que intervienen en su proceso de elaboración son escasas), este porcentaje es un poco elevado debido a que el manejo de los variadores y su instalación implican un mayor riesgo. De esta forma, los costes del proyecto serán:

$$\text{Costes Directos} = 77.17 + 1447.48 + 77.08 + 1267.85 = 2869.58 \text{ €}$$

$$\text{Costes Indirectos} = 0.06 \times 2869.58 = 172.18 \text{ €}$$

Finalmente, sobre todos los costes se obtendrán un 6% de beneficios industriales (mismo porcentaje que se fija en los contratos con la administración pública [18]), de forma que:

$$\text{Beneficios Industriales} = 0.06 \times (2869.58 + 172.18) = 182.51 \text{ €}$$

En la siguiente tabla, se muestran los costes y beneficios tenidos en cuenta para llevar a cabo este presupuesto y el coste final para los contratantes:

COSTE DEL PROYECTO (€)	
SALARIO,1	1447.48
SOFTWARE	77.17
SALARIO,2	77.08
MAQUINARIA	1267.85
INDIRECTOS	172.18
BENEFICIOS	182.51
TOTAL	3221.27

TABLA 9. Costes del proyecto.

Se puede observar que el coste final del proyecto asciende a 3221.27€.



PLIEGO DE CONDICIONES



Índice del Pliego de Condiciones

1. DEFINICIÓN	81
2. NORMAS DE CARÁCTER GENERAL	81
3. CONDICIONES PARTICULARES	82
3.1. Condiciones Técnicas	82
3.1.1. Licencias de Software	82
3.1.2. Ordenador Personal	82
3.1.3. Variadores de Frecuencia MM420	82
3.2. Condiciones Facultativas	86
3.2.1. Deberes del Contratista	86
3.2.2. Deberes del Contratante	86
3.3. Condiciones Económicas	87
3.4. Condiciones Legales	87

1. DEFINICIÓN

Para concluir este trabajo final de grado y complementar el documento “Presupuesto” realizado, se añade el presente **Pliego de Condiciones** como una extensión contractual del proyecto presupuestado, especialmente en lo referente a normativa y condiciones técnicas de la instalación de los variadores de frecuencia MM420.

2. NORMAS DE CARÁCTER GENERAL

Dado que se conectan los variadores de frecuencia del proyecto a la red de corriente alterna de 230V y 50Hz, la instalación eléctrica y mecánica de los mismos se habrá de regir por la normativa recogida en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [13]. Entre sus instrucciones técnicas complementarias a aplicar, destacan:

- ITC-BT-05: VERIFICACIONES E INSPECCIONES
- ITC-BT-18: INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA
- ITC-BT-19: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PRESCRIPCIONES GENERALES
- ITC-BT-20: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. SISTEMAS DE INSTALACIÓN
- ITC-BT-22: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PROTECCIÓN CONTRA SOBRE INTENSIDADES
- ITC-BT-23: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PROTECCIÓN CONTRA SOBRE TENSIONES
- ITC-BT-24: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. PROTECCIÓN CONTRA LOS CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS
- ITC-BT-32: INSTALACIONES CON FINES ESPECIALES. MÁQUINAS DE ELEVACIÓN Y TRANSPORTE.
- ITC-BT-43: INSTALACIÓN DE RECEPTORES. PRESCRIPCIONES GENERALES.
- ITC-BT-48: INSTALACIÓN DE RECEPTORES. TRANSFORMADORES Y AUTOTRANSFORMADORES. REACTANCIAS Y RECTIFICADORES. CONDENSADORES.

Otras normativas específicas que cumple el variador Micromaster 420 de Siemens se muestran en las condiciones particulares técnicas del mismo.

3. CONDICIONES PARTICULARES

Como ya se ha mencionado anteriormente, este pliego se centra en las condiciones de índole técnica, estableciendo además una serie de condiciones facultativas a cumplir por parte de los contratantes y del contratista. Por último, se mencionarán algunas condiciones básicas de índole económico y legal.

