



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BANCO
PARA DIAGNÓSTICO DE MOTORES BLDC
Y COMPRESORES DE REFRIGERACIÓN
DE TECNOLOGÍA INVERTER**

Autor:

Marcos Flores

Tutor: Prof. Wilfredo Mendoza

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BANCO PARA DIAGNÓSTICO DE MOTORES
BLDC Y COMPRESORES DE REFRIGERACIÓN DE TECNOLOGÍA INVERTER**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Marcos Flores

Tutor: Prof. Wilfredo Mendoza

San Diego, enero 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Propuesta de Diseño de un Banco de prueba para diagnóstico de motores BLDC y compresoras de refrigeración de Tecnología inverter

Realizado por el (la) Br. Marcos Flores

C.I. N° 28.573.358 cursante de la carrera de Ing. Electrónica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Wilfredo
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Wilfredo Mandoza
C.I.: 27.744.494

Eduardo Rodríguez
Jurado
Nombre: Eduardo Rodríguez
C.I.: 27.754.646

E.H.
Jurado
Nombre: Eduardo Herrera
C.I.: 26803479

Fecha: 01/07/2023

[Signature]



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Wilfredo Mendoza, portador de la cédula de identidad N° 22.744.494, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Marcos Flores, portador de la cédula de identidad N° 28.573.358, titulado **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BANCO PARA DIAGNOSTICO DE MOTORES BLDC Y COMPRESORES DE REFRIGERACIÓN DE TECNOLOGÍA INVERTER**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 13 días del mes de junio del año dos mil veintitrés.

Ing. Wilfredo Mendoza

C.I: 22.744.494



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI E 002 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadano:
FLORES DÍAZ, MARCOS DAVID
28.573.358
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 05-2023 de fecha 10/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Propuesta de Diseño de un Banco para diagnóstico de motores BLDC y compresores de refrigeración de Tecnología Inverter.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Electrónica.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Wilfredo Elías Mendoza Chirinos, titular de la cédula de identidad V- 22.744.494

Atentamente


Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

DEDICATORIA

Este trabajo representa la culminación de una etapa en nuestra vida, y a su vez el comienzo de otra más importante. Sin duda no hubiésemos podido realizarlo sin la ayuda de tantas personas que aportaron su grano de arena para que pudiéramos seguir adelante con nuestra formación académica y así poder ver hoy este logro realizado. No fue fácil,

pero

con esfuerzo y sacrificio llegamos a la meta.

A Dios, por siempre guiar nuestros pasos.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor académico Wilfredo Mendoza, por su guía a lo largo de la elaboración de este Trabajo de Grado.

A nuestro tutor metodológico, la profesora Alicia de Pizzella por asumir junto nosotros el reto de documentar toda la información de una manera clara y efectiva

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE GENERAL	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE CUADROS.....	xiv
RESUMEN INFORMATIVO.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación de la Investigación.....	6
1.5 Alcance y Limitaciones.....	6
1.5.1 Alcance.....	6
1.5.2 Limitaciones.....	6
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1 Refrigeración.....	8
2.2.2 Ciclo de refrigeración	9
2.2.3 Tonelada de Refrigeración.....	9
2.2.4 BTU.....	9
2.2.5 Radiación.....	10
2.2.6Compresor.....	10

2.2.7 Condensador.....	10
2.2.8 Coeficiente de desempeño (COP).....	10
2.2.9 Aire Acondicionado.....	10
2.2.10 Motor BLDC.....	11
2.2.11 Compresor Inverter.....	12
2.2.12 Aplicaciones del Motor Bldc.....	12
2.2.13 Componentes del Motor.....	12
2.2.14 Inversor Trifásico.....	13
2.2.15 Control de velocidad por PWM.....	14
2.2.16 Técnicas de detección de posiciones para motor BLDC.....	14
2.2.16.1 Detección de posición con sensores.....	15
2.2.16.2 Detección de posición sin sensores.....	16
2.2.17 Métodos de Control.....	18
2.2.18 Recolección de datos y Filtrado.....	20
2.3 Bases Legales.....	20
2.3.1 Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación.....	20
2.3.2 Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo.....	21
2.4 Definición de términos básicos.....	21

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación.....	23
3.2 Diseño de la Investigación.....	23
3.3 Nivel de la Investigación.....	24
3.4 Población y Muestra.....	24
3.4.1 Población.....	24
3.4.2 Muestra.....	25
3.5 Técnicas de Recolección de Datos.....	25
3.5.1 Revisión Documental.....	25
3.5.2 Entrevista estructurada	25

3.5.3 Observación indirecta.....	26
3.6 Instrumentos de Recolección de Datos.....	26
3.6.1 Matriz Foda.....	26
3.6.2 Lista de Cotejo.....	26
3.7 Técnicas de Análisis de Resultados.....	26
3.7.1 Tabulación.....	27
3.7.2 Análisis estadísticos.....	27
3.8 Fases Metodológicas.....	27
3.9 Cuadro de Operacionalización de Variables.....	28

IV RESULTADOS

4.1 Fase I: Diagnostico de las características y parámetros de funcionamiento de los motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología invertir.....	29
4.1.1. Entrevista con los expertos del banco de diagnóstico.....	29
4.1.2. Conclusiones sobre la entrevista con los expertos.....	32
4.1.3. Identificación de los modelos y tipo de compresores	32
4.1.4. Clasificación de los compresores según la construcción de la carcasa	33
4.1.5. Características de los compresores más empleados en los sistemas de refrigeración.....	33
4.1.6 Características del compresor invertir a utilizar para el diseño.....	34
4.1.7 Motor BLDC para compresor asm108d13ufz.....	36
4.1.8 Características y parámetros de funcionamiento de los motores bldc.....	36
4.1.9 Matriz FODA.....	37
4.1.10 Diagrama de flujo para el diseño.....	40

4.2 Fase II Determinación de la instrumentación necesaria para almacenar y adquirir los diversos datos de las variables a trabajar.....	40
4.2.1 Fases de funcionamiento del invertir.....	41
4.2.2 Uso del manómetro en refrigeración.....	42
4.3 Fase III Diseño el circuito electrónico para modular la frecuencia aplicable a los motores bldc.....	49
4.3.1 Planteamiento del modelo de banco de prueba para motores bldc y compresores.....	49
4.3.2 Consideraciones de diseño IGBT para los controladores.....	54
4.3.3 Control del motor BLDC con código Arduino.....	59
4.3.4 Pantalla LCD para la visualización de variables de Corriente y voltaje del motor bldc.....	66
4.4 Fase IV Realización de estudio de factibilidad, así como también el tiempo que tomara la fabricación del banco de diagnóstico.....	69
4.4.1 Factibilidad Técnica.....	69
4.4.2 Factibilidad Ambiental.....	71
4.4.3 Factibilidad de Recursos necesarios para el desarrollo.....	73
4.4.4 Factibilidad de Costos.....	76
REFERENCIAS.....	81
RECOMENDACIONES.....	83
ANEXOS.....	84

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Ciclo de refrigeración.....	9
2	Estator motor BLDC.	13
3	Inversor trifásico.....	14
4	Representación de señal PWM.....	14
5	Diagrama de control para motor BLDC con sensores de efecto Hall ...	15
6	Alternativas para medir el voltaje neutro.....	17
7	Esquema del método de detección Back EMF.....	17
8	Forma de onda Control Trapezoidal.....	18
9	Modulación de varios anchos de pulso.....	19
10	Forma de onda Control Sinusoidal.....	19
11	Modulación sinusoidal de ancho de pulso.....	20
12	Características de los compresores más empleados en los sistemas de refrigeración.....	33
13	Copeland ZP154KCE-TED.....	34
14	Compresor ASM108D13UFZ.....	35
15	Motor BLDC.....	36
16	Matriz FODA.....	37
17	Termopar y Piezoresistivo.....	42
18	Manometro para refrigeración.....	43
19	Temperaturas de Sobrecalentamiento.....	45
20	Ejemplo de medición de temperaturas de Sobrecalentamiento.....	46
21	Medidor de consumo de energía.....	47

22	Elementos usados en sistemas de refrigeración para diagnósticos.....	48
23	Tarjetas de adquisición de datos.....	48
24	Tecnología invertir.....	49
25	Modelo de Banco de prueba de sistemas invertir en refrigeración.....	50
26	Esquema general del sistema eléctrico.....	50
27	Tarjeta de prueba para motores sin tecnología invertir empleada por técnicos.....	51
28	Control de bucle para motor BLDC.....	53
29	IR2104S.....	55
30	Configuración de IR2104S.....	55
31	Configuración de IGBT.....	56
32	Conexionado motor bldc.....	56
33	Ondas de salida de fases.....	57
34	Entrada y salida de los IR2101.....	58
35	Pines activos de Arduino acorde a estados.....	58
36	Declaración de variables del circuito en Arduino IDE.....	59
37	Pwm control de ancho de pulso.....	60
38	Conexión de los igbt para las fases finales al motor.....	61
39	Flujo de corriente en el motor e igbt.....	62
40	Control del motor bldc.....	63
41	Codigo de control motor bldc.....	64
42	Diseño del circuito en proteus.....	65
43	Simulación de las ondas de fases en la salida del motor en Proteus.....	66
44	Pantalla LCD para visualización de variables de corriente y voltaje....	67
45	Circuito completo del diseño en simulador Proteus con el visualizador LCD.....	67
46	Diagrama de flujo del funcionamiento del código en Arduino.....	69

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Operacionalización de variables de entrevista.....	27
2	Operacionalización de variables de entrevista.....	30
TABLA		
1	Lista de Cotejo del desarrollo circuital del banco de prueba de motores BLDC.....	38
2	Los sensores de efecto hall y el puente trifásico para controlar conmutación.....	57
3	Ciclos de comportamiento del motor.....	61
4	Tipos de partes empleadas en el proyecto.....	73
5	Estimación de costos para la realización de la propuesta del banco de prueba motores bldc invertir.....	75
6	Recursos Humanos.....	76
7	Recursos Tecnológicos.....	77
8	Flujos de pago.....	77
9	Costos de operación.....	77
10	Ingresos generados por día.....	78
11	Costos por año.....	79



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BANCO PARA DIAGNÓSTICO DE
MOTORES BLDC Y COMPRESORES DE REFRIGERACIÓN DE
TECNOLOGÍA INVERTER**

Autor: Marcos Flores

Tutor: Ing. Wilfredo Mendoza

Fecha: enero 2023

RESUMEN INFORMATIVO

El presente trabajo de investigación se realizará con la finalidad de desarrollar una propuesta de diseño para un banco de diagnóstico de motores BLDC y compresores de refrigeración de tecnología inverter, debido a que se necesita un instrumento que permita a los trabajadores en el área de refrigeración poder maximizar el uso de motores BLDC con tecnología inverter y garantizar un buen uso de los sistema de refrigeración, por medio de un buen diagnóstico del modelo. Metodológicamente hablando el proyecto se encuentra enmarcado en el ámbito de tipo proyecto factible, sustentado en un diseño de tipo no experimental, con un nivel descriptivo. La población y la muestra estarán enmarcadas por el diseño propuesto para un Banco para diagnóstico de Motores BLDC y compresores de refrigeración con tecnología inverter. La muestra es de tipo censal, de modo que estará representada por la población. Las técnicas de recolección de datos serán; Observación indirecta, entrevista estructurada y revisión documental. Finalmente, la línea de investigación es Ciencias Cognitivas y Aplicadas.

Descriptor: Electrónica 4, Laboratorio de accionamientos eléctricos, Maquina eléctricas.

INTRODUCCIÓN

El mundo tecnológico está en constante evolución moviéndose a sectores industriales y de trabajo que buscan solventar problemas comunes así como también buscan emplear modelos de trabajo que sean más eficientes y dinámicos, estos modelos de trabajos se encuentran ya instalados en países de primer mundo, y aplican sistemas como lo es el lean manufacturing, por tal motivo en sectores de climatización y refrigeración se busca la mejora de estos sistemas y su forma de trabajo. Los aires acondicionados con inverter responden a la evolución en el funcionamiento del aire acondicionado para conseguir la mayor eficiencia energética y un menor consumo. Un sistema con tecnología inverter regula el funcionamiento del compresor de los equipos de aire acondicionado de forma que trabajen a una velocidad más constante, lo que permite ahorros de energía de hasta el 40% con respecto a los equipos que no utilizan este sistema.

Las nuevas exigencias en normativas, obligan a la implementación en la mejora de eficiencia energética en equipos e instalaciones, para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, esto ha obligado a que se desarrollen una serie de avances en los equipos de climatización encaminados a optimizar su rendimiento y al mismo tiempo ser más respetuosos con el medio ambiente. El sistema inverter tiene aplicación tanto en el ámbito doméstico como en el entorno comercial e industrial. En el ámbito comercial e industrial, la bomba de calor inverter se utiliza mediante la instalación de un sistema VRF o VRV (volumen de refrigerante variable) que permite regular el flujo de refrigerante que se envía desde una misma unidad exterior a distintas unidades interiores utilizando la tecnología Inverter de los compresores y las válvulas de expansión electrónicas adaptándose a la demanda de cada unidad interior.

En estas unidades interiores se podrá programar la temperatura de forma independiente, manteniendo incluso unas encendidas y otras apagadas gracias a su sistema de control electrónico, el sistema VRF permite programar la temperatura que deseamos en cada una de las unidades interiores, gracias a su sistema de control electrónico, de esta forma se puede elegir temperaturas independientes para cada estancia en función de las necesidades de cada momento.

Las bondades que tiene el sistema inverter en equipos de climatización, es que en un equipo sin inverter, el compresor funciona a máxima potencia para refrigerar la habitación cuando esta alcanza la temperatura de consigna (la que hemos puesto en el termostato) y se para cuando la temperatura baja a la que hemos programado. Posteriormente, si la temperatura vuelve a aumentar, el compresor se reinicia a velocidad máxima, y así sucesivamente, este sistema alcanza la zona de confort más rápidamente. Sin usar esta tecnología, el local se calienta o refresca en exceso ya que en los equipos sin inverter no se pueden regular, por lo que necesita más tiempo para llegar a su nivel óptimo, pero desciende de nivel rápidamente, en cambio, el inverter mantiene una temperatura agradable todo el tiempo con arranques y apagados suaves, consumiendo además mucho menos.

Para el desarrollo del presente Trabajo de Grado, se estructuró en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez. Dichos capítulos se describen a continuación:

Capítulo I: Referido al problema, su planteamiento y formulación, el cual fue desenvuelto durante todo el curso de la investigación por medio de los objetivos generales y específicos, así como la justificación del estudio y su alcance.

Capítulo II: Se hizo énfasis en los antecedentes, bases teóricas, los fundamentos legales y normativas a considerar, que contribuyen al entendimiento de la investigación.

Capítulo III: Sobre el marco metodológico, se planteó la naturaleza de la investigación, la cual, por sus características, se trata de una investigación de proyecto factible con diseño de tipo no experimental y modalidad descriptiva, de modo que la estrategia metodológica seleccionada sirvió de guía para el desarrollo del Trabajo de Grado. Las técnicas e instrumentos para la recolección de información serán la observación indirecta, la revisión documental y la entrevista estructurada.

Capítulo IV: en este capítulo se estudiaron y analizaron los recursos en correspondencia con las fases metodológicas desarrolladas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad el incremento de hogares inteligente que permitan el confort y a su vez el ahorro energético cada vez es más frecuente, originando esta tendencia la especialización de técnicos y mano de obra calificada con el fin de mantener el correcto funcionamiento de los equipos domésticos que integran un hogar y al mismo tiempo garantizando el ahorro energético que repercute en el presupuesto familiar y al medio ambiente. Es importante destacar que el suministro actual de energía deriva de combustibles fósiles altamente contaminantes para el planeta, y en consecuencia esta tendencia ha planteado nuevos desafíos para los fabricantes de electrodomésticos donde buscan el equilibrio entre el confort y el consumo eléctrico; esto se ha convertido además en el reto de las grandes compañías originándose un nuevo oficio y nueva carrera o área de investigación llamada domótica, esta nueva área a logrado avances significativos en esta ansiada asociación de confort y ahorro energético, además es uno de lo más importante y significativos avances de tecnologías en inverter y motores eléctrico de bajo consumo energético. En un aspecto más técnico la domótica es el conjunto de técnicas orientadas a automatizar una vivienda, que integran la tecnología en los sistemas de seguridad, gestión energética, bienestar o comunicaciones, refrigeración y climatización.

En el mercado venezolano, la llegada de la nueva generación de electrodomésticos con tecnología inverter ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, lo cual lleva a que parte de la población que posee estos equipos desconozcan que han adquirido un electrodoméstico con esta tecnología y a su vez la falta de capacitación de los técnicos puede conllevar a malas prácticas en los mantenimientos de los equipos. Un equipo convencional no inverter, su compresor funciona a velocidad máxima para climatizar la habitación, cuando esta alcanza la

temperatura de consigna (la que hemos puesto en el termostato) el compresor se detiene. Si vuelve a subir la temperatura, el compresor arranca a máxima velocidad y así sucesivamente; repite su ciclo de refrigeración tantas veces como sea posible, además es importante destacar que los equipos convencionales trabajan con gases refrigerantes con cloro fluorado el cual es dañino para la capa de ozono como el r22.

Un compresor de aire acondicionado o de nevera convencional no es más que un dispositivo electromecánico que convierte la energía eléctrica en energía mecánica logrando a través de levas y pistones comprimir un gas refrigerante con características físicas mecánicas que permitan la transferencia de calor de un determinado recinto, pero a un elevado costo energético, cabe destacar que los aires acondicionados y nevera también cuenta con un motor ventilador que permite el desplazamiento del calor de un punto a un punto b ocasionando este por su diseño un consumo adicional que sumado al del compresor se manifiesta en un mayor consumo energético que repercute directamente en el bienestar ambiental.

Los nuevos refrigeradores y aires acondicionados están diseñados con tecnología inverter que permite que el compresor y los ventiladores de los motores modulen su frecuencia de trabajo para optimizar su rendimiento en cuanto a eficiencia y ahorro energético, pero esto también se logra mediante el desarrollo de gases refrigerantes con características físico-mecánicas más eficientes. Estos gases poseen menor densidad, mayor desplazamiento volumétrico y, en consecuencia, una mayor transferencia de calor, lo que permite un mayor ahorro energético y un mejor bienestar ambiental. En la actualidad se busca tener un instrumento que ayude al operador refrigerante maximizar el uso eficiente de los sistemas de refrigeración debido a que los sistemas existentes no son prácticos ni eficientes para estos sistema inverter, por otro lado también se busca reemplazar los motores ventilador por un motor de corriente continua de imán permanente de onda única de fuerza contra electromotriz, lo cual permite tener un funcionamiento similar a un motor de corriente continua con escobillas. El motor BLDC no funciona directamente con una fuente de tensión continua. Si no se cuenta con un módulo IGBT, es ideal para aplicaciones que requieren gran fiabilidad, alta eficiencia y relación potencia-volumen. Un motor BLDC es considerado como un motor de alto rendimiento, capaz de ofrecer grandes cantidades de par motor en un amplio intervalo de velocidad.

La problemática en Venezuela con respecto a los bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter; es que los técnicos no

tienen los recursos necesarios para realizar un diagnóstico completo de los sistemas. Esto se debe a la falta de equipos adecuados para realizar las comprobaciones y parámetros necesarios para un diagnóstico adecuado. Esta situación se complica aún más debido a la falta de conocimiento técnico de los profesionales y a la falta de información acerca de los avances tecnológicos en el campo de los motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter. Esto ha llevado a una situación en la que los técnicos no están equipados con los conocimientos necesarios para realizar un diagnóstico completo y preciso de los sistemas, por tanto a su vez ha afectado la eficiencia de los sistemas y ha aumentado los costos de mantenimiento.

1.2 Formulación del Problema

¿De qué manera se podría mejorar el diagnóstico de los motores BLDC y compresores con tecnología Inverter?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Proponer el diseño de un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter que permita un servicio técnico más eficiente a la hora de un mantenimiento preventivo y correctivo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar las características y parámetros de funcionamiento de los motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter.
- Determinar la instrumentación necesaria para almacenar y adquirir los diversos datos de las variables a trabajar.
- Diseñar el circuito electrónico para modular la frecuencia aplicable a los motores bldc
- Realizar el estudio de factibilidad, así como el tiempo que tomara la fabricación del banco de diagnóstico y por otra parte hacer la estimación de costos y el estudio de factibilidad técnica y operativa

1.4. Justificación de la Investigación

La importancia y justificación de la presente investigación se fundamenta en la propuesta de un diseño para un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter, la cual puede ser realizada utilizando Software aprovechando a que los mismos son de uso libre. Además, se realiza en función a la tecnificación de la mano de obra calificada para el mantenimiento del equipo de

climatización y refrigeración englobado a la domótica. El técnico instalador o de mantenimiento debe tener a su disponibilidad un equipo de diagnóstico encargado de verificar el óptimo funcionamiento de un equipo después de haber sido intervenido por un mantenimiento preventivo o correctivo, dado en que la actualidad una herramienta de diagnóstico con funciones para emular señales de IGBT que permitan arrancar un compresor inverter o un motor BLDC no se encuentran disponible en nuestro país dejando así un vacío tecnológico que resta practicidad al operador refrigerante

Por otra parte desde el punto de vista profesional, se desarrolla el siguiente trabajo de grado porque este genera gran interés en el investigador, debido a la factibilidad para su diseño y propuesta, y por ser un tema de actualidad tecnológica que permite el desarrollo de destrezas investigativas y a su vez genera una proyección al futuro.

Así también esta investigación permitirá cumplir con los requisitos académicos exigidos por la Universidad José Antonio Páez, además de adquirir nuevos conocimientos y poner en práctica todo el aprendizaje adquirido durante la carrera.

1.5 Alcance y Limitaciones

1.5.1 Alcance

El alcance de esta investigación se ve enmarcado únicamente en el desarrollo del diseño para un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter.

