



Universidad de Santiago de Chile
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Propuesta de Tesis para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en Electricidad

“Elaboración y pruebas pre-operatorias de puentes H”

Profesor Guía:

Matías Díaz

Alumno:

Horacio David Figueroa Varela

Fono alumno:

50474703

Mail alumno:

horacio.figueroa@usach.cl

Tabla de contenido

1. Origen y necesidad del tema.....	1
2. Descripción del problema	3
3. Revisión del estado del arte	4
4. Objetivo general.....	12
5. Objetivos específicos.....	12
6. Desarrollo y alcances.....	13
7. Aporte Personal.....	14
8. Temario Tentativo	15
9. Carta Gantt	17
10. Referencias	18

1. Origen y necesidad del tema

Una de las limitaciones existentes en los motores eléctricos de corriente continua es la imposibilidad de giro en ambos sentidos, debido a la unidireccionalidad en la circulación de la corriente. Para otorgar la capacidad de giro en ambos sentidos (horario y anti horario) es que se emplea un tipo de circuito electrónico denominado “Puente H” que posibilita ejercer un control bidireccional sobre los motores [1]. El fenómeno recientemente descrito es quizás la utilización más primitiva del circuito electrónico mencionado ya que un amplio desarrollo en su utilización permite una diversa funcionalidad en el área de la electrónica de potencia, específicamente en la tecnología de los inversores multinivel.

Las inquietudes actuales existentes de carácter energético, tales como la creciente demanda de energía eléctrica (que para nuestro país se proyecta un aumento en el consumo eléctrico en torno a los 100 mil GWh de demanda total de energía eléctrica hacia el año 2020 [2]), el inminente agotamiento de las fuentes de energía convencionales (no renovables), y las consecuencias del impacto ambiental generado debido a la utilización de plantas generadoras de energía comunes, en conjunto han suscitado un gran interés en la búsqueda de alternativas que representen una solución y evolución tecnológica en cuanto a sustentabilidad, confiabilidad, control y eficiencia en el ámbito de la generación y utilización de la energía, que de manera subsecuente se relaciona con la electrónica de potencia

En el escenario contemporáneo, la electrónica de potencia mediante el desarrollo de los convertidores multinivel ha sabido dar solución a múltiples problemas tales como minimizar la distorsión armónica, compensar reactivos, y controlar el flujo de potencia entre otros.[3]

La función principal de un convertidor multinivel DC-AC (topología de interés en este trabajo) es generar un voltaje alterno a partir de una fuente de voltaje continua y permitir a la vez mejorar la onda de voltaje alterno obtenida, usando diferente niveles de voltaje continuo. Su funcionamiento es tal que, al aumentar el número de niveles, el voltaje de salida, que está formado por escalones de tensión, tiene mayor resolución porque aumenta el número de escalones, acercándose a una

onda sinusoidal con mayor precisión. A mayor cantidad de escalones (o niveles) en la onda de salida, menos distorsión armónica tiene la onda.[4][5]

De acuerdo a su configuración y componentes, cada tipo de convertidor multinivel es clasificado dentro de distintas topologías, las cuales son caracterizadas para cumplir apropiadamente funciones determinadas.

En particular, dentro de las diversas topologías existentes en la gama de dispositivos conversores multinivel, una de las topologías más recientes y de extenso estudio, es una que incorpora puentes h en su configuración estructural, tal es el caso del convertidor matricial modular multinivel.

2. Descripción del problema

Desde una perspectiva práctica, el problema se fundamenta en la necesidad de construir en el laboratorio de electrónica de potencia de la Universidad de Chile un convertor matricial modular multinivel, que de acuerdo a la configuración deseada requiere 9 ramas con un módulo compuesto de 3 puentes h conectados en serie cada una. Por lo tanto es esencial contar con un total de 27 puentes h que deben ser elaborados y testeados. Tal diseño, es ilustrado en la siguiente figura que representa el diagrama esquemático con todos los componentes propios de cada puente h a construir [3]:

