



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería eléctrica

**Plataforma de ensayo y control de un
alternador convencional de automoción**

Autor:

Campo Barbero, Jaime

Tutor:

**Parra Gonzalo, Eduardo
Ingeniería eléctrica**

Valladolid, julio 2019

Resumen

Este proyecto describe el funcionamiento de un bastidor pensado para facilitar la labor docente de explicar diferentes formas de hacer funcionar una máquina síncrona trifásica y sus correspondientes aplicaciones. Concretamente, se explicará cómo hacer funcionar la máquina síncrona como generador, como motor y como motor paso a paso.

Para ello se explicará tanto el funcionamiento de las máquinas que compondrán el bastidor: un generador síncrono y un motor de corriente continua, que se utilizará como motor de arrastre y para aplicar un par resistente a la máquina síncrona cuando esta se use como motor, como del sistema de regulación basado en un dispositivo embebido.

Palabras clave: generador, motor, síncrono, embebido, bastidor.

Índice

1 – Introducción y objetivos.....	Pág. 1
2 –Elementos de la plataforma de ensayo y control.....	Pág. 3
2.1. –El bastidor.....	Pág. 3
2.2. –Esquemas eléctricos del bastidor.....	Pág. 11
2.3. –La fuente de alimentación.....	Pág. 18
2.4. –El bastidor completo.....	Pág. 20
2.5. –El alternador de automoción.....	Pág. 22
2.5.1. –El alternador de automoción como alternador.....	Pág. 24
2.5.2. –El alternador de automoción como motor paso a paso.....	Pág 28
2.5.3. –El alternador de automoción como motor síncrono.....	Pág 32
2.6. – La máquina de corriente continua.....	Pág. 35
2.6.1. – El motor CC como motor de arrastre.....	Pág 38
2.6.2. – El motor CC como dinamo.....	Pág 40
3 – Conexionado de la plataforma	
3.1. – Conexionado del sistema del control.....	Pág. 43
3.2. – Conexionado para funcionamiento de la máquina de ensayo como generador síncrono trifásico.....	Pág. 46
3.3. – Conexionado para funcionamiento de la máquina de ensayo como motor síncrono.....	Pág. 51
3.4. – Conexionado para funcionamiento de la máquina de ensayo como motor paso a paso.....	Pág. 56

4 - Selección de secciones de cable.....	Pág. 58
5 - Presupuesto del bastidor.....	Pág. 60
6 - Conclusiones.....	Pág. 61
7 - Bibliografía.....	Pág. 63



1 – Introducción y objetivos

Hoy en día la máquina síncrona tiene una gran presencia en diversos ámbitos de la ingeniería eléctrica.

La aplicación más extendida para esta máquina es la de generación de energía, tanto a gran escala en la mayoría de las centrales eléctricas que alimentan la red eléctrica de transporte, como para tracción alimentando los circuitos de los vehículos que usan motores de combustión interna.

Aunque ahora en menor medida, también han sido muy utilizados como motores de tracción ferroviaria en varios modelos como el primer modelo de ave (Serie S – 100). Pero a este nivel han sido bastante desplazados por los motores asíncronos, sin embargo en el ámbito de la tracción automovilística, son cada vez más populares, pues son los más encontrados entre los nuevos vehículos eléctricos e híbridos.

De hecho, grandes empresas como Tesla Motors, líder en avances tecnológicos referentes a coches eléctricos o Toyota, una de las pioneras en el desarrollo de la tecnología híbrida abogan por el uso de motores síncronos de imanes permanentes para la fabricación de sus vehículos. Es más, recientemente han publicado estudios referentes a la reducción del porcentaje de neodimio en los imanes utilizados en sus motores, lo que nos lleva a concluir, que día de hoy, la investigación en los motores síncronos trifásicos está a la orden del día.

Es por esto que parece de gran importancia una buena instrucción en lo referente a estas máquinas, y más concretamente en sus aplicaciones a este campo, para los estudiantes de ingeniería eléctrica, que será de quienes, llegado el momento, se espere sean capaces de aplicar sus conocimientos en este sector.

Con este objetivo, se plantea el siguiente proyecto de construcción de un bastidor que facilite al profesorado del departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de Valladolid la posibilidad de explicar, de forma práctica, las diferentes formas de utilizar esta máquina según la regulación que se le aplique.



Este bastidor, como se mostrará y explicará más adelante, tendrá a la vista la representación gráfica pertinente tanto del equipo de regulación utilizado como de las máquinas eléctricas (un motor DC y un alternador síncrono trifásico) que formarán parte de él. En estas representaciones se incluirán las bornas a las que estarán conectadas realmente los elementos representados, con el objetivo de que los alumnos puedan practicar las diferentes conexiones posibles regulación-máquina y así ver, en persona, el comportamiento de la máquina para cada una de ellas. Se incluirá a mayores, para la regulación de la máquina síncrona, un dispositivo embebido dentro del cual podrá cargarse diferentes programas en función de la regulación que se desee aplicar a la máquina síncrona.

De esta manera, el laboratorio de máquinas eléctricas sumará una potente herramienta docente a su repertorio que mejorará la experiencia de los alumnos en los laboratorios de bastantes asignaturas como máquinas eléctricas I, II, accionamientos eléctricos, motores eléctricos especiales en el grado de ingeniería eléctrica, máquinas y accionamientos eléctricos y aplicaciones industriales de motores eléctricos en el grado de ingeniería electrónica y automática y para la asignatura de máquinas eléctricas del grado en ingeniería en tecnologías industriales.

2 – Elementos de la plataforma de ensayo y control

2.1 - El bastidor

El bastidor puramente mecánico será el elemento donde situaremos todos los elementos eléctricos y electrónicos que componen la totalidad del proyecto. Su misión es a grandes rasgos la de aportar una estructura capaz de albergar tanto las máquinas como el control en lugares que nos faciliten tanto su manejabilidad como su observación, dado el carácter docente del

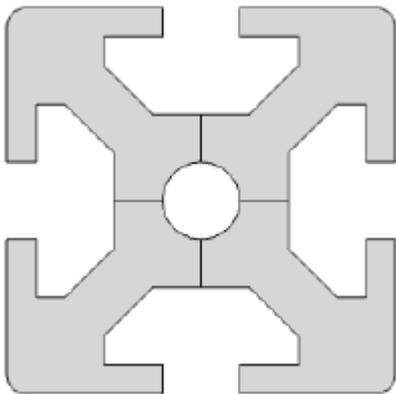


Figura 2.1. Perfil T-Slot 35x35mm modelado con FreeCad 0.17.

proyecto. El bastidor será construido con perfiles de aluminio T-slot de 35x35mm, cuya forma se presenta en la *figura 2.1*, ya que dada su forma facilitan tanto el montaje del esqueleto, pudiendo anclarse unos a otros a cualquier punto de su longitud, como el anclaje de las máquinas, también, por que pueden anclarse a cualquier punto del largo de cualquiera de los perfiles haciendo uso de los tornillos adecuados.

En la *figura 2.2* se muestra el esqueleto de la estructura que se ha diseñado para nuestra plataforma. Podemos apreciar 3 cavidades principales en ella: una en la mitad superior que abarca la totalidad del espacio disponible y otras dos gemelas, en la mitad inferior que dividen en partes iguales este otro volumen.

La parte inferior izquierda está reservada para albergar el motor de corriente continua que utilizaremos como elemento de arrastre/lastre del generador/motor síncrono. Esta cavidad consta de dos railes de aluminio adicionales cuya función es el correcto anclaje del motor DC a la estructura a través de las guías.

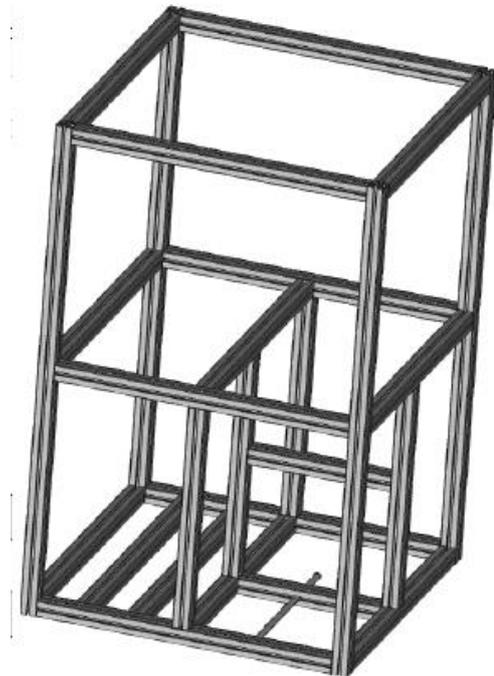


Figura 2.2. Bastidor mecánico modelado con FreeCad 0.17. Imagen del esqueleto

La gemela derecha, es la más compleja de las tres. Consta de un marco interior con la barra horizontal superior de altura variable cuya función es la de poder anclar la parte superior del alternador en cualquiera de las diferentes posiciones de su longitud, que junto con el eje cilíndrico de la base (mirar *figura 2.2*), que se encargará de fijar el agarre inferior de la máquina síncrona a una posición fija pero dejándolo rotar, nos permitirá regular la distancia entre ejes de las dos máquinas para, de esta manera, poder tensar la correa que las acoplará aunque, al cambiarla, se usen correas de diferentes longitudes o la original se distienda.

En la *figura 2.3*. se esquematiza esta función:

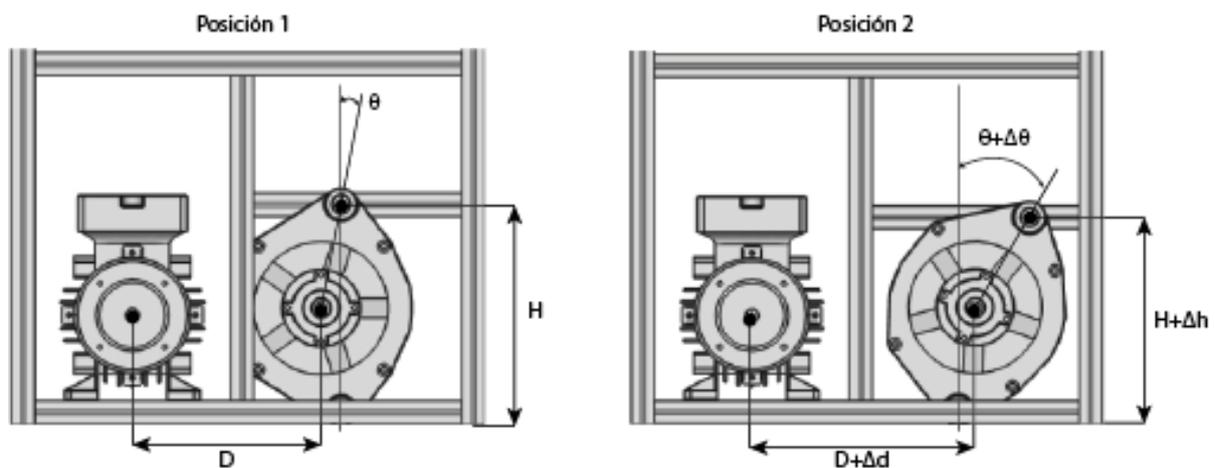
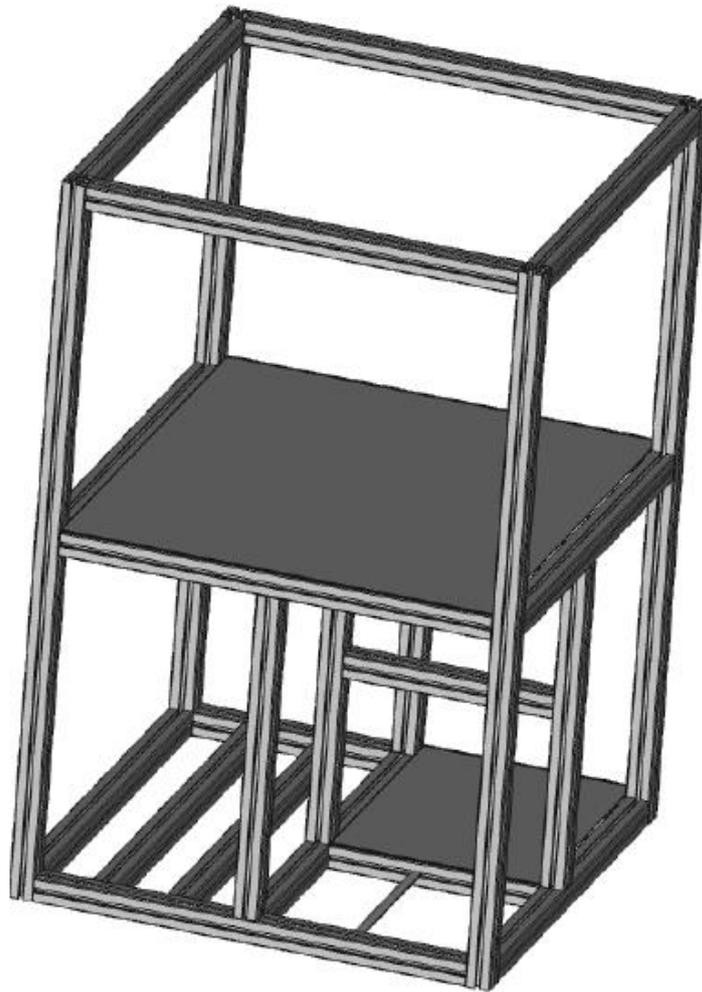


Figura 2.3. Muestra de la variación de la distancia entre ejes de las máquinas.

En este espacio, tras el alternador y sobre una plancha de acero, también ubicaremos la fuente de alimentación de los sistemas de control.

La cavidad superior, que es la de mayor tamaño, colocaremos todo lo referente al control de las máquinas, que se basará, como veremos adelante, en su mayoría en sistemas electrónicos.

Para poder posar la electrónica de control, la base de esta tercera parte, estará recubierta de una plancha de acero que la separará de los espacios reservados para las máquinas. En la *figura 2.4*. se expone la imagen de cómo sería el bastidor con ambas planchas de acero y un listado de las piezas necesarias para su construcción. En la *figura 2.5*. sus vistas acotadas.



+Perfiles de aluminio T-slot 35x35mm:

- 600mm x4
- 350mm x16
- 270mm x4
- 170mm x2

+Planchas de acero:

- 350x420mm x1
- 170x250mm x1

+Cilindro roscado:

- D=8mm L=250mm x1

Figura 2.4. Bastidor mecánico modelado con FreeCad 0.17. Imagen del esqueleto con planchas de acero y listado de piezas.

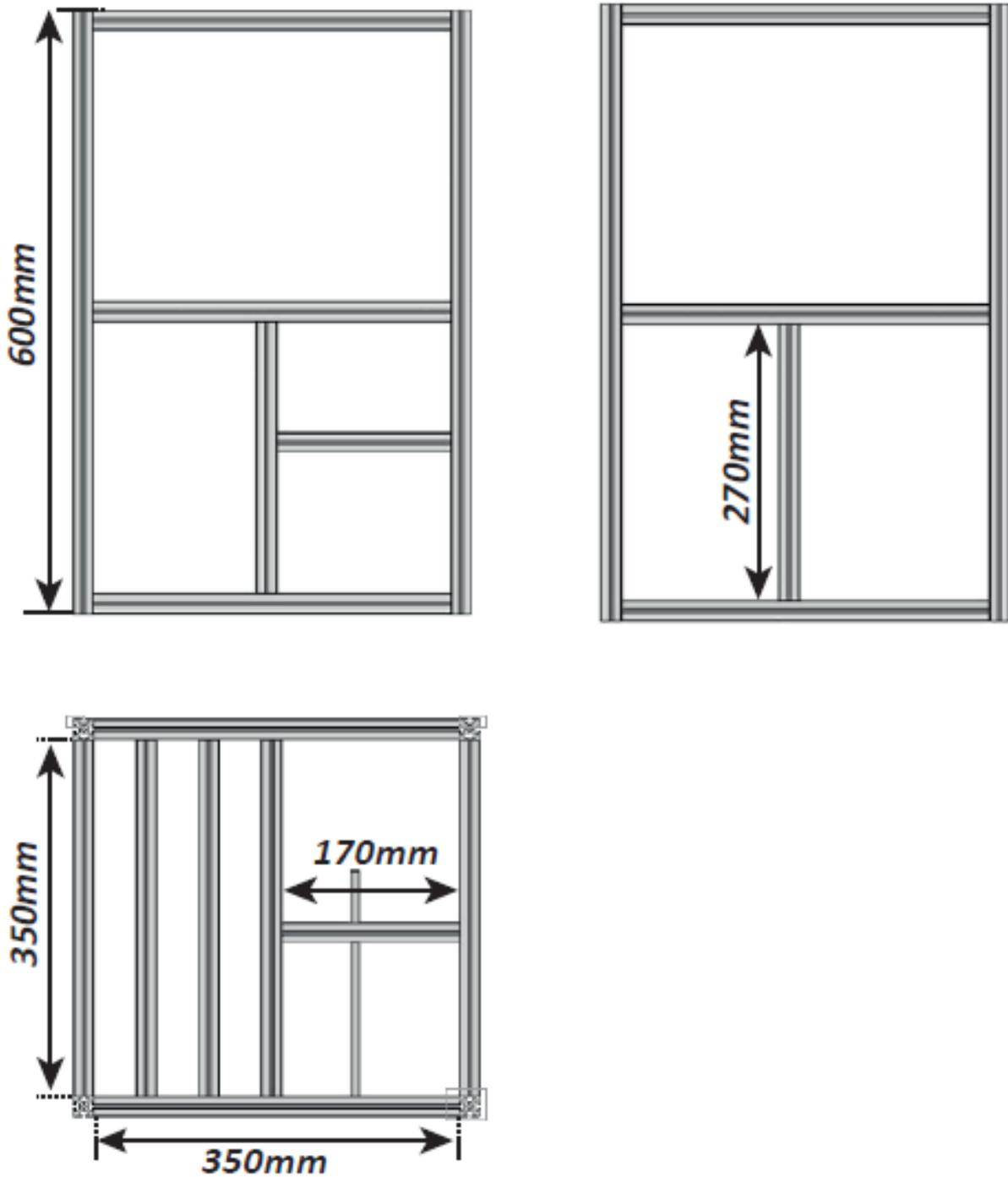
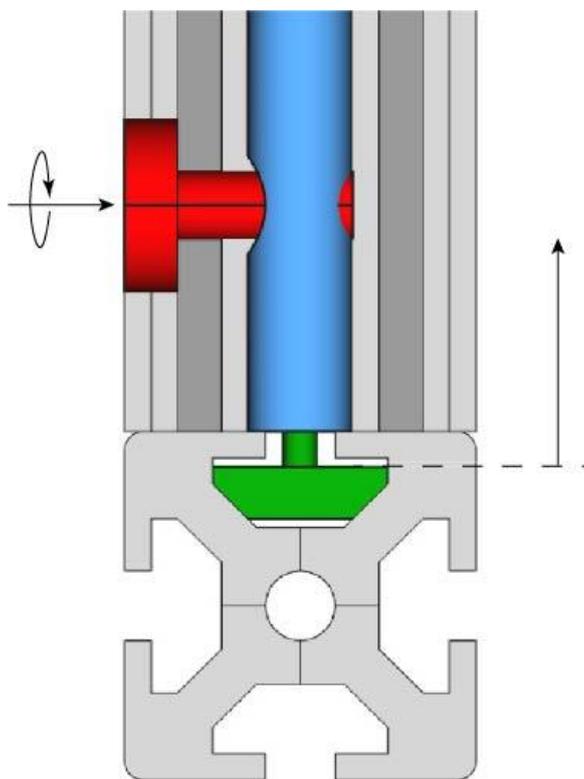


Figura 2.5. Vistas acotadas del bastidor

Las dimensiones de cada una de las tres partes del bastidor se han elegido por un motivo concreto. Las dos de la parte inferior están pensadas para que las máquinas disponibles en el laboratorio de máquinas eléctricas de la universidad quepan y puedan sujetarse correctamente. Por otro lado, la parte superior es más grande de lo necesario para albergar la electrónica de potencia y control por tres motivos: en primer lugar para facilitar la disipación, sin dificultades, del calor propio de estos dispositivos, para facilitar la posible manipulación de los mismos si fuese necesaria y, en último lugar, dado el rápido avance de la electrónica y de que se trata de un proyecto que da pie a muchas posibilidades de ampliación, facilitar todo el espacio posible para futuras modificaciones del control.