1.5.2 Limitaciones

El trabajo de investigación comprende solo la propuesta del diseño de un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter, no se llevaran a cabo mejoras al diseño o alguna implementación física de la misma.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las bases teóricas y trabajos realizados por otros investigadores que sustentan esta investigación, se exponen de una forma clara y sencilla considerando todos los aspectos necesarios para el análisis de las variables que intervienen en la misma. Según Pérez, (2006). Las bases teóricas son "el conjunto actualizado de conceptos, definiciones, nociones, principios que explican las teorías principal del tópico a investigar", (p. 69).

2.1 Antecedentes

En la investigación como antecedente, Padrón, G (2021) en el trabajo de grado titulado: **“Diseño y control para motor eléctrico BLDC de compresor de acondicionador de aire”** para optar por el título de Ingeniero Mecatrónica e Ingeniero Mecánico presentado en la Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia. El objetivo fue el diseño de una placa de circuito impreso para controlar compresores de aire acondicionado, teniendo en cuenta la teoría y funcionamiento del motor BLDC presente en el interior del compresor.

La investigación antes mencionada guarda relación con esta investigación debido a que se fundamenta en el desarrollo de un control de compresores de aire acondicionado con motores de tipo BLDC, por tanto sirve como base para el desarrollo de la propuesta y proporciona gran aporte

La investigación de Wladimir, J (2016) en el trabajo de grado titulado: **“Diseño de un sistema de integración, adquisición, control y supervisión para el sistema de climatización del centro directivo cultural de la ciudad universitaria de caracas”** para optar por el título de Ingeniero Electricista en la opción de Electrónica, presentado en la Universidad Central de Venezuela. Teniendo como objetivo el diseño de un SCADA basado en la versión libres de 50 objetos del IGSS de Schneider, para ello se dividió el mismo en los diferentes subsistemas del sistema de climatización. Previamente se especificó a nivel conceptual el sistema de control creando la directriz que guiaría el desarrollo y posterior ejecución del proyecto. Por tal motivo se ha tomado

como referencia para esta investigación, calificando en el ámbito de antecedente, debido a que se desarrolla un diseño basado en la climatización de un espacio con tecnología SCADA.

Por otra parte, la investigación Aquino, M y Perrotta (2022) en el trabajo de grado titulado: **“Propuesta de un sistema para la supervisión de Temperatura y Nivel en un tanque de almacenamiento de líquidos”**, para optar por el título de Ingeniero Electrónico presentado en la Universidad José Antonio Páez, San Diego, Venezuela. El objetivo de la investigación se basó en el diseño de un sistema capaz de monitorear las variables de temperatura y nivel en tanques de almacenamiento de líquidos, utilizando sensores y acondicionadores de señal apropiados, y digitalizando los datos para mostrarlos en una interfaz gráfica en la nube, mientras almacenaba las mediciones en una base de datos, el cual guarda relación con esta investigación debido a que maneja parámetros de controles de temperatura mediante el diseño de circuitos.

La investigación antes mencionada es considerada un antecedente ya que el objetivo principal es la monitorear la temperatura y nivel de un tanque mediante un diseño, la cual embarca similitud con el trabajo a desarrollar.

Finalmente la investigación de, Beymar, N. (2018) en el trabajo de grado titulado: **“Diseño de un sistema de control para instalaciones de aire acondicionado central HVAC con compresores y ventiladores en la industria Conne Dennin”** para optar por el título de Ingeniero Eléctrico presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua. El objetivo principal de esta tesis es presentar una propuesta del sistema eléctrico del control automático de ventilación, calefacción y aire acondicionado HVCA en la industria Conne Dennin, por tanto guarda relación con la investigación propuesta en este trabajo y se considera un antecedente, además de servir como base la comprensión de sistema de controles de instalaciones de aire acondicionado, el cual es el tema principal de esta investigación.

2.2 Bases teóricas

En cualquier investigación es necesario abordar ciertos conceptos y definiciones para una mayor comprensión y enfoque más completo del tema y así obtener el sustento teórico para la implementación de la investigación.

2.2.1 Refrigeración

Se entiende por refrigeración a aquel proceso mediante el cual se busca bajar o reducir la temperatura del ambiente, de un objeto o de un espacio cerrado a partir del enfriamiento de las partículas. Este proceso de refrigeración es por lo general artificial

aunque sus principios se basan en la refrigeración natural que se da en el medio ambiente. Hay diversos tipos de refrigeración que son utilizados en diferentes situaciones, pero por lo general el más común es aquel que se realiza en el ambiente doméstico a través de aparatos como heladeras, refrigeradores y freezers.

2.2.2 Ciclo de refrigeración

Un ciclo de refrigeración se refiere al proceso termodinámico repetitivo en el cual una sustancia empleada como refrigerante cambia de fases a través de un circuito, y su función es absorber calor de un espacio a acondicionar para liberar calor en otra región. A diferencia de otros ciclos termodinámicos como los de potencia, en los sistemas empleados para refrigeración, el propósito no es la obtención de energía destinada a la venta o consumo, sino el acondicionamiento térmico de un espacio, por ejemplo, una habitación.

Desde el punto de vista teórico, los ciclos de refrigeración se pueden estudiar considerando los componentes que conforman el sistema así como las diversas etapas por las que atraviesa el refrigerante en los distintos estados. En la figura 1 se muestra la clasificación de los sistemas de refrigeración:

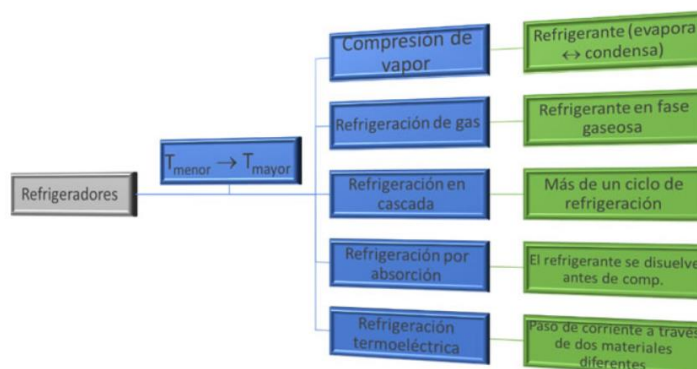


Figura 1. Ciclo de refrigeración

Fuente: <https://www.definicionabc.com/ciencia/ciclo-de-refrigeracion.php>

2.2.3 Tonelada de Refrigeración

Puede definirse como la cantidad de calor latente absorbida por la fusión de una tonelada corta de hielo sólido puro en 24 horas; en los equipos, esto equivaldría a una potencia capaz de extraer 12000 BTU por hora, lo que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivale a 3517 W.

2.2.4 BTU

(British Thermal Unit). Son una unidad inglesa que utilizamos para medir una cantidad de calor. Un BTU se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar

(o disminuir) en un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua.

2.2.5 Radiación

Es la transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas. Por ejemplo, los rayos solares poseen ondas electromagnéticas que calientan los objetos que se interponen en su camino. El pavimento en las carreteras es bombardeado por los rayos solares, provocando un aumento en su temperatura por la absorción del calor de las ondas de los rayos.

2.2.6 Compresor

Es un dispositivo encargado de incrementar la presión del refrigerante una vez que este se ha evaporado. En condiciones ideales, el proceso de compresión es a entropía constante, aunque en la práctica ocurre un incremento de entropía.

2.2.7 Condensador

Está formado por un serpentín a través del cual pasa el refrigerante en estado de vapor, a una presión y temperatura mayor que las condiciones en el evaporador. Durante el paso por el condensador, el refrigerante libera calor al ambiente exterior y se condensa hasta quedar en estado líquido. Idealmente, el proceso de condensación ocurre a presión constante, aunque en la realidad suelen manifestarse caídas de presión.

2.2.8 Coeficiente de desempeño (COP)

Para extraer el calor de un espacio (enfriar) y lograr que el refrigerante cambie de fases en un proceso cíclico, se requiere de dispositivos que operan consumiendo energía (eléctrica o combustible), y esto representa un coste, el cual se debe tratar de minimizar, maximizando la función que se espera de ellos dentro del ciclo.

En los ciclos de potencia, el rendimiento térmico o eléctrico se suele determinar a partir de la eficiencia del ciclo o sus componente, y como tal, este valor siempre debe oscilar entre 0 y 1 (en términos porcentuales, sería entre 0 y 100 %). Sin embargo, en los ciclos de refrigeración, lo más común es analizar su rendimiento utilizando como parámetro de referencia el coeficiente de desempeño, abreviado por sus siglas en inglés como COP (coefficient of performance), cuyo valor casi siempre resulta mayor a la unidad, es siempre positivo, y se determina a partir de la siguientes expresiones 1 y 2.

$$COP = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Enfriamiento}}{\text{Trabajo de entrada}} \quad (1)$$

$$COP = \frac{\text{Calor absorbido en el evaporador (} Q_l \text{)}}{\text{Potencia consumida por el compresor}} \quad (2)$$

2.2.9 Aire Acondicionado

Entendemos por aire acondicionado al sistema de refrigeración del aire que se

utiliza de modo doméstico para refrescar los ambientes cuando las temperaturas del ambiente son muy altas y calurosas. El aire acondicionado, si bien hace referencia al aire en sí, es un aparato que se instala en casas, locales y demás espacios cerrados con el objetivo de proveer de aire fresco que se renueva permanentemente. A pesar de ser un aparato de gran utilidad para el confort diario, sus efectos pueden ser a veces adversos no sólo en la salud de los individuos si no también en el medio ambiente en general debido a su expulsión constante de aire caliente hacia afuera.

2.2.10 Motor BLDC

El motor CC sin escobillas (BLDC), tal como lo indica su nombre, no necesita de las escobillas que tienden al desgaste que se utilizan en los motores tradicionales, ya que los reemplaza con un controlador electrónico que mejora la fiabilidad de la unidad. Además, un motor BLDC puede ser más pequeño y liviano que un motor de escobilla con la misma salida de potencia por lo que es ideal para aplicaciones donde el espacio es reducido. Dado que no hay contacto mecánico o eléctrico entre el estator y el rotor del motor BLDC, se requieren arreglos alternativos para indicar las posiciones relativas de las piezas del componente para facilitar el control del motor. Los motores BLDC utilizan uno de los dos métodos para lograrlo, ya sea mediante sensores Hall o midiendo la fuerza contra electromotriz.

Un motor BLDC se desliga de los componentes sujetos al desgaste que conforman el conmutador mecánico de una unidad convencional (mejora la confiabilidad). Además, los motores BLDC ofrecen una relación de torsión alta/tamaño del motor, respuesta dinámica rápida y funcionamiento prácticamente silencioso. Los motores BLDC están clasificados como dispositivos sincrónicos porque los campos magnéticos del estator y rotor rotan a la misma frecuencia. El estator compromete las láminas de acero, con ranuras axiales para alojar la misma cantidad de bobinados en la periferia interna. El rotor está construido de imanes permanentes con pares de polo N-S de dos a ocho.

El conmutador electrónico del motor BLDC energiza de manera secuencial las bobinas del estator generando un campo eléctrico giratorio que "arrastra" al rotor a su alrededor. Se logra una operación eficiente al garantizar que las bobinas están energizadas en el tiempo exacto.

Los sensores funcionan bien, pero agregan costos, aumentan la complejidad (debido al cableado adicional) y reducen la fiabilidad (debido en parte a los conectores del sensor que están sujetos a la contaminación producida por la suciedad y la

humedad). El control sin sensores soluciona estos problemas.

2.2.11 Compresor Inverter

Un sistema de aire acondicionado inverter se caracteriza por regular la velocidad del compresor para obtener la temperatura deseada, logrando una mayor eficiencia energética, un consumo de energía de hasta un 40 % menor y una reducción del ruido de 5dB en comparación a los compresores de aire acondicionado convencionales. Con esta tecnología se obtiene un mejor confort, se logra alcanzar la temperatura deseada en un menor tiempo y se logra un menor desgaste del equipo al evitar el arranque y arada repetitiva. Los compresores inverter pueden variar su velocidad debido a que en su interior contienen un motor Brushless o motor BLDC (BrushLess DC) conectado a un mecanismo encargado de comprimir el refrigerante.

2.2.12 Aplicaciones del Motor Blde

Los motores BLDC tienen diversas aplicaciones, en campos en donde se desea variar la velocidad y no se requiere un control preciso como en ventiladores, bombas y blowers. También se utilizan en electrodomésticos como aires acondicionados, lavadoras, secadoras, neveras y refrigeradores para lograr un menor consumo de energía eléctrica; en la industria automotriz como alternativa se utiliza en motores de vehículos eléctricos híbridos; en el sector aeroespacial hay una serie de aplicaciones como brazos robóticos, bombas centrifugas y controles de giroscopio; en aplicaciones industriales y de automatización en donde se requiere un buen control de posición combinado con un control de velocidad preciso para controlar maquinas CNC, engranajes mecánicos o bandas transportadoras.

2.2.13 Componentes del Motor

Los motores eléctricos están compuestos por una parte fija llamada estator y una parte móvil o rotor en la cual se encuentra el eje del motor.

- Estator

El estator de un motor BLDC está compuesto por bobinas o electroimanes interconectados para formar devanados, en los motores de tres fases existen tres devanados que se distribuyen en la periferia del estator para formar un número par de polos. Cuando se alimenta con corriente eléctrica las tres fases del motor BLDC, según corresponda se genera un campo electromagnético en las bobinas del estator, (ver figura 2).

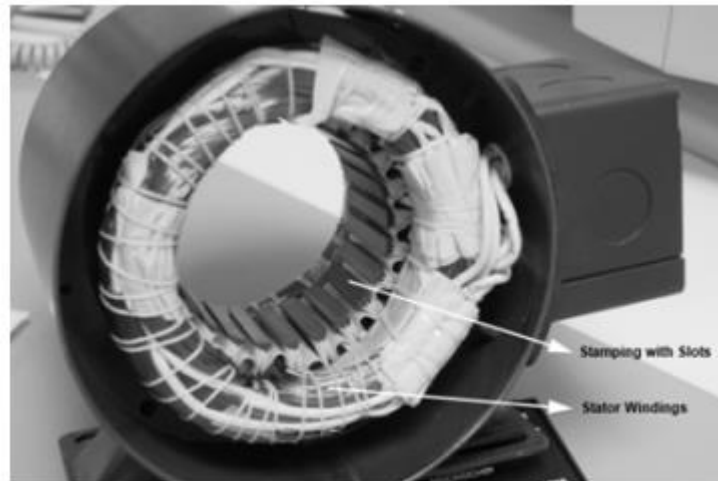


Figura 2. Estator motor BLDC

Fuente: Technology Inc, pages 1–16, 2003.

- **Rotor**

Rotor El rotor contiene pares de imanes permanentes los cuales se van alternando de polaridad, de polo norte (N) a polo sur (S). El material de los imanes se escoge teniendo en cuenta la densidad del campo magnético, la ferrita es el material más usado debido a su bajo costo pero tiene como desventaja un bajo flujo de campo magnético en comparación con otros materiales como las tierras raras como el Neodimio (Nd) y la aleación de Neodimio con Ferrita y Boro (NdFeB)

2.2.14 Inversor Trifásico

El inversor trifásico, “Three Phase Inverter” o puente trifásico consiste en una configuración de seis transistores como se muestra en la figura 4, dos transistores para cada fase del motor. Los transistores funcionan como interruptores que se accionan por medio de una señal de control dada por un microcontrolador, se encargan de alimentar el motor con la corriente y el voltaje necesario para hacerlo funcionar. Por ejemplo la fase U está conectada a los transistores T1 y T2, en donde al activar el transistor T1 se permite el paso de voltaje positivo a la fase U, por otra parte si se activa el transistor T2 la fase U conduce voltaje negativo hacia el motor. La lógica establece que los transistores del lado alto T1, T3, T5 permiten el paso de voltaje positivo y los transistores del lado bajo T2, T4 y T6 permiten el paso de voltaje negativo pero no se pueden activar ambos transistores a la vez en una misma fase porque se produciría un corto circuito, (ver figura 3).

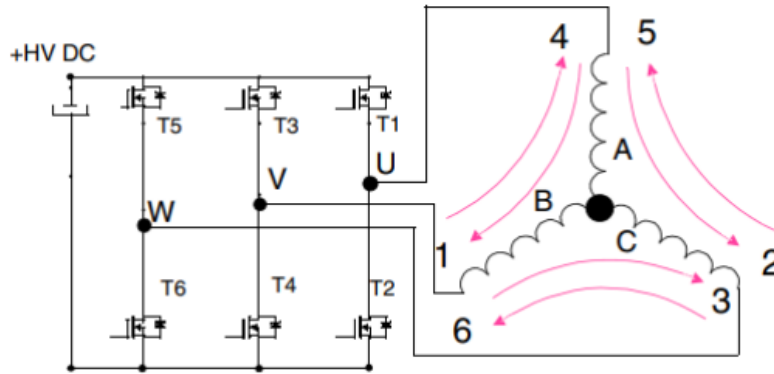


Figura 3. Inversor trifásico

Fuente: Duane Hanselman. Magnet Motor Design, pages 5–10.

2.2.15 Control de velocidad por PWM

En el inversor trifásico se aplican señales PWM para controlar la velocidad del motor BLDC, la modulación por ancho de pulso (PWM) como su nombre lo indica varía el ancho de pulso de una señal de onda cuadrada como se muestra en la figura 4, en donde la frecuencia PWM debe ser diez veces más alta que la frecuencia máxima del motor. La variación del PWM produce una disminución del voltaje de alimentación del motor en comparación con el voltaje suministrado por la fuente de alimentación. El PWM se puede aplicar en corte fuerte (hard chopping) a los seis transistores del inversor trifásico durante la secuencia de conmutación o en corte suave (soft chopping) en los tres transistores del lado alto, mientras se aplica una señal digital de encendido y apagado en los transistores del lado bajo cuando la respectiva fase se encuentra apagada. (Ver figura 4).



Figura 4. Representación de señal PWM

Fuente: Microcontroller Division Applications. pages 1–5, 2007.

2.2.16 Técnicas de detección de posiciones para motor BLDC

Los motores BLDC realizan la conmutación de las fases del motor electrónicamente y no requieren escobillas como los otros motores DC. Por lo tanto, para ejecutar la secuencia de conmutación y mantener el giro, se debe detectar la posición del rotor. Existen dos métodos de detección de posición de Motores BLDC.

2.2.16.1 Detección de posición con sensores

- Los resolvers utilizan dos bobinas conectadas al estator y una bobina conectada al rotor, en donde la bobina que gira induce una Fuerza Contra-Electro Motriz (Back EMF) a las otras dos bobinas y estas dos señales se decodifican con un convertidor Analógico-Digital de un microcontrolador para detectar la posición del motor.
- Los encoders utilizan un disco codificado para producir pulsos de onda cuadrada, la posición se determina contando el número de pulsos desde una posición conocida. La velocidad se establece contando el número de pulsos en un tiempo fijo.
- Los sensores de efecto Hall son los más utilizados para detectar posición en motores BLDC, se encuentran dispuestos a 60 o 120 grados uno del otro en el estator de tal manera, que al pasar los polos magnéticos del rotor cerca dan una señal digital alta o baja (cero o uno) indicando la polaridad Norte o Sur de los imanes del rotor.

En la figura 5, representa el diagrama de control de un motor BLDC con detección de sensores de efecto Hall, en donde el microcontrolador de referencia PIC18FXX31 envía seis señales PWM al puente trifásico compuesto por seis transistores encargados de alimentar las tres fases A, B y C del motor y la posición se lee por medio de tres sensores de efecto Hall A, B y C. En la parte inferior de la figura se muestra la secuencia de conmutación de las tres fases del motor correspondiente y las señales correspondientes producidas por los tres sensores Hall en cada paso de la secuencia.

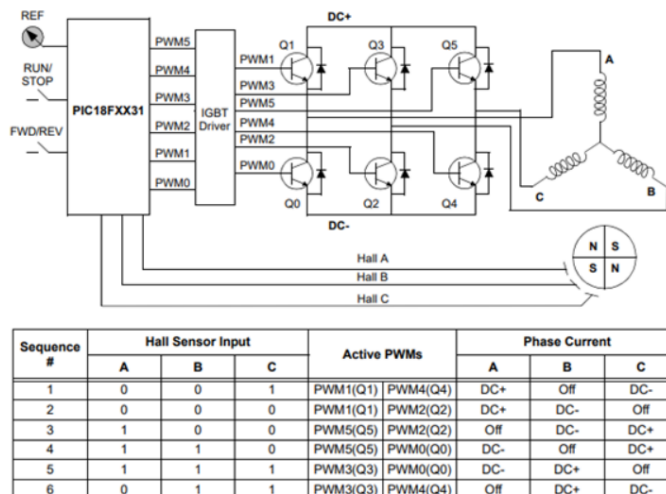


Figura 5. Diagrama de control para motor BLDC con sensores de efecto Hall.

Fuente: Microchip Technology Inc, pages 1–16, 2003.

2.2.16.2 Detección de posición sin sensores

El método de detección sin sensores o “Sensorless Control” permite determinar la posición del rotor midiendo la Fuerza Contra-Electro Motriz (Back EMF) generada en las tres fases del motor BLDC. En donde el Back EMF se define como el voltaje generado por cada una de las bobinas del estator opuesto al voltaje de alimentación del motor BLDC.

Se mide el voltaje en la fase del motor que se encuentra abierta en cada paso de la secuencia de conmutación comparando el Back EMF generado con el voltaje neutro del motor, correspondiente al voltaje medido entre las tres fases conectado en estrella, hasta determinar el punto de cruce por cero del Back EMF en donde la suma de las tres tensiones de las fases es igual a cero. El voltaje neutro del motor para aplicaciones como compresores no se encuentra accesible por ello existen tres métodos para leer el voltaje neutro

- Se interconectan tres resistencias provenientes de las tres fases del motor en forma de estrella, en donde el voltaje medido en la unión de las tres resistencias corresponde al neutro, luego se aplica un respectivo divisor de voltaje para bajar al voltaje de operación del microcontrolador. En la figura 6, se puede observar las tres resistencias R7R8R9 conectadas en estrella y el divisor de voltaje R10R11 conectados a las fases A, B y C del motor.
- Se aplica un divisor de voltaje a la fuente de alimentación de corriente directa del motor, se observa para bajar el voltaje y poder conectarlo al microcontrolador. Internamente se programa el microcontrolador de tal manera que el voltaje neutro corresponde a la mitad del voltaje de la fuente de alimentación de corriente directa.
- Internamente en el microcontrolador se fija un voltaje de referencia correspondiente a la fase neutra.