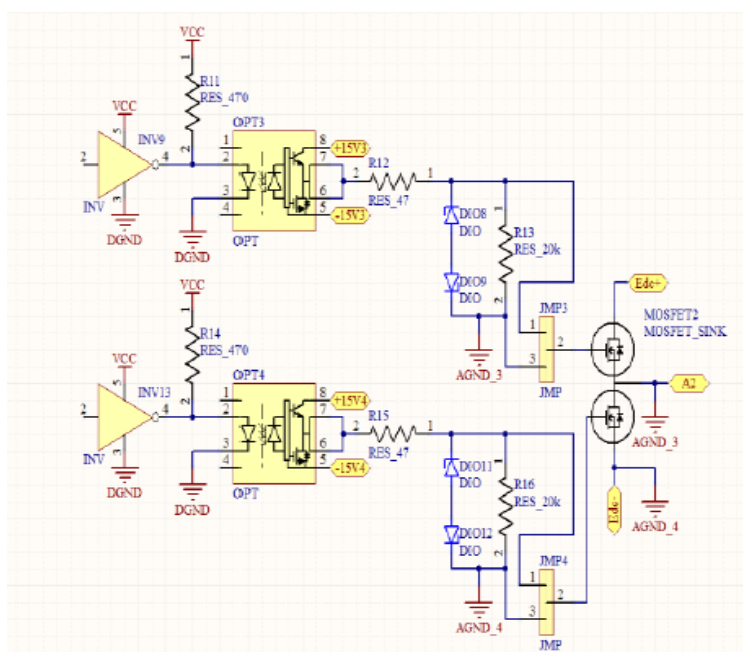


Figura 2.1: Diagrama esquemático puente H.

3. Revisión del estado del arte

La tecnología del convertidor multinivel ha sido estudiada y desarrollada por más de tres décadas y ha encontrado éxito y utilidad en el sector industrial, aunque continúa siendo una tecnología en desarrollo. El convertidor multinivel ha despertado un creciente interés tanto en la industria como en el mundo académico al ser uno de los inversores predilectos en aplicaciones de alta potencia [6].

Básicamente, un convertidor multinivel es utilizado para sintetizar una onda de voltaje monofásica o trifásica de carácter escalonado y lo más similar posible a una senoide. Tal onda de voltaje es obtenida a partir de varias fuentes separadas de corriente continua. Las celdas solares, las baterías y los ultra capacitores son comúnmente utilizados como las fuentes independientes que este tipo de convertidor necesita [4].

En cuanto a las aplicaciones de esta clase de dispositivos, existe un amplio rango que incluye áreas de interés en el campo de la ingeniería eléctrica, tales como accionamiento de motor, UPS (fuente ininterrumpida de potencia), compensación de reactivos, propulsión marina, partidores de turbina a gas, sistemas de conversión de energía eólica (WECS) transmisión de corriente continua en alta tensión (HVDC), filtros activos de potencia, controladores de velocidad en motores eléctricos, además pueden ser utilizados para enlazar sistemas de distinta frecuencia y enlazar tensiones de corriente continua con tensiones de corriente alterna de cualquier frecuencia [7].

Estos inversores incluyen un arreglo de semiconductores y fuentes de voltaje para formar una tensión de salida escalonada. Las conmutaciones de los semiconductores permiten la suma o resta de las distintas fuentes de voltaje continuo, generando una onda de voltaje de amplitud variable. Así también, los semiconductores trabajan con voltajes más reducidos.

Comúnmente, las topologías de convertidores multinivel más conocidas y desarrolladas son el inversor acoplado por condensadores (Flying Capacitor o FC), el inversor con puentes H en cascada (cascade H-Bridge converter o CHB) ambos desarrollados a finales de la década del 60. A su vez un tercer concepto de

convertidor multinivel, conocido como inversor acoplado por diodos fue introducido a finales de los 70. Este último prototipo sentó las bases para lo que hoy se conoce como neutral-point-clamped converter (NPC o convertidor con diodo anclado al neutro) [7].