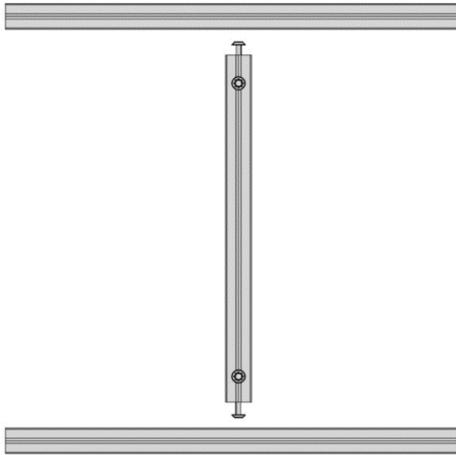
Para realizar el anclaje de los perfiles de aluminio de diferentes longitudes se hace uso del sistema que caracteriza este tipo de estructura. Consta de 3 partes que pueden verse en la *figura 2.6*. cada una de un color. En azul podemos observar un elemento no visible a simple vista. Se trata de



un cilindro con dos roscas internas perpendiculares una a la otra. En la que roscaremos el tornillo exterior (de color rojo) encontraremos una avellanado cuya función será que a medida que el tornillo exterior (también roscado al perfil) avanza más se fija el cilindro azul. En verde encontramos otra parte no visible del sistema, un tornillo con cabeza martillo que se roscará al cilindro azul y que según este quede fijado por la fuerza del tornillo rojo, presionará un cilindro contra el otro dejándolos perfectamente anclados en perpendicular uno con el otro.

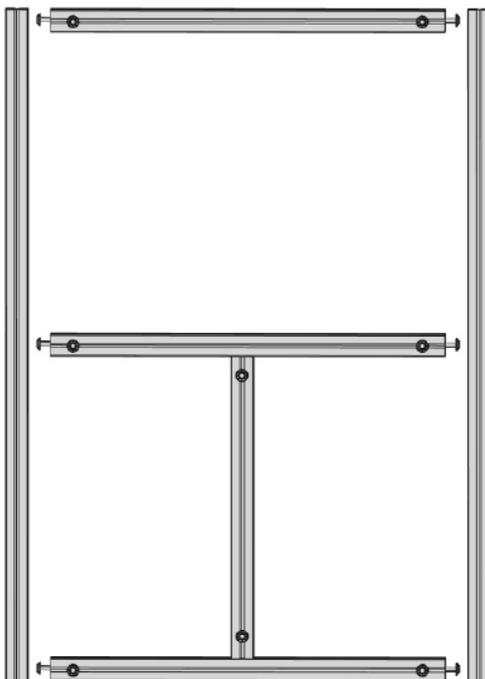
*Figura 2.6. Sistema de anclaje perpendicular entre perfiles de aluminio.
Hecho con FreeCAD.*

El montaje del esqueleto del bastidor se plantea, en todos los casos haciendo uso del sistema explicado en la *figura 2.6.* según la secuencia que se muestra, a continuación, en la *figura 2.7.* en la que se indican todas las ubicaciones del sistema de unión de perfiles, así como los perfiles utilizados y sus medidas.



*Figura 2.7.1. Primera instrucción de montaje del bastidor.
Hecho con FreeCAD.*

La primera parte del montaje se corresponde con el nivel inferior de las caras delantera y trasera del bastidor. En primer lugar se ubicará verticalmente el perfil de aluminio central de 270mm perpendicularmente entre otros dos de 350mm. Ha de anclarse a 170mm del extremo derecho de ambos perfiles horizontales. En este paso quedan definidas tanto la altura del nivel donde se ubican las máquinas como su anchura. Dado que esta figura se usará dos veces, este paso hay que realizarlo dos veces.



*Figura 2.7.2. Segunda instrucción de montaje del bastidor.
Hecho con FreeCAD.*

La segunda etapa del montaje se corresponde con delimitar los laterales de ambos niveles del bastidor con dos perfiles de 600mm que definirán la altura total del bastidor. En ella se anclarán 3 tramos de perfil de aluminio de 350mm perpendicularmente a dos de 600mm. Los dos del paso anterior que se corresponderán con el intermedio y el más bajo y un tercero que cerrará el bastidor en su altura máxima. Una vez más, este proceso que finiquita las caras delantera y trasera del montaje, ha de realizarse dos veces.

La siguiente consiste en montar las dos “H” que existen en el bastidor. La primera “H” sujetará la parte superior del alternador. Esta parte requiere de dos perfiles de 270mm y de uno de 170mm. La altura a la que situemos este perfil es irrelevante ya que se reajustará según haya que tensar más o menos la correa de unión de los ejes de las máquinas (figura 2.3). La segunda “H” estará en posición horizontal y será la que sujete la parte inferior del alternador, también será la primera parte del montaje que defina la profundidad del bastidor mediante dos perfiles de 350mm. El perfil de 170mm en este caso tendrá que ubicarse a 250mm de la cara trasera del bastidor para dejar espacio a la plancha dónde se ubicará la fuente de alimentación de corriente continua del control.

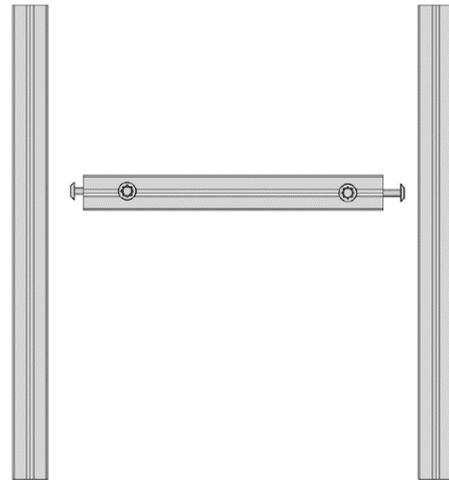
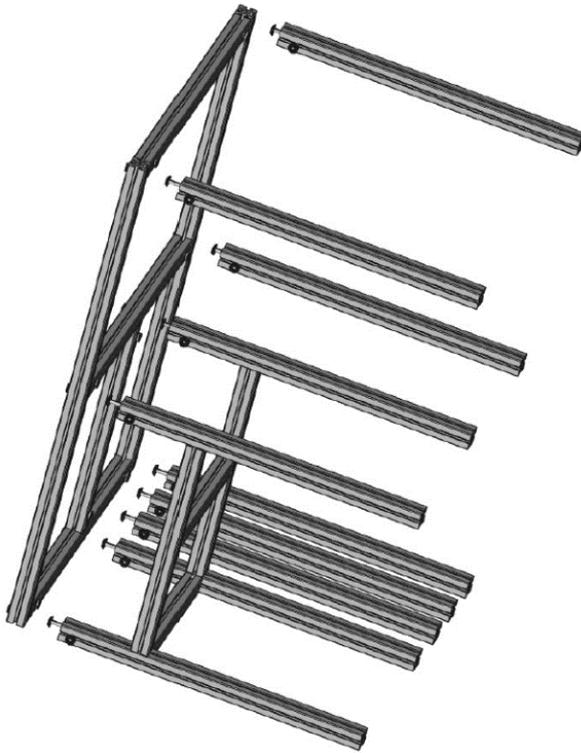


Figura 2.7.3. Tercera instrucción de montaje del bastidor.
Hecho con FreeCAD.

El siguiente apartado consiste en la unión de ambas “Hs” perpendicularmente a la altura del perfil de 170mm de la H horizontal. Así como el añadido de dos perfiles de 350mm más en la parte superior de la H que sujeta la parte superior del alternador. Con este montaje tendremos finiquitado el soporte del alternador. El perfil de 170mm inferior también será el apoyo de la plancha de acero dónde irá ubicada la fuente de alimentación. Además, se realizará un taladro de M8 para ubicar el cilindro dónde se apoyará el alternador.



Figura 2.7.4. Cuarta instrucción de montaje del bastidor.
Hecho con FreeCAD.



Para continuar con el montaje se unirá a la cara frontal la unión de las “Hs” del apartado anterior por el lado en que la H vertical es más cercana al extremo de los perfiles horizontales de 350mm. También, como se aprecia en la *figura 2.7.5*, se añadirá un perfil de 35mm perpendicular a la cara delantera en cada una de sus esquinas y a mayores, se añadirán dos en el nivel de las máquinas con la misma orientación. La función de estos dos perfiles será la de sujetar el motor de corriente continua.

*Figura 2.7.5. Quinta instrucción de montaje del bastidor.
Hecho con FreeCAD.*

Este paso se repetirá con la con la cara posterior para terminar la parte referente al esqueleto del bastidor.

Las planchas de acero pensadas para ubicar la electrónica y la fuente de alimentación se situarán como se aprecia en la *figura 2.4* y se sujetarán utilizando dos tornillos de M6 en cada uno de sus lados utilizando tuercas para perfilaría de aluminio con cabeza de martillo.



2.2. – Esquemas eléctricos del bastidor

El bastidor contará, para cumplir con su motivo docente, de una plancha frontal con los esquemas de ambas máquinas eléctricas y del control, así como un regulador de frecuencia que, en caso de que se el controlador se programe par a ello, permitirá variar la velocidad de giro de la máquina síncrona.

Esta plancha incluirá bornas que faciliten el cambiar el cableado control-máquina para los alumnos y estarán conectados con las partes de las máquinas y los dispositivos que representen por la parte trasera de forma permanente.

Las bornas que se utilizarán son las más comunes en el laboratorio, lo cual facilitará la utilización del cableado ya disponible reduciendo así los costes del bastidor. En los esquemas se han dibujado respetando la medida estándar para que una vez se imprima la plancha con los esquemas se pueda realizar un taladrado exacto para insertar las bornas (Anexo II).

Se trata de bornas de conexionado rápido de la marca “HIRSCHMANN” de las cuales contaremos tanto con las hembras, que irán fijas en la plancha, y machos, que serán los unidos al cable. El diámetro de instalación de las hembras es de 12’2mm y así se ha reflejado en la plancha para respetar el espacio necesario a la hora de tarladrarla. Constan de una rosca de M4 y su referencia de producto es “ SEB 2600 G M4”. La referencia de producto de las bornas macho es “LAS S WS”. Ambas bornas, hembra y macho, admiten un grosor de cable de hasta 4’2mm, que como se verá en el apartado de cálculo de secciones de cable, es más que suficiente para los amperajes que utilizaremos a lo largo del proyecto.

El tamaño de las bornas es el que ha condicionado el tamaño final de la plancha, pues el resto de los esquemas tiene un tamaño acorde a las mismas. El tamaño final es de 390x400mm, respetando márgenes para poder atornillarla a los perfiles de aluminio del bastidor.

El disponer de las bornas posibilitará los cableados temporales de ambas máquinas dando pie tanto a la posibilidad de que los alumnos practiquen los conexionados habituales de las máquinas como poder alternar entre otras posibilidades acordes a los programas que se carguen en el control, es decir, las posibilidades previamente expuestas de usar la máquina

síncrona como generador, como motor síncrono o como motor paso a paso.

El esquema delantero constará de cuatro partes. Las máquinas, están representadas según la normativa *UNE-EN 6061-6 de junio de 1997*.

También incluyen los datos eléctricos relevantes de las máquinas como amperajes y voltajes de entrada y salida, potencia, r/min.

El esquema del generador síncrono que se pondrá en la plancha delantera se presenta en la *figura 2.8*. En él se incluyen las bornas de alimentación con corriente continua del rotor indicando que esta debe ser de 20 A a 14 V y las 3 bornas de salida de corriente alterna trifásica de 60 A a 14 V. Se trata del esquema propio de un generador síncrono trifásico de garra para automoción.

Alternador síncrono trifásico

UNE-EN 60617-6 junio 1997. Sección 7

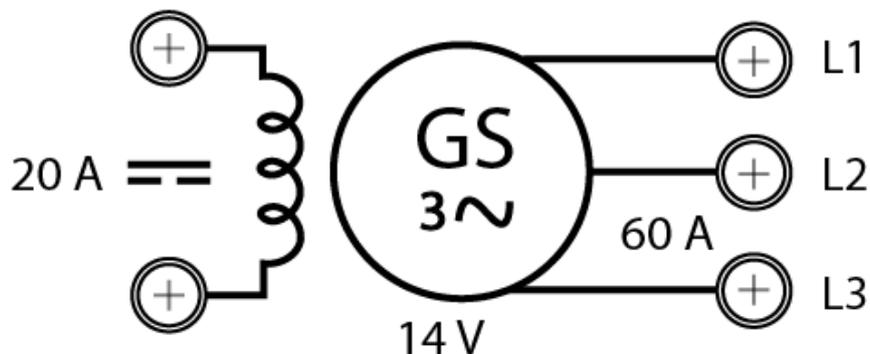


Figura 2.8. Esquema del generador síncrono según la normativa UNE-EN 60617-6 junio 1997. Sección 7.

Hecho con Adobe illustrator CC 2018

En lo referente a la máquina de corriente continua, un motor de excitación independiente, se han reflejado en su esquema las bornas de entrada y salida, estipulando que debe alimentarse con 2'5 A a 220 V y las de excitación a 0'93 A a 190V. También se indica la potencia del motor así como sus r/min nominales. Se expone el esquema descrito en la *Figura 2.9*.

Motor CC. Excitación independiente

UNE-EN 60617-6 junio 1997. Sección 5

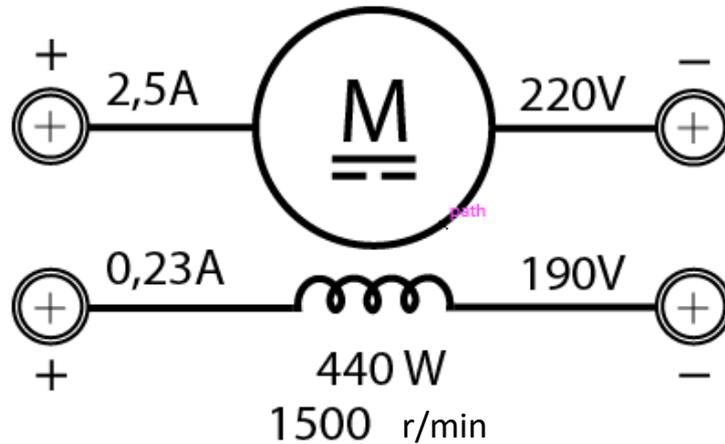


Figura 2.9. Esquema del motor de corriente continua de excitación independiente según la normativa UNE-EN 60617-6 junio 1997. Sección 5. Hecho con Adobe illustrator CC 2018

La regulación actuará sobre un sistema electrónico de potencia, un puente trifásico de IGBTs que representaremos en la plancha frontal con el esquema representado en la figura 2.10.

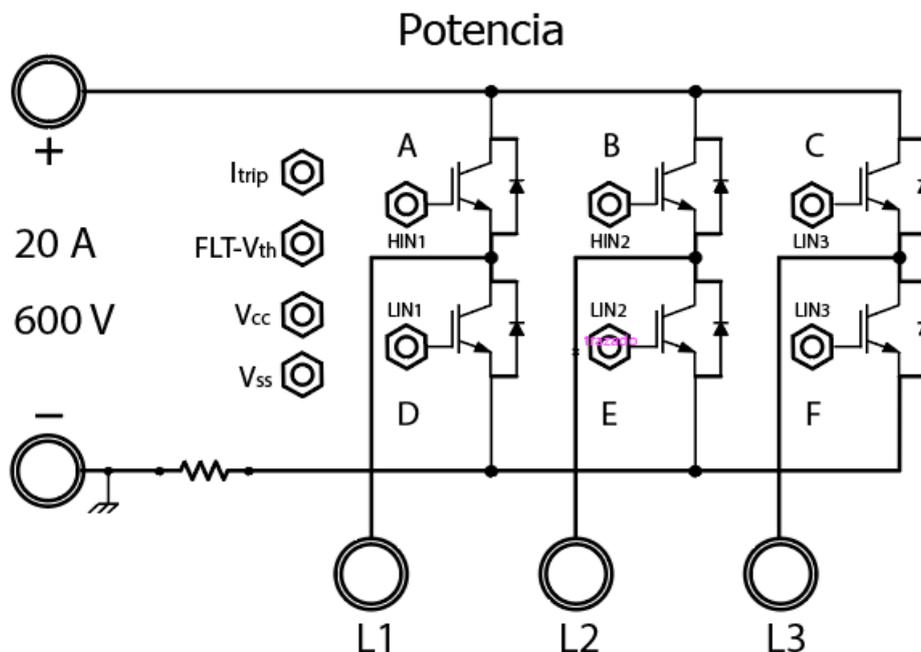


Figura 2.10. Esquema de Puente trifásico de IGBTs. Hecho con Adobe illustrator CC 2018

En él tendremos 5 bornas destinadas a la labor de potencia, dos de entrada en corriente continua, que irán conectados a la fuente de tensión y las tres para la salida alterna trifásica.