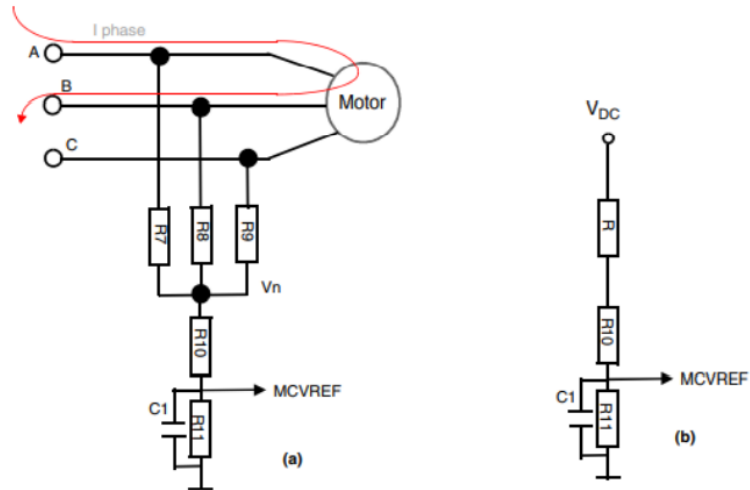


Figura 6. Alternativas para medir el voltaje neutro.

Fuente: STMicroelectronics, pages 1–5, 2007.

Para medir el Back EMF en las fases del motor se utiliza un divisor de voltaje para reducir el voltaje de funcionamiento del motor al voltaje de operación del microcontrolador (por lo general de 5V). En la figura 7 podemos ver el circuito de implementación de lectura de Back EMF del motor y la fase neutra, en donde las resistencias R7, R8 y R9 corresponden a la formación en estrella para medir la fase neutra. Los pares de resistencias R10/R11, R5/R6, R3/R4 y R1/R2 corresponden a los divisores de voltaje aplicados en las tres fases del motor y en la fase neutra. Los capacitores son filtros encargados de quitar ruido en la señal.

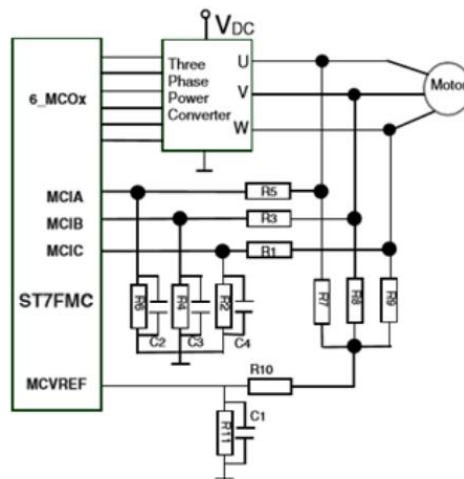


Figura 7. Esquema del método de detección Back EMF.

Fuente: STMicroelectronics, pages 1–5, 2007.

El control sin sensores es utilizado en aplicaciones en donde el motor se encuentra en lugares de difícil acceso, en ambientes polvorientos y en contacto con aceites. No obstante es difícil medir el Back EMF a velocidades bajas por lo que se debe arrancar

el motor en bucle abierto sin detectar el Back EMF y cuando se encuentra a velocidades altas, se activa el control sin sensores.

2.2.17 Métodos de Control

Los métodos de conmutación de motor BLDC determinan la eficiencia, el nivel de ruido, la velocidad máxima, la precisión de la posición y la variación del torque del motor, por lo tanto, se deben seleccionar de acuerdo con la aplicación y especificaciones del motor .

- Control Trapezoidal: El método de conmutación trapezoidal se logra energizando las tres fases del motor en seis pasos, cada 60 grados eléctricos para que en cada paso una fase se encuentre con polaridad positiva, otra con polaridad negativa y la tercera abierta o desconectada. En la figura 8 se observa que el motor produce una forma de onda trapezoidal de 120 grados y admite la detección de posición on sensores de efecto Hall y la detección sin sensores midiendo el Back EMF de la fase del motor. El control tiene como ventajas que puede generar alta velocidad, es de bajo costo y es el método de control más simple. Por otro lado produce ruido audible y picos de corriente que pueden deteriorar el motor y el circuito de control.

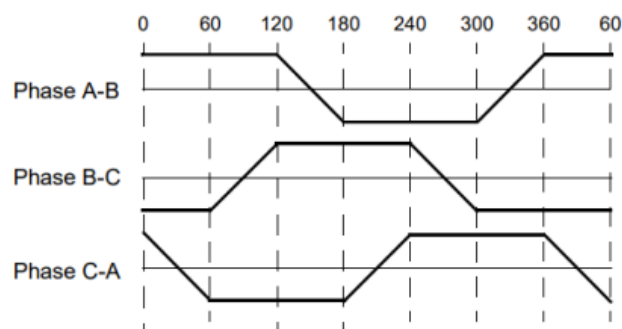


Figura 8. Forma de onda Control Trapezoidal.

Fuente: Technology Inc, pages 1–16, 2003

Se controla la velocidad del motor y el voltaje de salida aplicando modulación por ancho de pulso (PWM), es decir se varía el ciclo de trabajo y ancho de pulso de una señal de onda cuadrada cuando se activa un transistor. Se compara una señal de referencia con una onda portadora triangular como se observa en la figura 9.

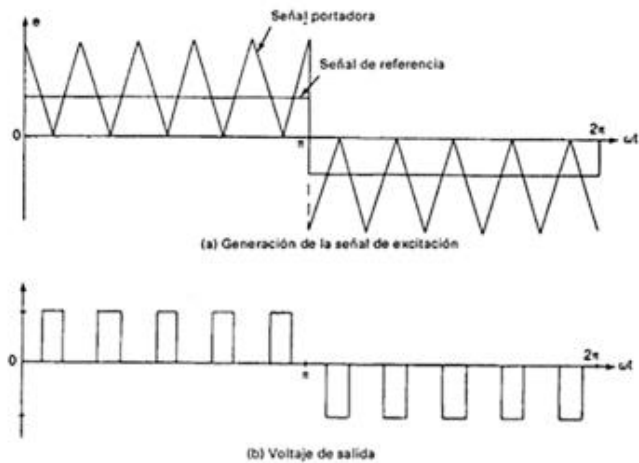


Figura 9. Modulación de varios anchos de pulso.

Fuente: Technology Inc, pages 1–16, 2003

- Control Sinusoidal: Es un método de conmutación que conduce la corriente de las tres fases a la vez y describe una forma de onda de corriente suave y sinusoidalmente de 180 grados eléctricos como se refleja en la figura 10. Los motores con este método generan un torque estable y constante, los motores son más silenciosos y tienen mayor eficiencia energética, Sin embargo tienen mayor pérdidas de conmutación en los transistores.

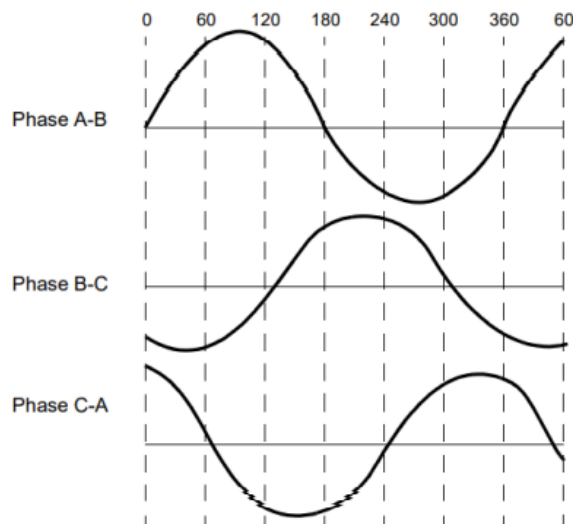


Figura 10. Forma de onda Control Sinusoidal.

Fuente: Technology Inc, pages 1–16, 2003

Para conseguir variar la velocidad se varia el ancho de pulso del PWM en proporción con una onda sinusoidal de referencia, Como podemos ver en la figura 11 se compara una señal sinusoidal de referencia con una onda portadora triangular.

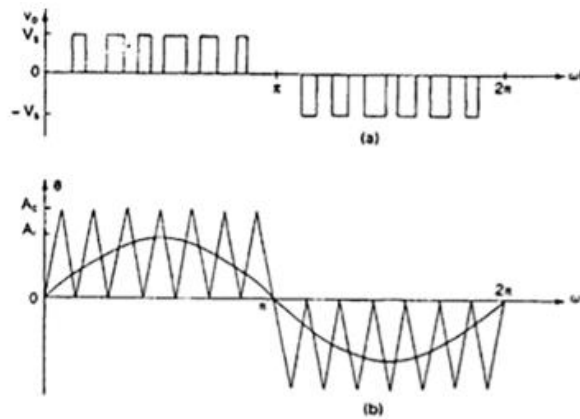


Figura 11. Modulación sinusoidal de ancho de pulso.

Fuente: Technology Inc, pages 1–16, 2003

2.2.18 Recolección de datos y Filtrado

Se recolectan datos e información correspondiente a las variables que intervienen en el proceso, para ello se establece una estrategia de recolección y filtrado permitiendo un análisis crítico de los datos y teniendo en cuenta problemas como datos faltantes, valores atípicos, precisión en la toma de medidas, perturbación las condiciones de trabajo, lectura incorrecta de la instrumentación, entre otros. Los datos recolectados son analizados por operarios, técnicos, expertos y diseñadores para el correcto diseño del sensor.

2.3 Bases Legales

2.3.1 Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación

La Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación, publicada en Gaceta Oficial N° 39575 de fecha 16 de diciembre de 2010, tiene por objeto dirigir la producción científica y tecnológica, y sus aplicaciones, con base en el ejercicio pleno de la soberanía nacional, la democracia participativa y protagónica, la justicia y la igualdad social, el respeto al ambiente y la diversidad cultural, mediante la aplicación de conocimientos populares y académicos.

Dirigir la generación de una ciencia, tecnología, innovación y sus aplicaciones, con base en el ejercicio pleno de la soberanía nacional, la democracia participativa y protagónica, la justicia y la igualdad social, el respeto al ambiente y la diversidad cultural, mediante la aplicación de conocimientos populares y académicos.

A tales fines, el Estado Venezolano formulará, a través de la autoridad nacional con competencia en materia de ciencia, tecnología, innovación y sus aplicaciones, enmarcado en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de la Nación, las

políticas públicas dirigidas a la solución de problemas concretos de la sociedad, por medio de la articulación e integración de los sujetos que realizan actividades de ciencia, tecnología, innovación 26 y sus aplicaciones como condición necesaria para el fortalecimiento del Poder Popular.

2.3.2 Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo

Esta ley orgánica, cuyos objetivos consisten en garantizar a los trabajadores, permanentes y ocasionales, condiciones de seguridad, salud y bienestar en un medio ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio de sus facultades físicas y mentales, objetivos que son de la responsabilidad de los empleadores, subsidiarios o agentes, es aplicable a los trabajos efectuados por cuenta de un empleador en empresas y en general en todos los establecimientos industriales o agropecuarios, comerciales, de servicios, y cualquiera sea la naturaleza de sus actividades, el lugar donde se ejecuten, persigan o no fines de lucro, sean públicas o privadas.

Consta de doce capítulos, que versan, en particular, sobre el Consejo Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (cap. III) creado por la ley, las obligaciones de los empleadores y de los trabajadores (cap. VI), la higiene y seguridad laborales (cap. VII), las enfermedades y accidentes profesionales (cap. VIII) y las sanciones (cap. IX).

Esta ley tiene que ser tomada en cuenta en la realización de la lógica de control, ya que el diseño tiene que ser completamente seguro y sin poner en riesgo la vida de ninguno de los trabajadores.

2.4 Definición de términos básicos

Sistemas Térmicos: Los sistemas térmicos son aquellos en donde está presente una transferencia de calor entre distintos cuerpos, sistemas de este tipo se pueden ver de manera análoga a los sistemas eléctricos debido al hecho de que su análisis se puede ver en términos de resistencia y capacitancia térmica.

Software: Se refiere a un conjunto de actividades informáticas dedicadas al proceso de creación, diseño, despliegue y compatibilidad de software. El software en sí es el conjunto de instrucciones o programas que le dicen a una computadora qué hacer.

Sistema: Conjunto de cosas ordenadas y relacionadas entre sí. Método o grupo de órganos que regulan una función.

Sensores para la retroalimentación: Los sensores de retroalimentación indican la posición y el controlador puede utilizar sus señales directamente o desarrollar la derivada para determinar la velocidad. En los casos más sencillos, la función principal

del sensor de retroalimentación es la comprobación de la seguridad del rendimiento básico del motor o el indicador de bloqueo, más que el control en bucle cerrado.

Resolver: El resolver es un dispositivo electromecánico que convierte el movimiento mecánico en una señal electrónica analógica. Es esencialmente un transformador rotativo con una salida de voltaje de CA que sigue la posición angular del eje.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico se describe como el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que emplean para formular y resolver problemas.

El objetivo general es determinar el tipo de investigación, mientras que el diseño se basa en los procedimientos a realizar. Además, se determinará la unidad de estudio y las técnicas de recolección de datos.

3.1 Tipo de Investigación

Según Chávez (1994) el tipo de investigación se determina con el tipo de acuerdo, con el tipo de problema que desee solucionar, objetivos que pretendan lograr y disponibilidad de recursos. Dicho esto “la investigación al ser una propuesta de proyecto factible, buscara recopilar la mayor información posible para desarrollar un sistema que resuelva las demandas del proceso cumpliendo con los objetivos planteados”, (p: 133).

[La naturaleza del proyecto, hace que la investigación entre en la clasificación de proyecto factible ya que consiste en la elaboración de una propuesta de diseño de un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter, cumpliendo con las necesidades que demanda el proceso.

Por otro lado un proyecto factible según Arias, (2006) expresa que: “se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”, (p. 134).

3.2 Diseño de la Investigación

En esta fase el investigador busca diseñar la manera en que comprobará su idea o hipótesis. Se formulará un plan en el que se espera obtener la información, datos o respuestas que contesten el problema de la investigación. La presente investigación entra en la clasificación de investigación de tipo no experimental, puesto que se trata

de una propuesta que busca dar con el diseño de control de un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter.

En cuanto a la clasificación de los diseños no experimentales, el criterio de Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes los diferencian como “la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (p. 151).

Dicha investigación es del tipo investigación de tipo no experimental puesto que se trata de la propuesta de diseño de un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter, estará fundado en revisión documental de basamentos existentes que especifiquen el funcionamiento y diseño de la producción; así como el diseño requerido para la solución a la problemática planteada.

3.3 Nivel de la Investigación

Valderrama, (2015), “Según su naturaleza o profundidad, el nivel de una investigación se refiere al grado de conocimiento que posee el investigador en relación con el problema, hecho o fenómeno a estudiar. De igual modo cada nivel de investigación emplea estrategias adecuadas para llevar a cabo el desarrollo de la investigación” (p.42).

Esta investigación está enmarcada en el nivel de investigación de tipo descriptivo, debido a que pretende describir el proceso de un banco de diagnóstico de motores de bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter.

Según Tamayo y Tamayo (2006), el tipo de investigación descriptiva, comprende: “la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos; el enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo, cosa funciona en el presente”,(p.34).

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

La población es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación, Según el autor Arias (2006) define población como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”, (p. 81).

Por otro lado, Según Sampieri, (2006), “la población es la totalidad del fenómeno a estudiar, en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual

se estudia y da origen a los datos de la investigación”, (p.114).

Para la presente investigación, la población objeto de estudio se ve representada por los equipos de tecnología inverter con motores BLDC.

3.4.2 Muestra

La muestra es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Hay procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra como fórmulas, lógica etc...

Según Tamayo y Tamayo (2006), define la muestra como: "el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada" (p. 176). Para la investigación la muestra se ve reflejada por los equipos de tecnología inverter con motores BLDC y compresores para refrigeración.

3.5 Técnicas de Recolección de Datos

3.5.1 Revisión Documental

Se procederá a hacer una revisión documental, Según Fideas Arias (2006), “la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, críticas e interpretación de datos secundarios, es decir los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”, (p.110). En esta investigación dicha técnica tiene como objetivo recolectar datos mediante análisis de fuentes secundarias del fenómeno estudiado, como una toma de contacto para la comprensión del mismo.

3.5.2 Entrevista estructurada

Las entrevistas estructuradas se definen como una herramienta de investigación que son extremadamente rígidas en sus operaciones y permiten muy poco o ningún margen para incitar a los participantes a obtener y analizar resultados. Por lo tanto, también se le conoce como una entrevista estandarizada y tiene un enfoque cuantitativa.

Según Carlos Sabino (2002), las entrevistas se dividen en dos tipos. Entrevistas estructuradas y no estructuradas.

Entrevista estructurada, llamada también formal, “Se caracteriza por estar rígidamente estandarizada, se plantean idénticas preguntas y en el mismo orden a cada uno de los participantes, quienes deben escoger la respuesta entre dos, tres o más alternativas que se les ofrecen”. (p.75).

3.5.3 Observación indirecta

La observación indirecta es el proceso en el cual el investigador recolecta datos indirectamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado, Palella, (2010), la define como:

"... cuando el investigador entra en conocimiento con el hecho o fenómeno a través de las observaciones realizadas anteriormente por otra persona" (p.129).

3.6 Instrumentos de Recolección de Datos

Una técnica o instrumento de recolección de datos consiste en una herramienta de la cual se vale un investigador para obtener información que le permita desarrollar su proyecto investigativo. Su principal función es la extraer o construir datos de primera mano de la población o los fenómenos que se desean conocer.

Según, Arias (2006), los instrumentos son cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar la información. Entre los cuales se pueden mencionar: los cuestionarios, entrevistas y otros", (p.45).

3.6.1 Matriz Foda

La matriz de análisis dafo o foda, es una conocida herramienta estratégica de análisis de la situación de la empresa. El principal objetivo de aplicar la matriz dafo en una organización, es ofrecer un claro diagnóstico para poder tomar las decisiones estratégicas oportunas y mejorar en el futuro.

3.6.2 Lista de Cotejo

Permiten orientar la observación y obtener un registro claro y ordenado de todo cuanto acontece. Dicha lista de cotejo será realizada de la información obtenida por medio de la observación indirecta.

3.7 Técnicas de Análisis de Resultados

El análisis de resultados es la parte final y conclusiva de una investigación; en él vamos a procesar toda la información que ha ido apareciendo en nuestro estudio, a intentar presentarla de manera ordenada y comprensible y a intentar llegar a las conclusiones que estos datos originan, según Arias, F. (2012), "Describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan" (p. 111).

En virtud de lo anteriormente expuesto, de las variables trabajadas y los instrumentos empleados, con base en el enfoque cualitativo del presente proyecto de investigación, se aplicaron las siguientes técnicas de análisis:

3.7.1 Tabulación

La tabulación de datos es, en estadística, el conjunto de operaciones que permiten presentarlos agrupados y, a su vez, en forma de gráficos o tablas. Por tanto, es un proceso mediante el que agrupamos los datos y los mostramos mediante gráficos o tablas para entenderlos mejor. Para Sabino, C. (1992) la tabulación “Significa hacer tablas, listados de datos que los muestren agrupados y contabilizados. Para ello es preciso contar cada una de las respuestas que aparecen, distribuyéndolas de acuerdo a las categorías o códigos previamente definidos” (p.141).

3.7.2 Análisis Estadísticos

El análisis estadístico es la interpretación de los datos que se pueden obtener a partir de una investigación. Por su parte, este tipo de análisis le permite al investigador la posibilidad de diseñar modelos estadísticos, estudios de investigación e interpretación de grandes volúmenes de datos. Para Arias, (2006), define “el tratamiento estadístico como la asignación de un código o un número convencional a cada uno de los valores asumidos a una variable” (p.84).

3.8 Fases Metodológicas

Fase I: Diagnóstico de las características y parámetros de funcionamiento de los motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter.

En esta fase se investigara todo lo referente a los parámetros de funcionamiento de los motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter, es decir, como funcionan y así como cada uno de sus componentes que integran el ciclo de refrigeración.

Fase II Determinación de la instrumentación necesaria para almacenar y adquirir los diversos datos de las variables a trabajar.

Partiendo de la fase anterior, en esta fase se debe seleccionar la instrumentación necesaria adecuada para cada etapa del proceso de diseño y simulación, es decir, los diferentes circuitos y componentes electrónicos y demás equipos de instrumentación necesarios para diagnosticar el correcto funcionamiento de los compresores y motores bldc de tecnología inverte.

Fase III Diseño el circuito electrónico para modular la frecuencia aplicable a los motores bldc.

Una vez seleccionada la instrumentación para diagnosticar el correcto funcionamiento de los compresores y motores bldc de tecnología inverter, se debe realizar el diseño de las diferentes etapas necesarias para modular la frecuencia de

trabajo de los motores y compresores de tecnología inverter así como a su vez las etapas de Transformación, rectificación, filtrado y regulación de la fuente de alimentación.

Fase IV Realización del estudio de factibilidad, así como también el tiempo que tomara la fabricación del banco de diagnóstico.

Una vez finalizado el diseño, se procede a realizar la factibilidad del proyecto para saber si el mismo es factible o no en los diferentes ámbitos, atreves de estimación de costos y el estudio de factibilidad técnica y operativa.

3.9 Cuadro de Operacionalización de Variables

OBJETIVOS ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEM S	FUENTE DE INFORMACIÓN
Diagnosticar las características y parámetros de funcionamiento de los motores BLCD y compresores de refrigeración de tecnología Inverter	Caracterizar los parámetros de motores bldc y compresores con inverter.	Parámetros de motores bldc con inverter	Parámetros en sistemas de refrigeración con motores bldc con inverter	1	Fuente: Entrevista
			Aplicación electrónica con motores bldc inverter	2	
	Funcionamiento de la de motores bldc en áreas de refrigeración.	Medios y procedimientos	Instrumentos para sistema de refrigeración	3	
	Instrumentación para procesos de refrigeración	Instrumentación y aprovechamientos de recursos	Esquemas de diseño	4	
		Formulación del circuito	Uso correcto de los bancos de diagnostico	5	
		Oportunidad de resultado de factibilidad	Factibilidad	6	

Fuente: Flores (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I: Diagnóstico de las características y parámetros de funcionamiento de los motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter.