Para explicar más en detalle las distintas topologías asociadas al convertidor multinivel podemos destacar que [4] [8] [9]:

El inversor acoplado por diodos consiste en una cadena de semiconductores en serie, en paralelo con una cadena de condensadores, también en serie. Los condensadores permiten generar una cadena de fuentes de tensión en serie a partir de una sola fuente continua de alimentación. Existe una unión con diodos entre estas dos cadenas, que conecta semiconductores superiores e inferiores. Una de las configuraciones más utilizadas en esta tipología es la del inversor de tres niveles, representado en la figura 3.1, a partir del cual se obtienen 3 posibles valores a partir de una magnitud de voltaje continuo inicial " V_{dc} ". Dichos valores son $-\frac{1}{2}V_{dc}$, 0 , $\frac{1}{2}V_{dc}$

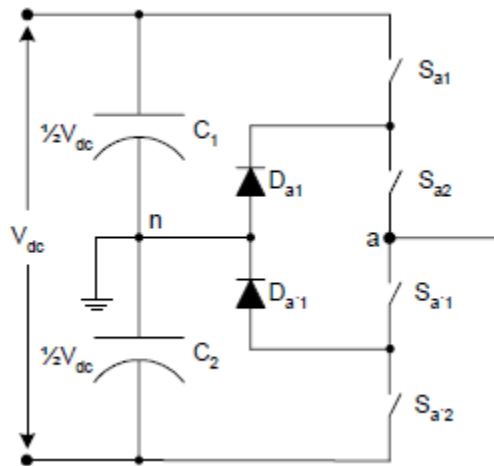


Figura 3.1 Convertidor acoplado por diodo de 3 niveles [4].

Es importante señalar que cuando el semiconductor $S_{a1} = 1$ (conduce), $S_{a'1} = 0$ (bloqueado) y que para S_{a2} y $S_{a'2}$ el proceso es análogo. Además el punto neutro por donde puede retornar la carga está definido como "n".

Resumiendo ventajas y desventajas de esta topología [10]:

Ventajas

- A mayor cantidad de niveles, menor distorsión armónica.
- Todas las ramas comparten el mismo bus DC.
- El flujo de potencia reactiva puede ser controlado.
- Debido a la baja frecuencia de conmutación, posee una alta eficiencia.
- El sistema de control es relativamente simple.

Desventajas

- Cantidad excesiva de diodos: se requieren $(m-1)*(m-2)$ por fase.
- El flujo de potencia Activa es complejo por el desbalance de los condensadores.
- Se requieren diferentes rangos de corriente para cada semiconductor debido a sus diferentes ciclos de operación.

Por su parte el inversor acoplado por capacitor tiene una estructura similar al inversor acoplado por diodos. Al igual que la topología de inversores acoplados por diodos antes descrita, los condensadores en serie actúan como fuentes DC, dividiendo el voltaje común en partes iguales. Sin embargo, esta topología permite mayor flexibilidad en la formación de la onda sinusoidal y en el balance de voltaje en los condensadores. En la figura 3.5 se ilustra un inversor acoplado por capacitor de 3 niveles

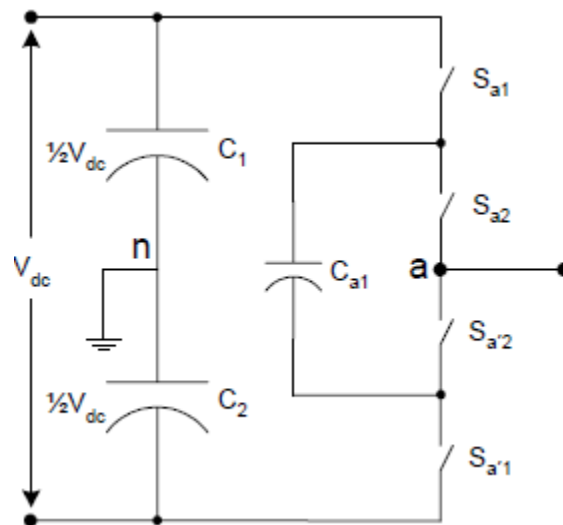


Figura 3.2 convertidor acoplado por capacitor de 3 niveles [4].