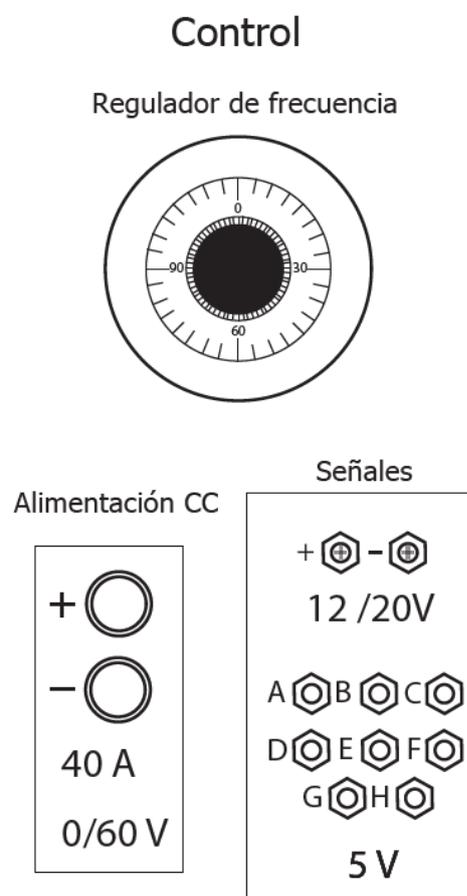
Por otro lado contaremos con 6 bornas, una por cada IGBT del puente, destinadas al control, con un diámetro de 5 mm y cubierta exagonal de 9'5 mm de punta a punta. Estas serán las bornas que se usarán para que el control gobierne los IGBTs.

Del mismo tipo de bornas encontramos otras 4. Dos destinadas a la alimentación del control de la placa IRAM y otras dos destinadas a la comunicación entre la placa y el controlador que se elija.

En último lugar, el esquema de control será el que se muestra en la *figura 2.11*. Consta de un regulador de frecuencia que será una entrada optativa para el controlador. Esta señal permitirá variar la frecuencia con que se repiten las frecuencias tanto para funcionamiento de motor síncrono como de motor paso paso, de esta manera, los alumnos podrán experimentar y evaluar como las variaciones en la frecuencia de alimentación del estator afectan a la máquina síncrona trifásica.

Debajo del regulador de frecuencia podemos encontrar la salida de tensión continua, la cual se usará para alimentar la entrada del puente de IGBTs y el rotor de la máquina síncrona. Esta tensión cuenta con una regulación de las propias fuentes de tensión, que permitirá variarla entre 0 y 60V.

A su derecha podemos encontrar las bornas opuestas a las que



*Figura 2.11. Esquema del control del bastidor
Hecho con Adobe illustrator CC 2018*

encontrábamos en el apartado de frecuencia, la diferencia es que mientras que aquellas se conectaban a la placa IRAM, estas se conectarán al controlador que se desee y deberán conectarse unas con otras.

La plancha frontal constará también de un espacio, bajo el esquema del IGBT, en el que se expondrán sus especificaciones técnicas más relevantes en forma de tabla. La tabla se presenta en la *figura 2.12*.

IRAMY20UP60B

Parameter	Description	Value	Parameter	Description	Value
V_{CES}/V_{RRM}	IGBT/Diode Blocking Voltage	600 V	PD	Power dissipation per IGBT ($T_c=25^\circ\text{C}$)	68 W
V	Input Voltage	450 V	VISO	Isolation voltage (1min)	2000 VRMS
I_o ($T_c=25^\circ\text{C}$)	RMS Phase Current	20 A	T_j (IGBT & Diodes)	Operating Junction T^a Range	-40 to +150 °C
I_o ($T_c=100^\circ\text{C}$)	IRMS Phase Current	10 A	T_j (Driver IC)	Operating Junction T^a Range	-40 to +150 °C
I_o	Pulsed RMS Phase Current	40 A	T	Mounting torque Range (M4 screw)	0.7 to 1.17 Nm
F_{PWM}	PWR Carrier Frequency	20 kHz	V_{cc}	Electrical power supply	15V

Figura 2.12. Tabla con especificaciones técnicas más relevantes de IRAMY20UP60B

Entre estas especificaciones encontramos:

- V_{CES}/V_{RRM} : hace referencia al voltaje máximo que los diodos del IGBT pueden soportar antes de fallar. Si esta corriente se supera, el diodo permitiría corriente en ambos sentidos perdiendo su funcionalidad.
- V: voltaje máximo, en vacío que la placa puede soportar.
- $I_o(T_c=25^\circ\text{C})$: intensidad efectiva nominal de la placa a temperatura ambiente.
- $I_o(T_c=100^\circ\text{C})$: intensidad efectiva nominal de la placa a 100° .
- I_o : intensidad nominal pulsatoria. Es decir, corriente continua variable que siempre sigue la misma dirección.
- F_{PWM} : frecuencia máxima de las ondas cuadráticas para generar una onda PWM sinusoidal.
- PD: potencia disipada por el IGBT a temperatura ambiente.

- VISO: tensión de vacío que puede soportar la placa durante un máximo de se 60 segundos ininterrumpidos.
- Tj(IGBT & DIODES): rango de temperaturas en el cual tanto IGBTs como diodos pueden funcionar con normalidad.
- Tj(Driver IC): rango de temperaturas en el cuanto el circuito integrado de la placa puede funcionar con normalidad.
- T: par máximo que se puede ejercer sobre el conector de métrica 4 para colocarlo.
- V_{cc}: tensión para alimentar el circuito integrado “Driver IC”

La plancha frontal se fabricará de la misma forma que el resto de las placas de conexión rápida que encontramos en el laboratorio por motivos estéticos.

En primer lugar habrá que imprimir en papel la plancha del Anexo II en un A2, por ser el único tamaño estandarizado que podrá contenerlo. Habrá también que encargar dos planchas de metacrilato de las mismas medidas (390x400mm) las cuales deberán ser perforadas tal y como indica la propia plancha con el objetivo de permitir la ubicación de las bornas dónde corresponda. En la plancha se indica también dónde se han de taladrar las planchas de metacrilato para poder anclar esta parte del proyecto a la estructura de aluminio.

Los perfiles de aluminio utilizados en la estructura posibilitan el anclaje a cualquier altura y en cualquier de sus caras haciendo uso de tuercas con cabeza de yunque,

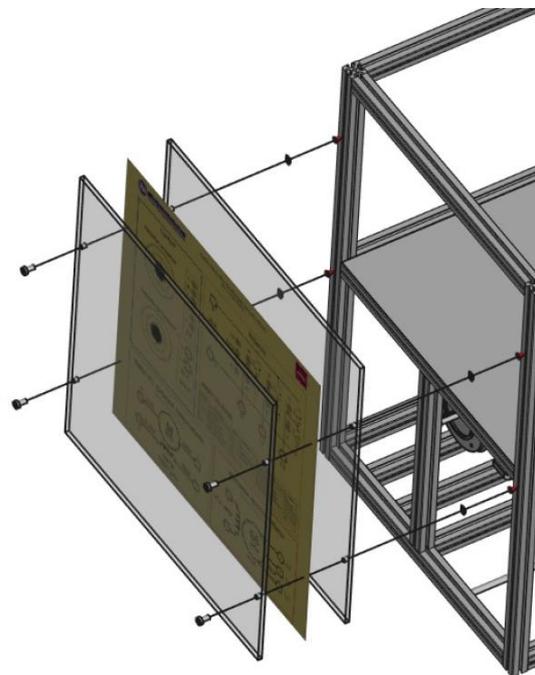


Figura 2.13. Instrucciones de montaje de la plancha en el bastidor metálico.
Hecho con FreeCAD



concretamente el perfil seleccionado está pensado para utilizar tuercas con cabeza de yunque de M 6 (métrica 6), por lo que necesitaremos 4 tornillos de la misma métrica y dada la profundidad de la franja del perfil dónde se han de introducir las tuercas y que el grosor de cada plancha de metacrilato es de 1'5mm, se ha determinado que se utilizarán tornillos de M 6x12mm con cabezal pensado para el uso de llave hallen. De esta manera se homogeiniza el diseño y se reduce el número de herramientas necesarias para el montaje. A continuación, en la *figura 2.11* se puede apreciar tanto la secuencia de planchas de metacrilato y los circuitos impresos en papel como los tornillos y las tuercas con cabeza de yunque entre el metacrilato y la estructura.

El resultado final de la plancha frontal se expone en el Anexo I y plancha dónde se reflejan los márgenes a respetar para fijarla al bastidor los puntos de taladrado para bornas en el Anexo II.



2.3. – La fuente de alimentación

En las diferentes formas de funcionamiento que tiene el bastidor será necesario utilizar corriente continua a diferentes tensiones para cada una de ellas. Para ello se seleccionan las siguientes opciones de fuentes de alimentación que cumplan con los requisitos de cada aplicación.

En la mayoría de los métodos de funcionamiento será necesario tener nuestra placa IRAM en funcionamiento y su circuito de control tiene una demanda que, según su ficha técnica, oscila entre 12 y 20 V y una demanda máxima de 3.35 mA. Aunque esto podría conectarse a las fuentes de alimentación, lo adecuado será que el propio regulador sea quien alimente el control de la placa electrónica.

La misma placa IRAM también necesitará alimentación en su circuito de potencia que, dado que servirá para alimentar el estator de la máquina de ensayo, necesitará de un suministro de 60A a 14V, es decir 840W para que la máquina funcione en sus condiciones nominales.,

En último lugar, también servirá para hacer funcionar el estator de la máquina de ensayo, el cual demandará un máximo de 20 A a 14V, lo que nos supone otros 280W.

Dado la placa IRAM nos limitará la corriente máxima a 20A pero llega a admitir hasta 600V, jugaremos con estos valores para facilitar a la máquina la potencia necesaria para funcionar.

Por lo que concluimos que la fuente de alimentación que necesitaremos deberá de suministrar al menos 14V y un amperaje de 40A, aunque es más que recomendable poder superar esa tensión para facilitar las potencias demandadas.

Otro aspecto importante a tener en cuenta para la selección de la fuente de tensión es su tamaño, pues debe de caber en el espacio que se le tiene reservado en la parte superior del bastidor, cavidad que tiene unas dimensiones de W350 x H270 x L350 mm.

La última característica de la fuente de tensión ha de ser que se alimente de 240V AC para poder conectarlo con facilidad a las tomas del laboratorio.

Teniendo en cuenta todas estas condiciones se toma la decisión de que una opción que cumple a la perfección con los requisitos del bastidor es utilizar, en paralelo, dos fuentes de tensión regulable “GDL 6020” de la marca “GRELCO” que nos permitirá regular el voltaje de salida entre 0 y 60V, siendo importante tener siempre ambas fuentes reguladas al mismo voltaje para evitar sobrecalentamientos de ninguna de las dos. Y también la suma de ambas nos permitirá suministrarle al sistema una intensidad total de 40 A de corriente continua, lo cual coincide la demanda máxima que se encontrarán.

Por otro lado, posicionando una fuente sobre otra ocuparán unas dimensiones de W290 x H240 x L300, por lo que no habrá problemas para ubicarlas en el espacio que se les tiene reservado.

Se adjunta en el Anexo III la ficha técnica de la fuente de alimentación seleccionada y su manual de instrucciones.

Un aspecto a importante a tener en cuenta de las fuentes de alimentación, al poder suministrar a la electrónica de potencia la intensidad máxima que puede soportar, es el añadir un sistema de protección.

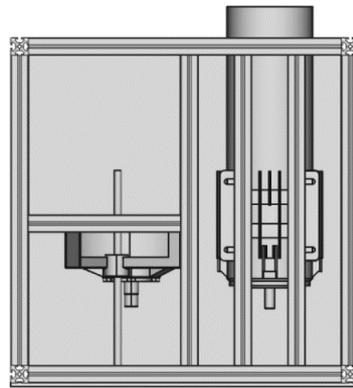
Como se explicará en el apartado de control, se ha optado por añadir un contactor cuya intensidad nominal sea la máxima proporcionable por ambas fuentes de alimentación al mismo tiempo. Es decir: 40 A. De esta manera, existirá la posibilidad de cortar la alimentación tanto del rotor de la máquina síncrona como la alimentación de la placa IRAM, lo cual haría que todo parase. La metodología de paro automático por emergencia se explicará más adelante en el apartado de control.

El contactor seleccionado ha sido el A9C20882 de la casa Schneider. Se trata de un contactor de 2P normalmente abiertos cuya intensidad nominal es de 40 A, por lo que cuadra a la perfección con las demandas del bastidor.

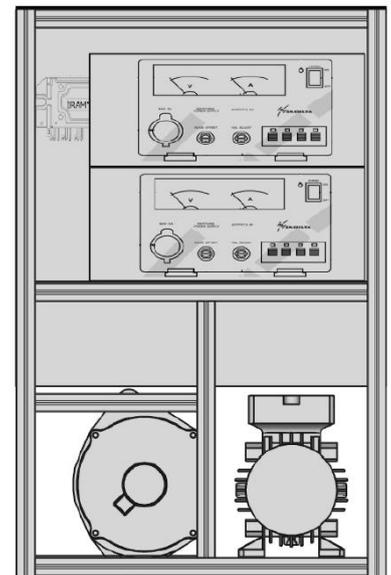
Se adjunta en el Anexo IV la ficha técnica del contactor seleccionado.

2.4. – El bastidor completo

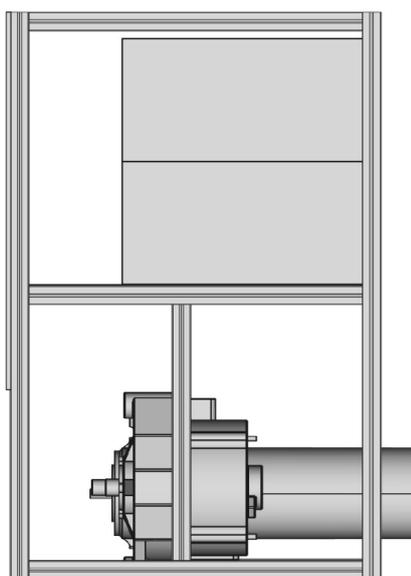
A continuación se exponen las vistas del bastidor completo, incluyendo ambas máquinas eléctricas, fuentes de alimentación así como los esquemas eléctricos frontales.



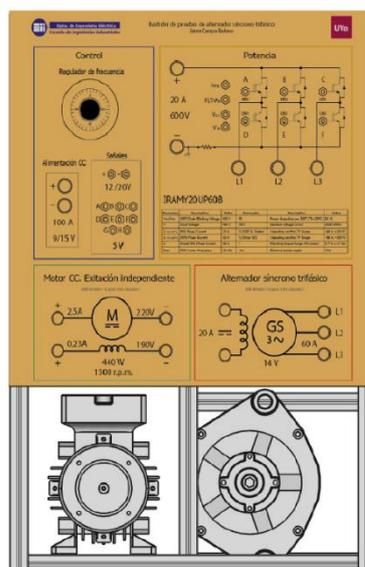
PLANTA



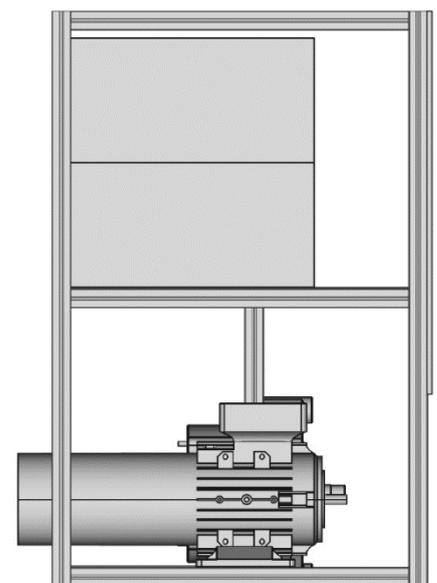
VISTA TRASERA



VISTA DERECHA

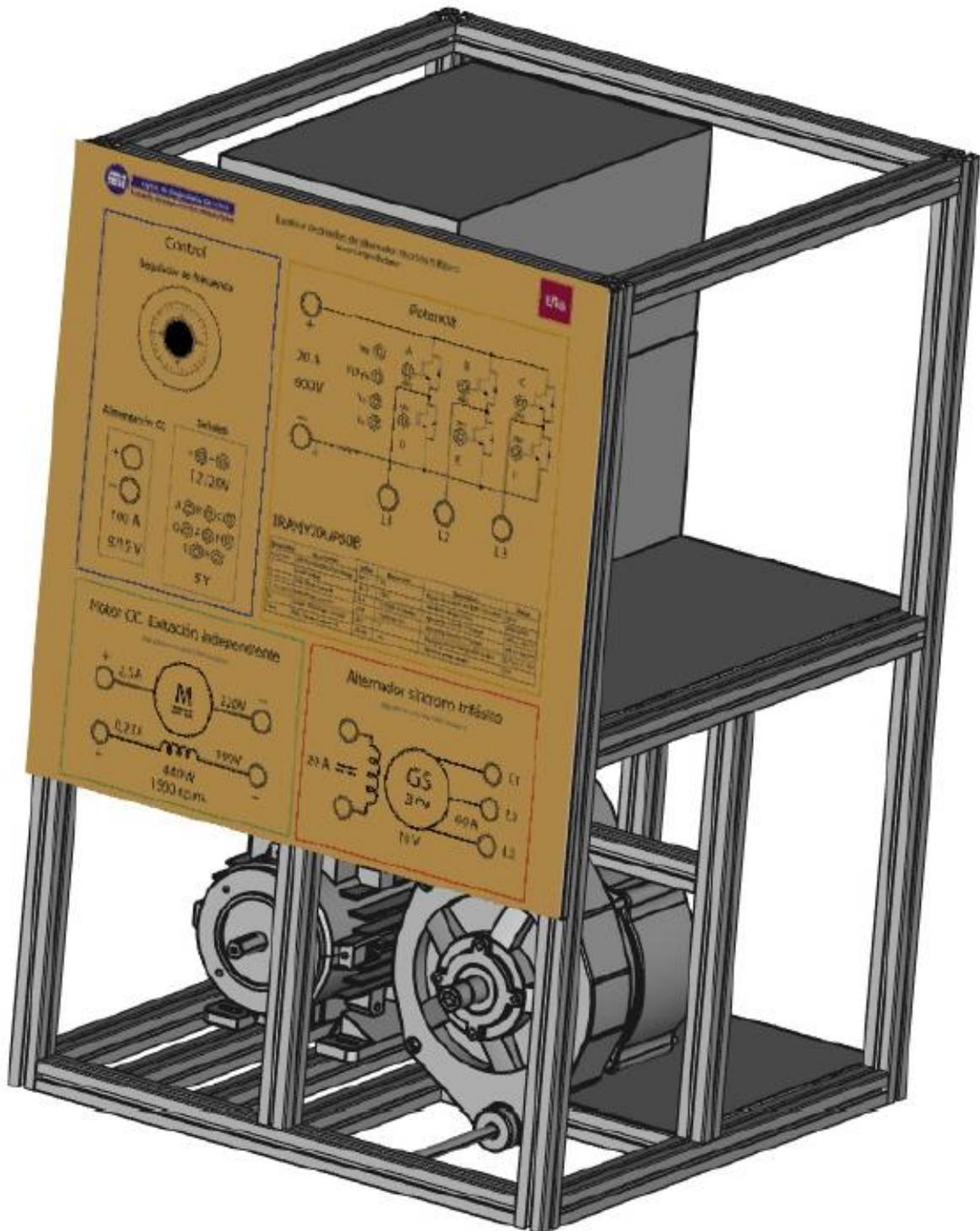


FRONTAL



VISTA IZQUIERDA

Y el bastidor completo en perspectiva:



2.5. – El alternador de automoción

La máquina síncrona es el elemento principal de proyecto, que está pensado para estudiar las diferentes formas de operación que ofrece.