Este apartado requiere de una investigación ardua y enfocada. Con el fin de hacer un estudio sobre las necesidades de los sistemas de refrigeración se ha decidido hacer una entrevista abierta con Julio Flores, Técnico en refrigeración, la cual se muestra a continuación:

4.1.1 Entrevista con los expertos del banco de diagnóstico.

- **¿Qué consideraciones se deben tener en cuenta al elegir un banco de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?**

“Elegir un banco de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter es una tarea que complicada por los requerimientos que exige, requiere de un análisis detallado de las necesidades sobre lo que se plantea realizar y ser específicos con cada aplicación. Es fundamental tener en cuenta factores como la precisión de las mediciones, la capacidad de análisis de datos, la facilidad de uso y la calidad del soporte técnico”

- **¿Qué herramientas y equipos se necesitan para realizar pruebas con un banco de diagnóstico?**

“Realizar pruebas con un banco de diagnóstico requiere de herramientas y equipos especializados que permiten llevar a cabo una evaluación precisa y detallada de los distintos sistemas y componentes planteados en el proyecto mencionado. Entre estas herramientas recomiendo los osciloscopios, los multímetros, los analizadores de gases de escape y los scanner de diagnóstico, entre otros. Asimismo, es fundamental contar con un espacio adecuado y con personal capacitado para realizar las pruebas de forma efectiva y segura.”

- **Basado en la experiencia de campo, ¿Cómo se pueden mejorar los bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?**

“Los bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter son herramientas esenciales para garantizar el correcto funcionamiento

de estos equipos. De esta forma por la experiencia que tengo en esta área puedo decir que aún hay mucho espacio para mejorar su eficiencia y precisión. Es importante que los fabricantes continúen invirtiendo en la investigación y el desarrollo de tecnologías más avanzadas para estos bancos de diagnóstico, que permitan una mayor capacidad de análisis y una mejor interpretación de los datos obtenidos. Además, es fundamental que los técnicos y especialistas en el campo de la refrigeración y la climatización reciban una formación adecuada en el uso de estos equipos, para poder aprovechar al máximo su potencial y asegurar una mejor calidad en el servicio ofrecido a los clientes.”

¿Qué características debe tener un buen banco de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?

“Un buen banco de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter debe tener una serie de características importantes, como la capacidad de medir y controlar la velocidad, el par, la tensión y la corriente de los motores, así como la capacidad de detectar fallos y errores en el sistema. También debe contar con una interfaz intuitiva y fácil de usar, y ser capaz de generar informes detallados para ayudar a los técnicos a identificar y solucionar problemas de manera eficiente. Es crucial que el banco de diagnóstico esté diseñado para trabajar con una amplia variedad de motores y compresores, y que sea capaz de adaptarse a los diferentes requisitos y especificaciones de cada modelo.”

¿Qué consejos puede ofrecer a los usuarios sobre el uso de circuitos como herramientas para bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?

“El uso de circuitos como herramientas para bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter puede ser muy beneficioso para los usuarios. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunos consejos para su correcta utilización, como la comprensión de los parámetros de entrada y salida, la realización de pruebas de estrés y la utilización de componentes de alta calidad. Con estos consejos, los usuarios pueden maximizar el rendimiento y la durabilidad de sus sistemas de diagnóstico y asegurar un funcionamiento óptimo de sus motores y compresores.”

¿Qué tipo de información pueden proporcionar los bancos de diagnóstico?

“Los bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de

refrigeración con inverter son herramientas esenciales para el mantenimiento y reparación de estos equipos. Proporcionan información detallada sobre el rendimiento del motor y del compresor, lo que permite a los técnicos identificar y solucionar problemas con mayor eficiencia. Además, la información recopilada por estos bancos de diagnóstico puede ser utilizada para la mejora continua del diseño y la fabricación de estos equipos, lo que lleva a una mayor eficiencia energética y una mayor durabilidad”

4.1.2 Conclusiones sobre la entrevista con los expertos.

Después de haber aplicado la entrevista con el **Técnico en refrigeración Julio Flores**, el investigador llegó a las conclusiones de que los lineamientos del diseño de un nuevo banco de diagnóstico para motores BLDC de tecnología inverter en sistemas de refrigeración.

- Se deben considerar varios factores, como la precisión de las mediciones, la compatibilidad con diferentes marcas y modelos, la capacidad de diagnóstico y la facilidad de uso.
- Es importante tener en cuenta la formación y capacitación del personal encargado de realizar las pruebas, ya que esto garantizará una mayor eficacia en todo el proceso.
- La implementación de tecnologías avanzadas en los bancos de diagnóstico, como el uso de software especializado y la integración de herramientas de medición y análisis, puede ser una gran ayuda para mejorar la eficiencia y la precisión de los diagnósticos.
- Es importante medir y controlar la velocidad, el par, la tensión y la corriente de los motores, así como la capacidad de detectar fallos y errores en el sistema.
- La información recopilada por estos bancos de diagnóstico puede ser utilizada para la mejora continua del diseño y la fabricación de estos equipos.

4.1.3 Identificación de los modelos y tipo de compresores

- Compresores de desplazamiento positivo

Los dos tipos principales de compresores de desplazamiento positivo son los alternativos y los rotativos. En estos compresores, el vapor refrigerante se comprime en un espacio cerrado modificando su volumen específico de forma

mecánica. El proceso de compresión tiene lugar en una cámara de trabajo cerrada que disminuye durante el ciclo. Los compresores de este grupo pueden utilizar pistones, espirales, tornillos y émbolos rotatorios para transportar un volumen determinado de gas en cada compresión. Una de sus ventajas es que comprimen bien tanto los gases ligeros como los pesados.

- **Compresores dinámicos**

El principio de funcionamiento de los compresores dinámicos consiste en aumentar la energía cinética del vapor refrigerante en el rotor, que luego se transforma para aumentar su presión. El aumento de la presión del gas se produce de formas continuas gracias a la interacción de los elementos móviles (rodete) y los estacionarios (paletas) debidamente formadas. La clasificación de los compresores dinámicos se basa en las formas del rotor y las distintas direcciones del flujo. Durante el ciclo del compresor, el refrigerante convierte su energía cinética en energía potencial. El vapor refrigerante se acelera en los canales interpaletas del rotor, lo que provoca un aumento de la energía cinética, que luego se convierte en un aumento de la energía de presión en el difusor. Estos tipos de compresores se caracterizan por una baja compresión con grandes caudales de refrigerante comprimido. Se distingue entre los tipos de una o varias paletas.

4.1.4 Clasificación de los compresores según la construcción de la carcasa

Para evitar pérdidas de refrigerante durante el funcionamiento a largo plazo, los compresores deben estar equipados con juntas muy eficaces, o incluso no tener ninguna junta ni abertura. Para describir cómo está encerrado el compresor y cómo está situado el accionamiento del motor en relación con el gas o vapor comprimido, podemos distinguir tres tipos de compresores como se observa en la figura 12:



Figura 12. Tipos de compresores.

Fuente: Areacademy.

4.1.5 Características de los compresores más empleados en los sistemas de refrigeración

El compresor recibe energía mediante el movimiento de un motor eléctrico y la transforma en energía de presión, comprimiendo el aire que aspira y almacenándolo en un calderín. También existen compresores con transmisión por correa que permiten mayor potencia y hacer frente a trabajos más duros. Por otro lado es importante conocer a fondo las características de los mismos, para la escogencia correcta ante cualquier proyecto.

A continuación podemos observar en la figura 13, un modelo de compresor con su ficha técnica.

- Compresor Copeland ZP154KCE-TED



Mecánico

Número de Cilindros:	0	Displ(in ³ /Rev):	8,72
Medida de Calibre(in):	0,00	Displ(ft ³ /hr):	1059,85
Recorrida(in):	0,00		
Largo Total (in):	12,93	Mounting Length (in):	7,50
Ancho Total (in):	11,73	Mounting Width (in):	7,50
Altura Total (in):	22,21	Mounting Height (in):	23,02 *
Medida de Succión (in):		1 3/8 Stub	
Medida de Descarga (in):		7/8 Stub	
Recarga de Aceite (oz):		110	
Carga Inicial de Aceite (oz):		114	
Peso Neto (lbs):		143	
Volumen Libre Interno (in ³):			
Horse Power:			
Altura total del compresor sobre patas de montaje Copeland originales.			

Electrical

LRA-High*:	150.0	MCC (Amps):	36.0	UL File No.:	SA-2337
LRA-Half Winding:		RPM:	3500	UL File Date:	27-sep-1996
LRA Low*:		Max Operating Current:	27.0		
RLA(=MCC/1.4;use for contactor selection):		25.7			
RLA(=MCC/1.56;use for breaker & wire size selection):		23.1			
*Baja y Alta, se refieren respectivamente, a los limites inferior y superior del rango de voltaje de trabajo para el cual el motor está aprobado.					

Figura 13. Copeland ZP154KCE-TED.

Fuente: Manual Husmmann.

4.1.6 Características del compresor inverter a utilizar para el diseño.

Por medio de la revisión documental se llega a la conclusión de que un compresor tradicional con "escobillas", el estator cumple perfectamente para las características del diseño, ya estos modelos de compresores varían según el fabricante y uso que demande el sistema refrigeración. Esta tecnología aplicada a los sistemas tradicionales de climatización busca mejoras elementos por medio del mantenimiento del técnico, a que no disminuya su rendimiento, desprenden mucho calor y ruido durante su funcionamiento, esto requiere de mucho mantenimiento y puede producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

El diagnóstico de las características y parámetros de funcionamiento de los motores BLDC y los compresores de refrigeración de tecnología inverter se basa en la observación de su rendimiento en diferentes condiciones de carga, la comparación de los valores obtenidos con los valores de referencia del fabricante y la evaluación del cumplimiento de las especificaciones del fabricante. Por otro lado se considera óptimo un compresor de tecnología DC inverter de referencia ASM108D13UFZ visualizado en la figura 14 de capacidad máxima de refrigeración de 10918BTU/h o 3200W, con un consumo de potencia máximo de 835W, a un voltaje de 220V conectado a la red de corriente alterna (AC) de consumo doméstico, diseñado para funcionar como lo recomienda el fabricante a 180V corriente directa (DC) a 120Hz de frecuencia.



Figura 14. Compresor ASM108D13UFZ.

Fuente: Zelsio.

4.1.7. Motor BLDC para compresor ASM108D13UFZ

Un motor brushless es un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas (también conocido como motor de conmutación electrónica (EC) o motor de corriente continua síncrono) es un motor síncrono alimentado por una fuente de alimentación de corriente continua. Los motores brushless (BLDC) requieren de una electrónica de control para conmutar las corrientes a los bobinados del motor, creando campos magnéticos que ajustan eficazmente la fase y la amplitud de los pulsos de corriente continua.

- Ventajas de los motores brushless

El uso de una electrónica de control permite un control muy preciso de la velocidad y el par del motor y es una alternativa sin mantenimiento al sistema de conmutador mecánico utilizado en muchos otros tipos de motores eléctricos.

Los motores de corriente continua sin escobillas, como su nombre indica, no tienen escobillas y, por tanto, no necesitan mantenimiento. Proporcionan un alto par de arranque, una buena regulación de la velocidad y ofrecen una excelente eficiencia. También ofrecen una excelente densidad de potencia y un funcionamiento silencioso, ver figura 15.



PBL70 Range W: 70 x H: 70mm Código de producto: PBL70

Speed (RPM)	Power (Watts)	Voltage (V)	Torque continuous (Nm)	Torque Intermittent (Nm)
4500	363-377	48	0.77-0.88	1.3-1.5

Figura 15. Motor BLDC.

Fuente: Parvalux.

4.1.8 Características y parámetros de funcionamiento de los motores BLDC

Para diagnosticar las características y parámetros de funcionamiento de los motores BLDC y los compresores de refrigeración de tecnología inverter, es necesario realizar las siguientes acciones:

- **Verificar la eficiencia energética:** Para verificar la eficiencia energética, se debe medir el consumo de energía del motor o compresor en relación a su capacidad de producción de trabajo. Se pueden comparar los valores obtenidos con los valores de eficiencia energética de referencia para determinar si el motor o compresor funciona de manera eficiente.
- **Evaluar el control de velocidad y par:** Para evaluar el control de velocidad y par, se deben medir las variaciones de velocidad y torque del motor o compresor en diferentes condiciones de carga.
- **Analizar el arranque y detención suave:** Se pueden observar las características de arranque y detención suave del motor o compresor para determinar si hay algún impacto en el sistema y si se están cumpliendo las especificaciones del fabricante.
- **Monitorear el ruido:** Se debe monitorear el nivel de ruido producido por el motor o compresor en diferentes condiciones de carga para determinar si se están cumpliendo las especificaciones del fabricante y si se requiere algún ajuste.
- **Evaluar la adaptabilidad a la carga térmica:** Para evaluar la adaptabilidad a la carga térmica, se pueden realizar pruebas de rendimiento en diferentes condiciones de carga térmica para medir la capacidad de los compresores inverter para ajustar su velocidad y adaptarse a las condiciones del ambiente.

4.1.9 Matriz FODA



Figura 16: Matriz FODA.

Fuente: Marcos Flores (2023).

Tabla 1. Lista de cotejo del desarrollo circuital del banco de prueba de motores BLDC.

Lista de Cotejo	
Nombre del Encargado de Recolección de Datos: Marcos Flores	
Fecha: (15/06/2023)	

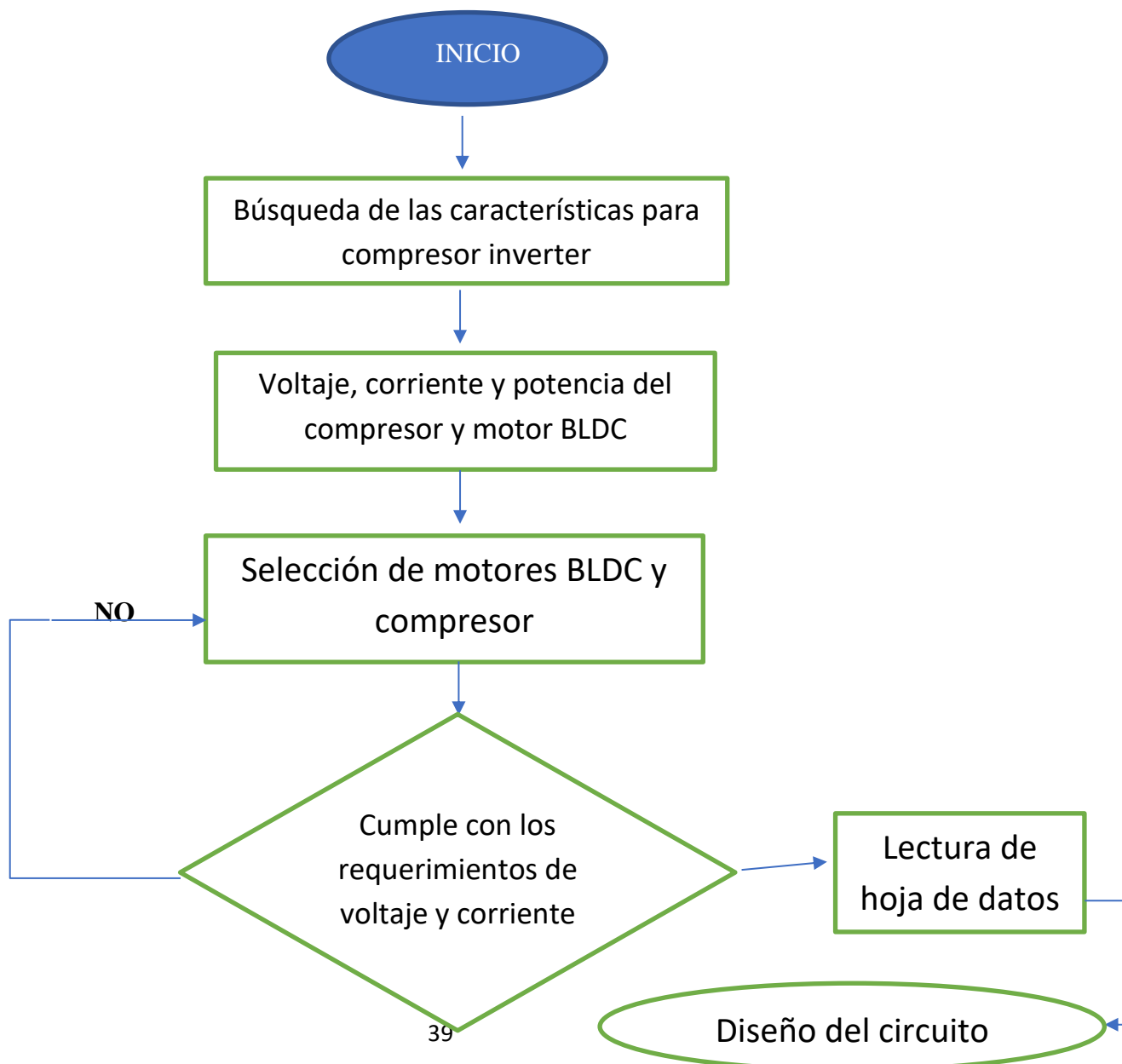
Criterio	Cumple	No Cumple
Criterios importantes en el circuito probador de motores BLDC inverter.		

<p>Se identificaron los diferentes elementos involucrados en el proceso de sistemas inverter de refrigeración para ver si se adaptan en un marco de implementación futura.</p>	<p>X</p>	
<p>Se realizó el estudio de cada parte fundamental del proceso de funcionamiento de motores bldc y sus características.</p>	<p>X</p>	
<p>Se identificaron los componentes circuitales para el desarrollo del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modulación por ancho de pulso pwm. • Inversor de tensión para entrada de los conmutadores IGBT • Parametros de regulación de motores bldc. • Desfase entre las salidas de las fases hacia los motores bldc o compresores. 		

• Medición de tensión y corriente en las salidas de los motores Bldc.		
IGBT de baja potencia		X
Fuente principal de alimentación de 110V/220v	X	
Componentes no descritos en el diseño.		X

Fuente: Marcos Flores (2023).

4.1.10 Diagrama de flujo para el diseño



4.2 Fase II Determinación de la instrumentación necesaria para almacenar y adquirir los diversos datos de las variables a trabajar.

La instrumentación necesaria para diagnosticar el correcto funcionamiento de los compresores y motores BLDC de tecnología invertida incluye multímetros digitales, osciloscopios, analizadores de espectro, tacómetros, termómetros, manómetros y cámaras termográficas. La selección específica de los instrumentos dependerá de las características y requerimientos de cada etapa del proceso de diseño y simulación.

4.2.1 Fases de funcionamiento del inverter

Durante el funcionamiento de cualquier sistema de aire acondicionado con tecnología inverter, se pueden distinguir distintas fases o etapas en su funcionamiento

- Dispositivo electrónico inverter

- **Fase de Máxima Potencia:** Se produce cuando las condiciones ambientales son adversas. En esta situación, el sistema inverter ordena al compresor girar al máximo de su capacidad para alcanzar lo antes posible la condición de confort. A esta fase se le llama también PAM (o Fase de Potencia).

- **Fase de Potencia Media:** Cuando se ha alcanzado la temperatura de consigna y las condiciones son normales, el sistema inverter ordena al compresor a reducir su régimen de revoluciones, adaptando su potencia al requerimiento del sistema.

Esto en un sistema de climatización tradicional que no dispusiera de tecnología inverter no sería posible, dado que el compresor seguiría funcionando siempre al 100% de su capacidad, consumiendo así más potencia que un sistema inverter.

- **Fase de Mínima Potencia:** Cuando las condiciones ambientales son favorables, para mantener la temperatura de confort en los sistemas de climatización inverter,

el compresor continúa girando pero a muy bajas revoluciones, consumiendo de esta manera muy poca energía. A esta fase también se le llama técnicamente PWM (o Fase de Ahorro).

Por el contrario, en un sistema de climatización tradicional sin tecnología inverter el compresor trabajaría en régimen de todo o nada, es decir, que si se genera un exceso de frío en la estancia, el compresor reaccionaría parándose hasta que la temperatura de la estancia volviera a subir por encima de la temperatura de consigna que haría poner de nuevo en funcionamiento al compresor.

Estas fases sucesivas de parada y puesta en marcha del compresor suponen a la larga un mayor consumo energético, pues la potencia que se necesita en cada arranque de la máquina es varias veces superior a su potencia nominal de régimen. Por tal motivo es importante seleccionar la instrumentación adecuada para monitorear los parámetros y comportamientos del sistema, para ello se seleccionaran a continuación los elementos encargados de censar las variables más importantes del sistema.

El control de los sistemas de refrigeración se puede dar en diferentes componentes. Es posible por ejemplo controlar la velocidad de giro en el motor del compresor mediante un variador de frecuencia. También es posible controlar el flujo másico de refrigerante mediante la válvula de expansión finalmente, es posible controlar la temperatura en el interior del sistema de refrigeración mediante el uso del termostato.

La instrumentación del sistema de refrigeración se puede dar mediante la colocación de sensores de presión y temperatura en el sistema de refrigeración. Dichos sensores pueden ser, por ejemplo, termopares para la temperatura y piezoresistivos para la presión. “La definición técnica más sencilla para describir un Termopar podría ser como un mecanismo de medida de temperatura”). Por otro lado, “un sensor de presión es un instrumento compuesto por un elemento detector de presión con el que se determina la presión real aplicada al sensor (utilizando distintos principios de funcionamiento) y otros componentes que convierten esta información en una señal de salida”.

Las imagen 17 muestra los tipos de sensores más importantes para este tipo de sistemas, incluyendo sus fichas técnicas.



Figura 17. A) Termopar; B) piezoresistivo.