Ventajas:

- A mayor número de niveles, los condensadores acumulan energía extra durante largos transitorios de descarga.
- Permite formas flexibles de disparar los semiconductores, para obtener un mejor balance de voltaje en los condensadores.
- A mayor número de niveles, menor es la distorsión armónica.
- Los Flujo de potencia Activa y Reactiva pueden ser controlados.

Desventajas

- Requiere una cantidad excesiva de condensadores, pues se requieren $\frac{1}{2}*(m-1)*(m-2)$ por fase, y como son más grandes y caros que los diodos, resulta menos atractivo que el de acoplamiento por diodo.
- Un complejo sistema de control es necesario para mantener balanceados los voltajes de los condensadores.
- Presentan baja eficiencia para transmisión de flujo Real.

Una característica común de las dos tecnologías es que emulan la misma configuración básica, en la cual el convertidor o inversor es alimentado con voltajes iguales conectados en serie. La topología de acoplamiento por diodos lo logra manteniendo la cadena de condensadores ecualizada, en tanto que la topología de acoplamiento por condensadores lo hace manteniendo cargados los condensadores a niveles de voltaje crecientes, de modo de emular el efecto de fuentes de alimentación en serie de igual voltaje.

Finalmente el inversor con puentes H en cascada soluciona un problema propio de las dos topologías anteriores, que limita el número de niveles a $(n+1)$, en donde n representa el número de fuentes de tensión conectadas en serie. Con este tipo de dispositivo, el número de niveles aumenta a $(2n+1)$. En la figura 3.6 puede observarse un inversor monofásico, compuesto por cuatro puentes “H” conectados en serie, y su respectiva onda de salida de voltaje. Puede observarse que la tensión de salida generada resulta de 9 niveles: cuatro positivos, cuatro negativos y cero.

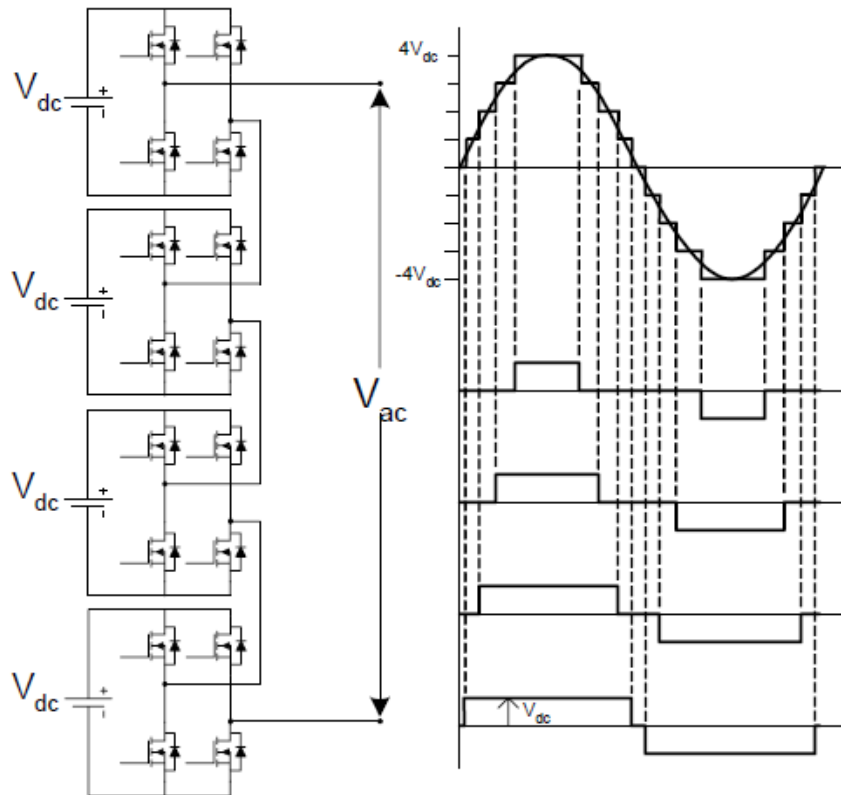


Figura 3.3 Formación de una onda de voltaje en un Inversor Multinivel del tipo puentes “H” en cascada de 9 niveles (4 etapas) [4].