3.1. Condiciones Técnicas

Estas condiciones se centran particularmente en los materiales y en la forma de ejecutar los distintos trabajos que se llevan a cabo en los proyectos presupuestados. En los siguientes apartados se muestran las especificaciones que han de cumplir los materia y equipos utilizados, además de algunas pautas que se han de seguir para su correcta integración:

3.1.1. Licencias de Software

Tanto las licencias de Matlab como de Office 365 serán adquiridas de forma legal, mediante la compra de las correspondientes licencias de uso. En las licencias de usuario se especifican las condiciones de uso que se han de aceptar para poder acceder a los programas de las licencias. Cualquier aspecto que no esté regulado por las licencias de uso, estará adscrito a la Ley de Protección Intelectual vigente en el momento de la instalación del Software.

3.1.2. Ordenador Personal

Las características del ordenador personal del Ingeniero (contratista) encargado de la modelización de la instalación de ascensores, propiedad de los contratantes, habrá de contar con el hardware adecuado para la implementación de los programas requeridos. Los requisitos mínimos, para poder implementarlos serán:

- Windows 10 (versión 1803 o posterior)
- Cualquier procesador Intel o AMD x86-64
- Un espacio de memoria de 29GB para albergar todos los productos de MathWorks
- Una memoria RAM de 4GB

3.1.3. Variadores de Frecuencia MM420

Las características de los variadores serán compatibles con los de la red y la propia instalación de ascensores. En este subapartado se recogen las consignas, extraídas principalmente de las Instrucciones de uso [9], que deberá cumplir el técnico encargado de la instalación eléctrica y mecánica de los variadores, además de las recomendaciones para evitar interferencias electromagnéticas. También se incluyen las normativas que los Micromaster 420 cumplen para su fabricación [9].

3.1.3.1. Instalación Mecánica

- Los variadores han de ser instalados por personal cualificado, siguiendo plenamente las advertencias especificadas en las Instrucciones de uso del MM420.
- Respetar los reglamentos de instalación y seguridad relacionados con la manipulación de instalaciones con tensiones peligrosas, como la norma EN 50178, que regula los equipos electrónicos para uso en instalaciones de potencia. También se habrán de tener en cuenta los reglamentos sobre el correcto uso de las herramientas y equipos de protección personal.
- En caso de desconectar el variador de la fuente de alimentación, esperar al menos 5 minutos para que la unidad pueda descargarse, ya que los bornes de corriente continua y los que se conectan al motor pueden estar sometidos a tensiones peligrosas, aunque no estén funcionando.
- La distancia mínima de ambos variadores será de 100mm, para permitir su correcta ventilación.
- El variador con referencia 6SE6420-2UC21-1BA1 que se utiliza, de tamaño B, tendrá las dimensiones y se fijará con el método que se muestra en la siguiente imagen:

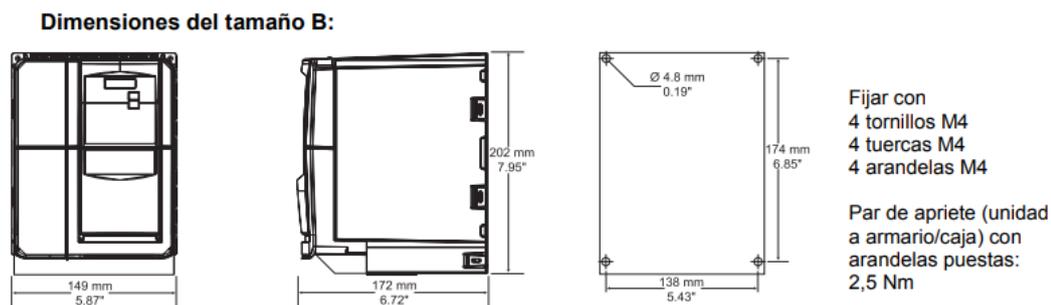


Figura 75. Dimensiones y método de fijación [9].

3.1.3.2. Instalación Eléctrica

- Antes de efectuar la instalación eléctrica, se ha de ajustar la frecuencia del variador a la de la red europea. Para ello, se ha de dejar el interruptor DIP (2) en su posición por defecto (abajo)
- Los convertidores deben ponerse siempre a tierra.
- Los cables de mando, de alimentación y al motor no deberán llevarse a través de los mismos conductos.
- Para realizar cualquier manipulación del cableado, aislar el variador de la red de alimentación.