Fuente: manual Hussmann.

4.2.2 Uso del manómetro en refrigeración.

Uno de los dispositivos clave para conocer la presión ejercida por ciertos fluidos. Nos referimos a flujos agresivos producto de expulsión de gases, líquidos... Los responsables de sistemas de aire acondicionado, de sistemas industriales de refrigeración y otros, deben saber cómo leer los manómetros de refrigeración, tanto por razones de seguridad como por motivos de optimización de recursos

Generalmente, estos dispositivos se componen de cobre y hierro. Superficialmente están recubiertos por un revestimiento rojo o azul. También llamados medidores de presión Freón, el color de la carcasa y otros detalles definirán su uso. De esto modo, los de color azul sirven para la medición de la presión de absorción o succión de los compresores.

Su escala se lee de la siguiente manera: a partir del 0, mide la presión atmosférica, y de 0 para abajo controlará el vacío, o sea presiones por debajo de la presión atmosférica. El manómetro rojo es ideal para preservar los sistemas de aire acondicionado, puesto que revelarán cuándo la presión puede ser negativa para el sistema. Asimismo, es utilizado para el chequeo de otras particularidades de los compresores.

Los manómetros de refrigeración integran también mangueras de diferentes colores. La manguera roja conecta la válvula para descarga del compresor con el manómetro de alta presión. La de color azul vincula la válvula de absorción del compresor al manómetro de baja presión. La manguera amarilla es versátil y se

utiliza para medir y llevar a cabo los controles precisos para el conjunto del dispositivo: inyección de refrigerantes, presurización, vacío. Ver figura 18.



Figura 18. Manómetro para refrigeración.

Fuente: manual Hussmann.

- Estos dispositivos están compuestos a partir de hierro y cobre, aunque también pueden estar protegidos por un revestimiento rojo o azul. Se les conoce también como medidores de presión Freón y hay ciertas características que los distinguen de otros manómetros y válvulas. Por ejemplo, los que son de color azul sirven para conocer la medida de presión o absorción de los compresores.
- La escala debe leerse así: desde el 0, se mide la presión atmosférica; mientras que, de 0 hacia abajo, se controlan tanto el vacío como las variaciones que estén por debajo de la presión atmosférica. En equipos de aire acondicionado y sistemas de refrigeración industrial, el manómetro rojo sirve para revelar el momento en el que la presión es negativa; de esta manera, también se verifica el estado del compresor.
- Los manómetros de refrigeración incorporan mangueras de distintos colores que cumplen propósitos diversos. La de color rojo, por ejemplo, se encarga de conectar con la válvula, a fin de facilitar la descarga del compresor. La azul asocia la válvula de absorción del compresor con el manómetro de baja presión; y la amarilla es la más versátil, ya que es capaz de medir y gestionar controles muy precisos.
- El manómetro de refrigeración solo debe ser usado teniendo en cuenta parámetros específicos por parte de personal capacitado, responsable y que tenga en cuenta todas las medidas de seguridad, en caso de incidencias. Es necesario que cumplan con todos los pasos para llevar a cabo una lectura, sin apresurarse y respetando los tiempos, el orden de la planta y la cadena de

producción en general.

- Al retirar la tapa traslúcida y recolectarla, deben tener mucho cuidado; además, nunca hay que tocar la aguja indicadora u otro elemento más allá del tornillo. Una vez que hayan realizado la graduación, coloquen el manómetro cuando el sistema de refrigeración se encuentre encendido, puesto que así lograrán una presión más baja, haciendo más sencilla y segura la obtención de mediciones confiables.

- **Cómo medir y ajustar el sobrecalentamiento**

A menos que se especifique lo contrario, todos los fabricantes de válvulas de termo expansión, ajustan las válvulas a un sobrecalentamiento estándar, el cual es suficiente para que la válvula funcione a su capacidad nominal. Generalmente, este ajuste es suficiente para que la válvula opere adecuadamente y no es necesario cambiarlo. Algunos fabricantes ajustan el sobrecalentamiento a una "temperatura de baño", la cual es codificada alfabéticamente sobre la placa como se muestra en la figura 19. Así pues, una válvula con un "10A" estampado en la placa, ha sido ajustada a un sobrecalentamiento estático de 10°F (5.6°C) con un baño de 32°F (0°C). De manera similar una válvula estampada con "10C", ha sido ajustada a un sobrecalentamiento estático de 10°F (5.6°C) con un baño de 0°F (-18°C).

Temp. de Baño	Letra del Código
32°F (0°C)	A
10°F (-12°C)	B
0°F (-18°C)	C
-10°F (-23°C)	D
-20°F (-29°C)	E

Figura 19: Temperaturas de Sobrecalentamiento.

Fuente: Climonterrey.

Con frecuencia se refiere al sobrecalentamiento como el "pulso" de la válvula de termo expansión. El sobrecalentamiento es importante para evaluar el funcionamiento de una válvula, sobre todo, para hacer un buen diagnóstico cuando se sospecha que la válvula es la que está fallando. Para conocer el sobrecalentamiento que está manteniendo una válvula de termo expansión en un sistema de refrigeración, se necesita determinar los valores que son: la presión y la temperatura del gas de succión, justo en el sitio donde está ubicado el bulbo de la válvula. Con un termómetro de precisión adecuado, se puede medir la temperatura directamente sobre la línea de succión. Se puede utilizar un termómetro de bolsillo para refrigeración, con abrazadera apropiada para el bulbo; o bien, se puede ser aún más preciso, utilizando un potenciómetro (termómetro eléctrico) con termopares (cables y sondas).

El elemento sensor de su termómetro deberá ser fijado con cinta en la línea de succión, en el punto donde está ubicado el bulbo, y deberá aislarse contra el medio ambiente.

Los elementos de temperatura de este tipo, así como los termómetros, si no se aíslan, darán una lectura promedio de la línea de succión y el ambiente.

La presión se puede medir por dos métodos:

1) Si la válvula cuenta con igualador externo, se puede instalar una conexión "T" en la línea del igualador externo, y medir allí directamente la presión con un manómetro calibrado. Suponiendo que se cuenta con un manómetro y medidor de temperatura exactos, este método proporcionará lecturas de sobrecalentamiento lo suficientemente exactas para todo fin práctico.

2) Si la válvula no cuenta con igualador externo, la presión se mide en la válvula de servicio de succión del compresor. Con este segundo método se pueden hacer dos consideraciones:

a) Estimar la caída de presión en la línea de succión por las conexiones, accesorios y tuberías, y sumar éste valor a la presión leída en el compresor. El resultado será la presión que se tiene en el sitio donde está ubicado el bulbo.

b) Si el equipo es muy compacto, donde no se considera caída de presión en la línea de succión, la presión será entonces la misma que la leída en la válvula de servicio del compresor.

Puesto que las estimaciones de caída de presión en la línea de succión, generalmente, no son lo suficientemente precisas para proporcionar una

perspectiva real de sobrecalentamiento, no se puede confiar en este método para obtener valores absolutos. Cabe hacer notar que el error en este caso siempre será positivo, y que el sobrecalentamiento resultante, será mayor que el valor real. Volviendo a expresar lo anterior, el único método de verificar el sobrecalentamiento que arrojará un valor absoluto, es en el que se obtienen las lecturas de presión y temperatura a la salida del evaporador. Otros métodos empleados arrojarán un sobrecalentamiento ficticio, el cual puede resultar engañoso, cuando se utiliza para analizar el funcionamiento de una válvula de termo expansión.

Al darse cuenta de las limitaciones de estos métodos aproximados y de la dirección del error, con frecuencia es posible determinar que la causa de una aparente avería en la válvula, se debe al uso de métodos inadecuados de instrumentación, más que a un mal funcionamiento. Ver figura 20.

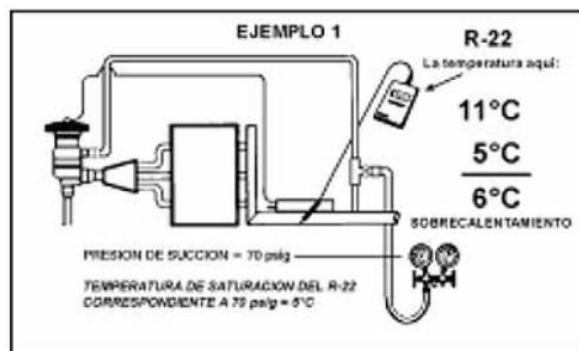


Figura 20: Ejemplo de medición de Temperaturas de Sobrecalentamiento.

Fuente: Climonterrey.

Otro error más que se presenta al detectar fallas en áreas montañosas o lugares muy altos sobre el nivel del mar, es la baja presión manométrica, comparadas con las lecturas al nivel del mar.

Otro elemento que forma parte de la instrumentación del sistema de refrigeración es el medidor de consumo de energía. Este componente se acopla a la línea de corriente del compresor y mide el consumo de energía en tiempo real y puede observarse en la figura 21. Medidor de consumo de energía y su acoplamiento con el motor del compresor.

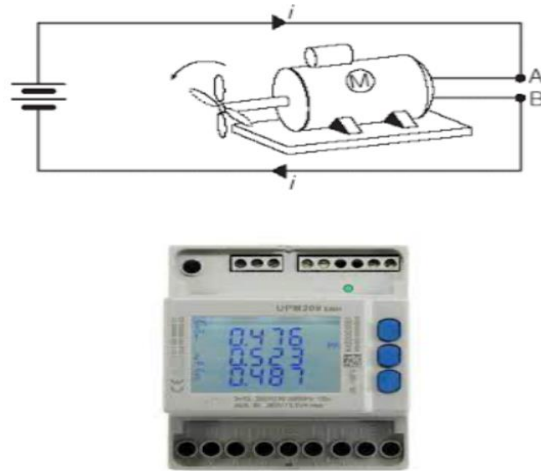


Figura 21. Medidor de consumo de energía

Fuente: Newabb.

Alternativamente, la válvula de expansión, si es de tipo electrónica, debe tener un módulo de programación para regular el recalentamiento del refrigerante. En caso de que no se utilice válvula de expansión electrónica y se tenga solo una válvula de expansión mecánica, ésta tiene un husillo que permite regular de igual manera el recalentamiento, aunque esta regulación será manual y con menor precisión que la que se tiene con la válvula de expansión electrónica. En la imagen siguiente, se muestran ambos elementos a manera de que se puedan identificar cuando se encuentren instalados en el sistema de refrigeración. Ver figura 22.

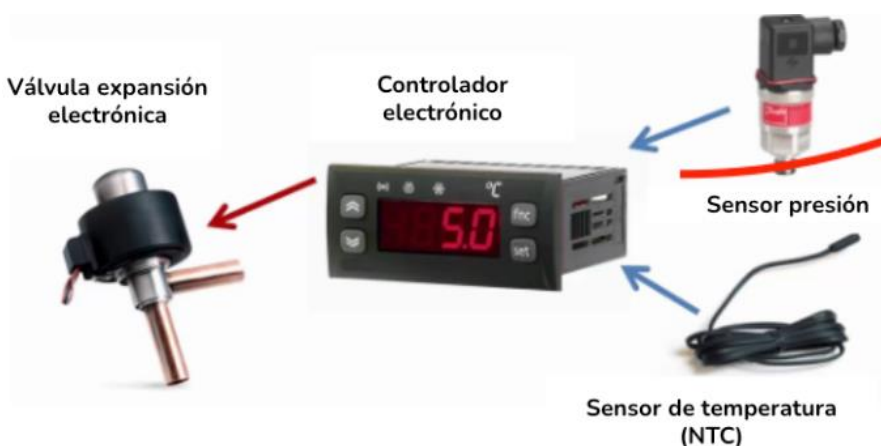


Figura 22. Elementos usados en sistemas de refrigeración para diagnóticos.

Fuente: Newabb.

Existen diferentes herramientas para acoplar los sensores y controladores que permiten la instrumentación del sistema de refrigeración por compresión de vapor. Dichas herramientas son programas que permiten realizar el acoplamiento entre el sistema y usuario, teniendo como intermediario una computadora. El software que se emplean para esta acción son los que permiten una visualización del comportamiento tanto de la corriente como el voltaje. La adquisición de datos se lleva a cabo mediante sistemas conocidos como tarjetas de adquisición como las que se muestran en la Imagen 23.



Figura 23. Tarjetas de adquisición de datos

Fuente: Newabb

La conexión entre las tarjetas de adquisición como se observa de referencia en la figura 23, deben ser utilizando una computadora, de manera que el usuario debe saber cómo emplear el software para la lectura de datos y debe también conocer la estructura en la cual va a estar trabajando el sistema de adquisición de datos. Además de esto, debe tener conocimiento de cómo manipular corriente y voltaje, ya que se debe recordar que son las variables que se pueden leer en los sistemas de adquisición. Por ejemplo, los termopares funcionan bajo el principio de diferencial de voltaje, mientras que los sensores de presión emplean la corriente como su principal variable. Luego, las tarjetas de adquisición emplean estas variables para leerlas y el usuario debe convertir, mediante el uso del software elegido, estas variables a temperatura y presión.

- **Conexiones entre elementos del sistema con tecnología inverter**

En la figura 24 se puede observar un esquema general del sistema inverter en refrigeración, así como los elementos más importantes que intervienen.





Figura 24. Tecnología inverter.

Fuente:Areacademy

4.3 Fase III: Diseñar el circuito electrónico para modular la frecuencia aplicable a los motores bldc.

4.3.1 Planteamiento del modelo de banco de prueba para motores bldc y compresores.

La idea principal de este proyecto se enfocó en la realización del circuito de encendido y prueba de estos motores, a su vez deben existir otros elementos importantes, como lo son los manómetros, ya que estos son portables y son los encargados de censar el refrigerante en estos sistemas, entre otros elementos. La unión de los instrumentos de medición y el circuito propuesto de esta investigación, permitiría a los técnicos un ahorro sustancial de tiempo para el descarte de fallas en los sistemas, medidas claras de las variables más importantes, tal como lo son la presión de las tuberías, refrigerantes, corrientes y voltaje de los motores bldc. Ver figura 25 y 26.



Figura 25: Modelo de Banco de prueba de sistemas inverter en refrigeración

Fuente: RFcap.

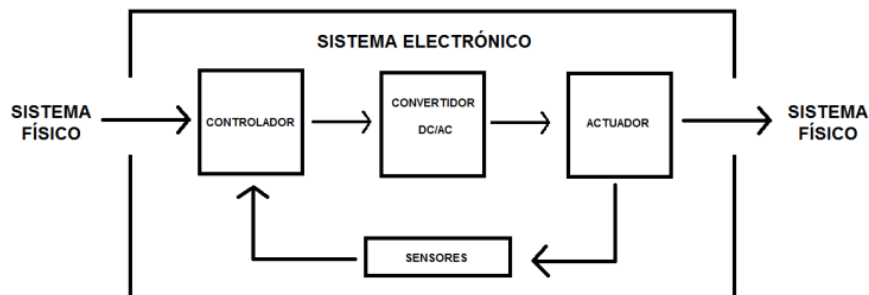


Figura26: Esquema general del sistema eléctrico

Fuente: RFcap.

Por medio de esta reunion con tecnicos de refrigeración, logré obtener una idea clara para el desarrollo de la investigación, en dicha reunión el personal profesional disponia de tarjetas que permiten realizar pruebas de motores y compresores sin tecnologia inverter, pude observar de primera mano las carencias de estas herramientas que permitan a los tecnicos realizar diagnosticos de compresores y motores con tecnologia inverter , por medio de esta reunion logre obtener una idea clara sobre las caracteristacas que debe llevar un diseño de banco de prueba para la realizacion de diagnosticos y mantenimiento. Las caracteristicas basicas es un diseño que maneje alta potenciay permita modular la frecuencia de los motores bldc para asi poder observar caracteristicas importatante tales como, corriente y tension de salida en comportamiento de carga de los motores. Estas caracteristicas permiten al tecnico observar los comportamientos y realizacion de pruebas de decarte , cabe destacar que el tecnico ya se encuentra capacitado para dichas labores y será el quién determine los lineamientos finales del diagnostico o mantenimiento.Ver figura 27.



Figura 27: Tarjeta de prueba para motores sin tecnología inverter empleada por técnicos.

Fuente: Marcos Flores (2023).

Por otra parte es importante tener en cuenta los siguientes parámetros para el desarrollo de estos sistemas.

- **Controlador:** Manipula una señal eléctrica en sus circuitos internos y según el código que tenga introducido previamente al arranque del sistema; enviará al siguiente bloque una determinada señal codificada. Diseñamos un programa encargado de ordenar al bloque que le sigue como generar pulsos de señal modulada e indagar en el funcionamiento del microcontrolador Arduino.
- **Convertidor DC/AC (o inversor):** Será el encargado de codificar físicamente las tensiones convirtiéndolas en las pulsantes necesarias para que gire convenientemente el motor.
- **Actuador:** Será el motor. En este apartado se hizo primeramente un estudio Genérico de los motores eléctricos y, seguidamente, nos centraremos en los motores de corriente continua sin escobillas BLDC.
- **Sensores:** Adquieren información del mundo físico y la convierten en una señal eléctrica, de manera que el controlador pueda procesarla. Definiremos en qué consiste el efecto Hall de los igbt y sus aplicaciones.

Considerando que las dos necesidades básicas a satisfacer por todo sistema de climatización es el confort del usuario y el ahorro energético, y partiendo en igualdad de condiciones en otros aspectos tales como la clasificación energética del aparato (SEER / SCOP), caudal de aire, nivel sonoro o sistemas de filtrado

empleado, la verdadera diferencia entre dos sistemas inverter de distintas casas comerciales radica en su capacidad de adaptación en cada momento a las distintas condiciones ambientales que puedan presentarse.

En este sentido, se conoce como "rango de variación" a la variación porcentual que el sistema puede ofrecer desde su capacidad nominal para aumentar su potencia (Fase de Potencia ó PAM), o para reducirla cuando ya no es necesaria por ser favorables las condiciones ambientales y por tanto procede ahorrar energía (Fase de Ahorro ó PWM).

La conmutación del motor BLDC sensorizado se realiza de acuerdo con el estado de los sensores de efecto Hall. El motor Sensorless BLDC no tiene ningún sensor para detectar la posición de su rotor, su conmutación se basa en la BEMF (Fuerza electromotriz trasera) producida en los devanados del estator. Un tipo común de motor eléctrico es el CC trifásico en donde el movimiento del rotor se produce por el campo magnético giratorio que se genera al energizar los bobinados en una secuencia controlada de (conmutación). La velocidad del rotor es proporcional a la frecuencia de funcionamiento del motor. La modulación por ancho de pulsos (PWM) se superpone a la frecuencia de funcionamiento base para controlar la corriente de arranque, el par de torsión y la potencia.

El funcionamiento de alta frecuencia ofrece algunas ventajas inherentes para esta investigación. Por ejemplo, se reduce la ondulación de corriente (un artefacto de la entrada CA después de la rectificación), lo que a su vez reduce el tamaño y costo de los componentes pasivos necesarios para realizar el filtrado. Además, el funcionamiento de alta frecuencia reduce la fuerza electromotriz (EMF) desigual que puede resultar de una entrada sinusoidal menos que perfecta a las bobinas del motor, lo que disminuye la vibración y el desgaste del motor. De este modo, la conmutación de frecuencia más alta aumenta la densidad de potencia, lo que permite el uso de motores físicos más pequeños para lograr una potencia de salida determinada.

Si bien existen variaciones, un sistema típico de bucle de control cerrado que garantiza el funcionamiento de alta frecuencia, para esta investigación este comprende lo siguiente:

- Una entrada de control de velocidad, un regulador que supervisa la

conmutación del motor al generar la PWM adecuada para el controlador.

- Un controlador que conmuta los transistores de potencia de lado bajo y alto.
- Transistores de potencia, en una topología de medio puente H, que energizan las bobinas del motor.

El circuito de alimentación del banco de pruebas; se diseñó para las líneas vivas, y un neutro, disposición que permite alimentar a sistemas monofásicos a 110V y 220V, al igual que trifásico. Además permite registrar el consumo de amperaje y verificar el voltaje correspondiente, en los circuitos de prueba. Su diseño obedece a la necesidad requerida para la alimentación de unidades de motores BLDC y Compresores menores.

En un motor BLDC controlado por sensor, el bucle de control se cierra mediante la retroalimentación de los sensores de efecto Hall que supervisan el eje giratorio del motor, ver Figura 28.

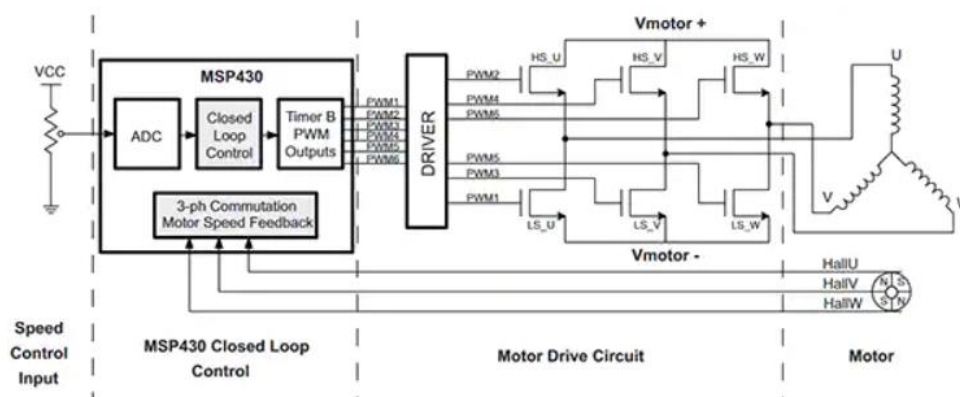


Figura 28. Control de bucle para motor BLDC

Fuente: Texas INST.

El controlador es un componente clave en un diseño de regulador de motor BLDC, para esta investigación se trata de un ARDUINO UNO. Por otra parte la esencia de un amplificador de potencia que acepta una entrada de baja potencia del regulador del motor BLDC y, a su vez, produce una entrada de accionamiento de alta corriente para las puertas de los IGBT de potencia de lado alto y bajo en el medio puente H. Ahora bien, las últimas versiones de controladores para el funcionamiento de alta frecuencia están altamente

integradas y pueden realizar muchas más funciones.