La que se utilizará en el bastidor es un generador con los polos magnéticos en forma de garra, una máquina generalmente utilizada en la automoción. La estructura del rotor y sus componentes principales se muestran en la *figura 2.14*.

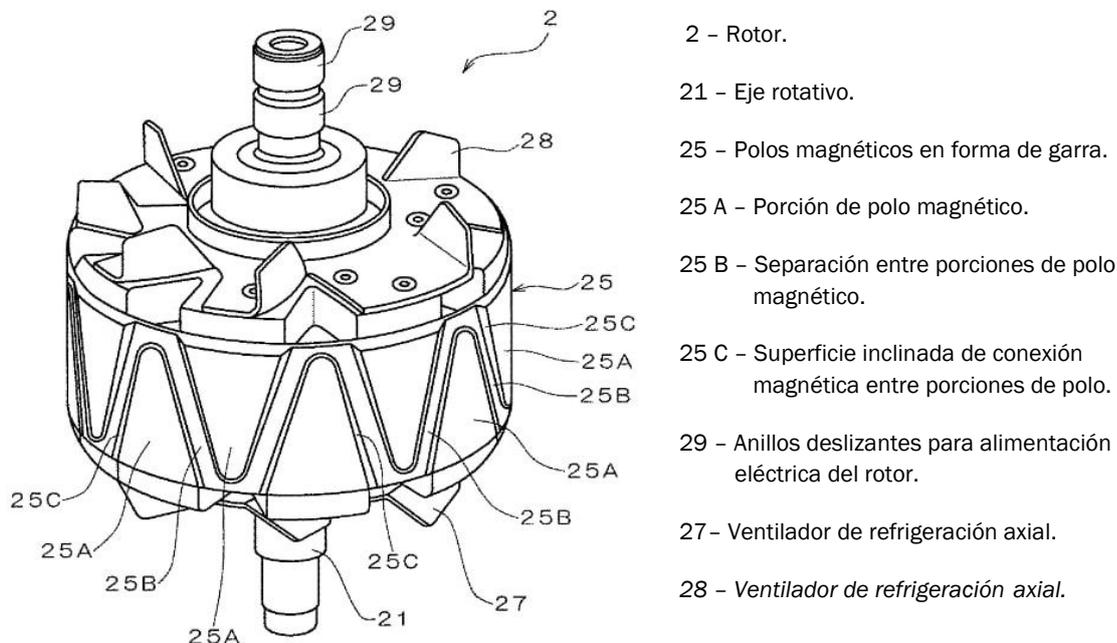


Figura 2.14. Rotor de motor automovilístico con polos en forma de garra.
Imagen obtenida de "<http://www.jp2es.com>"

Con la salvedad de la estructura de los polos, la estructura de un alternador de garra para automoción es a grandes rasgos la misma que la que podemos encontrar en cualquier alternador, pues el estator no tiene diferencia alguna con el de cualquier otra máquina síncrona.

El alternador utilizado en el bastidor se concreta reflejando su placa de características en la *tabla 2.1*.



BOSH	
9 120 144 261	262
14V	20/60A

Tabla 2.1. Tabla de características del alternador para automoción utilizado.

De esta tabla podemos concluir que se trata de un alternador diseñado para recibir en su rotor una corriente continua de 20A a 14V y producir en su estator una corriente trifásica de 60A a 14V. El diseño de este alternado incluye un rectificador que pasa esta corriente a continua para que, dado que es un alternador de automoción, pueda alimentar la batería del vehículo, que a su vez, alimentará su rotor. El puente rectificador se ha eliminado para el montaje, ya que no es de interés para para la labor docente del bastidor que el alternador produzca corriente continua.

A continuación se expondrán las tres formas en que el bastidor permitirá hacer funcionar esta máquina.

Se adjunta un Anexo IV con algunas de las características del alternador. No se presenta su ficha técnica completa pues la antigüedad de la máquina lo ha hecho imposible.

2.5.1. – El alternador de automoción como generador

El funcionamiento del alternador o máquina síncrona como generador es más extendido tanto en el mundo de la automoción como en el de la producción energética debido al escaso mantenimiento que requiere. Cualidad que lo hace excelente para cumplir con la función de mantener la batería que alimenta todos los sistemas eléctricos del vehículo constantemente cargada, ya que esto implica que el generador está en funcionamiento siempre que el motor está en marcha.

El funcionamiento del alternador para automoción es el mismo que podemos encontrar en cualquier máquina síncrona de anillos deslizantes.

La alimentación del rotor se realiza a través unos anillos que giran ligados al mismo. A través de ellos se suministra corriente continua para alimentar una bobina que se encuentra en el interior de “la garra”, esta bobina contiene en su interior un núcleo ferroso con el objetivo de que, al ser alimentada cree un electroimán. Los polos del electroimán serán las propias garras que envuelven la bobina, siendo una el polo N y la otra el polo S.

La representación de los polos y los campos magnéticos que originan en el rotor se muestra en la *figura 2.12*.

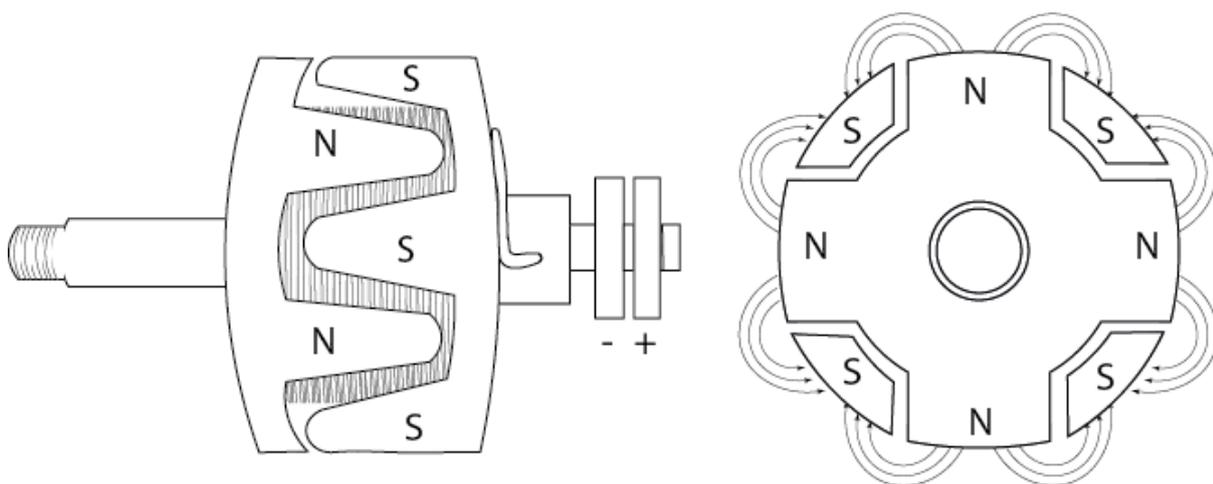


Figura 2.12. Polarización del rotor con polos en forma de garra y campos magnéticos originados.
Hecho con Adobe illustrator CC 2018.



Cuando estas líneas de campo magnético cruzan las espiras del estator, nos generan la deseada corriente alterna. El estator estará conformado por un mínimo de 3 hilos, estos hilos lo recorrerán formando bobinas en serie, de manera que en cada uno se produzca una corriente alterna, que dará pie a una salida de corriente alterna trifásica. Existen alternadores que cuentan con más de 3 cables de salida, siendo siempre el número total un múltiplo de tres pues cada grupo de tres, será una única salida trifásica.

La intensidad media que se producirá en el conjunto de espiras de un mismo hilo de cable dependerá de la fuerza electromotriz inducida en cada espira que, suponiendo que la oscilación del campo magnético que la atraviese varía entre Φ_m y $-\Phi_m$ y para un alternador de N espiras, vendrá dada por:

$$E_{med} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} e dt = \int_0^{\frac{T}{2}} \left(-N \frac{d\Phi}{dt} \right) dt = -\frac{2}{T} N \int_{\Phi}^{-\Phi} d\Phi;$$

$$E_{med} = 4fN\Phi_m$$

Dependiendo de la forma en que se dispongan los polos del alternador (en garra en nuestro caso) la onda producida se aproximará más o menos a una forma senoidal perfecta, teniendo en cuenta esta deformación, introducimos en la expresión un coeficiente de forma K_f .

$$E_{med} = 4K_f fN\Phi_m$$

También es debido tener en cuenta la distribución de las bobinas respecto a al rotor, pues al estar unas sobre otras, pueden producirse acortamientos (los extremos se apoyan unas sobre otras dando pie a una ligera inclinación) introduciremos un factor de distribución K_d y, por otro lado, el conocido como factor de paso K_p debido a la contraposición de los extremos de una bobina, pues cuando un extremo está afectado por el polo N, el otro lo

está por el S. Finalmente, la expresión será:

$$E_{med} = 4K_p K_d K_f f N \Phi_m$$

Deducción obtenida de "Máquinas eléctricas" 6ª Edición. Autor: Jesús Fraile Mora

En la figura 2.15. se aprecia gráficamente la posición de las espiras en el estator que justifica la introducción de K_d y K_p .

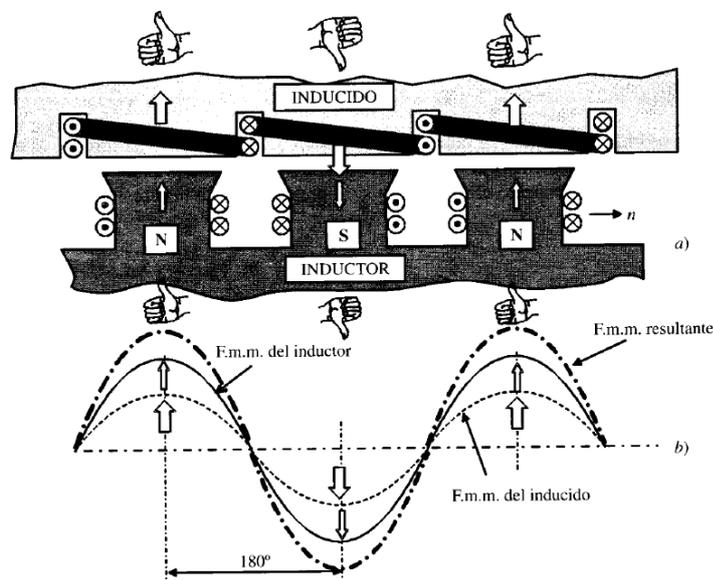


Figura 2.15 Superposición de las bobinas estáticas una sobre otra y apreciación de la acción de ambos polos sobre los dos extremos de la bobina simultáneamente.

Ilustración obtenida de "Máquinas eléctricas" 5ª Edición. Autor: Jesús Fraile Mora

Para proseguir con el cálculo de la intensidad media, Aplicaremos la ley de Ohm. Considerando r la resistencia eléctrica presentada por cada bobina y R la resistencia total del cable del estator (obviando las bobinas), podemos afirmar se producirá:

$$I_{med} = \frac{E_{med}}{Nr + R} = \frac{4K_p K_d K_f f N \Phi_m}{Nr + R}$$

Cada una de las corrientes alternas de cada hilo de cable del estator está desfasada, respecto al resto de cables de su grupo, en caso de que hubiese más de uno, 120° eléctricos.

Pero, el objetivo de un alternador en automoción, es suministrar energía eléctrica a todos los elementos que la requieren del vehículo y esto se hace desde una batería que estará cargando y descargándose constantemente. Las baterías han de cargarse en corriente continua, es por esto que todos los alternadores utilizados para este fin están acompañados de un puente rectificador de diodos que pase su corriente alterna trifásica a continua.

Aunque existen alternadores en los que el puente de diodos es independiente, la mayoría lo lleva directamente acoplado al estator reduciendo así el tamaño ocupado por el conjunto.

La energía suministrada a la batería además de alimentar todos los sistemas eléctricos del vehículo, también se usará para alimentar el propio rotor del alternador una vez este se encuentra ya en funcionamiento tal y como se muestra en la *figura 2.16*.

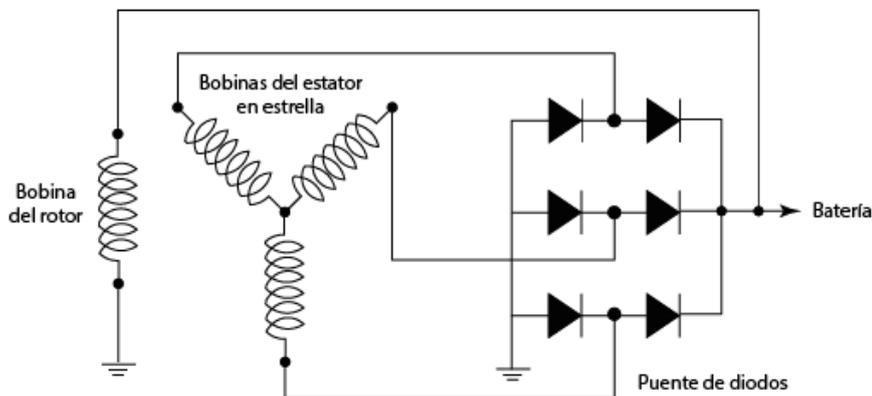


Figura 2.16. Conjunto alternador-puente rectificador de diodos trifásico. Hecho con Adobe illustrator CC 2018.



2.5.2. – El alternador de automoción como motor paso a paso

Aunque no es frecuente la utilización de las máquinas síncronas como motores paso a paso, se trata de un funcionamiento viable gracias a sus aspectos estructurales.

El estator de la máquina síncrona está compuesto por tantos grupos de ranuras como polos tenga la máquina. Generalmente, por estas ranuras circula una corriente trifásica que, como se ha explicado con anterioridad, da lugar a un campo magnético rotativo del cual se varía la frecuencia para aumentar o reducir la velocidad de giro del rotor y se conmutan dos fases para cambiar el sentido de giro. Pero la máquina síncrona se puede regular de otras formas menos convencionales. En este apartado explicaremos como se puede regular la máquina de ensayo de tal forma que se pueda hacer girar su rotor un número de pasos concreto. El valor en grados de estos pasos vendrá definido por el número de ranuras que tenga la máquina. En el caso de este proyecto, al tener la máquina que constará, mínimo de 36 ranuras (suponiendo una ranura por polo):

$$N^{\circ} \text{ Ranuras} = 2pm = 2 * 6 * 3 = 36 \text{ ranuras}$$

(Dónde m es el número de fases que alimenta la máquina síncrona y 2p el número de pares de polos)

Podremos afirmar que contaremos con un paso de 10° si dividimos los 360° de una vuelta entre el número de ranuras:

$$\text{Paso} = \frac{360}{36} = 10^{\circ}$$

Para lograr la regulación expuesta, alimentaremos el estator, al igual que el rotor, con corriente continua, con la diferencia de que en este caso no recibirá un suministro contante, sino que a través de aparamenta eléctrica/electrónica, alimentaremos las fases de la máquina de ensayo según nos interese.

El esquema de regulación que utilizaremos será el representado a continuación en la *figura 2.17*.

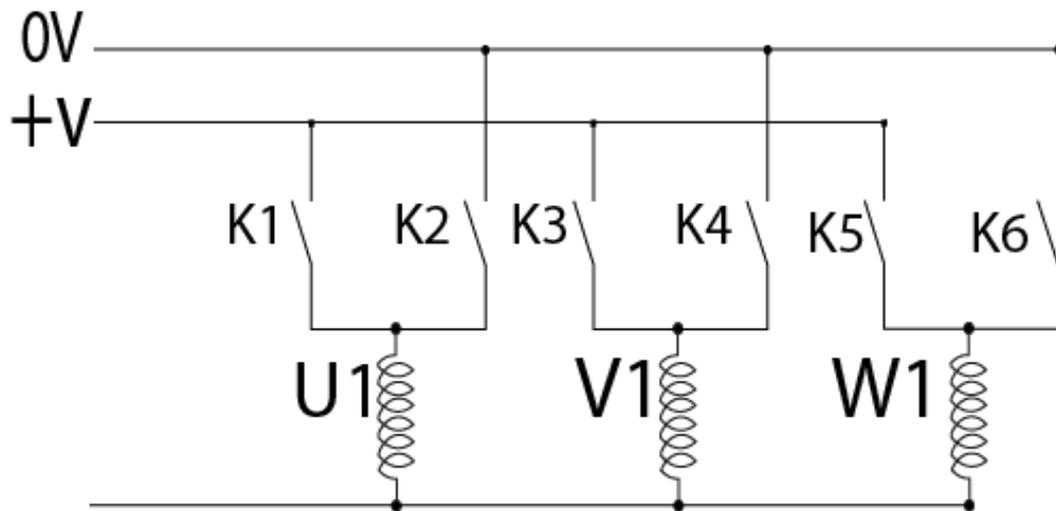


Figura 2.17. Esquema de la regulación para utilizar una máquina síncrona trifásica como motor paso a paso. Hecho con Adobe illustrator CC 2018.

En este esquema podemos encontrar los devanados del estator U1, V1 y W1 y los 6 contactores necesarios para abrir y cerrar la corriente en cada devanado según nos interese. La función de estos contactores la realizarán los IGBTs de la placa IRAM.