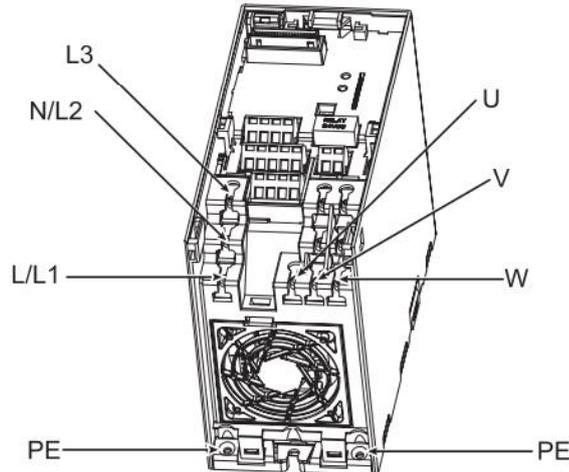


Figura 76. Bornes del variador MM420 [9].

- El técnico ha de asegurarse de que entre la fuente de alimentación y el variador estén conectados los interruptores/fusibles apropiados para la corriente nominal especificada para el funcionamiento de la instalación de ascensores.
- Para las conexiones, solo se ha de utilizar hilo de cobre de Clase 1 60/75°C.

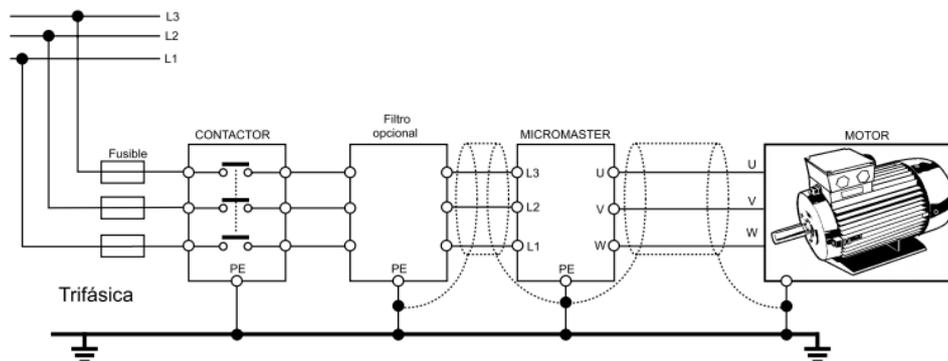


Figura 77. Conexión al motor y a la red a través de los elementos de protección [9].

3.1.3.3. Modos de Evitar Interferencias Electromagnéticas

- Asegurarse de que ambos variadores están puestos a tierra utilizando cables gruesos y cortos.
- Conectar al mismo punto de puesta a tierra la carcasa de los motores controlados por los convertidores.
- Es preferible utilizar conductores planos que tienen menor impedancia a frecuencias altas.
- Asegurarse de que los hilos apantallados conectados del variador al motor sean lo más cortos posibles para reducir el alcance de estos al funcionar como antenas debido a los armónicos de orden superior que acarrean los estrechos pulsos de

tensión que entran al motor. Conviene que los cables sean tripolares para que compensen la radiación que emiten entre ellos.

- Utilizar conexiones apantalladas para conectar el motor y poner a tierra las pantallas utilizando abrazaderas de cables. Las pantallas se ponen a tierra debido a que la radiación electromagnética induce corrientes sobre ellas.
- A elevadas frecuencias, se producen fugas de corriente de los cables del motor debido al efecto condensador que se genera entre los cables y la toma a tierra (actuando el aislante que recorre los cables como componente dieléctrico del condensador generado). Estas fugas de corriente hacen saltar los diferenciales. Para que no salten, hay que hacer que los diferenciales sean selectivos a la frecuencia, de forma que, si detectan fugas a alta frecuencia, estos no se disparen.