Ventajas

- Dado que cada puente tiene la misma estructura, permite la modularización de cada uno, lo que reduce tiempo y costo para quienes los construyan. Esto es válido para inversores con puentes “H” no escalados en voltaje. De otro modo, cada módulo es distinto.
- Requiere de menos componentes, ya que no se necesitan Diodos ni Condensadores en paralelo con los semiconductores.
- A mayor número de niveles, menor es la distorsión armónica.
- Los Flujos de potencia Activa y Reactiva pueden ser controlados.

Desventajas

- La cantidad de Fuentes DC independientes (si se quiere controlar flujo Activo y Reactivo, esas fuentes deben ser Bidireccionales).

Adicionalmente, nuevas topologías de convertidores multinivel se han desarrollado desde la irrupción de las tres topologías más comunes. Algunas de ellas son variaciones de las topologías clásicas o combinaciones de éstas. Entre los nuevos dispositivos podemos destacar el convertidor modular multinivel (modular multilevel converter o M2C), y la matriz conversora modular multinivel (Matrix modular multilevel converter o M3C).

En primera instancia una configuración similar al MMC comenzó a ser desarrollada en 1995 para controlar motores de media tensión y dispositivos STATCOMS, aunque el término “modular multilevel converter” apareció en el año 2003, Principalmente esta topología ha acaparado gran atención en sistemas relacionados con HVDC [3].

Las configuraciones más usuales de MMC son las siguientes:

- a) Single-Star Bridge-Cells.
- b) Single-Delta Bridge-Cells.
- c) Double-Star Chopper-Cells.
- d) Double-Star Bridge-Cells.

La primera configuración se utiliza como compensador estático (STATCOM) o en sistemas de almacenamiento de energía, la segunda configuración ha sido recomendada como compensador de potencia reactiva. La configuración “Double-Star Chopper-Cells” es usada en el área de la transmisión HVDC y en 2010 Siemens instauró la primera aplicación comercial de esta configuración implementando una línea de transmisión en HVDC de 200 MW con 200 kV entre Pittsburgh y San Francisco en los Estados Unidos. Por último, la configuración “Double-Star Bridge-Cells” puede actuar como un conversor AC/AC si una fuente de corriente alterna es conectada en la entrada de éste.

La topología conocida como “matriz convertora modular multinivel” (M3C) fue propuesta para solucionar el problema de baja eficiencia de conversión a baja tensión y baja potencia, además de los estudios realizados de la utilidad de esta topología en sistemas de transmisión de corriente alterna a baja frecuencia. La configuración de esta particular topología, se ilustra en la figura 3.4 [3] :