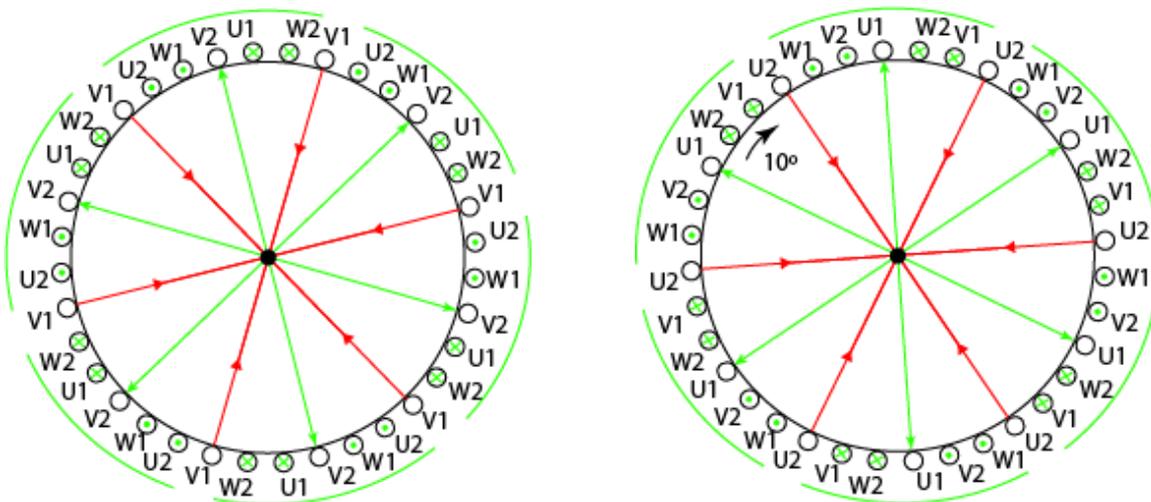
La secuencia que el puente de IGBTs que se muestra en la *figura 2.8*. *ha de seguir* se muestra a continuación en la *tabla 2.2*. en la que cada una de las 36 posiciones que puede tomar el rotor respecto a un 0 cualquiera se acompaña de los valores “1” y “-1” así como de los contactores que han de estar activos para esa posición. El valor “1” implica que en el devanado se conecte al valor positivo de la alimentación y el valor “-1” que se conecte al valor negativo. De esta manera, podemos controlar por dónde entra y por dónde sale la corriente, lo que implica que gestionamos en que puntos del estator se “crean” espiras que dan pie a campos magnéticos con los cuales se alineará el rotor que, al igual que en el funcionamiento estándar de la máquina de ensayo, deberá estar alimentado con corriente continua para que actúe como un imán que se alinee con los campos magnéticos estáticos.

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1
V1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1
W1	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0
Relés activos	k1	k3	k3	k5	k5	k1	k1	k3	k3	k5	k5	k1	k1	k3	k3	k5	k5	k1
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	k2	k6	k2	k2	k4	k4	k2	k6	k2	k2	k4	k4	k2	k6	k2	k2	k4	k4

Posición	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
U1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1
V1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1
W1	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0
Relés activos	k1	k3	k3	k5	k5	k1	k1	k3	k3	k5	k5	k1	k1	k3	k3	k5	k5	k1
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	k2	k6	k2	k2	k4	k4	k2	k6	k2	k2	k4	k4	k2	k6	k2	k2	k4	k4

Tabla 2.2.. Secuencia de conexión a tensión de los devanados del estator para su funcionamiento como motor paso a paso.
Hecho con Adobe illustrator CC 2018.

A continuación, en la figura 2.18, se muestran cuatro pasos de 10° seguidos para mostrar como el campo magnético estatórico rota si se le aplica la regulación previamente explicada. Esta regulación, además puede pararse una vez realizados x pasos e invertir su sentido según las necesidades de uso, lo cual hace que la máquina de ensayo gane una gran versatilidad y su amplíe su campo de posibles aplicaciones. En esta figura las ranuras identificadas por un 1 son los hilos de entrada al estator y los designados por un dos los de salida.



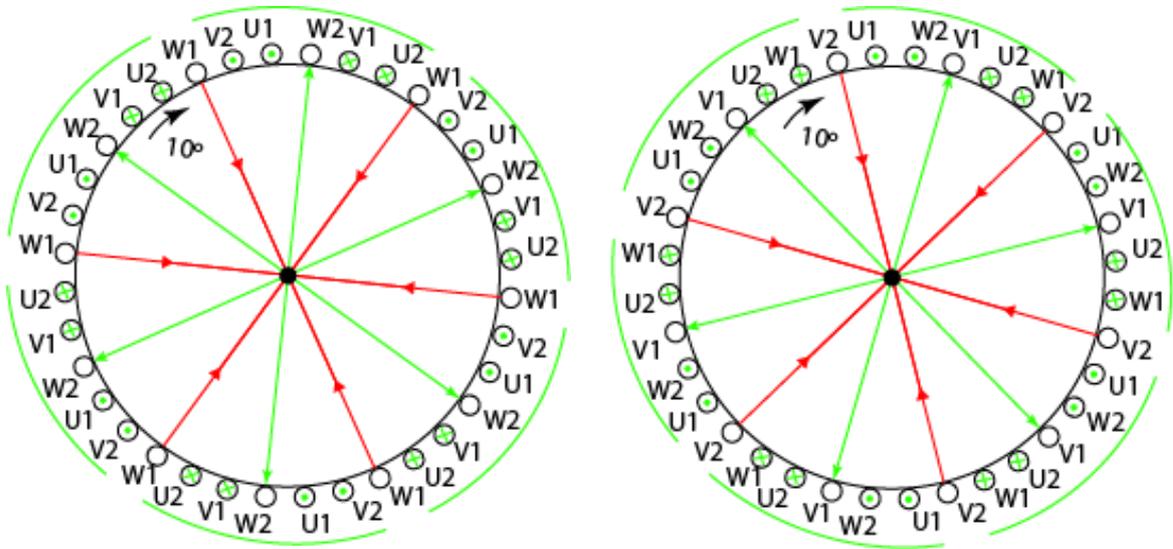


Tabla 2.18. Giro de 40° en pasos de 10° del campo magnético estático de la máquina de ensayo.
 Hecho con Adobe illustrator CC 2018.

2.5.3. – El alternador de automoción como motor síncrono

Para que el proyecto cumpla con su labor docente será necesario poder utilizar la máquina síncrona en la mayoría de sus posibilidades, una de las más importantes es como motor síncrono. Para utilizar la máquina de esta tan sólo será necesario variar su regulación, ya que estructuralmente no existe diferencia entre motor y generador síncrono.

Esta acción es realizable mediante un puente trifásico de IGBTs que nos permita invertir la corriente de alimentación continua en una corriente PWM sinusoidal trifásica de frecuencia regulable para alimentar el estator y una fuente de corriente continua que excite el rotor.

El sistema PWM (Pulse-Width Modulation) sinusoidal se basa en la suma de ondas cuadradas de tensión de extensión en el tiempo variable cuyo resultado efectivo es una onda senoidal casi perfecta. Para generar cada onda de tensión de un sistema trifásico se hace uso de 3 ondas diferentes.

En primer lugar se hace uso de una onda triangular periódica de alta frecuencia conocida como onda portadora que está comparada constantemente con dos ondas senoidales moduladoras de manera que cuando portadora y moduladora cortan en un punto del tiempo, se marca el inicio y el fin de una de las ondas de tensión cuadradas, creando a la vez una onda de tensión cuadrada en cada fase (a nivel práctico, hablamos de que marcan el momento del envío de señal de apertura al IGBT y el momento en que esta señal se corta). La suma de estas ondas cuadradas en cada fase origina una tensión entre fases senoidal como se muestra en la figura 2.19.

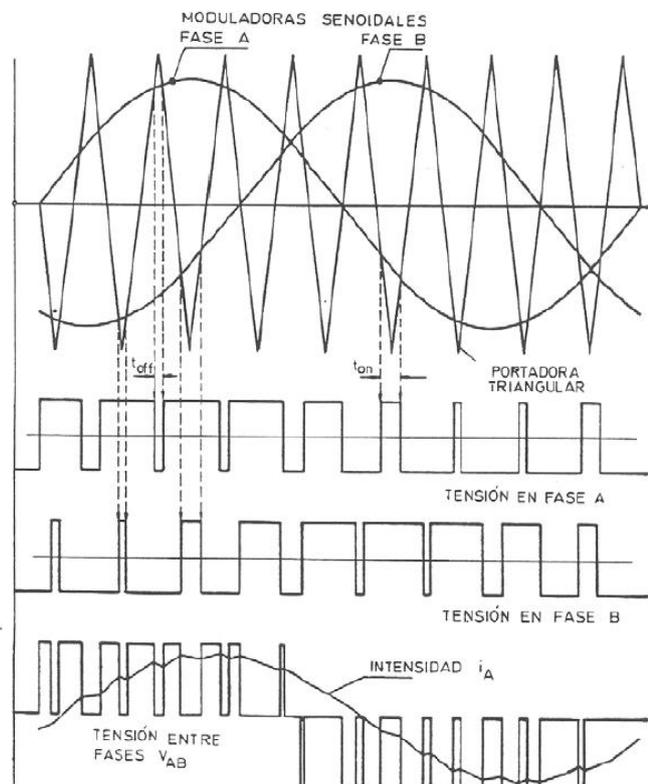


Figura 2.19. Generación de señales de potencia a través de señales de control. Ilustración obtenida de los apuntes de "Sistemas de transporte de tracción eléctrica" Tema 6. Pag 8/15 Autor: Javier Alonso Ripol

Conectando las tres salidas del puente de IGBTs a los tres bornes de la máquina síncrona, podremos utilizarla como un motor síncrono normal y corriente. Dado el material expuesto previamente para la regulación, la función del puente de IGBTs será realizara por la placa IRAM, la alimentación de corriente continua por la fuente de alimentación y será necesario añadir un programa con la regulación de los puentes explicada en este mismo apartado.

El funcionamiento de los campos electromagnéticos en la máquina es el inverso al explicado en el apartado del generador. Cuando un polo del rotor se coloca perpendicular al extremo polarizado de una de las bobinas, se crea un campo magnético que interactúa con la intensidad del polo, dando pie a una fuerza magnética perpendicular a la superficie rotórica (según la regla de Fleming), esto, dada la distancia de la superficie del rotor a su eje, crea un momento que hace girar la máquina como puede verse representado en la *Figura 2.20*.

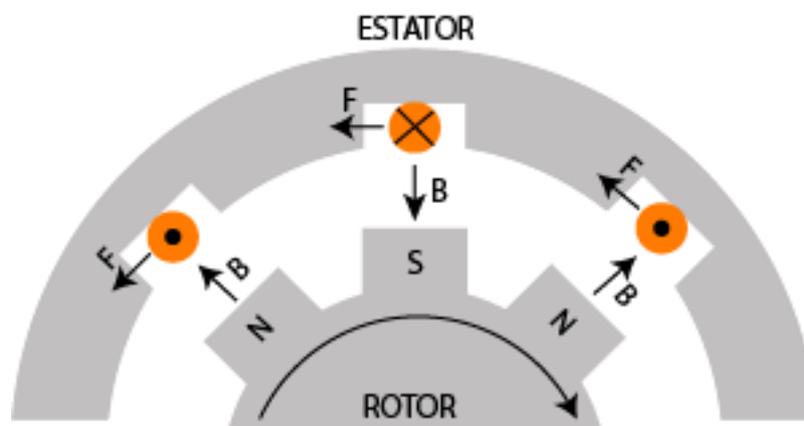


Figura 2.20. Fuerzas magnéticas que mueven el rotor de un motor síncrono
 Realizado con Adobe Illustrator CC 2018

El principal problema que plantea esta máquina al ser utilizada de esta manera es que carece de par de arranque. Esto es debido a que cada medio ciclo de ondas trifásica, la polaridad de cada extremo de espira del estator se invierte, por lo que salvo que el rotor se encuentre ya en movimiento, (suponiendo funcionamiento a 50Hz) las fuerzas cambiaran de sentido cada 1/100 segundos, quedando, prácticamente anuladas. Para solventar este impedimento, existen dos metodologías. La más práctica consiste en realizar un arranque asíncrono, lo cual requiere que el rotor cuente con un arrollamiento en jaula de ardilla que, previamente a alimentar el rotor, genere en su interior una corriente inducida por los campos magnéticos del estator y



fruto de la misma, empieza a girar como lo haría cualquier motor asíncrono de inducción. Cuando ya se alcanza una velocidad cercana a la de sincronismo, se alimentan los anillos deslizantes y comienza el funcionamiento síncrono de la máquina.

Como la máquina síncrona de la consta el proyecto, carece de este arrollamiento, el arranque se realizará de la segunda forma conocida: mediante un motor de arranque. Que será el ya mencionado motor de corriente continua. Este motor además, se podría utilizar como motor de arrastre que genere un par resistente al motor y así facilitar la experimentación en la regulación de ambas máquinas.

2.6. - La máquina de corriente continua

Pese a que los grandes motores industriales de corriente continua están en desuso, la máquina de corriente continua sigue estando presente en una gran cantidad de sistemas de pequeño tamaño, por lo cual aumenta el valor docente del proyecto para el laboratorio.

Tendrá una función esclava pues siempre se le hará funcionar acorde a las necesidades de la máquina síncrona del bastidor. En la *tabla 2.3* se muestra la función que representará la máquina de corriente continua para cada caso:

Funcionamiento Maq. Síncrona	Función de motor DC
Generador	Motor de arrastre
Motor	Motor de arranque/Dinamo
Motor paso a paso	--

Tabla 2.3. Relación entre los funcionamientos de ambas máquinas

En la *tabla 2.4* se adjunta la placa de características del motor de corriente continua que se utilizarán en el bastidor:

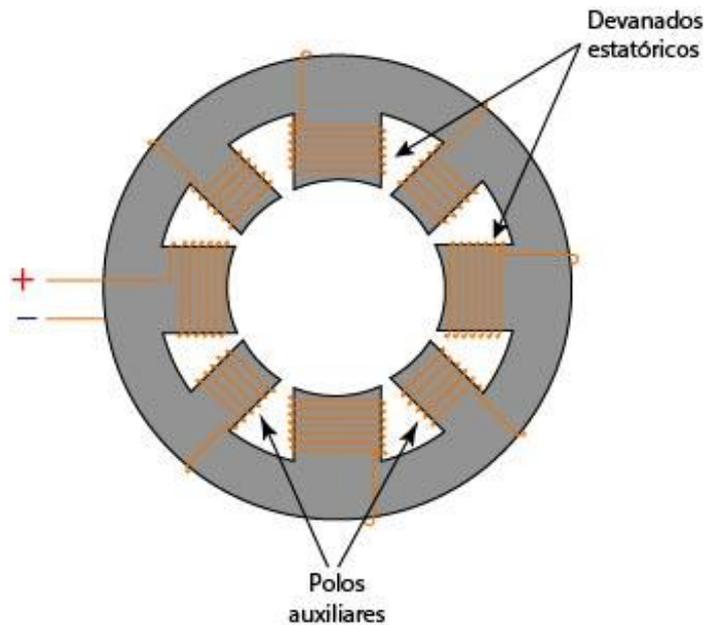
distesa		
0'44 kW	0'6 CV	- Hz
220V	2'5A	
190V	0'23 A	
1500 r/min	IP 23	

Tabla 2.4. Placa de características del motor de corriente continua

Esta tabla nos facilita los datos necesarios para saber cómo debemos alimentar esta máquina. Para que el motor funcione en condiciones nominales. Será necesario aportar al estator una tensión de 220V y al colector de delgas del rotor 190V. El fabricante garantiza que en estas condiciones el motor girará a 1500r/min con una potencia de 0'44kW. El dato referente a la IP 23 nos habla del nivel de protección del motor frente a agentes externos, pero no es de importancia para el tema tratado.

El funcionamiento de la máquina de corriente continua se basa en la acción de las fuerzas electromotrices del estator sobre el circuito del rotor que, aunque en algunos casos se alimentan de la misma fuente de tensión (excitación en derivación o "shunt"), en este motor, al ser de excitación independiente, requerirá de dos fuentes de tensión distintas.

Estructuralmente encontramos dos circuitos separados. El del estator estará constituido por un gran devanado cuya función será la de, dada su geometría de espiras, crear un campo magnético constante que cruzará su cavidad interior, dónde se aloja el rotor. El circuito eléctrico estático también cuenta con lo que se conoce como “polos auxiliares”, que son bobinas de menor tamaño en serie con las del inducido. La estructura del estator se muestra en la *figura 2.21*.



*Figura 2.21. Estator de un motor de corriente continua.
Hecho con Adobe illustrator 2018 cc*

El circuito del rotor nace en el colector de delgas, elemento que recibirá a través de unas escobillas tensión fija. Cada delga es el principio y el final de una espira que recorre transversalmente el rotor, de manera que cuando es alimentado, crea un campo magnético perpendicular al plano de la espira que interactuará con el del inducido tendiendo a ubicar en la misma trayectoria sus polos positivo y negativo dando pie a la deseada rotación. Gracias a la inercia del estator este no se ubicará simplemente con el primer conjunto de polos estáticos sino que se desplazará lo suficiente como para empezar a notar la influencia del siguiente polo. Y así sucesivamente. El colector de delgas constará de varias delgas opuestas, de manera que cada una entre en contacto una de las escobillas para cerrar el circuito. Cuantas más espiras tenga el motor, se generará un mayor número de

fuerzas electromotrices y mejor se aprovechará la tensión suministrada al rotor. En la *figura 2.22* se ilustra una sección del rotor (Izda.) y su vista frontal (dcha.) para mostrar su estructura completa.