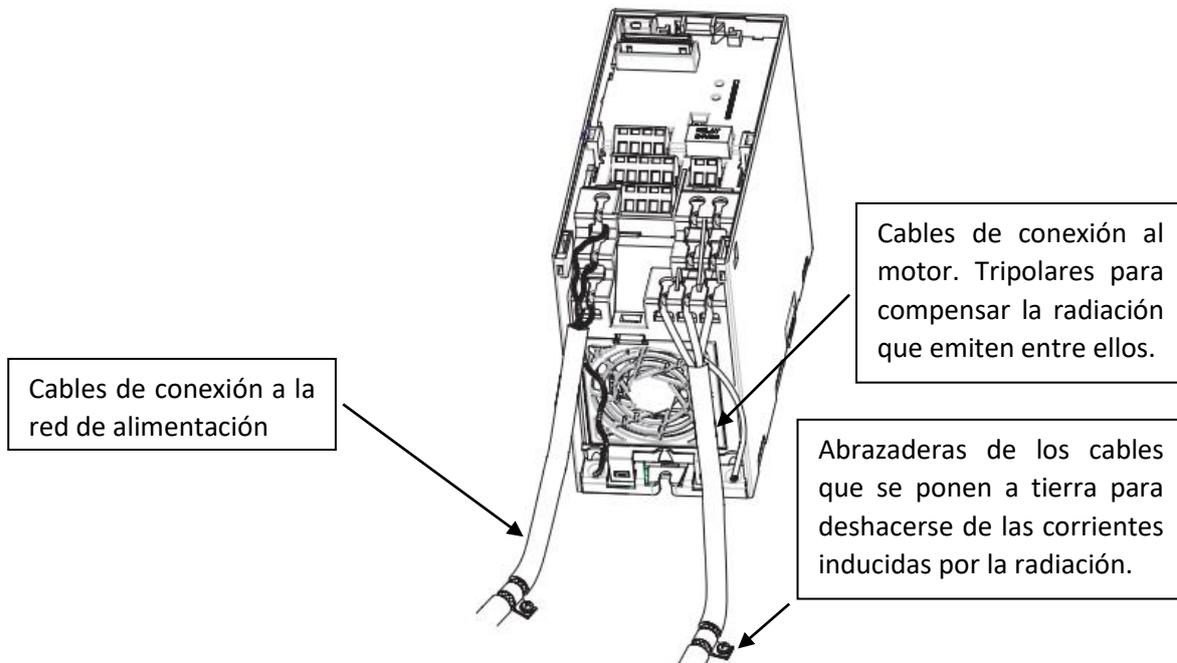


Figura 78. Conexiones del variador a la fuente de alimentación y al motor [10].

3.1.3.4. Normativa intrínseca de los MM420

- Directiva europea "Baja tensión" 98/68/CEE.
- EN 60146-1-1: Convertidores a semiconductores - Requisitos generales y convertidores conmutados por red.
- EN 60204-1: Seguridad de máquinas - Equipamiento eléctrico de máquinas.
- Directiva europea "Compatibilidad electromagnética" especificada en la norma EN50082-2.
- ISO 9001: sistema de gestión de calidad.

3.2. Condiciones Facultativas

Estas condiciones harán referencia a las obligaciones generales de las partes que integran la realización de los proyectos presupuestados. Los contratantes serán los propietarios de la instalación de ascensores y el ingeniero encargado de la modelización de la instalación se hará cargo de la dirección del proyecto. El ingeniero será el único contratista, ya que también realizará las labores de instalación y programación de los variadores.

3.2.1. Deberes del Contratista

- El contratista deberá conocer las normas y leyes recogidas en este documento, así como las normas no desarrolladas concernientes a los elementos del proyecto. Por ello, se deberá cumplir especialmente la normativa establecida en el REBT, así como las condiciones técnicas incluidas en este pliego.
- Es su obligación conocer todas las partes del proyecto. Además, ha de disponer de un documento, como este pliego, en el que se reflejen las indicaciones y aclaraciones del proyecto, las cuales habrá de seguir en todo momento.
- Se deberá informar al contratante de la inicialización y finalización del proyecto, cumpliendo en todo momento los plazos especificados para la ejecución del mismo. También se debe informar periódicamente al cliente de los objetivos alcanzados y de las posibles modificaciones del proyecto que pueden afectar al coste del mismo.
- El contratista se compromete a disponer de los medios necesarios para garantizar la calidad del desarrollo del proyecto, así como a reponer las unidades dañadas durante la ejecución de las fases del proyecto y asumir la responsabilidad ante los fallos de ejecución de estas fases.
- Debe aportar soluciones a los problemas no previstos derivados de la ejecución del proyecto.