4.3.2 Consideraciones de diseño IGBT para los controladores.

Se debieron superar algunos desafíos para evitar impulsos parásitos de voltaje desagradables, zumbidos y falso encendido en el regulador del motor BLDC. Estos problemas ocurren con frecuencia debido a una fuente de alimentación de mala calidad, un diseño deficiente y una falta de coincidencia del controlador y el transistor de potencia.

Ya que al encender y apagar un IGBT equivale a cargar y descargar grandes cargas capacitivas de 10 000 picofaradios (pF) de 0 a 15 voltios en 50 ns. Para lograrlo, se necesita corriente de 3 A (de $I = dV \times [C/dt]$). De este modo se logró ver que la corriente de salida del controlador es directamente proporcional a la oscilación de voltaje o a la capacitancia de carga, e inversamente proporcional al tiempo de subida. Es importante señalar que, en situaciones prácticas, la corriente de carga no es constante, pero puede alcanzar un pico de 4.7 A; por lo tanto, es fundamental que el controlador tenga la sobrecarga necesaria para hacer frente a este pico.

Un dispositivo como el IR2104S Semiconductor, que ofrece una salida de 4.5A y una corriente pico de 5A, Se escoge como opción para esta aplicación. Medio puente de 600v controlador de puerta IC con fuentes típicas de corrientes de sumidero en paquete SOIC de 8 conductores para IGBT y MOSFET con tecnología de cambio de nivel. Ver figura 29.

Características del IR2104S

- Canal flotante diseñado para operación de arranque
- Totalmente operativo a +600 V
- Tolerante al voltaje transitorio negativo
- inmune a dV/dt
- Rango de suministro de accionamiento de compuerta de 10 a 20 V
- Bloqueo por bajo voltaje
- Compatible con entrada lógica de 3,3 V, 5 V y 15 V
- Lógica de prevención de conducción cruzada
- Retardo de propagación coincidente para ambos canales
- Tiempo muerto establecido interno
- Salida lateral alta en fase con entrada HIN
- La entrada de apagado apaga ambos canales



Figura 29. IR2104S

Fuente: Infineon.

Además del se tiene en cuenta el valor pico de corriente, para el diseño del controlador IGBT se obtiene esta corriente de la fuente de alimentación en solo 50 ns. Esta técnica permite el rápido consumo de corriente, para esto se agregan un par de capacitores de derivación paralelos (con un valor de al menos 10 veces el de la capacitancia de carga y con curvas de impedancia complementarias) muy cerca del pin de la fuente de polarización positiva (VCC) del controlador del IGBT. Estos capacitores deben tener la resistencia equivalente en serie (ESR) y la inductancia equivalente en serie (ESL) más bajas posibles, y se deben minimizar las longitudes de los conductores. Ver figura 30.

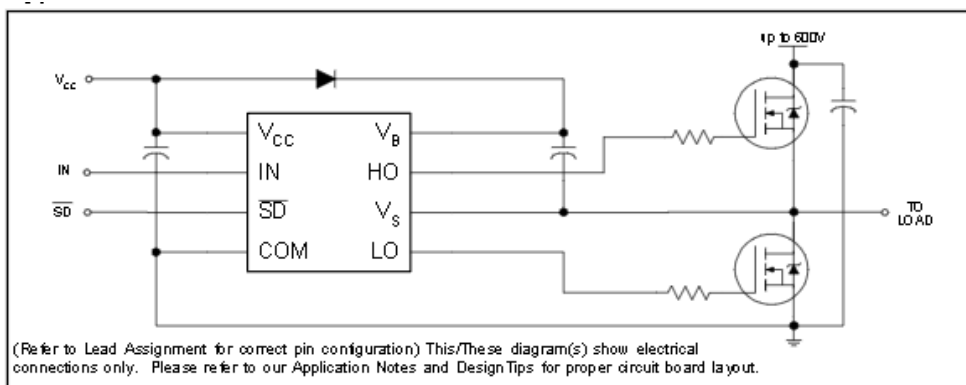


Figura 30. Configuración de IR2104S

Fuente: Alldatasheet

Los controladores IGBT necesitan una trayectoria de impedancia muy baja para el retorno de la corriente a tierra. En una topología típica, hay tres trayectorias para el retorno de la corriente a tierra:

- Entre el controlador IGBT y el regulador.

- Entre el controlador y su propia fuente de alimentación.
- Entre el conductor y el emisor de IGBT que se acciona para los controladores IGBT.

Para accionar este motor se necesitó un puente trifásico, los elementos básicos del mismo son los 6 MOSFETs. El diagrama esquemático del circuito general del puente trifásico Ver figura 31.

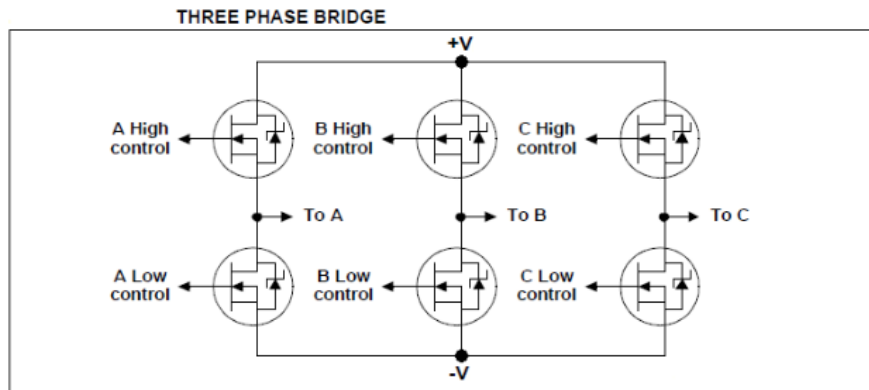


Figura 31. Configuración de IGBT.

Fuente: Texa INC.

El motor BLDC con sensor tiene 3 sensores de efecto Hall (A, B y C) para detectar la posición del rotor, estos sensores se colocan como se muestra en la figura 32. El motor que se planteó en este proyecto tiene un pinout como se muestra a continuación (otros motores pueden tener un pinout diferente).

En este motor cada sensor de efecto hall tiene 4 pines: VCC (H+), GND (H-) y dos salidas (algunos sensores vienen con 3 pines: VCC, GND y salida).

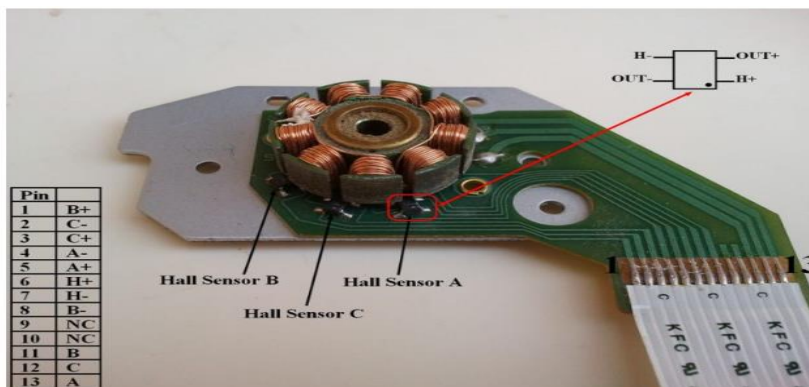


Figura 32. Conexión motor bldc.

Fuente: Texas INC.

Como se tiene sensores de efecto Hall de 4 pines, cada sensor emite un máximo digital para 180 grados eléctricos y emite un mínimo digital para los otros 180 grados eléctricos. En la figura 33 se muestra la relación entre las salidas de los sensores y los voltajes de accionamiento del motor requeridos para las fases A, B y C.

Cada sensor emite un máximo digital para 180 grados eléctricos y emite un mínimo digital para los otros 180 grados eléctricos. La siguiente figura muestra la relación entre las salidas de los sensores y los voltajes de accionamiento del motor requeridos para las fases A, B y C.

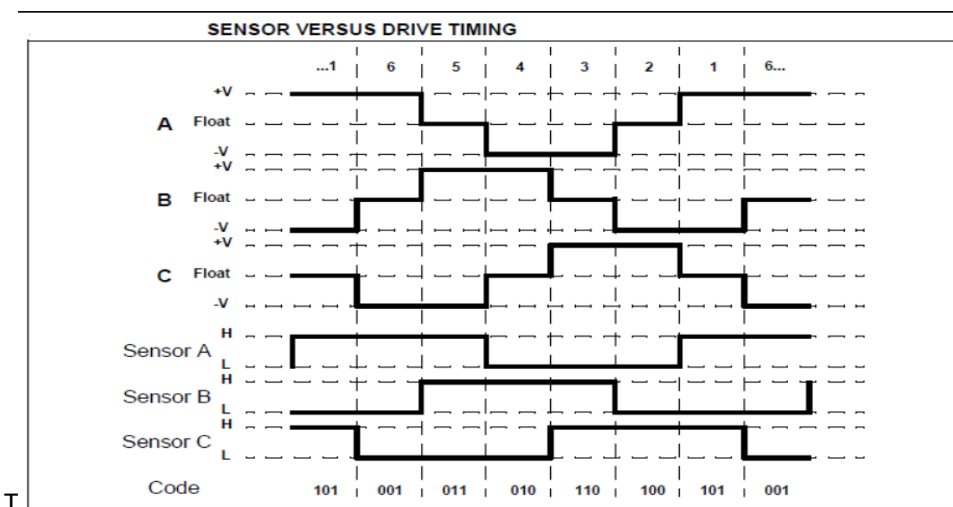


Figura 33. Ondas de salida de fases.

Fuente: Ijeetc.

Tabla 2. Los sensores de efecto hall y el puente trifásico se debe controlar.

Fase	Sensor C	Sensor B	Sensor A	C Alto Drive	C Bajo Drive	B Alto Drive	B Bajo Drive	A Alto Drive	A Bajo Drive
6	0	0	1	0	1	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	0	0	1
5	0	1	1	0	1	1	0	0	0

2	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
3	1	1	0	1	0	0	0	0	1

Fuente: Marcos Flores (2023).

En el circuito hay tres controladores de compuerta IC IR2104S, cada uno se usa para controlar un mosfet de lado alto y un mosfet de lado bajo, la conmutación entre el lado alto y el lado bajo se realiza de acuerdo con las líneas de control que son: IN y SD. Ver figura 34.

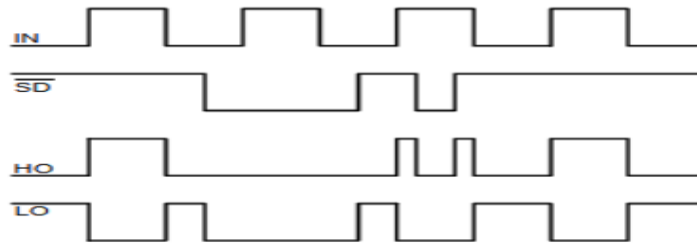


Figura 34: Entrada y salida de los IR2101

Fuente: Ijeetc.

Se usó un potenciómetro para controlar el ancho de pulso y velocidad del motor sin escobillas, se controla mediante la técnica PWM (solo lados altos pwing). Cada vez que hay un mosfet de lado alto activo y un mosfet de lado bajo activo, eso significa que siempre hay un pin PWM activo (pines Arduino 2, 4 o 6).

La siguiente tabla resume los pines activos de Arduino de acuerdo con los estados de los sensores de efecto Hall (pines: 8, 9 y 10): Ver figura 35.

Pin Phase	10	9	8	7	6	5	4	3	2
6	0	0	1	0	1	0	0	1	PWM
4	0	1	0	0	0	1	PWM	0	1
5	0	1	1	0	1	1	PWM	0	0
2	1	0	0	1	PWM	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	1	1	PWM
3	1	1	0	1	PWM	0	0	0	1

Figura 35: Pines activos de Arduino acorde a estados

Fuente: Ijeetc

4.3.3. Control del motor BLDC con condigo Arduino

En este proyecto implementé un código PWM de software simple porque necesitaba una señal PWM activa en el pin 2, 4 o 6 (solo uno está activo a la vez), para se empleó el módulo Timer2 y se configuro con un pre escalador de 1/8, lo que significa que la frecuencia de la señal PWM es de aproximadamente 7,8 KHz (igual a: $16 \text{ MHz} / (8 * 256)$) y una resolución de 8 bits.

El módulo ADC se configuró para leer desde canal 0. La interrupción de Arduino en el cambio se activara con los pines 8,9 y 10 en las entradas de sensores efecto hall para mejorar la conmutación. Primero se declaran las variables importantes y la selección de pines del Arduino. Ver figura 36.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define PWM_MAX_DUTY 255
#define PWM_MIN_DUTY 50
#define PWM_START_DUTY 100

const int rs = 0, en = 1, d4 = 2, d5 = 8, d6 = 12, d7 = 13;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

byte bldc_step = 0, motor_speed, pin_state;

void setup()
{
  DDRD |= 0xE0; // configuración pins 5, 6 and 7 como salidas
  PORTD = 0x00;
  DDRB |= 0x0E; // configuración pins 9, 10 and 11 como salidas
  PORTB = 0x31;
  // Timer1 module setting: seleccionar clock source to clkI/0 / 1
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0x01;
  // Timer2 module setting: seleccionar clock source to clkI/0 / 1
  TCCR2A = 0;
  TCCR2B = 0x01;
  // ADC module configuration
  ADMUX = 0x60; // configuración ADC modulo y select channel 0
  ADCSRA = 0x84; // ADC modulo con 16 divisiones factor (ADC clock = 1MHz)

  PCICR = EIMSK = 0; // desalbilitar las interrupciones externas

  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(4, INPUT_PULLUP);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.print(" MOTOR BLDC ");
  delay(2000);
}
```

Figura 36: Declaración de variables del circuito en Arduino Ide.

Fuente: Marcos Flores (2023).

Luego la configuración del Pwm que es el encargado de modular el ancho de pulso que deberán ir a los igbt para la conmutación y generar las fases

correspondientes para el motor. En este caso, lo que envía es una señal tipo byte (segundo parámetro). Esta señal representa el ciclo de servicio del PWM. Como ya indicamos los pines que permiten utilizar el PWM son 3, 5, 6, 9, 10 y 11 (primer parámetro). La señal PWM la entendemos como una señal digital cuadrada, la cual utilizamos para simular una señal analógica. Tiene una resolución de 28 bits, es decir 256 valores diferentes. De esta manera si en el segundo parámetro del comando analogWrite introducimos un 0, significa que el pulso no dura nada y equivale a 0 voltios. Ver figura 37.

```
SET_PWM_DUTY(PWM_START_DUTY); // seleccion del inicio del pwm = PWM_START_DUTY
int i = 5000;

// motor start
while(i > 100)
{
  delayMicroseconds(i);
  bldc_move();
  bldc_step++;
  bldc_step %= 6;
  i = i - 20;
}

motor_speed = PWM_START_DUTY;

PCICR = 4; // habilitar la interrupcion de PCINT23..16 (Arduino 0 a 7)

while(1)
{
  ADCSRA |= 1 << ADSC; // iniciar conversion
  while(ADCSRA & 0x40); // esperar la conversion
  motor_speed = ADCH; // leer ADC datos (8 bits)
  if(motor_speed < PWM_MIN_DUTY)
  {
    motor_speed = PWM_MIN_DUTY;
  }
  SET_PWM_DUTY(motor_speed);
}
```

Figura 37: Pwm control de ancho de pulso

Fuente: Marcos Flores (2023).

En primer lugar presentamos los bloques inversor y motor de manera simplificada para que resulte más fácil entender cómo trabajan conjuntamente:

El motor BLDC compuesto por tres fases (A, B, C) va tener activadas siempre dos de ellas. Se determinará que fases se deben activar mediante cada uno de los 6 vectores que se aplicaran al inversor activando o desactivando los correspondientes transistores. Los de nuestro inversor son de tipo DMOS4.3.4 Controlador de velocidad de motor BLDC. Ver figura 38.

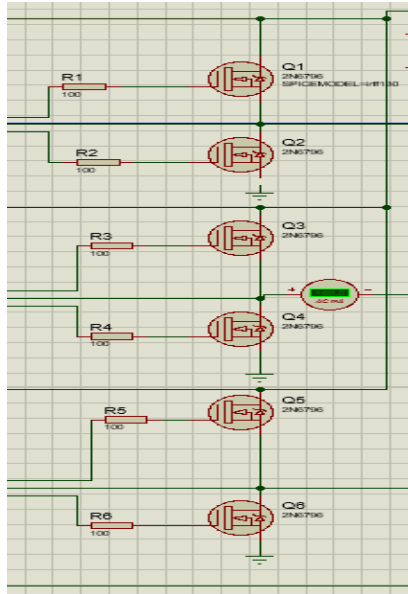


Figura 38: Conexión de los igt para fases del motor.

Fuente: Marcos Flores (2023).

- Funcionamiento del movimiento en cada ciclo del motor

Dependiendo de la posición del rotor respecto al estator, la cual nos la va a indicar los tres sensores Hall integrados en el motor; se aplicará un vector u otro. Se puede elaborar una tabla , indicando qué transistores hay que activar cada 60° de giro del motor y sus correspondientes fases excitadas, teniendo en cuenta que cada 360° se repite la secuencia. Ver tabla 3.

Tabla 3. Ciclos del comportamiento del motor.

VECTOR	Sensor Hall C	Sensor Hall B	Sensor Hall A	Fase A	Fase B	Fase C
4	1	0	0	-V	+V	NC
5	1	0	1	NC	+V	-V
1	0	0	1	+V	NC	-V
3	0	1	1	+V	-V	NC
2	0	1	0	NC	-V	+V
6	1	1	0	-V	NC	+V

Fuente: Marcos Flores (2023).

Como se observa cada 60° de giro de motor se aplica un vector. El número del vector lo marca los sensores Hall en binario, es decir, el valor de cada sensor es 0 o 1. Si los sensores nos marcan C=1, B=0, A=0, que conforma el número binario 100, en decimal se corresponde con el número 4; por tanto forma el vector

4. Para mostrar más claramente cómo se comporta el conjunto, pongamos un ejemplo con uno de los vectores:

Los sensores marcan la posición del el vector 5, es decir el 101. Con este vector la fase A no habrá que inducir la tensión. Sin embargo la fase B tiene una excitación con tensión positiva, y la fase C negativa. Ver figura 39.

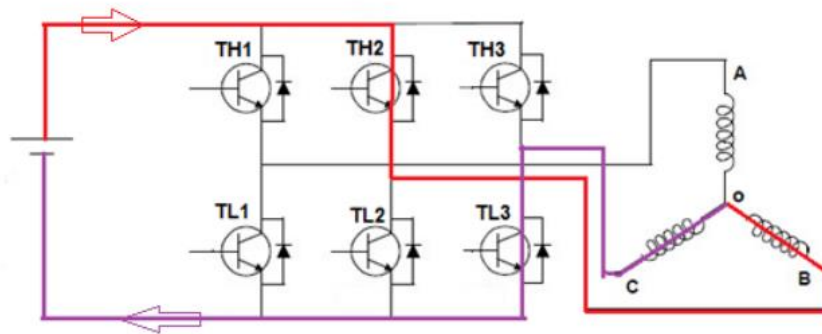


Figura 39: Flujo de corriente en el motor e igt.

Fuente: Ijeetc.

En la figura anterior de color rojo marca el recorrido de la tensión positiva y de morado el de la tensión negativa, siempre y cuando tomemos como referencia el punto o. Se entiende que se deben activar los transistores Q2 y Q3 (del inversor). El encargado de activarlos será el Arduino. Para determinar cómo activa Arduino estos transistores, tomamos el esquema del inversor real. Hemos mantenido la nomenclatura Q3 que muestra el simulador porteus de los transistores para evitar confusiones entre el modelo y el inversor real. Además esta forma de nombrarlos hace que sea más intuitiva su interpretación. Los transistores o IGBT High son los que se encuentran situados en la parte superior. Para activarlos es preciso, a través de Arduino, introducir un 1 lógico, es decir un nivel alto (High level). Los transistores TL- Transistor Low, se activan mediante un 0 lógico (Low level) con Arduino.

Las entradas ENable del inversor activan cada rama que contiene su Qn. Con la entrada IN del inversor se activa cada uno de los seis transistores. Continuando con la explicación del vector 5, se indica que los transistores Q2 y Q3 deben ser activados. Lo primero que hay que hacer es habilitar los de transistores Q2, Q3 mediante su correspondiente entrada ENable, es decir, EN

2 y EN3 con un 1 lógico. A continuación hay que elegir que transistor del bloque 2 y 3 queremos que se active con la entrada INput. En este caso son Q2, por lo que necesita IN2=1; y Q3 mediante IN3=0. Al no requerir la fase A; EN1=0 para deshabilitar los transistores Q1, de forma que IN1=X, es decir, que no importa el valor que pongamos en IN1.

La configuración de conmutación del motores bldc se rigen por las tablas anteriormente descritas, para el control de esta conmutación se realizó el código del motor. Ver figura 40 y 41.

```
// BLDC motor commutacion |
void bldc_move()
{
  switch(bldc_step)
  {
    case 0:
      AH_BL();
      BEMF_C_FALLING();
      break;
    case 1:
      AH_CL();
      BEMF_B_RISING();
      break;
    case 2:
      BH_CL();
      BEMF_A_FALLING();
      break;
    case 3:
      BH_AL();
      BEMF_C_RISING();
      break;
    case 4:
      CH_AL();
      BEMF_B_FALLING();
      break;
    case 5:
      CH_BL();
      BEMF_A_RISING();
      break;
  }
}

void loop()
{
```

Figura 40: Control del motor bldc.

Fuente: Marcos Flores (2023).