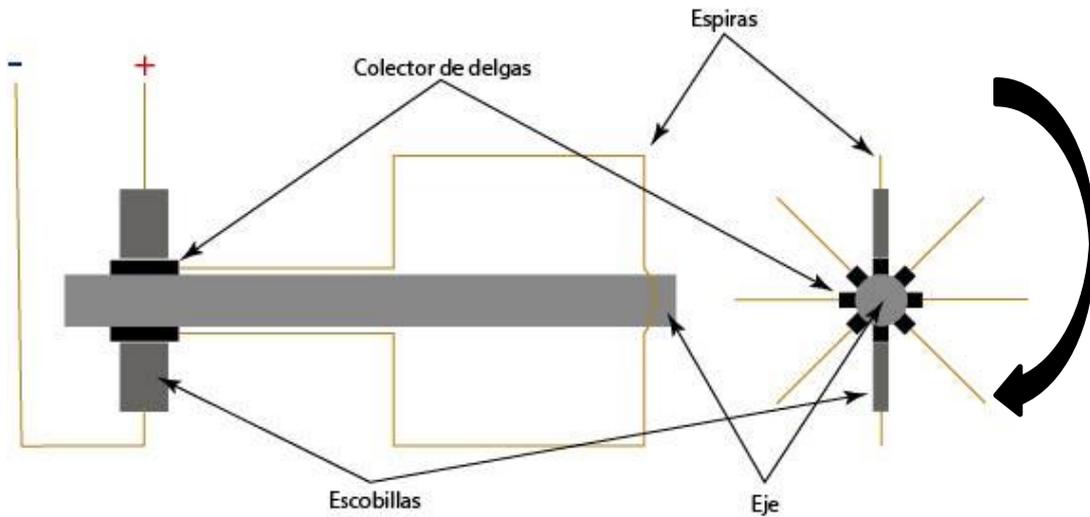


Figura 2.22. Rotor de un motor de corriente continua.
Hecho con Adobe illustrator 2018 cc

A

continuación, en la *figura 2.23*, se muestra la interacción entre ambos campos magnéticos de la máquina:

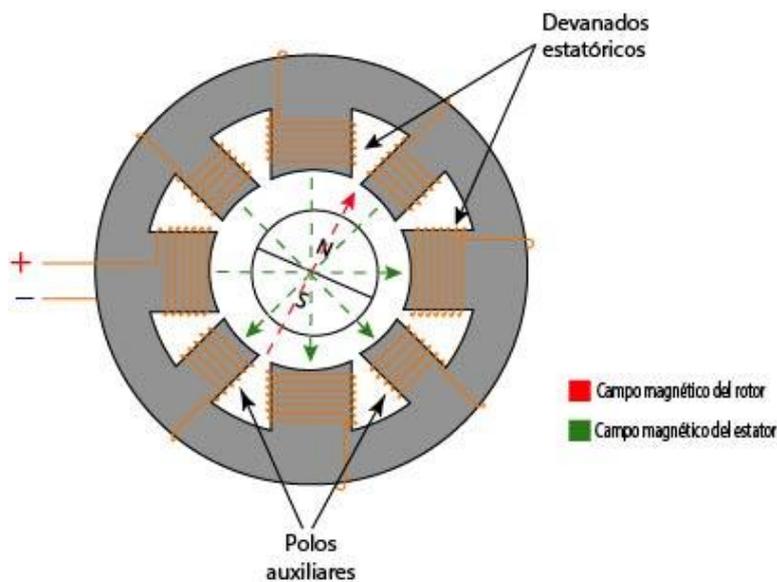


Figura 2.23. Campos magnéticos en un motor de corriente continua.
Hecho con Adobe illustrator 2018 cc

2.6.1. – El motor CC como motor de arrastre

Como se ha comentado con anterioridad una de las funciones que presentará nuestro motor de corriente continua será la de actuar como motor de arrastre tanto si se quiere que la máquina síncrona funcione como generador como si se va a usar como motor síncrono.

A través de la correa que unirá ambos ejes el motor de corriente continua transmitirá su par y, lo más importante, la velocidad rotatoria al alternador, para que este pueda alcanzar la velocidad de sincronismo que requiere y así empezar a generar.

El principal problema que se nos plantea es que contamos con una máquina síncrona de 6 pares de polos que funcionará a 50Hz, lo cual indica que su velocidad de sincronismo es de 500 r/min como se muestra a continuación:

$$n = \frac{60 * f}{p} = \frac{60 * f}{n_p/2} = \frac{60 * 50}{12/2} = 500 \text{ r/min}$$

Esto supondrá un problema de diseño porque como se mostró en *tabla 2.3*, la velocidad nominal de nuestro motor de corriente continua es de 1500r/min. Dado que la transmisión se realizará por correa, los elementos que determinarán cual es la relación de transmisión de velocidad serán las poleas unidas a los ejes de ambas máquinas. Si consideramos n_1 y d_1 como la velocidad de giro del motor de corriente continua y el diámetro de su polea y n_2 y d_2 como los de la máquina síncrona, podemos determinar cual será la relación necesaria y cual es la relación real existente entre las poleas de ambas máquinas. En primer lugar determinamos cual sería la relación de transmisión ideal:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1500}{500} = 3$$

Sin embargo la relación que encontramos entre los diámetros de ambas máquinas, dado que $d_1 = 55mm$ y $d_2 = 43mm$ es:

$$i = \frac{d_1}{d_2} = \frac{55}{43} = 1.27$$

Este problema no nos plantea una solución mecánica sencilla, sin embargo, aplicando la regulación eléctrica apropiada sobre la máquina de corriente continua podremos conseguir que transfiera a la máquina de ensayo su velocidad de sincronismo. Debemos plantear la regulación de la máquina de corriente continua que haga que la máquina de corriente continua gire a:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_2}{500} = 1.27; n_2 = 500 * 1.27 = 635 \text{ r/min}$$

Para que nuestro motor de corriente continua de excitación independiente gire a esta velocidad será necesario utilizar elementos externos que lo hagan funcionar fuera de sus parámetros nominales, esta regulación se explicará más adelante en el apartado de conexiones del bastidor.

2.6.2. – El motor CC como dinamo

Aunque la dinamo es una máquina eléctrica que a día de hoy apenas se utiliza, pues ha sido sustituida por sistemas electrónicos de semiconductores que rectifican la corriente alterna a continua con mayor eficiencia, puede ser de interés estudiarla para ampliar los conocimientos de electromagnetismo de los alumnos.

Dado que la máquina síncrona del proyecto podrá actuar como motor síncrono trifásico. Se ha planteado que el motor de corriente continua pueda funcionar al mismo tiempo como una dinamo, de esta manera se permitirá estudiar al mismo tiempo el funcionamiento del generador como motor y de este motor como generador de corriente continua.

Para que la máquina funcione de esta manera será necesario alimentar su estator con corriente continua para crear el campo eléctrico estático dentro del motor, que será quien haga circular corriente por la espiras del rotor. Cuando le apliquemos la energía mecánica producida por el generador síncrono a través de la correa de distribución la espiras rotóricas girarán y según su posición producirán corriente eléctrica en un sentido u otro, que transmitirán al colector de delgas, en donde se producirá el fenómeno de conmutación que está simplificado con una sola espira en la figura 2.24.

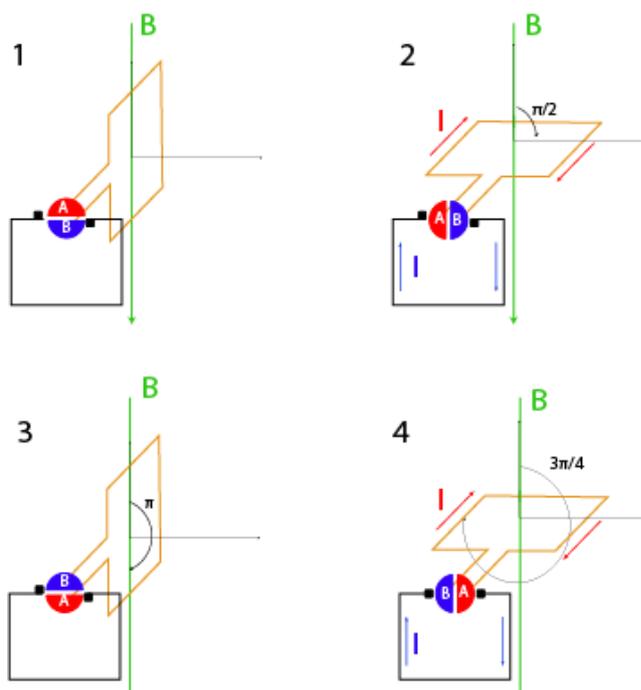


Figura 2.24. Fenómeno de conmutación en una dinamo.
Hecho con Adobe illustrator
2018 cc

Como podemos ver la intensidad, que depende de la variación del flujo magnético a través de la espira en el tiempo, siempre saldrá de la máquina en la misma dirección, de lo contrario, no sería corriente continua.

Cuando tenemos la espira paralela a las líneas al campo magnético, la generación de intensidad es nula y cuando es perpendicular es máxima por lo que habrá dos puntos de la rotación en los cuales la intensidad generada es máxima. Pero gracias a la rotación del colector de delgas, cuando la generación es máxima la intensidad circula siempre del punto A al B, que están en contacto con las escobillas. De esta manera, haciendo girar el rotor de la máquina de corriente continua y conectando a las bornas, que al usarlo como motor se corresponden con la excitación del rotor, obtendremos una corriente continua constante.

Los bornes de excitación del rotor, que ahora serán los de salida de la intensidad, deberán de conectarse a una carga ya existente en el laboratorio de máquina eléctricas y que veremos en el apartado de control del proyecto.



3 – Conexiones de la plataforma

En este apartado se mostrarán los montajes requeridos para cada una de las formas de funcionamiento del dispositivo incluyendo los esquemas eléctricos correspondientes.

Además de las conexiones referenciadas al bastidor se añadirán a las conexiones de los elementos externos como reóstatos, alimentadores de corriente continua, resistencias trifásicas y demás que a día de hoy ya podemos encontrar en el laboratorio de máquinas eléctricas y que es más práctico aprovechar que incorporar al bastidor ya que no se considera necesario duplicar este material en el laboratorio.

3.1. Conexión del sistema de control

En este apartado se explica cual es el conexionado de la parte dedicada controlar la potencia a través de la placa IRAM del bastidor.

Aunque el sistema de control tenga cables que se pueden cambiar, el conexionado será siempre el mismo, pero se ha planteado así para que la necesidad de cablearlos cada vez que se vaya a utilizar el bastidor fuerce al alumno a saber para qué sirve cada uno de ellos.

En primer lugar debemos plantear que el bastidor necesitará de un controlador externo que se programe en función del funcionamiento que se desee para el bastidor, para esta labor serán óptimos dispositivos embebidos como un arduino o un myrio, aunque tengamos en cuenta que dado que arduino sólo trabaja con hasta 5V, habría que alimentar la placa IRAM con una fuente de alimentación externa. También es viable plantear el control desde un autómatas programable. Dado que el laboratorio ya cuenta con un dispositivo embebido myrio y licencias de LabView (software soportado por el dispositivo citado) este parece la opción más recomendable. Sea cual sea la opción que el profesorado plantee para los laboratorios, es indispensable que el dispositivo cuente con un mínimo de cuatro entradas y siete salidas para poder cumplir con los requisitos mínimos del bastidor.

Además el circuito de control incluirá la bobina de un contactor cuya función será poder cortar la alimentación de la potencia la placa IRAM para que en caso de que este emita alguna señal de fallo, el controlador pueda cortar inmediatamente su alimentación.

Ambos elementos, recién mencionados, se ubicarán en la parte superior del bastidor que, hasta ahora se había mostrado vacía en el proyecto por estar abierta soportar tanto los elementos que se mencionan ahora como, quizá en un futuro, algún otro elemento diferente que cumpla alguna nueva función.

En primer lugar plantearemos la alimentación de la placa IRAM, que aparece en la placa frontal del bastidor (Anexo I) como Vcc y Vss. Siendo Vcc el terminal positivo y Vss el negativo. El valor de tensión que admiten tiene un valor mínimo de 12V y un máximo de 20V, tensión que ha de ser suministrada por el controlador preferiblemente en caso de que no tenga la posibilidad de proporcionar este rango de tensiones, a una fuente de alimentación externa



cuya desconexión, en caso de emergencia, pueda gestionarse desde el controlador externo.

Seguidamente enumeramos las salidas que nuestra placa electrónica enviará al controlador, que serán dos:

- I_{trip} : se trata de una salida analógica que envía un valor que referencia a la intensidad que está entrando en la placa. Se enviará entre 0 y 5V hasta el controlador con un rango de valores de entre 1 y 100 μ A. Si se diese el caso de que su valor de la intensidad superase los 100 μ A, significaría que la placa está siendo alimentada con más intensidad de la que debería y que corre peligro de dañarse por eso, el programa que se instale en el controlador ha de cortar la alimentación de la placa y la alimentación del control hasta que se reinicie y/o rearme si incluyese esta función.
- FLT- V_{TH} : esta otra salida analógica cumple la misma función que la anterior pero este caso, referida a la temperatura. Esta vez funcionará inversamente, pues el termistor de nuestra placa electrónica aumentará su resistencia con la temperatura por lo que si el voltaje, de nuevo comprendido entre 0 y 5V, descendiese de 1V, significaría un exceso de temperatura que implicaría la necesidad de corte del suministro de la placa.

En lo referente a las entradas en la placa electrónica, que serán las salidas del controlador, 6 irán directamente dedicadas a la regulación de la alimentación del estator de la máquina síncrona y una a la bobina de excitación del contactor de emergencia. Los nombres, compartidos con los nombres de los IGBTs del puente, se dividen en dos grupos:

- HIN1, HIN2 y HIN 3 : que son las señales para que el puente de IGBTs alimente, respectivamente y según la nomenclatura del proyecto, los devanados U1, V1 y W1.
- LIN1, LIN2 y LIN3 : que de igual manera, hacen referencia a la alimentación de los devanados U2, V2 y W2.

La más importante de las salidas del controlador, no será una entrada de nuestra placa electrónica sino que irá a la bobina del contactor K01 que se

muestra en los esquemas de *las figuras 3.3. 3.5 y 3.7.* y se describe en el apartado “2.3. La fuente de alimentación”. Esta señal se enviará en todo momento con el objetivo de mantener los contactos del contactor cerrados salvo que se las , ya descritas, I_{trip} y/o $FLT-V_{TH}$ se saliesen de sus valores establecidos, en cuyo caso se dejará de enviar esta señal. Lo que provocaría que los contactos se abriesen y cesase la alimentación a la placa IRAM.

Y la señal volverá a emitirse solo en el caso de que la que fuera de las otras dos señales, o las dos, vuelvan a sus valores medios que implican que la placa IRAM no está en peligro de fallo por sobrecorriente o por alta temperature.

Y por último, el controlador recibirá otra entrada que no serán salidas de la placa, sino que irán directamente desde el panel frontal de nuestro bastidor. La señal del regulador de frecuencia, aunque no es indispensable para el funcionamiento del bastidor, será una variable optative en el programa del regulador. Haciendo uso de esta variable, se podrá variar la velocidad de la máquina síncrona cuando trabaje con cualquiera de las secuencias descritas en *las figuras 2.2. y 2.14.*

En *la figura 3.1.* se muestra el circuito interno de la placa electronica IRAM dónde se pueden apreciar algunas de las recientemente descritas entradas y salidas de comunicación.

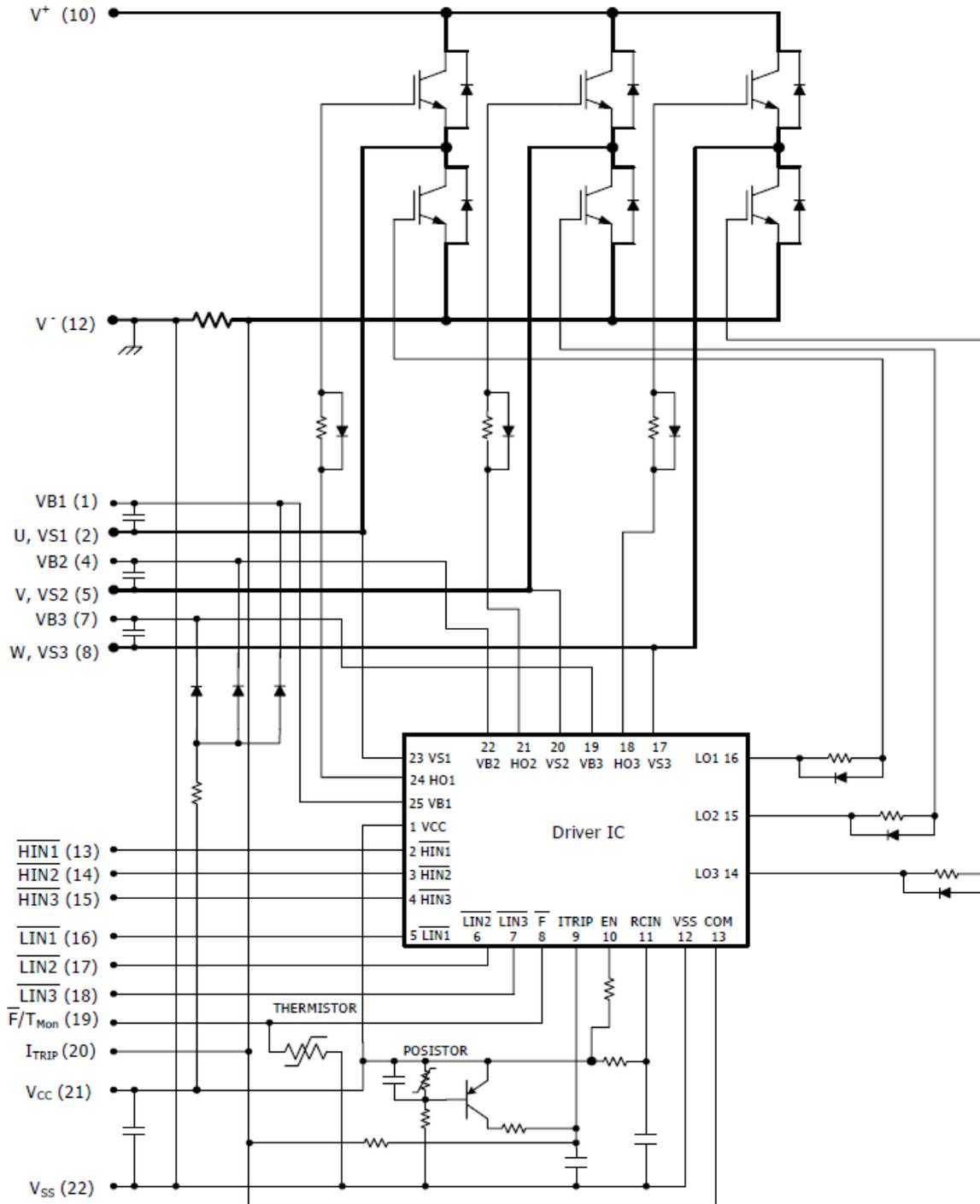


Figura 3.1. Circuito interno de la placa electrónica. Esquemas de control y potencia.

Extraído de la ficha técnica de la placa IRAMY20UP60B

3.2. Conexión para funcionamiento de la máquina de ensayo como generador síncrono trifásico

Para que nuestra máquina síncrona funcione como un generador en primer lugar necesitaremos de otra máquina que haga de motor de arrastre y le aporte la velocidad de giro necesaria, función que va a realizar nuestro motor de corriente continua.

Por ello comenzaremos explicando el conexionado que le vamos a aplicar al motor de corriente continua que cumplirá la función, como se explicó con anterioridad, de motor de arrastre.

El motor de corriente continua será simplemente un motor funcionando con normalidad pero ajustando la tensión de la excitación independiente para que transfiera a la máquina síncrona la velocidad rotativa deseada: 500 r/min.

Para realizar los cálculos en primer lugar vamos a calcular el valor de las resistencias interna del motor y de su constante constructiva. Para ello utilizaremos los valores proporcionados por su placa de características que se corresponden con el planteamiento de las condiciones nominales de funcionamiento.

Los valores calculados de estas resistencias serán válidos en cualquier circunstancia ya que son constantes. En la *figura 3.2.* se muestra el circuito equivalente del motor.