3.2.2. Deberes del Contratante

- Los contratantes deberán facilitar toda la información y los elementos de los que dispongan que estén vinculados a la elaboración del proyecto por parte del contratista.
- En caso de que deseen que se ejecuten ciertas especificaciones no recogidas en este pliego, los contratantes habrán de entregar, en un documento por escrito, estas exigencias.
- Es responsabilidad de estos conseguir los permisos necesarios para la ejecución del proyecto.
- Salvo negligencias del contratista, no podrán reclamar los retrasos en la realización del proyecto causados por imprevistos del mismo. Estos imprevistos deberán ser justificados por el contratista

3.3. Condiciones Económicas

El contratista tendrá derecho a cobrar lo estipulado en el documento “Presupuesto” por la realización de su trabajo, siempre que haya cumplido con las condiciones estipuladas en los apartados anteriores. También tendrá derecho a cobrar por los trabajos no recogidos en el presupuesto, pero necesarios para el desarrollo del proyecto.

En caso de produzcan retrasos en la retribución del contratista desde la fecha de finalización del proyecto, se aplicarán al coste final del presupuesto una serie de recargos que irán aumentando conforme aumente la demora del pago. Estos recargos son consensuados por las partes afectadas en un documento privado ajeno a este pliego, al igual que las reducciones por demora de la finalización del proyecto. En caso de que la fecha final de aplicación de los recargos acordada expedite, el contratista tiene derecho a realizar una demanda ante los tribunales por impago de los contratantes.

De la misma forma, si se producen retrasos en la fecha de finalización del proyecto por motivos no justificados, se reducirá el precio final del presupuesto para los contratantes en una serie de cantidades acordadas que aumentarán conforme aumente la demora hasta una fecha límite en la que el contratante podrá rescindir el contrato.

Los plazos de ejecución de los trabajos presupuestados se fijarán junto con los recargos y las reducciones por demora.

3.4. Condiciones Legales

Finalmente, se elaborará un contrato que deberá ser firmado por las partes implicadas. Dicho contrato recogerá también las cláusulas privadas negociadas entre las partes.

El contrato podrá ser rescindido si se cumple al menos una de las siguientes condiciones:

- Ambas partes deciden rescindir de mutuo acuerdo el contrato.
- Alguno de los aspectos fundamentales del proyecto es modificado.
- Incumplimiento de plazos por motivos no justificados.
- Impago del trabajo acordado en el tiempo acordado.
- Actuación deliberada de una de las partes en contra de los intereses de la otra.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid 2016, **Guía sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Ascensores**, Comunidad de Madrid <<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015582.pdf>>
- [2] Unión Europea 2010, **Tratado de la Unión Europea y Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea**, Gobierno de España <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-Z-2010-70002>>
- [3] Jefatura del estado 2020, **Ley 9/2020, de 16 de diciembre, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero**, Gobierno de España <https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-16347>
- [4] Miravete, Antonio. Larrodé, Emilio 2012, **Elevadores: Principios e Innovaciones**, Editorial Reverté <https://polibuscador.upv.es/discovery/fulldisplay?docid=alma997225147403706&context=L&vid=34UPV_INST:bibupv&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=BUS_GENERAL&query=any,contains,elevadores%20principios%20e%20innovaciones%20antonio%20miravete%20emilio%20larrode&offset=0>
- [5] Serrano Iribarnegaray, Luís. Martínez Román, Javier Andrés 2017, **Máquinas Eléctricas**, Universitat Politècnica de València.
- [6] Asignatura “Máquinas Eléctricas” del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales curso 2019-20, **Apuntes Poliformat**, Universitat Politècnica de València.
- [7] Centro de Ayuda de Simulink 2021, **Help Center**, MathWorks <https://es.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/guide-getting-started.html>
- [8] Hart, Daniel W. 2001, **Electrónica de potencia (Capítulo 8)**, Ed. Prentice Hall.
- [9] MICROMASTER-420 2000, **Instrucciones de uso**, Siemens AG <<https://www.rpmecatronica.com/system/storage/download/Micro%20Master%20420%20SIEMENS%20Manual.PDF.RwW9EGXDIQf35XAx1XMK1DmPMcIFPXJM>>