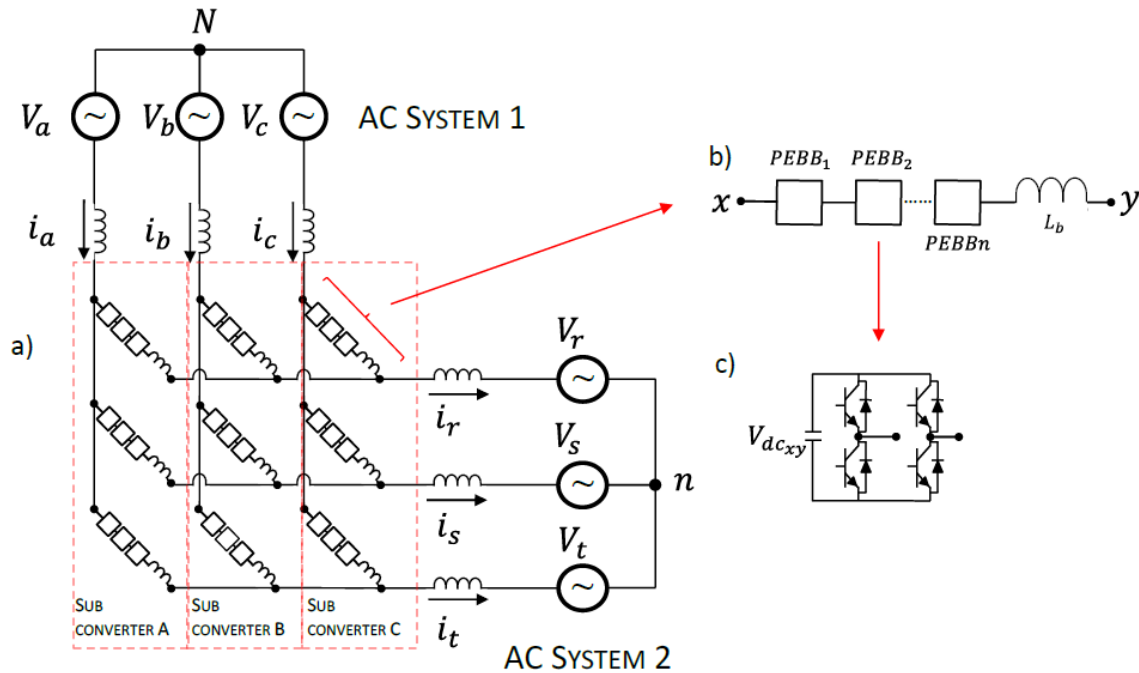


Figura 3.4: Configuración M3C

Según se ilustra en la figura, la configuración de un dispositivo M3C consiste en 9 ramas que interconectan las fases del sistema de entrada (a-b-c) con las fases del sistema de salida (r-s-t) mediante bloques conocidos como “power electronics building blocks (PEBBs) compuestos por puentes H conectados en serie y un inductor. La frecuencia de conmutación y los niveles de voltaje en cada ramificación depende del número de PEEBs, motivo por el cual resulta una baja distorsión armónica y pequeños escalones de voltaje a mayor número de bloques. Actualmente, se está desarrollando el estudio, simulación y construcción de una matriz de este tipo (M3C) para conectar turbinas eólicas de alta potencia con la red eléctrica proporcionando la capacidad de funcionamiento ante bajas de tensión (LVRT) sin importar la velocidad del viento [3].

A pesar de que la tecnología del convertidor multinivel está establecida y probada, actualmente esta sigue presentando desafíos y ofreciendo tantas posibilidades que se continúa investigando y desarrollando ampliamente a fin de mejorar aspectos tales como la eficiencia de energía, confiabilidad, densidad de potencia, el número de semiconductores necesarios para su configuración, costo de estos dispositivos y ampliar el campo de aplicación de esta tecnología [11].

4. Objetivo general.

El presente trabajo tiene por objetivo primordial la construcción de 27 puentes H, que permitan la elaboración de un prototipo experimental de convertidor matricial modular multinivel.

5. Objetivos específicos.

- Montaje de componentes para construir cada puente H.
- Pruebas que garanticen una correcta operación de estos dispositivos.
- Análisis, comparación y registro de resultados obtenidos.
- Desarrollo e implementación de gabinete de control y potencia para el convertidor.

6. Desarrollo y alcances

El desarrollo de este proyecto está constituido por una sucesión de etapas: Inicialmente se realizarán los procesos de diseño y validación de cada módulo, posteriormente se construirá una serie de 9 puentes H para probar una fase del convertidor matricial. Finalizadas las pruebas de los primeros 9 puentes H, se construyen los 18 módulos restantes y se itera el procedimiento de prueba para estos. Finalmente, se realiza un último testeo a los componentes en conjunto.

Por otra parte el alcance del proyecto, como se ha mencionado anteriormente se extiende desde el diseño e implementación de 27 puentes H hasta su disposición en un gabinete de control y potencia, destinado a análisis y estudios posteriores.