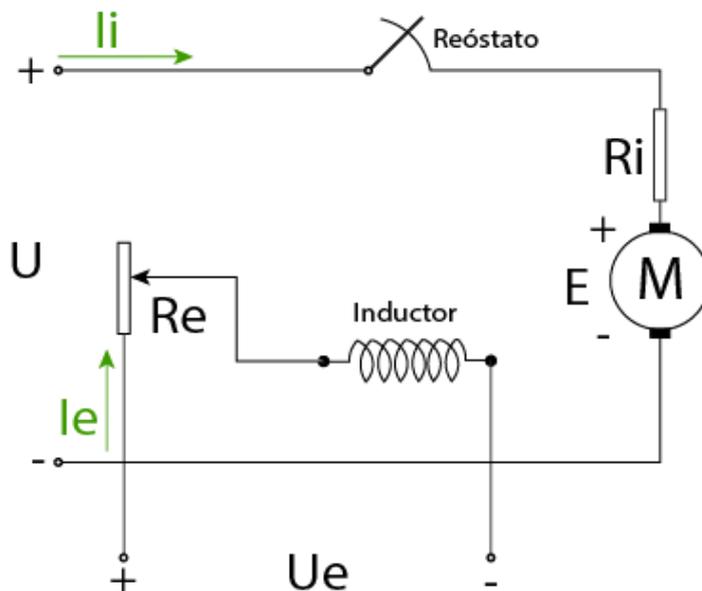


Figura 3.2. Circuito equivalente de un motor DC de excitación independiente. Hecho con Adobe illustrator 2018 cc



Cálculo de resistencia interna:

$$U = E + R_i I_i; \quad U = R_i I_i$$

$$R_i = \frac{U - E}{I_i} = \frac{220 - 190}{2.5} = 12 \, \Omega$$

Ahora utilizando las expresiones del circuito equivalente obtendremos una expresión que nos permita despejar la velocidad en función de los parámetros regulables del motor:

$$E = \frac{n}{60} z \Phi \frac{p}{a} = k_E n \Phi = K I_E n; \quad n = \frac{E}{I_E K}$$

Aplicando la igualdad de tensiones previa obtenemos que la velocidad:

$$n = \frac{U - R_i I_i}{I_E K}$$

Si sustituimos los valores nominales en la ecuación anterior podremos despejar el valor de la constante constructiva K (que hace referencia al número de polos y de conductores del inducido) de nuestra máquina:

$$n = \frac{U - R_i I_i}{I_E K}; \quad K = \frac{U - R_i I_i}{I_E n} = \frac{220 - 12 * 2.5}{0.23 * 1500} = 0.55$$



Ahora que tenemos todas las constantes del motor, tendremos que calcular cual será la intensidad de excitación que debemos aplicar para que el motor gire a la velocidad deseada. Para ello despejamos la intensidad en función de la velocidad:

$$n = \frac{U - R_i I_i}{I_E K}; \quad I_E = \frac{U - R_i I_i}{n K}$$

Esta expresión nos permitirá determinar la intensidad excitación para obtener la velocidad que se desee de cualquier motor de corriente continua con excitación independiente. Pero no olvidemos, que nuestro objetivo es proporcionarle a la máquina trifásica su velocidad de sincronismo, es por ello, que a la expresión también hemos de añadirle la relación de transmisión a de la correa que se determinó en el apartado “2.3.1. El motor de CC como motor de arrastre” de este proyecto.

$$n_1 = i n_2$$

Siendo n_1 la velocidad del motor CC y n_2 la de la máquina síncrona:

$$n_1 = \frac{U - R_i I_i}{I_E K} = i n_2; \quad n_2 = \frac{U - R_i I_i}{i I_E K}$$

Como se mostró también en el apartado “2.3.1. El motor de corriente continua como motor de arrastre” la velocidad de sincronismo n_2 es de 500r/min. Así teniendo todos los parámetros de la ecuación vemos que tenemos que aportar la siguiente intensidad de excitación:

$$I_E = \frac{U - R_i I_i}{in_2 K} = \frac{220 - 12 * 2.5}{1.27 * 500 * 0.55} = 0.544 A$$

La alimentación se realizará con una fuente de tensión variable que permitirá variar la tensión de excitación del circuito entre 0 y el máximo admisible por el motor. Por lo que, en el laboratorio, habrá que aumentando esta tensión de excitación lentamente hasta que, con un amperímetro, se determine que la intensidad de excitación que se está aportando es de 0.544 A. En ese momento, se sabrá con certeza que la máquina de ensayo está girando a su velocidad síncrona.

Ahora expondremos el conexionado de la máquina de ensayo. Dado que la máquina era originariamente un alternador de automoción, este es el funcionamiento para el que fue fabricada.

Por otro lado, la alimentación del motor se realizará, al igual que la excitación, desde un circuito externo ya presente en el laboratorio, que le facilitará directamente su valores nominales de 220V y 2'5A.

En primer lugar, alimentaremos el rotor con la intensidad nominal que demanda a 14V, para ello conectaremos las bornas de corriente continua que hay en la casilla de control del panel del bastidor que, como se explicó con anterioridad están conectadas a una fuente de alimentación que permite suministrar 0-60V y hasta 40A.

En cuanto a la salida trifásica, en el momento en que el rotor esté girando a la velocidad de sincronismo y este siendo alimentado comenzará a inducir una tensión trifásica en las espiras del estator que deberá descargarse de alguna forma. Para ello utilizaremos una resistencia variable equilibrada trifásica en estrella de valor variable que permita a los alumnos puedan tomar las medidas que consideren necesarias para las pruebas de laboratorio.

Aplicando todo lo explicado en este apartado el esquema de conexionado de la máquina de ensayo como generador síncrono trifásico será el mostrado en la *figura 3.2*.

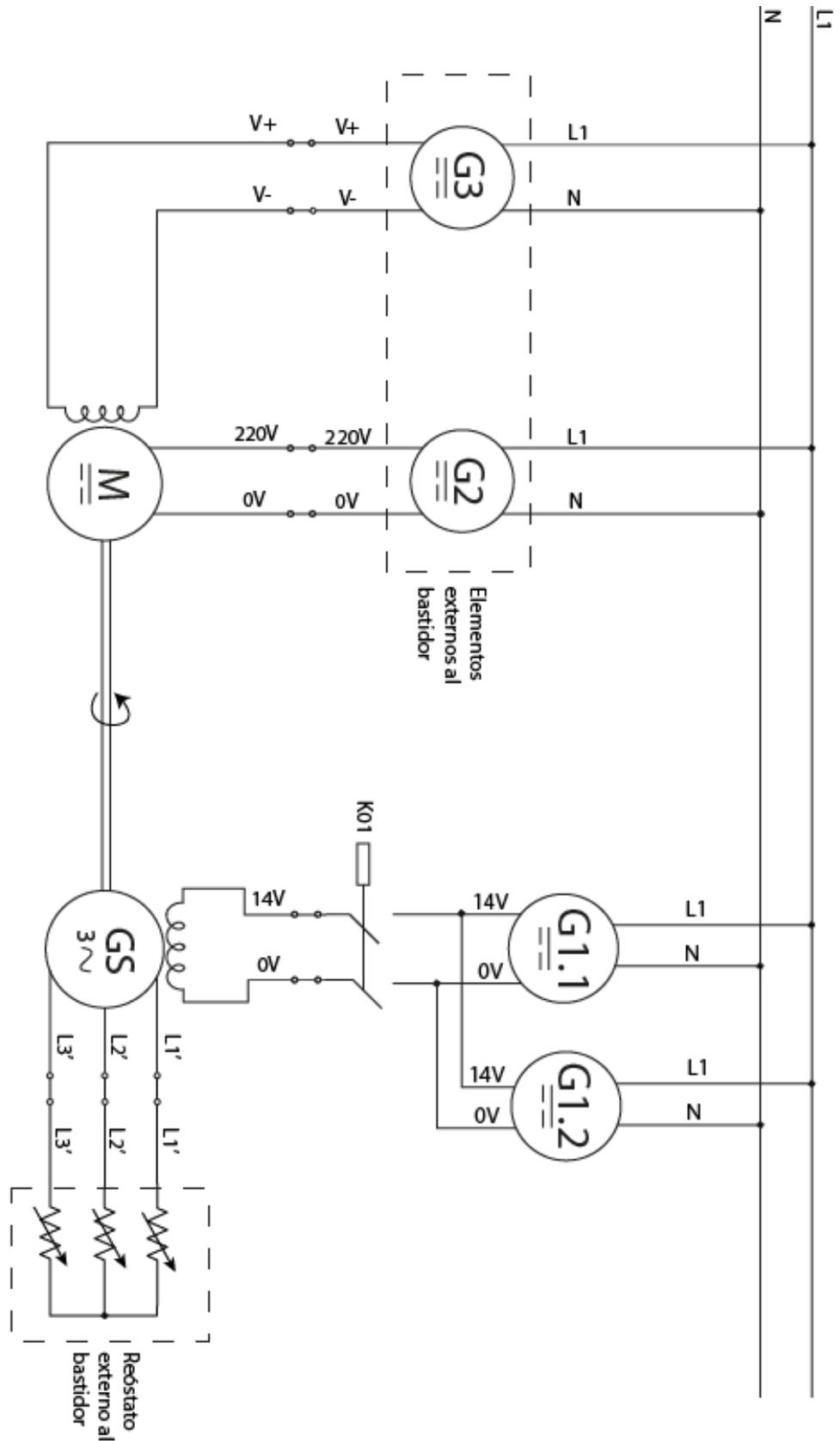


Figura 3.3. Esquema de conexionado de la máquina de ensayo como generador síncrono.
Hecho con Adobe Illustrator 2018 cc

3.3. Conexión para funcionamiento de la máquina de ensayo como motor síncrono

Para utilizar el alternador como si fuese un motor síncrono lo primero que tenemos que tener en cuenta es que hablamos de un método de funcionamiento en el cual la máquina no va a tener par de arranque, por lo que será necesario arrancar la máquina de corriente continua en primera instancia para acercar el rotor del alternador a su velocidad de sincronismo.

El método para que el motor de arrastre ponga el alternador a girar a su velocidad síncrona será exactamente el mismo que se ha descrito en el apartado anterior, dado que el objetivo es el mismo.

Pero este será sólo el primer paso, porque una vez tengamos el motor de corriente continua en marcha arrastrando al alternador será el momento de iniciar la regulación como motor síncrono pues estando ya cerca de su velocidad síncrona, el estator creará un par en el rotor en cuanto empiece a circular corriente por él.

Para hacer funcionar la máquina síncrona conectaremos sus tres bornas en el esquema referencias como L1, L2 y L3 a las salidas de la placa IRAM que reciben los mismos nombres, pues serán estas quienes proporcionen, actuando como un puente trifásico de IGBTs, la alimentación trifásica al estator.

Como se ha explicado en el apartado “2.4.1. Conexión del sistema de control” la placa IRAM recibirá una alimentación de corriente continua que deberá adecuarse al voltaje que queremos que suministre, en este caso serán 14V. Pero el puente de IGBTs hará la función de rectificador que hará que los terminales L1, L2 y L3 suministren una corriente trifásica. La secuencia de disparo de cada IGBT se puede observar en la *figura 2.14* del apartado “2.2.3. El alternador de automoción como motor síncrono”. Según estas secuencias de disparo entre los terminales del puente de IGBTs encontraremos las siguientes ecuaciones de tensión en el tiempo:

$$V_{AB}(t) = \sum_{n=1,2,3\dots}^{\infty} \frac{4V_{cc}}{n\pi} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right) \operatorname{sen}\left[n\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)\right]$$

$$V_{BC}(t) = \sum_{n=1,2,3\dots}^{\infty} \frac{4V_{cc}}{n\pi} \text{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right) \text{sen}\left[n\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)\right]$$

$$V_{CA}(t) = \sum_{n=1,2,3\dots}^{\infty} \frac{4V_{cc}}{n\pi} \text{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right) \text{sen}\left[n\left(\omega t + \frac{7\pi}{6}\right)\right]$$

Y a continuación, en la figura 3.4. se muestran las secuencias de onda de tensión si la salida estuviese conectada a una carga en estrella como puede ser el estator de un máquina síncrona con el que estamos trabajando. Como puede apreciarse, mediante ondas cuadráticas se simulan tres ondas senoidales desfasadas $\frac{2\pi}{3}$, o lo que es lo mismo, 120° . El resultado de cara al estator es el mismo que si estuviese siendo alimentado por tres corrientes puramente senoidales.

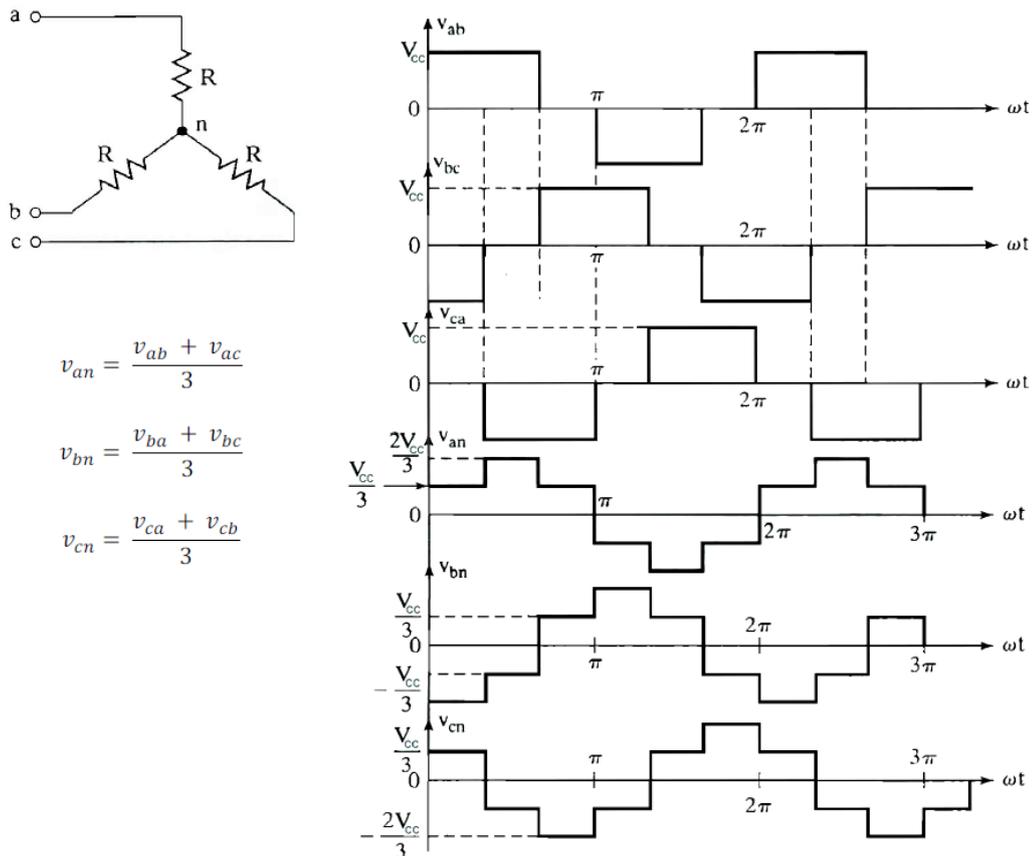


Figura 3.4. Ondas de salida del Puente de IGBTs sobre una Resistencia en estrella (motor síncrono trifásico).

Obtenida de apuntes de "Electrónica de potencia aplicada a sistemas eléctricos. Tema 4- Convertidores CC/CA"



Junto con el estator también deberemos alimentar el rotor de nuestra máquina síncrona. Esta alimentación será de corriente continua, 14V y 20 A, por lo que podremos conectarlo a la misma fuente de alimentación que los terminales de potencia de placa, ya que ambas fuentes en paralelo, pueden llegar a suministrar 100 A y ambas demandas de la máquina síncrona suman 80 A. Una vez alimentemos el rotor este se convertirá en un imán que “fijará” al campo magnético rotativo del estator y empezará a girar con él a sus 500 r/min ya citadas.

Ahora que la máquina síncrona puede mantener su velocidad síncrona sin ayuda de la máquina de corriente continua, la desconectaremos y pasaremos a usarla como una dinamo.

Para que la máquina genere una corriente continua será necesario únicamente cambiar la alimentación del estator por una carga, ya que el circuito de excitación ya lo tendremos alimentado debido al funcionamiento como motor. Esta carga, al igual que hicimos cuando la máquina de ensayo funcionaba como generador, será un reóstato variable que permita a los alumnos, si es necesario, variarla para tomar las medidas que consideren necesarias.

Teniendo todo esto en cuenta se adjunta en la *figura 3.4.* el esquema de conexionado para el funcionamiento de la máquina de ensayo como motor síncrono trifásico.