- [10] MICROMASTER-420 2000, **Guía rápida**, Siemens AG
<file:///C:/Users/usuario/Downloads/micromaster_420_serie.pdf>
- [11] Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social 2019, **XIX Convenio colectivo del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios de estudios técnicos**, Gobierno de España <https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-14977>
- [12] MICROMASTER-420/430/440 2007, **Catálogo**, Siemens AG
<<https://www.dielectrobaleares.es/Dielectro-Baleares-Industria/Catalogos/Siemens/Accionamientos/MICROMASTER.pdf>>
- [13] Ministerio de ciencias y tecnología 2002, **Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión**, Gobierno de España <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>>
- [14] Página web oficial del software Matlab. **MathWorks**. <<https://es.mathworks.com/>>
- [15] Página web oficial del software Office 365. **Microsoft**. <<https://www.office.com/>>
- [16] Página web oficial de la empresa Siemens. **Siemens AG**.
<<https://www.siemens.com/global/en.html>>
- [17] Biblioteca de trabajos académicos de la Universitat Politècnica de València, **Riunet**.
<<https://riunet.upv.es/handle/10251/11261>>
- [18] Ministerio de Hacienda 2001, **Ley de Contratos de las Administraciones Públicas**, Gobierno de España <<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-19995>>
- [19] Unión Europea 2009, **Directiva 2009/125/CE**, Gobierno de España
<<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-82047>>
- [20] Comité CTN 321 - Ascensores Escaleras mecánicas y Andenes móviles 2013, **UNE-EN ISO 25745-1**, AENOR <<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0050878>>
- [21] Instalaciones Carbonell, **¿CÓMO FUNCIONA UN ASCENSOR?**, Instalaciones Carbonell S.A. <<https://ascensores-carbonell.es/como-funciona-un-ascensor/>>



[22] Franco Calderón, Jose Alejandro. Rodríguez Pérez, Manuel Felipe 2015, **ASCENSOR ATV71 CONTROLADO POR CODESYS**, Ed. Bogotá: Corporación Universitaria Republicana <<https://polilabs.html5.upv.es/transport/?w6p2n5b7j67803heyjrojaw9wlo200vffxdxelhj.6dea8j0zrqbczzanhg6yu50276tilq9c&>>

[23] Rodríguez, Brais 2018, **Nuevos avances en el desarrollo de supercondensadores como alternativa a las baterías de litio**, Forococheelectricos <<https://forococheelectricos.com/2018/02/nuevos-avances-en-el-desarrollo-supercondensadores-como-alternativa-las-baterias-de-litio.html>>

[24] 2021, **Transistor IGBT**, Wikipedia <https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_IGBT>

[25] Maquítuls 2017, **AHORRO ENERGÉTICO CON VARIADORES DE FRECUENCIA**, Maquítuls <<https://www.maquituls.es/noticias/ahorrar-energia-con-variadores-de-frecuencia/>>

[26] Germán Velázquez, M^a Pilar 2015, **Diseño de rectificador regenerativo a red para recuperación de energía en ascensores**, Universidad de Zaragoza <<https://core.ac.uk/download/pdf/289983071.pdf>>

[27] Puche Panadero, Rubén 2013, **Conexión Multi-Drive para Convertidores de Frecuencia**, Universitat politècnica de València <<https://www.youtube.com/watch?v=Glw7zYy4krl>>

[28] 6SE6420-2UC21-1BA1 2020, **Hoja de datos**, Siemens AG <https://www.electricalautomationnetwork.com/PDF/PIM/SIE/ES_6SE6420-2UC21-1BA1.pdf>