7. Aporte Personal

El aporte personal en este trabajo se enmarca en el diseño e implementación de estructuras modulares de un convertidor multinivel tipo M3C. En cuanto a las pruebas de funcionalidad de estos dispositivos, es oportuno destacar que la experiencia adquirida y el conocimiento interiorizado en los distintos laboratorios cursados a lo largo de la carrera, facilitan el uso de implementos necesarios para testear los distintos aspectos de interés de los artefactos en cuestión, consiguiendo así, un proceso experimental y analítico de todos los puentes h que garantice su correcta operación, comportamiento y disponibilidad para ser utilizados pertinentemente en la simulación del convertidor matricial multinivel modular requerido.

Básicamente se diseña, construye y testea cada uno de los puentes H.

8. Temario Tentativo

- **Capítulo 1**
 - Introducción.
 - Antecedentes.
 - Motivaciones del tema.
 - Objetivos y alcances

- **Capítulo 2**
 - Marco teórico
 - Generalidades.
 - Descripción funcionamiento puentes h.
 - Incidencia de puentes h en convertidores multinivel.

- **Capítulo 3**
 - Montaje puentes h.
 - Descripción de diagramas.
 - Descripción componentes soldados.
 - Descripción circuital de componentes.
 - Descripción funcionamiento de circuitos.

- **Capítulo 4**
 - Testeo de dispositivos.
 - Descripción pruebas realizadas.
 - Detalle hardware utilizado.
 - Detalle de parámetros evaluados.
 - Resultados.

- **Capítulo 5**
 - Contraste de resultados.
 - Análisis de datos obtenidos.
 - Proyecciones.
 - Conclusiones.

- **Capítulo 6**
 - Referencias y bibliografía
 - Anexos.

9. Carta Gantt

Tarea	Sept		Oct				Nov				Dic			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Armado de primeros 10 puentes H	■	■												
Polarización y Ajuste de tiempos muertos			■	■										
Pruebas de funcionamiento					■	■								
Armado de últimos puentes H							■	■	■					
Polarización y Ajuste de tiempos muertos								■	■					
Pruebas de funcionamiento									■	■				
Pruebas y observaciones finales										■	■			
Escritura de memoria	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

10. Referencias

- [1] U. de Chile, “Guía de Práctica Teórica Motores y Sensores.” .
- [2] E. N. D. E. Energ, “energía futuro,” pp. 1–38, 2012.
- [3] D. Matias, “For the Advancement to Candidacy for the PhD Degree ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT.”
- [4] F. Eduardo and R. Díaz, “Diseño y construcción de un inversor trifásico multinivel,” 2003.
- [5] J. Rodríguez, S. Member, and J. Lai, “Multilevel Inverters : A Survey of Topologies , Controls , and Applications,” vol. 49, no. 4, pp. 724–738, 2002.
- [6] J. Fernandez, “Electrónica de Potencia e Integración de Energías Renovables No Convencionales.”
- [7] S. Kouro, M. Malinowski, S. Member, K. Gopakumar, J. Pou, L. G. Franquelo, B. Wu, J. Rodriguez, M. A. Pérez, and J. I. Leon, “Recent Advances and Industrial Applications of Multilevel Converters,” vol. 57, no. 8, pp. 2553–2580, 2010.
- [8] P. Engineering and B. Under, “Investigation on Cascade Multilevel Inverter for Medium and High-Power Applications Investigation on Cascade Multilevel Inverter for Medium and High-Power Applications,” no. July, 2012.
- [9] J. Liao, K. Wan, S. Member, and M. Ferdowsi, “Cascaded H-bridge Multilevel Inverters - A Reexamination,” pp. 203–207, 2007.
- [10] T. Cunyngham, “CASCADE MULTILEVEL INVERTERS FOR LARGE HYBRID-ELECTRIC VEHICLE APPLICATIONS WITH VARIANT DC SOURCES,” no. May, 2001.
- [11] R. Erickson, S. Angkititrakul, and K. Almazeedi, “A New Family of Multilevel Matrix Converters for Wind Power Applications : Final Report July 2002 — March 2006 A New Family of Multilevel Matrix Converters for Wind Power Applications : Final Report,” no. December, 2006.