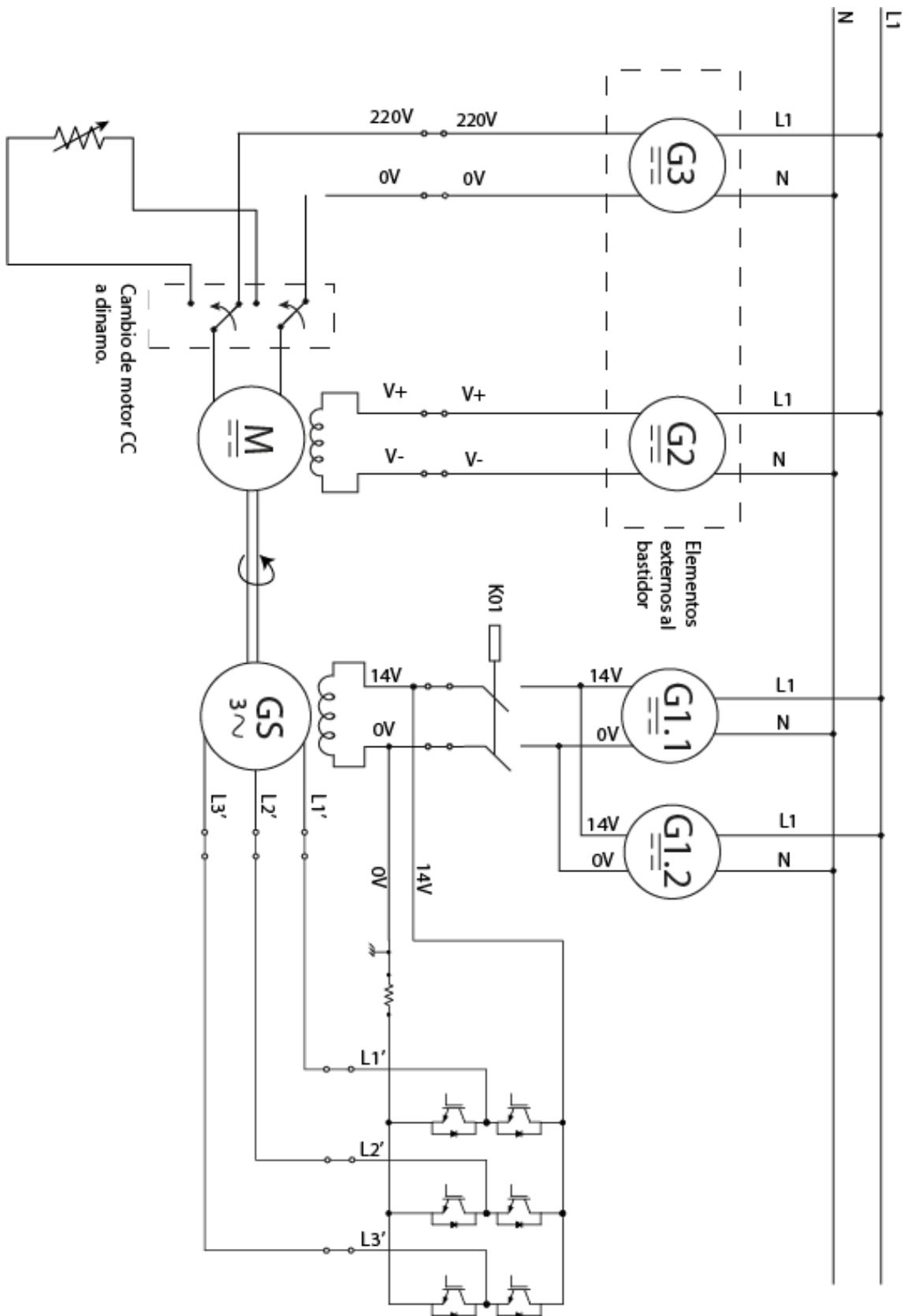
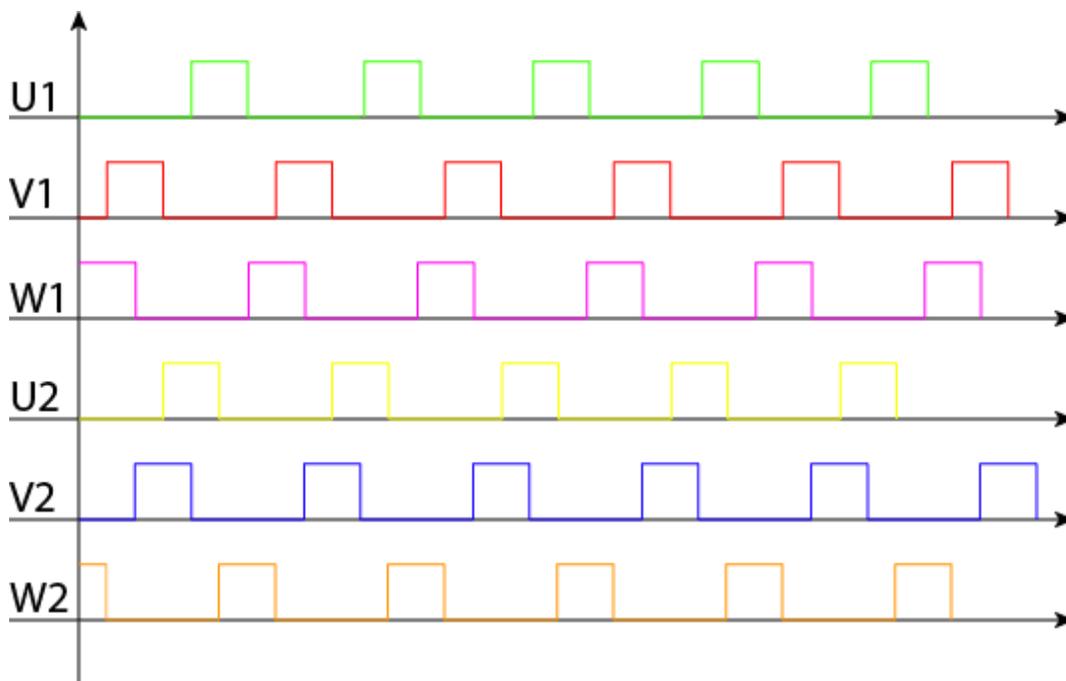


Figura 3.5. Esquema de conexionado de la máquina de ensayo como motor síncrono.
Hecho con Adobe Illustrator 2018 cc

3.4. Conexión para funcionamiento de la máquina de ensayo como motor paso a paso

Este conexionado será bastante parecido al presentado en el apartado del funcionamiento como motor síncrono, pues también utilizaremos el puente de IGBTs para alimentar el estator de la máquina síncrona así como las fuentes de alimentación para alimentar su rotor a 14V. La diferencia principal residirá en que la regulación que aplicaremos será la explicada en el apartado “2.2.2. El generador de automoción como motor paso a paso”.

Aplicando la recién citada regulación, en el estator del generador podremos encontrar la grafica de alimentación en los devanados del estator que se muestra en la *figura 3.6*. En ella, los nombres de devanados acompañados de un uno son entradas de corriente y los acompañados de un dos se refieren al mismo devanado pero indican que por dónde se produce la salida de corriente del estator.



*Figura 3.6. Pulsos por devanado en valor absoluto para funcionamiento como paso a paso.
Hecho con Adobe illustrator CC 2018.*

Además en esta configuración del bastidor, la máquina de corriente continua no cumplirá ninguna función por lo que la mantendremos totalmente desconectada para evitar cualquier tipo de accidente o intromisión en las pruebas con la máquina de ensayo.

En este conexionado, al igual que en el anterior, las fuentes de alimentación estarán en una de las situaciones de mayor trabajo pues aportarán los 20 A al rotor 60 A al estator a través del puente de IGBTs.

En la *figura 3.7.* se muestra el conexionado requerido para el funcionamiento como motor paso a paso.

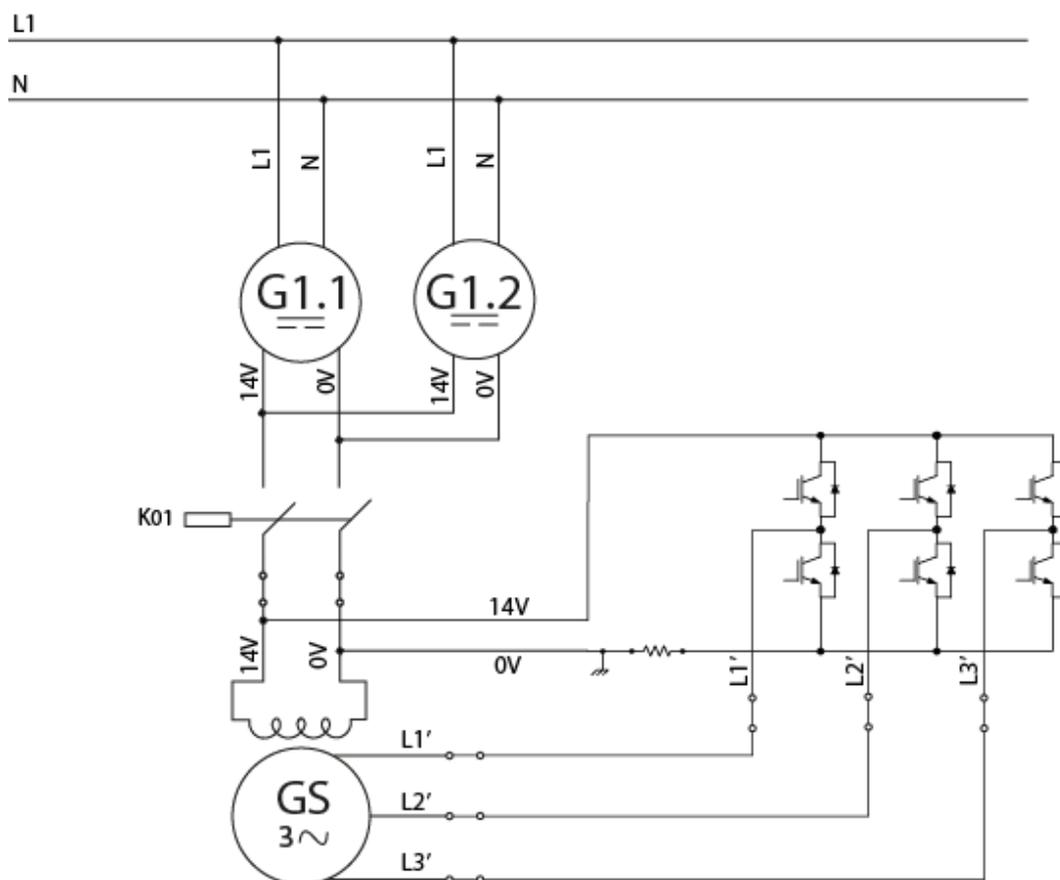


Figura 3.7. Esquema de conexionado para funcionamiento de la máquina de ensayo como motor paso a paso.
 Hecho con Adobe illustrator CC 2018.



4 – Selección de secciones de cable

Ahora que ya han sido presentados todos los elementos eléctricos del proyecto procederemos a calcular la sección de cable necesaria para conexión haciendo uso de la ITC BT 19 para instalaciones de interior.

Dado que el bastidor contará con cables que podrán conectarse y desconectarse para cambiar los métodos de funcionamiento, y esta es una opción no contemplada por la norma utilizada, tan sólo haremos la evaluación de los cables fijos en el bastidor siguiendo esta norma.

De entre los tipos de instalación de cable que contempla la ITC BT 19 el más adecuado para nuestro bastidor parece ser el tipo “C cables multipolares directamente sobre la pared” Dado que los cables fijos los colocaremos directamente con grapas y bridas a los perfiles de aluminio, parece ser la más adecuada.

Dado que sobredimensionaremos las secciones cogiendo siempre la siguiente a la mínima que aguante la intensidad máxima que circulará por el cable utilizaremos aislante de PVC, que resulta más económico y no esperamos altas temperaturas en los cables.

Partiendo de estas bases, en función del número de cables elegiremos la sección de cada uno empezamos por los cables fijos que atañen a la máquina de ensayo:

- Cable bornas excitación rotor en motor → bornas excitación panel
 $I_{max} = 20A$, Cable de dos conductores **S= 2.5 mm²**
- Cable bornas estator panel → bornas estator en motor
 $I_{max} = 60/3 A$, Cable de tres conductores **S= 2.5 mm²**

Cables fijos referidos al motor de corriente continua;

- Cable bornas excitación rotor en motor → bornas excitación panel
 $I_{max} = 1 A$, Cable de dos conductores **S= 1.5 mm²**
- Cable bornas estator panel → bornas estator en motor
 $I_{max} = 2.5 A$, Cable de dos conductores **S= 1.5 mm²**



Cables fijos referidos al Puente de IGBTs:

- Cable bornas de alimentación CC panel → Alimentación en Puente IGBTs

$$I_{max} = 60 \text{ A, Cable de dos conductores } S = 16 \text{ mm}^2$$

- Cable salida de puente IGBTs → Bornas salida puente IGBTs

$$I_{max} = 60/3 \text{ A, Cable de tres conductores } S = 4 \text{ mm}^2$$

Cables referidos al par de fuentes de alimentación en paralelo:

- Bornas fuente de alimentación1 → Bornas fuente de alimentación2

$$I_{max} = 50 \text{ A, Cable de dos conductores } S = 10 \text{ mm}^2$$

- Bornas fuente de alimentación 2 → Bornas alimentación corriente continua en panel.

$$I_{max} = 100 \text{ A, Cable de dos conductores } S = 35 \text{ mm}^2$$

Cables referidos a la alimentación de la placa IRAM:

- Borna de fuente de alimentación 2 → toma Vcc de la placa IRAM

$$I_{max} = 0.335 \text{ A, Cable de dos conductores } S = 1.5 \text{ mm}^2$$

Sumando las secciones de todos los cables que pasarán del piso inferior del bastidor al superior podremos ver que será necesario efectuar un paso a través de la placa del piso superior de 158 mm^2 para permitir el paso de todos los conductores. Este debería efectuarse en la parte delantera a la izquierda del perfil vertical central porque así estará sobre el generador y las fuentes de alimentación que son los elementos que más cableado suponen, así se reducen longitudes de cable.

Hasta aquí lo referido a cables de potencia, en lo referente a control, es decir todos los cables que sirvan para señales de disparo y señales de los reguladores serán cables de $S = 1 \text{ mm}^2$ pues se limitarán a pulsos puntuales de tensión y de escaso valor de intensidad.



5 – Presupuesto del bastidor

PRESUPUESTO



Universidad de Valladolid

CLIENTE/EMPRESA: U. Valladolid
Dirección: Plza. Colegio Sta Cruz 8
Persona de contacto: Jaime Campo
Datos : Valladolid 47002
España
CIF: Q 4718001 C

Fecha de entrega: 25.5.2019
Nº de presupuesto: 27
Nº de cliente: 470117
Válido hasta el: 25.5.2019
Elaborado por: Juan Pérez
Persona de contacto: Juan Pérez

Estimados/as Sres./Sras.:

muchas gracias por confiar en nuestros servicios. A continuación desglosamos las diferentes solicitudes que hemos recibido de vuestra parte
La entrega tiene lugar en un plazo de 2 semanas tras recibir la confirmación de pedido.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio/Unidad	I.V.A. %	Unidad con IVA	Importe total
Corte de perfiles y montaje del bastidor	1	ud.	297,60 €	21%	62,50 €	360,10 €
Fuente de alimentación sadelta GDL 6020	2	ud.	144,63 €	21%	60,74 €	350,00 €
Contactador 40A 2P Schneider A9C20882	1	ud.	40,24 €	21%	8,45 €	48,69 €
Planchas de metracrilato (precio €/m ²)	1	m2	12,84 €	21%	2,70 €	15,54 €

Subtotal sin I.V.A 639,94 €

I.V.A. 134,39 €

TOTAL 774,33 €

No duden en contactarnos en caso de dudas.

Les saludamos cordialmente,

Juan Pérez

Energilam S.L.

Energilam S.L.

Dirección: C. Pirita 27
Dirección: 47011 Valladolid
NIF/CIF: B 4771254

Datos de contacto

Persona de contacto: Juan Pérez
Nº de teléfono: 678221172
Email: jp@energilam.com
Web: www.energilam.com

6 – Conclusiones

Se ha estudiado un alternador convencional de automóvil para integrarlo conjuntamente con una máquina de corriente continua en un bastidor portátil.

Se ha indicado y presupuestado el material necesario y se han planteado las instrucciones de montaje de un batidor de ensayo que cumple las características pedidas.

Se ha realizado el montaje del bastidor y se han diseñado los paneles de control del mismo, integrando los elementos que el Departamento de Ingeniería Eléctrica tiene actualmente a su disposición para este trabajo.

En la *figura 6.1.* se incluyen fotografías de hasta dónde se ha llegado con el proceso del bastidor gracias a los recursos ya presentes en el laboratorio de máquinas eléctricas.

El bastidor no sólo permitirá a los alumnos de la EII UVa experimentar de forma totalmente práctica con la citada máquina en su uso más habitual, la generación eléctrica, sino que también les permitirá aprender a hacerlo funcionar como motor de dos formas diferentes: como motor síncrono y como motor paso a paso.

Además, permite libertad en los controladores, por lo que el profesorado, haciendo uso de los controladores ya presentes en el laboratorio, puede formar a los alumnos en diferentes tipos de programación útil en la regulación de máquinas eléctricas como PLCs o



Figura 6.1. Fotografía del montaje del bastidor.



dispositivos embebidos (arduino, MyRio..)

Basándonos en toda esta experiencia práctica que puede aportar a los alumnos el bastidor podemos concluir que servirá para enfocar la enseñanza, en la universidad de Valladolid, hacia una vertiente de conocimiento práctico en auge que ayudará a sus alumnos en su futuro tanto académico como profesional.

Por otro lado, la tendencia educativa actual, cada vez tiende más a focalizarse en la aplicación práctica de conocimientos teóricos en laboratorio y a la “cognición situada” (teoría que defiende el aprendizaje mediante diferentes tipos de experiencias prácticas), por eso todo aquello que amplíe y facilite los experimentos y prácticas que se pueden realizar en los laboratorios de la universidad implicará una mayor inmersión en la tendencia educativa que se persigue en Europa a través del plan Bolonia.

A nivel económico el bastidor, al tratarse de un trabajo de fin de grado, dado que el laboratorio tenía pensado implementarlo entre su apartamentado de ensayo, ha supuesto un ahorro económico pues el coste es tan sólo el de los materiales que haya que comprar eliminando los costes de mano de obra por montaje, cableado y diseño. Con esto, podemos concluir que es sano económicamente para el departamento y beneficioso académicamente para los alumnos de la universidad el que sean los estudiantes quienes diseñen y construyan la futura apartamentado de los diferentes laboratorios de la universidad.

En última instancia, dado que la tecnología avanza a pasos agigantados, hemos sentado la estructura y las bases de un bastidor que, en un futuro, podría dar pie al desarrollo de nuevos TFGs que sirvan para ampliar las aplicaciones, automatizar ciertos cambios de regulación o modernizar el material utilizado.

7 - Bibliografía

Normativas:

- Guía BT19 de febrero de 2009.
- UNE EN60617-6 de 1997

Prensa:

- <https://prensa.toyota.es/toyota-reducira-el-uso-de-tierras-raras-criticas-un-50-gracias-a-un-nuevo-iman-para-motores-electricos/>
08/07/2018 Toyota usa motores síncronos con imanes de neodimio
- <https://www.reuters.com/article/us-metals-autos-neodymium-analysis/teslas-electric-motor-shift-to-spur-demand-for-rare-earth-neodymium-idUSKCN1GO28I>
08/07/2018 Tesla Motors usa motores síncronos con imanes de neodimio

Consultas técnicas:

- https://es.rs-online.com/web/p/products/0193919/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Semiconductores-_-Semiconductores_Discretos%7CM%3%B3dulos_Transistores_Igbt-_-PRODUCT+GROUP&matchtype=&gclid=CjwKCAjwp7baBRBIEiwAPtjwxP3jilcGfHLQZanrphxwS1AEiUk2zalpTvA8fDwHrNrnH5jrbwU33hoCORoQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds
15/07/2018 Modulo IGBT de 72 A
- <http://www.jp2es.com/5H/2009-148057.html>
18/07/2018 Generador con polos en forma de garra, imagen y componentes



- <http://www.profetolocka.com.ar/2016/03/07/el-alternador-del-automovil/>
18/07/2018 Magnetización del rotor
- <http://www.profetolocka.com.ar/2016/03/07/el-alternador-del-automovil/>
18/07/2018 funcionamiento alternador automovilístico

Consulta pedagógica para conclusiones:

- <https://redie.uabc.mx/redie/article/view/85/151>
26/06/2019 Cognición situada