```

motor_speed = PWM_START_DUTY;

PCICR = 4; // habilitar la interrupcion de PCINT23..16 (Arduino 0 a 7)

while(1)
{
  ADCSRA |= 1 << ADSC; // iniciar conversion
  while(ADCSRA & 0x40); // esperar la conversion
  motor_speed = ADCH; // leer ADC datos (8 bits)
  if(motor_speed < PWM_MIN_DUTY)
  {
    motor_speed = PWM_MIN_DUTY;
    SET_PWM_DUTY(motor_speed);
  }
}
/*****
void BEMF_A_RISING()
{
  PCMSK2 = 0x04; // enable Arduino pin 2 (PCINT18) interrupt, others are disabled
  pin_state = 0x04;
}
void BEMF_A_FALLING()
{
  PCMSK2 = 0x04; // enable Arduino pin 2 (PCINT18) interrupt, others are disabled
  pin_state = 0;
}
void BEMF_B_RISING()
{
  PCMSK2 = 0x08; // pin 3 (PCINT19) interrupt, others are disabled
  pin_state = 0x08;
}
void BEMF_B_FALLING()
{
  PCMSK2 = 0x08; // enable Arduino pin 3 (PCINT19) interrupt, others are disabled
  pin_state = 0;
}
*****/

```

Figura 41: Código de control del motor bldc.

Fuente: Marcos Flores (2023).

Se diseña un inversor trifásico basado en Arduino e implementado utilizando MOSFET de potencia, que genera Señales cuadradas de 223V a su salida desde una batería de 12V. El sistema se verifica de diferentes maneras y se prueba funcional, y útil en el sistema inverter. El sistema prácticamente está construido y probado para ser operativo según el concepto general de los motores bldc. El sistema toma 12V de voltaje de una batería para el proceso de inversión, mientras que el Arduino opera con 5 o 10V a través de un regulador de voltaje separado. El sistema utiliza un total de 6 MOSFET de potencia para el proceso de inversión en tres conexiones monofásicas por separado, al ser de alta potencia, se incorporan MOSFET. El sistema diseñado produce 223,25V de tensión para trifásico, 223V de voltaje para monofásico, entregando 0.58A de corriente usando un motor bldc por efectos de simulación en el software proteus, en cada fase como carga se encuentra el motor bldc. Por el contrario, si escribimos 255, será el mayor valor ciclo de servicio posible, los 5 voltios que nos proporciona Arduino. Con el valor intermedio 125, equivaldría a una señal de 2.5 voltios. Variando este parámetro seremos capaces de modificar el

ancho de pulso, y por tanto la velocidad del motor. Ver figura 42.

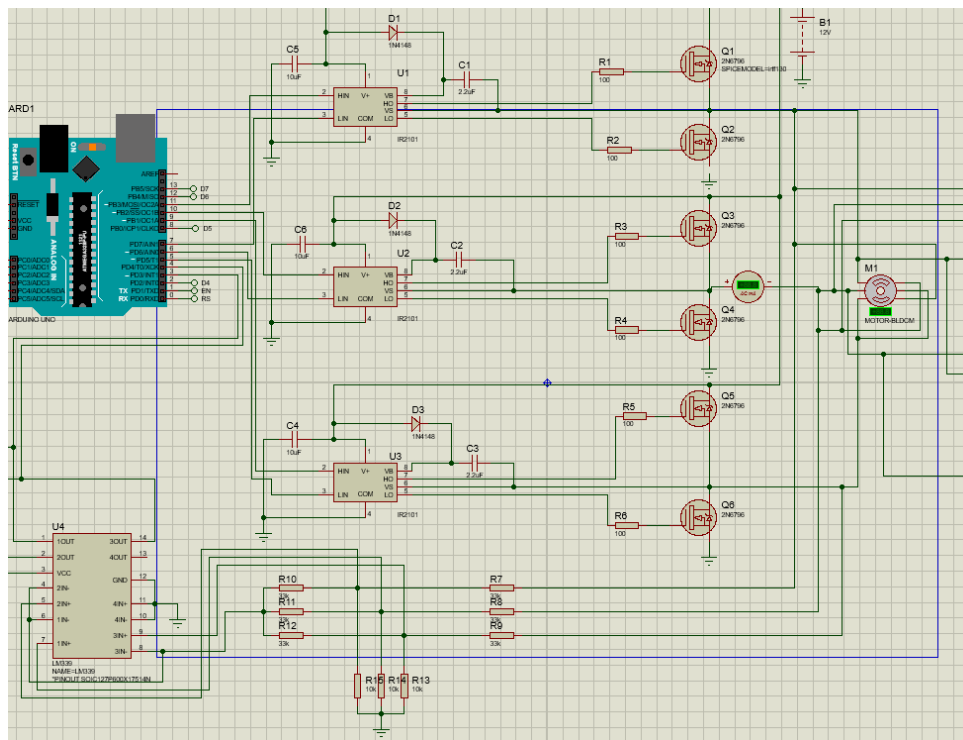


Figura 42: Diseño del circuito en proteus.

Fuente: Marcos Flores (2023).

Se agregó un comparador analógico (se empleó un IC de comparador cuádruple LM339N) a cada uno que las salidas de cada sensor (2 salidas: + y -) están conectadas a las entradas, (2 entradas: no inversoras e inversión) del comparador como se muestra en el esquema del circuito a continuación, finalmente obtuve 3 salidas de los 3 sensores de efecto hall.

Cada sensor emite un máximo digital para 180 grados eléctricos y emite un mínimo digital para los otros 180 grados eléctricos. La siguiente figura muestra la relación entre las salidas de los sensores y los voltajes de accionamiento del motor requeridos para las fases A, B y C. Ver figura 43.

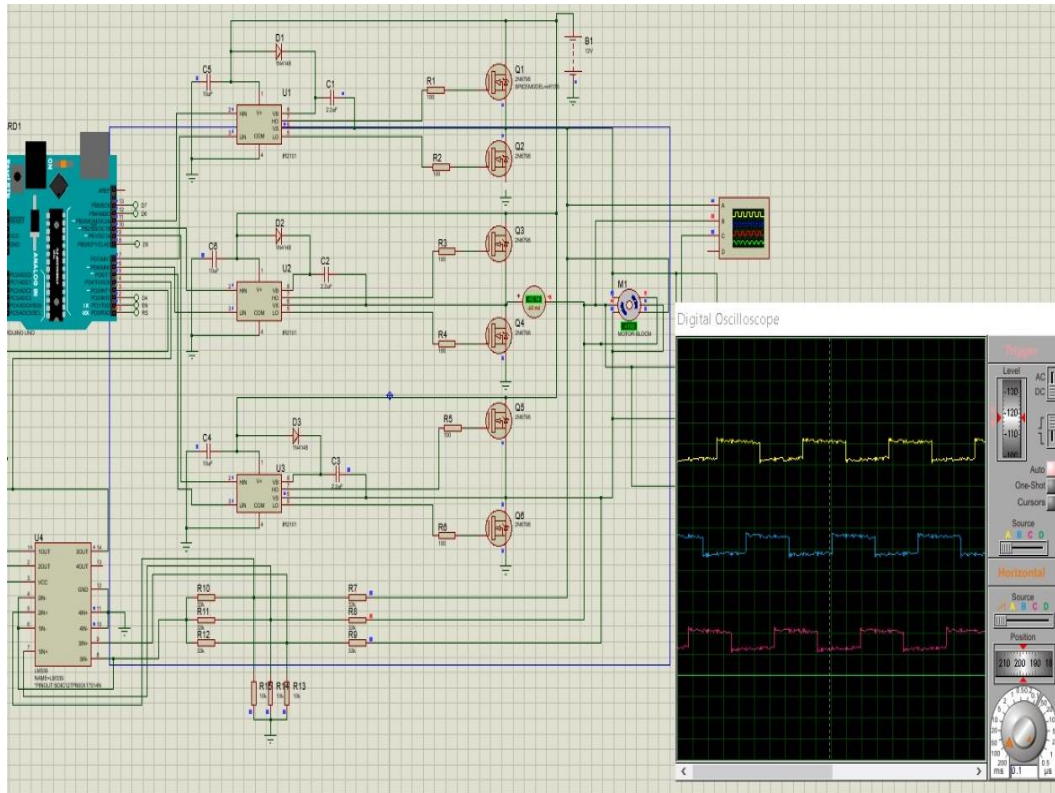


Figura 43: Simulación de las ondas de fases en la salida del motor en Proteus.

Fuente: Marcos Flores (2023).

4.3.4 Pantalla LCD para la visualización de variables de Corriente y voltaje del motor BLDC.

Para este paso se le agrego al diseño del circuito una pantalla LCD en el simulador, que permita facilitar y mejorar el aspecto del diseño, a la hora de visualizar las variables de corriente y tensión necesarias a saber en el mantenimiento del sistema. Con esto el técnico encargado o el profesional, podrá visualizar la corriente y tensión y verificar que concuerde con los datos de plata en funcionamiento del motor bldc o compresor. Para esta se realizó el código para el Arduino. Ver figura 44 y 45.

```

int AcVolt = analogRead(A1); // read analog input
float AcVoltOut = ((float)AcVolt * (5.0 / 1023.0))*93.67; // conversion to volts
//Serial.println(AcVoltOut); display in serial monitor

lcd.setCursor(0,2);
lcd.println("V=");
lcd.print(AcVoltOut/100); // display
delay(500);
lcd.setCursor(8,2);
lcd.println("A=");
lcd.print((AcVoltOut/100)/10.68); // display
delay(500);

SET_PWM_DUTY(PWM_START_DUTY); // seleccion del inicio del pwm = PWM_START_DUTY
int i = 5000;

// motor start
while(i > 100)
{
  delayMicroseconds(i);
  bldc_move();
}

```

Figura 44: Pantalla LCD para visualización de variables de corriente y voltage.

Fuente: Marcos Flores (2023).

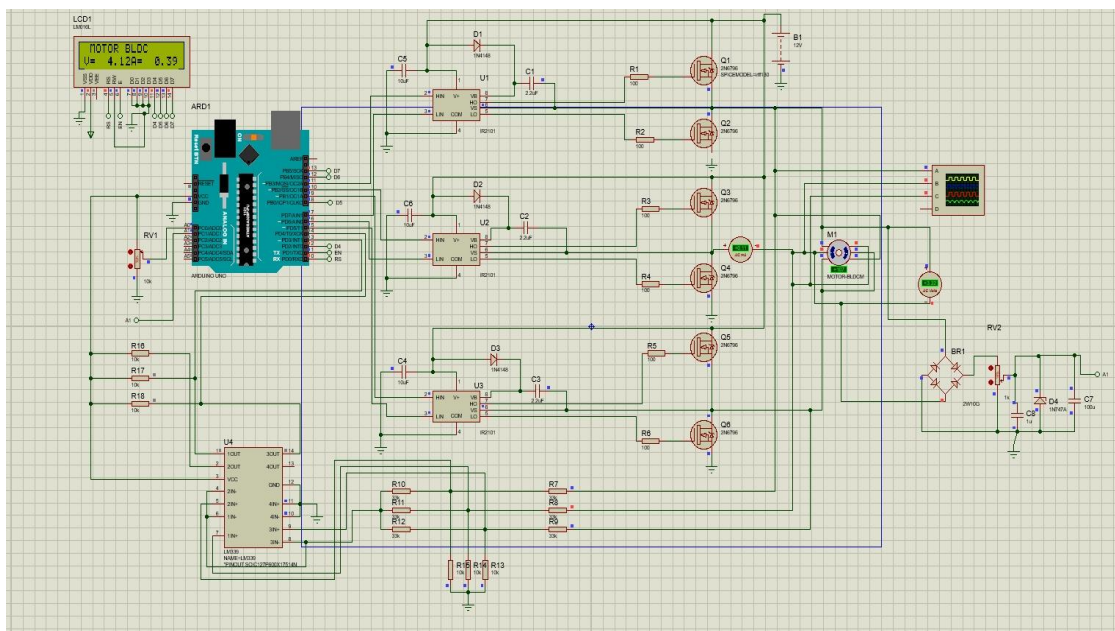


Figura 45: Circuito completo del diseño en simulador Proteus con el visualizador LCD.

Fuente: Marcos Flores (2023).

- Diagrama de flujo del funcionamiento del programa del circuito.

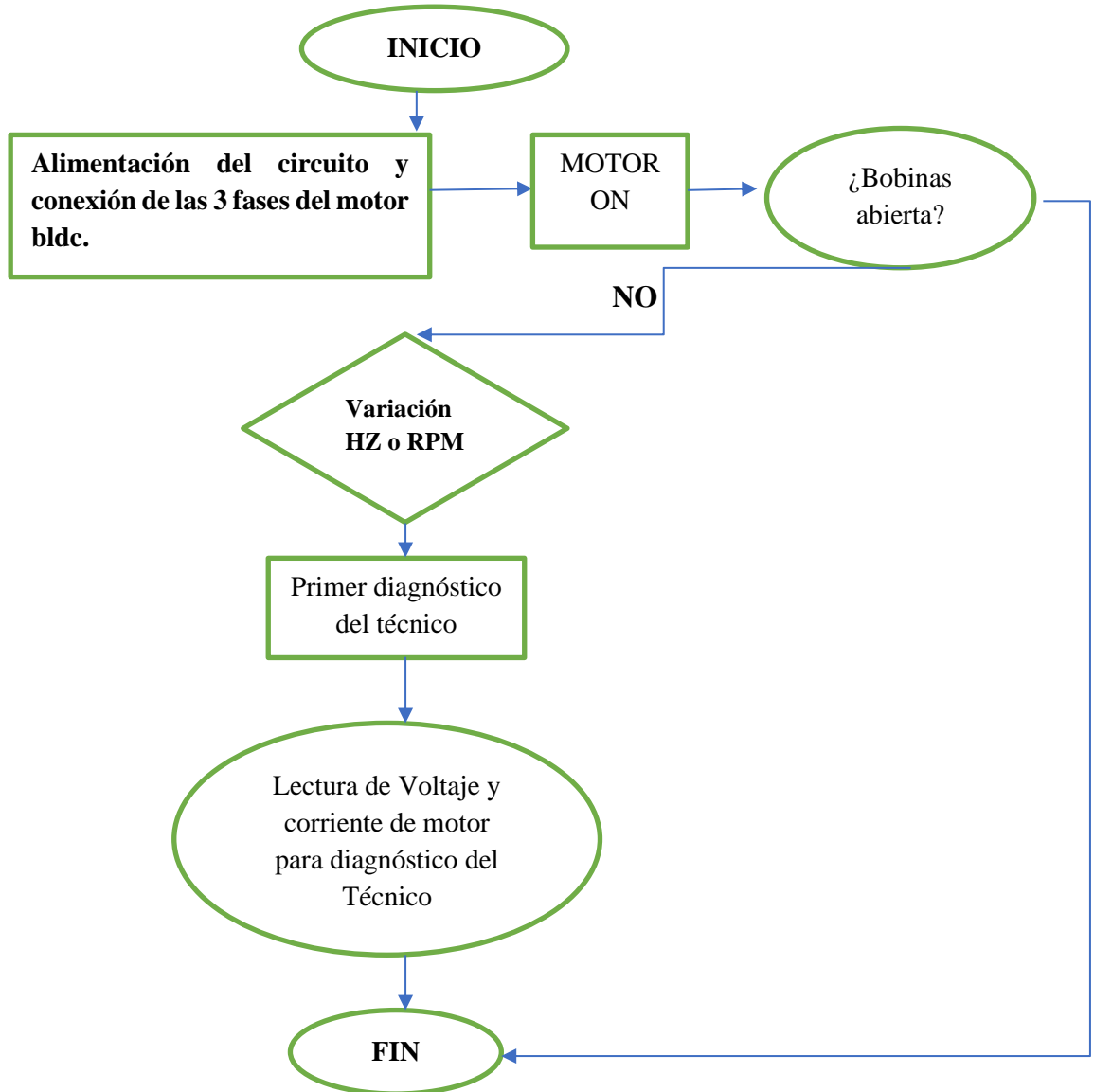




Figura 46: Diagrama de flujo del funcionamiento del código en Arduino.
Fuente: Marcos Flores (2023).

4.4 Fase IV Realización de estudio de factibilidad, así como también el tiempo que tomara la fabricación del banco de diagnóstico.

4.4.1 Factibilidad Técnica.

Desde la perspectiva técnica de esta investigación, se logró la selección de una tecnología de elementos que cumplen con las necesidades del circuito probador de motores BLDC y compresores inverter, además se realizaron los diferentes estudios correspondientes a la recolección y selección de datos que mejor resultados arrojan, por lo cual se concluyó que la investigación orientada a una propuesta de implementación, cuenta con todas las bases técnicas como herramientas y habilidades para su desarrollo, además se logró dar con una base

de componentes necesarios para el proceso que se ajustan perfectamente a las demandas y limitantes de la investigación.

Para la investigación propuesta es necesario contar con diferentes elementos que son obligatoriamente necesarios para su desarrollo los cuales son:

- Un ingeniero que cuente con los conocimientos para abordar todos los factores demandados en el proyecto
- Herramientas tales como: Una laptop, Software Proteus, Arduino Ide.
- Planificación
- Gestión de Montaje
- Integración de elementos

Para la selección de elementos involucrado en el proceso se concluyó lo siguiente:

Elementos circuitales del circuito de simulación.

- **LM339**
- **IR2101**
- **2N6796 IGBT**
- **MOTOR BLDC**
- **ARDUINO UNO**

Se determinó que estos dispositivos electrónicos cumplen con las necesidades del proceso de probador de motores bldc y motores por ser estos componentes eficientes de bajo costo y fácil adquisición, así como también por su robustez a la hora de operar, por otra parte cuentan con un margen bastante aceptable de error.

Modelos de motores BLDC.

- **Motores de CC sin escobillas con sensor o sin sensores**
- **Motores CC sin escobillas cardán (BLDC)**

Se determinó que estos modelo de motor bldc cumple con las necesidades del proceso de arranque de estos motores para determinar fallas que permiten a los técnicos hacer pruebas y tomar mediciones de forma precisa para dar diagnósticos, eficientes de bajo coste y fácil adquisición, así como también por

su robustez a la hora de operar y cuentan con un margen bastante aceptable de error.

Transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT)

- **IGBT modelo FGH80N60FD2TU**

El IGBT modelo FGH80N60FD2TU de Fairchild es un IGBT que ofrece un rendimiento óptimo para el calentamiento por inducción y aplicaciones de PFC, en los que son necesarios una baja conducción y pérdida en la conmutación. Ofrece una disipación de energía máxima de 290 000 mW, una tensión máxima del emisor colector de 600 V y una tensión máxima del emisor de compuerta de ± 20 V. El montaje es de orificio pasante y se aloja en un paquete de tubo TO-247. Este tipo de transistores bipolares de compuerta aislada cuenta perfectamente con los requerimientos demandados para la propuesta del diseño de esta investigación, debido a que son de alta robustez y gran margen de potencia.

- **Arduino UNO**

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. Este controlador se ajusta perfectamente para el diseño de esta investigación debido a su amplio uso en el área electrónica y por brindar un diverso uso al momento de realizar diseños electrónicos, separando las etapas de potencia.

4.4.2 Factibilidad Ambiental

La parte ambiental se debe considerar como valor único ya que de ahí depende el lugar o el ambiente de donde se requiere su elaboración. Los beneficios que proporciona el aplicar medidas ambientales o de terreno dentro de cada proyecto es importante, ya que en el proceso de detección de fallas de motores de refrigeración con tecnología inverter están involucrados aspectos importantes que comprometen el espacio donde se lleva a cabo el mantenimiento, por otra parte el ambiente donde se debe implementar el

proceso es de vital importancia.

Estudio de Impacto ambiental como parte del estudio técnico, una firma especializada debe realizar un impacto ambiental y evaluar el modelo propuesto y señalar que la población del país es muy consciente sobre la responsabilidad ambiental, por lo que este tema es importante no dejarlo de lado.

Se han detectado las siguientes posibles formas de contaminación y sus soluciones de mitigación:

- Los productos electrónicos pueden generar residuos peligrosos y contaminantes durante su producción y desecho. Por ejemplo, los residuos electrónicos pueden contener metales pesados como mercurio, plomo, cadmio, cromo, arsénico o antimonio, que son peligrosos para la salud y el medio ambiente.

Una solución para reducir la contaminación generada por los productos electrónicos es reciclarlos adecuadamente. Los desechos electrónicos contienen metales preciosos como oro, plata, cobre, platino y paladio, así como hierro, aluminio y plásticos valiosos que pueden reciclarse.

Para la investigación se determinó que el espacio en el cual se implementara los proceso de mantenimiento y detección de fallas de los motores bldc y compresores inverter deber ser un ambiente que cuente con los siguientes requisitos:

- Ventilación de gases y aire.
- Esterilización de equipos involucrados
- Espacio suficiente para cada etapa del proceso
- Preservación de todas las normas de seguridad industrial

En ese sentido se debe evitar los siguientes impactos ambientales:

- La sobre explotación de recursos naturales renovables y no renovables
- Ocupación, transformación del espacio
- Contaminación atmosférica, del agua, de residuos, visual, auditiva y olfativa
- Introducción de flora y fauna exótica o invasora





- Alteración o destrucción de corredores biológicos




De este modo cabe destacar que al implementar dicho proyecto se estarán disminuyendo las pérdidas de tiempo y aplicación de modelos arcaicos al momento de realizar el mantenimiento y detección de fallas de motores bldc y compresores de tecnología inverter, por tanto de esta manera se aprovecha más como recurso útil y sustentable.

4.4.3 Factibilidad de Recursos necesarios para el desarrollo.

La realización de un estudio de factibilidad económica busca determinar si la alternativa de inversión para la construcción del sistema de llenado es rentable económicamente. Para conseguir esto, se emplearán técnicas de evaluación de proyectos de inversión basadas en la Ingeniería Económica abordada dentro del proyecto. Así, este estudio cuantificará los costos de la inversión realizada, los ingresos brutos y costos operacionales, y otros elementos de interés que permitirán mostrar de la forma más apropiada el desarrollo del esquema de factibilidad buscado.

Tabla 4. Tipos de partes empleadas en el proyecto.

TIPO DE PARTE	PRECIO \$
<p>ARDUINO UNO </p> <p>https://electronica.mercadolibre.com.ve/arduino-uno</p>	15\$
<p>IR2101 </p> <p>https://www.aliexpress.com/w/wholesale-ir2101-mosfet-driver.html</p>	4\$
<p>LM339 </p> <p>https://electronica.mercadolibre.com.ve/lm339</p>	1\$
<p>Resistencias 33kOHM </p> <p>https://listado.mercadolibre.com.ve/resistencia-33k-ohm</p>	2\$

 <p>Resistencia de 10KOHM https://listado.mercadolibre.com.ve/resistencia-10k-ohm</p>	2\$
 <p>Resistencia de 100 OHM https://listado.mercadolibre.com.ve/resistencia-100-ohm#D[A:resistencia%20100%20ohm]</p>	2.4\$
 <p>Capacitor de 2.2 uf https://listado.mercadolibre.com.ve/capacitor-poliester-2.2-uf</p>	2\$
 <p>Capacitor de 10uf https://n9.cl/3auzd</p>	5\$
 <p>Capacitor de 1uf https://n9.cl/tdhv9</p>	2\$
 <p>Capacitor de 100uf https://n9.cl/pm7rf</p>	5\$
 <p>Puente rectificar 12v https://n9.cl/3w2ug</p>	5\$
 <p>Igbt 2n6796 https://listado.mercadolibre.com.ve/igbt-2n6796#D[A:Igbt%202n6796]</p>	3\$
 <p>Diodo 1N4148</p>	2\$

https://listado.mercadolibre.com.ve/diodo-1n4148#D[A:Diodo%201N4148]	
Pantalla LCD Lm016l 	20\$
 Potenciómetro 10k OHM https://n9.cl/47smw	2.5\$
 Potenciómetro 1Kohm https://n9.cl/47smw	1.5\$
 Taco regulador https://n9.cl/kssa7	5\$

Fuente: Marcos Flores (2023).

Tabla 5. Estimación de costos para la realización de la propuesta del banco de prueba motores bldc inverter.

TIPO DE PARTE	CANTIDADES	RECIBO FINAL
Arduino UNO	1	15\$
IR2101	3	12\$
LM339	1	1\$
Resistencias 33kOHM	6	12\$
Resistencia de 10KOHM	6	12\$
Resistencia de 100 OHM	6	14\$
Capacitor de 2.2 uf	3	6\$
Capacitor de 10uf	3	15\$

Capcitor de 1uf	1	2\$
Capacitor de 100uf	1	5\$
Puente rectificar 12v	1	5\$
Igbt 2n6796	6	18\$
Diodo 1N4148	4	8\$
Pantalla LCD Lm016l	1	20\$
Potenciometro 10k OHM	1	2.5
Potenciometro 1k OHM	1	1.5\$
Taco regulador	1	5\$
TOTAL		154\$

Fuente: Marcos Flores (2023).

En la tabla 5 se puede observar el costo total para implementar el diseño propuesto para un banco de prueba de motores bldc inverter, lo cual da un total de 154 \$.

4.4.4 Factibilidad de costos.

El periodo de estudio del proyecto de inversión será de 4 años, tiempo para el cuál se evaluará, utilizando las herramientas de evaluación de proyectos (Valor actual, equivalente anual y tasa interna de retorno), para concluir la rentabilidad del mismo. Este periodo se justifica debido a que es el tiempo estipulado por los técnicos para funcionar utilizando el sistema diseñado para su operación. Ver tabla 7.

Inversión en CF = 154\$

Tabla 6. Recursos Humanos.

Recursos Humanos

Cargo	Costo individual	total
Diseñador del proyecto	120\$	120\$
Analista	70\$	70\$
Total		190\$

Fuente: Marcos Flores (2023).

En la tabla anterior se describen los recursos humanos empleados para una implementación del proyecto, de modo que quien desarrolla dicho proyecto devenga un total de 120\$ por la implementación de dicho diseño, así como también un analista que supervise el proyecto.

Tabla 7. Recursos Tecnológicos.

Recursos Tecnológicos

Cantidad	Descripción	total
1	100 horas / Computadora	0.70\$
Total		71\$

Fuente: Marcos Flores (2023).

Para el desarrollo del banco de prueba se necesitaron 100 horas de desarrollo, empleando herramientas tecnológicas como un computador y un software de uso libre.

Tabla 8. Flujos de pago.

Flujos de Pago	Costos \$
Recursos Humanos	190\$

Recursos tecnologicos	71\$
Total	261\$

Fuente: Marcos Flores (2023).

En la siguiente tabla se especifican los costos de operación empleando por un técnico en refrigeración, empleando el circuito propuesto en esta investigación.

Tabla 9. Costos de operación.

Costos de Operación

Descripción	Costo total
Técnico en refrigeración 96horas/año*5\$	480\$
Suministros y gasto	150\$
Total	630\$

Para la determinación de los ingresos brutos anuales, que son los que serán utilizados para el desarrollo de la escala de tiempo, se toma en cuenta el valor semanal de ingresos obtenidos durante el tiempo en que se estuvo presente en una labor de mantenimiento o diagnóstico de fallas en motores bldc o compresores de tecnología inverter.

Tabla 10. Ingresos generados por día.

Ingresos generados por día (\$)
--

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
30	19	51	20	10	15

Total generado en la semana: 145\$

Fuente: Marcos Flores (2023).

A partir del dato referido al monto total percibido una vez el técnico

empieza a emplear el uso del banco de prueba de motores bldc para diagnósticos y mantenimiento de equipos, el total percibido en la semana, se proyecta estas cifras mensualmente, y por último, de manera anual, tomando en cuenta que un año tiene 52 semanas- Los ingresos pueden llegar a variar en cierto punto, principalmente, durante distintas épocas del año, los ingresos suelen ubicarse en un 80% de lo normal. Asimismo, en meses finales del año, se toma que los meses de Junio, Julio y Diciembre, los mantenimientos o diagnósticos están en un 10% por encima de la medida de los meses normales.

IB= 7620\$

Mediante la implementación del circuito, se prevé un incremento de estos ingresos de manera anual, cercana a 5% por la medicación del esquema de trabajo. Esta referencia en el incremento está relacionada al estudio económico. Los ingresos brutos, en los cuatro años de operación posteriores a la realización del diseño, son los siguientes:

Tabla 11. Costos por año.

Año	2023	2024	2025	2026
Ingresos brutos \$	7620	8001	8382	8763

Fuente: Marcos Flores (2023).

Los costos operacionales fueron descritos anteriormente en la tabla 11 engloban sueldos del técnico y costos de suministros para un total por año de

Cop (\$) = 7810\$

Al mismo tiempo, los resultados de evaluar las medidas de rentabilidad con una tasa mínima de rendimiento del 10%, como punto de referencia en la determinación del modelo adecuado para este proyecto. Tanto el valor actual como el equivalente anual son positivos, muy superiores al punto de equilibrio en cero. Asimismo, la tasa interna de retorno es del 2151%, por lo que se encuentra extremadamente alejada de la condición de no rentabilidad. Con esto, se concluye que el desarrollo del proyecto es rentable.

CONCLUSIONES

La eficiencia de un circuito depende de diversos factores, entre los cuales se encuentra la experiencia de los operarios, la tecnología aplicada, la adquisición de datos importantes, la distribución de los equipos y la manera en que comúnmente se llevan a cabo los procesos de mantenimiento de sistemas de refrigeración inverter.

En el caso de esta propuesta de diseño de circuito para banco de prueba de motores bldc inverter, su funcionamiento se divide en actividades principales (encendido de motores bldc y compresores inverter, regulación de la frecuencia por medio de pwm, medición de voltaje y corriente del motor), el proceso cuenta con todos los requerimientos necesarios gracias a los estudios realizados, además se encuentra adecuado a su capacidad de instalación, gracias a los estudios realizados por los instrumentos de recolección y selección de datos.

En conclusión, el proyecto de diseño de un banco de prueba de motores BLDC inverter con Arduino ha sido un éxito. Se logró desarrollar un sistema eficiente y preciso para evaluar el rendimiento de los motores BLDC inverter utilizando la plataforma Arduino. Este banco de pruebas permitirá a los profesionales de la refrigeración realizar pruebas exhaustivas en motores BLDC inverter, lo que mejorará la calidad y confiabilidad de estos motores en aplicaciones prácticas. Además, el uso de la plataforma Arduino ha permitido una mayor flexibilidad y facilidad de uso en comparación con otros sistemas de prueba.

RECOMENDACIONES

Antes de finalizar, se desea sugerir algunas recomendaciones en base a los resultados y las conclusiones a las que se llegó luego del presente trabajo de investigación, siempre que se desee que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto, a los lectores que tengan interés en el proyecto, todos los elementos relacionados a la investigación que no hayan podido ser finalizados, o simplemente puedan renovarse dentro de un contexto diferente en la creación del sistema.

El primer aspecto a destacar, sería tener en cuenta que, la fuente principal de alimentación del circuito debe ser de 110V/220V, para esta investigación se utilizó para efecto de simulación y practicidad una fuente de 12v, debido a que el software empleado para el proyecto (Proteus), presenta limitantes de simulación cuando están presentes cargas inductivas, el software refiere un error de simulación y refiere a un error de tiempo. De este modo se debe emplear la fuente principal de alimentación antes descritas, debido a que los motores de tecnología inverter requieren de alimentación 110v o 220v dependiendo de las características del fabricante.

Por otra parte se sugiere que la persona encargada de llevar a cabo la implementación, lo haga considerando los parámetros y componentes descritos en la investigación, los cuales fueron objetos de estudio para que cumplan con los requerimientos que exigen estos sistemas; en caso de no ser de fácil acceso algún componente, se sugiere buscar el sucesor más preciso del modelo mencionado.

El circuito descrito en esta investigación no comprende pruebas físicas con motores bldc, y de este modo se requiere de personal capacitado en estas áreas de trabajo que entiendan y sepan cómo funcionan y operan los motores bldc y compresores de sistemas de refrigeración inverter. De no ser así, se pueden realizar malas prácticas y ocasionar daños al diseño o al sistema que se diagnostica.

REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). **Proyecto de investigación "Introducción a la metodología científica"**.
- Beymar, N. (2018). **Proyecto de investigación. "Diseño de un sistema de control para instalaciones de aire acondicionado central HVAC con compresores y ventiladores en la industria Conne Dennin"** Recuperado de
- Baptista, P., Fernández, C., y Hernández, R. (2014). **Metodología de la investigación. 6a edición. México D.F., México: McGraw - Hill Education / Interamericana Editores, S.A. de C.V.**
- Chávez (1994). **Introducción a la investigación educativa.** Maracaibo: Gráfica González. Recuperado de <https://www.urbe.edu/UDWLibrary/InfoBook.do?id=4556>
- Definición ABC. **Ciclo de refrigeración.** Recuperado de <https://www.definicionabc.com/ciencia/ciclo-de-refrigeracion.php>
- Gustavo, P. (2021). **Proyecto de investigación. "Diseño y control para motor eléctrico BLDC de compresor de acondicionador de aire"** Recuperado de <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/10501?show=full>
- Gustavo, P. (2021). **Bases teóricas Motor bldc** Recuperado de
- García, L. y Mijares, H. (2007). **Normas para la elaboración y presentación de los anteproyectos, proyectos y trabajos de grado.** Recuperado de <https://es.scribd.com/document/354318107/NORMAS-para-trabajos-de-gradotesis-UJAP>
- Hernández, Fernández y Baptista (2014). **Metodología de la investigación. (5ª ed.).** México Editorial: Mc. Graw Hill.
- Hurtado, J. (2010). **El proyecto de investigación.** Caracas, Venezuela. Quirón. Jácome.
- MARIN (2022). **Refrigeración y sus ciclos.** Recuperado de <https://www.definicionabc.com/ciencia/ciclo-de-refrigeracion.php>

Pérez. R (2006). **Metodología de la investigación.**

Ramírez (1997). **Introducción a la Metodología Científica 5ta edición.**

Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/27298565_El_Proyecto_de_la_Investigacion_Introduccion_a_la_Metodologia_Cientifica

Tamayo, M. y Tamayo (2003). **El proceso de la investigación científica.**

UPEL (2010). **Proyectos factibles: Manual UPEL.**

Valderrama, (2015). **METODOLOGÍA DEL TRABAJO UNIVERSITARIO.** 1ª edición 2015 San Martín

Wladimir, J (2016) en el trabajo de grado titulado: **“Diseño de un sistema de integración, adquisición, control y supervisión para el sistema de climatización del centro directivo cultural de la ciudad universitaria de caracas” .**

ANEXO A

ENTREVISTA AL EXPERTO

N°	GUIÓN DE ENTREVISTA
1	¿Qué consideraciones se deben tener en cuenta al elegir un banco de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?
2	¿Qué herramientas y equipos se necesitan para realizar pruebas con un banco de diagnóstico?
3	Basado en la experiencia de campo, ¿Cómo se pueden mejorar los bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?
4	¿Qué características debe tener un buen banco de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?
5	¿Qué consejos puede ofrecer a los usuarios sobre el uso de circuitos como herramientas para bancos de diagnóstico para motores BLDC y compresores de refrigeración con inverter?
6	¿Qué tipo de información pueden proporcionar los bancos de diagnóstico?

Flores Marcos (2023).



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA

ESTIMADO PROFESOR (A): Wilson Espinoza

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: **Propuesta de diseño de un banco para diagnóstico de motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter**, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Flores Marcos

C.I.: 28.573.358

TUTOR:

Wilfredo Mendoza

C.I.: 22.744.494



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	Si			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7						
8						
9						
10						

Fecha: 23/01/2023

Firma del Especialista:
9855895

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ing. Electrónico Mg. Ing. Eléctrica.
--	---



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA

ESTIMADO PROFESOR (A): FREDY BARLAGATA

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: **Propuesta de diseño de un banco para diagnóstico de motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter**, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Flores Marcos

C.I.: 28.573.358

TUTOR:

Wilfredo Mendoza

C.I.: 22.744.494



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7						
8						
9						
10						

Fecha: 23/01/2023



Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	ING MECÁNICO ESP. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DR. EN EDUCACIÓN
--	---



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA

ESTIMADO PROFESOR (A): *Donato Romanello,*

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: **Propuesta de diseño de un banco para diagnóstico de motores bldc y compresores de refrigeración de tecnología inverter**, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Flores Marcos

C.I.: 28.573.358

TUTOR:

Wilfredo Mendoza

C.I.: 22.744.494



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA**

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7						
8						
9						
10						

Fecha: 26/10/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Mecánico, especialista en el área de Materiales y Corrosión
--	---

ANEXO B

- Compresor Copeland ZP236KCE-TED



Mechanical

Displacement(in ³ /Rev):	13.25
Displacement(ft ³ /hr):	1610.73
Overall Length (in):	15.08
Overall Width (in):	15.38
Overall Height (in):	27.34
Mounting Length (in):	10.50
Mounting Width (in):	10.50
Mounting Height (in):	28.09 *
Suction Size (in),Type:	1 5/8 Stub
Discharge Size (in),Type:	1 1/8 Stub
Initial Oil Charge (oz):	152
Oil Recharge (oz):	142
Net Weight (lbs):	280.0
Internal Free Volume (in ³):	1380.0
Horse Power:	

*Overall compressor height on Copeland Brand Product's specified mounting grommets.

Electrical

LRA-High*(Amp):	229.0
LRA Low* (Amp):	41.0
LRA-Half Winding (Amp):	
MCC (Amps):	48.0
Max Operating Current(Amp):	41.0
RLA, MCC/1.4;use for contactor selection (Amp):	34.3
RLA, MCC/1.56;use for breaker & wire size selection (Amp):	30.8
RPM:	3500
UL File No:	SA-2337
UL File Date:	2000-11-28

*Low and High refer to the low and high nominal voltage ranges for which the motor is approved.

Copeland ZP236KCE-TED.

Fuente: Manual Husmmann.

- Compresor Mitsubishi ANB87FVLMT



1.Compressor data		
Type		Scroll
Displacement	cm ³ /rev.	87.1
	in ³ /rev.	5.3
2.Motor data		
Motor type		BLDCM
Motor protection		External
Nominal output	W	8000
Number of pole		6
Nominal revolution	rpm	3600 (at 60rps)
Insulation class		E
Motor resistance (20 °C)	Ohm	0.16
3.Refrigerant		
Type		R-410A
4.Oil		
Type		FVC68D
Charge amount	L (in ³)	2.30 (140.3)
	kg (lbs)	39.80 (87.7)
5.Mass (include oil)		
6.Compressor power source		
Rated voltage	V	82-400
Rated frequency	Hz	180 (60rps)
Running frequency	Hz	45-360 (15-120rps)
Phase	Ø	3

Mitsubishi ANB87FVLMT.

Fuente: Manual Husmmann.

- Copeland ZP385KCE -TED



Electrical

LRA-High*(Amp):	310.0
LRA Low* (Amp):	
LRA-Half Winding (Amp):	
MCC (Amps):	85.0
Max Operating Current(Amp):	65.4
RLA, MCC/1.4;use for contactor selection (Amp):	60.7
RLA, MCC/1.56;use for breaker & wire size selection (Amp):	54.5
RPM:	3500
UL File No:	SA-2337
UL File Date:	2000-11-28

*Low and High refer to the low and high nominal voltage ranges for which the motor is approved.

Mechanical

Displacement(in ³ /Rev):	21.32
Displacement(ft ³ /hr):	2590.98
Overall Length (in):	17.60
Overall Width (in):	16.80
Overall Height (in):	28.50
Mounting Length (in):	10.50
Mounting Width (in):	10.50
Mounting Height (in):	28.90 *
Suction Size (in),Type:	1 5/8 Stub
Discharge Size (in),Type:	1 3/8 Stub
Initial Oil Charge (oz):	213
Oil Recharge (oz):	203
Net Weight (lbs):	390.0
Internal Free Volume (in ³):	1931.0
Horse Power:	

*Overall compressor height on Copeland Brand Product's specified mounting grommets.

Copeland ZP385KCE -TED.

Fuente: Manual Hussmann.



Data Sheet No. PD-6.043C

IR2101

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
I_{O+/-}	100 mA / 210 mA
V_{OUT}	10 - 20V
t_{on/off} (typ.)	130 & 90 ns
Delay Matching	30 ns

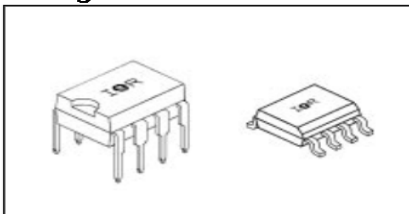
Features

- Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to +600V Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout
- 5V Schmitt-triggered input logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

Description

The IR2101 is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. The logic input is compatible with standard CMOS or LSTTL outputs. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

Packages



Datasheet IR2101

Fuente: IR Internacional.



Quad Single Supply Comparators

These comparators are designed for use in level detection, low-level sensing and memory applications in consumer automotive and industrial electronic applications.

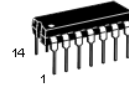
- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: ± 5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage: ± 1.0 mV (Typ) LM139A Series
- Input Common Mode Voltage Range to Gnd
- Low Output Saturation Voltage: 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible
- ESD Clamps on the Inputs Increase Reliability without Affecting Device Operation

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage LM239, A/LM339A/LM2901, V MC3302	V_{CC}	+36 or ± 18 +30 or ± 15	Vdc
Input Differential Voltage Range LM239, A/LM339A/LM2901, V MC3302	V_{IDR}	36 30	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICMR}	-0.3 to V_{CC}	Vdc
Output Short Circuit to Ground (Note 1)	I_{SC}	Continuous	
Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Plastic Package Derate above 25°C	P_D	1.0 8.0	W mW/°C
Junction Temperature	T_J	150	°C
Operating Ambient Temperature Range LM239, A MC3302 LM2901 LM2901V LM339, A	T_A	-25 to +85 -40 to +85 -40 to +105 -40 to +125 0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

Order this document by LM339/D

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

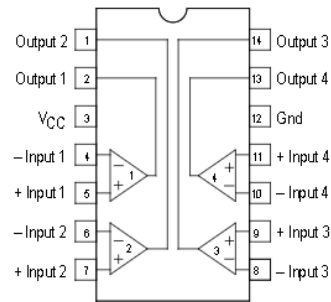


N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)

PIN CONNECTIONS



(Top View)

Datasheet LM339

Fuente: Motorola Datasheet.

Features

- Low C_{RES} / C_{IES} ratio (no cross conduction susceptibility)
- IGBT co-packaged with ultra fast free-wheeling diode

Applications

- High frequency inverters
- UPS
- Motor drivers
- Induction heating

Description

This IGBT utilizes the advanced PowerMESH™ process resulting in an excellent trade-off between switching performance and low on-state behavior.

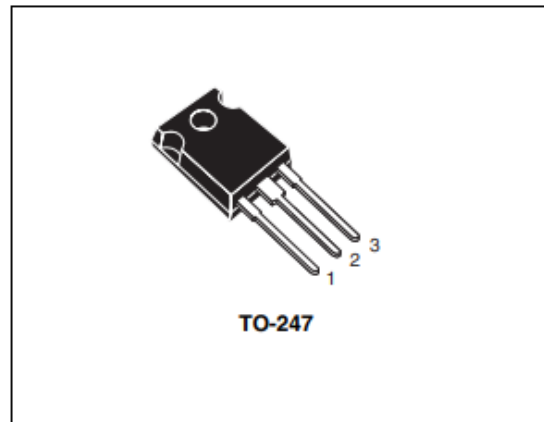


Figure 1. Internal schematic diagram

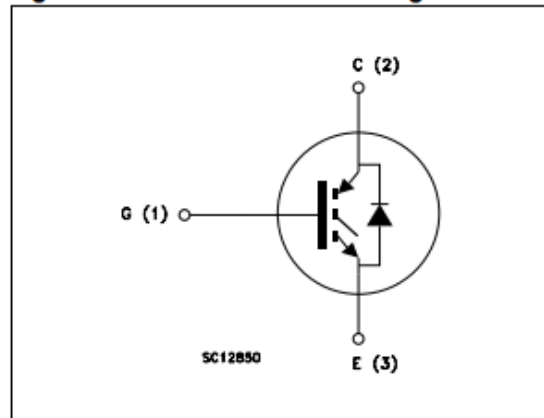


Table 1. Device summary

Order code	Marking	Package	Packaging
STGW39NC60VD	GW39NC60VD	TO-247	Tube

Datasheet 2n6796

Fuente: Alldatasheet.